

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL: CONSTRUCCIÓN



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**METODOLOGÍA DE UN ESTUDIO DE LOS CONDICIONANTES QUE EL  
ESTADO DE LA ESTRUCTURA IMPONE A UN EDIFICIO PARA SU  
REHABILITACIÓN Y/O REMODELACIÓN**

AUTOR:

**MARIO TENA MARÍN**

*Arquitecto Técnico – Ingeniero de la Edificación*

TUTOR DEL TRABAJO:

**D. JORGE LEY URZAIZ**

*Dr. Ingeniero de Caminos*

---

*Septiembre de 2011. Madrid*

*Gracias a mi familia, por ser mi apoyo y sustento durante tantos años. Por ser los que hacen esto posible.*

*También a los amigos y compañeros de viaje, por llenar siempre de buenos momentos el camino.*

*Y por supuesto, agradezco a mi tutor, D. Jorge Ley Urzaiz, su disponibilidad y conocimientos. Guía imprescindible de este trabajo.*

El propósito inicial del presente proyecto es ofrecer un enfoque general de la influencia y los condicionantes que impone el estado actual de una estructura cuando vamos a intervenir en ella, pues esto puede limitar tanto el grado de rehabilitación, como las operaciones que puedan realizarse en la reparación.

Se aborda inicialmente desde una perspectiva muy amplia, considerando la práctica totalidad de materiales constructivos que podemos encontrarnos en el parque inmobiliario.

Cuando iniciamos el proceso de rehabilitación o reparación de un edificio, lo primero que hacemos es una inspección visual del mismo para obtener una imagen inicial del inmueble, que nos proporcione herramientas válidas para un análisis riguroso. Se analizan con detenimiento los posibles deterioros que podemos observar, procedentes, o bien de un estado deficiente del material estructural, o de unos esquemas estructurales inadecuados.

En ambos puntos hemos profundizado mucho en su análisis, pues conocer el origen de una deficiencia es, generalmente, el primer paso para subsanarla.

Posteriormente, se detallan las operaciones que se emplean para conocer el *estado actual*, entendiéndose por esto, la realización de un número suficiente de calas para comprobar si la estructura actual se ajusta a lo definido en las especificaciones de proyecto. También se realizan una serie de ensayos, destructivos y no destructivos, para conocer las resistencias y terminar de definir las geometrías del inmueble.

Una vez reunidos todos los datos que nos permiten obtener una imagen lo más ajustada posible del estado real de la estructura, de sus geometrías y deficiencias, estamos ya en disposición de encontrar soluciones para una correcta rehabilitación.

Por último, se exponen dos casos de estudio que sirven para ilustrar el contenido teórico de nuestro trabajo. En ellos, y para ejemplificar lo expuesto anteriormente, después del necesario estudio previo se hacen propuestas de reparación y rehabilitación para subsanar cada deficiencia presente en la estructura.

The initial purpose of this project is to provide a general approach to the influence and constraints imposed by the current state of a structure when we intervene in it, as this may limit both the degree of rehabilitation, such operations can be performed in repair.

It is first addressed from a broad perspective, considering almost all building materials that we find in the housing stock.

When the process of rehabilitation or repair of a building is started, the first thing to do is a visual inspection of an initial image for the property, which provide valid tools for rigorous analysis. The potential damage observed are carefully analyzed, from either a poor state of structural material or a structural schemes inadequate.

Both points have been deeply analyzed, because knowing the origin of a deficiency is usually the first step to address it.

Subsequently, the operations that are used to determine the current status, which means the realization of a sufficient number of bays to see if the current structure is set as it was defined in the project specifications. Also conducted a series of tests, destructive and nondestructive to meet resistance and finish defining the geometry of the building.

Once we have all the data that allow us to obtain the most accurate picture of the actual state of the structure, its geometry and shortcomings, we are now ready to find solutions for a successful rehabilitation.

Finally, here are presented two case studies that illustrate the theoretical content of our work. In them, and to exemplify the above, after the previous necessary study repair and rehabilitation proposals are exposed to address each deficiency present in the structure.

CAPÍTULO 1 - INSPECCIÓN TÉCNICA VISUAL .....	7
I.- CARACTERIZACIÓN .....	8
I - I. HORMIGÓN .....	8
I - II. ESTRUCTURA METÁLICA .....	21
I - III. MADERA .....	27
I - IV. FÁBRICAS DE LADRILLO .....	34
I - V. FÁBRICAS DE ADOBE Y MUROS DE TAPIAL .....	40
I - VI. PIEDRA .....	47
II.- CASOS PARTICULARES .....	52
III.- INSPECCIÓN POR ATRIBUTOS .....	56
IV.- CONCLUSIONES .....	58
CAPÍTULO 2 – SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	59
I.- TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	63
I.I.- MUROS DE CARGA .....	63
I – I.I. HORMIGÓN .....	64
I – I.II. FÁBRICA DE LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA .....	65
I.II.- ESTRUCTURAS RETICULADAS .....	74
I – II.I. HORMIGÓN: .....	74
I – II.II. ACERO: .....	78
I – II.III. MADERA: .....	83
I.III.- FORJADOS Y CUBIERTAS .....	86
I – III.I. HORMIGÓN: FORJADOS UNIDIRECCIONALES Y BIDIRECCIONALES. LOSAS. CUBIERTAS. LÁMINAS Y MEMBRANAS .....	86
I – III.II. ACERO: FORJADOS. CERCHAS. ESTRUCTURAS ESPACIALES .....	91
I – III.III. MADERA: FORJADOS. CERCHAS .....	95
I – III.IV. FÁBRICA LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA: ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS .....	98

I.IV.- CIMENTACIONES SUPERFICIALES Y PROFUNDAS: HORMIGÓN, ACERO, MADERA, LADRILLO Y PIEDRA .....	101
I.V.- ESTRUCTURAS HISTÓRICAS .....	104
II.- ESQUEMA ESTRUCTURAL .....	107
II.I.- MUROS DE CARGA: HORMIGÓN, FÁBRICA DE LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA .....	107
II.II.- ESTRUCTURA RETICULADA: HORMIGÓN. ACERO. MADERA .....	108
II.III.- CERCHAS DE MADERA Y ACERO. ESTRUCTURAS TRIANGULADAS. ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS. ESTRUCTURAS LAMINARES DE HORMIGÓN. ....	113
II.IV.- ESTRUCTURAS HISTÓRICAS .....	117
CAPÍTULO 3 - ESTADO DE LAS CARGAS ACTUANTES Y DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	119
CAPÍTULO 4 – DEFINICIÓN DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA .....	123
I.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	124
I - I. HORMIGÓN .....	124
I - II. ACERO .....	125
I - III. MADERA .....	126
I - IV. ESTRUCTURAS DE FÁBRICA: LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA. ....	128
II.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS .....	131
II - I. HORMIGÓN .....	131
II - II. ACERO .....	133
II - III. MADERA .....	135
II - IV. FÁBRICA DE LADRILLO .....	136
II - V. FÁBRICA DE ADOBE Y TAPIAL .....	137
II - VI. PIEDRA .....	139
ANEJO I - INFORME DEL ESTUDIO REALIZADO EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS. MADRID .....	141
ANEJO II - INFORME DEL ESTUDIO REALIZADO EN UN ANTIGUO MERCADO. MADRID .....	155
BIBLIOGRAFÍA .....	170

## CAPÍTULO 1 - INSPECCIÓN TÉCNICA VISUAL

---

El proceso de caracterización del estado actual de una obra requiere como paso inicial, una inspección visual del estado de la estructura por parte de un técnico competente, observando las manifestaciones más reveladoras de los defectos existentes, y las que en primera instancia pudieran no serlo, con el objetivo posterior de establecer una secuencia de sucesos que las relacione, para obtener una comprensión completa de la dimensión del edificio y su grado de deterioro.

Esta inspección es un paso esencial para la toma de medidas urgentes de prevención y seguridad, para fijar una línea de actuación tras ser analizados los condicionantes del estado actual del elemento.

Debe estar formada por un examen visual acompañado de las pertinentes fotografías, de un estudio de la historia del edificio, de los testimonios y opiniones de las personas relacionadas u ocupantes del inmueble, y de un cuadro de las fisuras que presenta el edificio. Se considerará también el motivo de la evaluación del edificio (cambio de uso, patología, ampliación, etc.).

El estudio de la historia de la obra debe comprender la fecha de su construcción, su constructor, una copia del proyecto para su revisión y análisis, tipo de terreno, materiales empleados, cargas y sobrecargas, usos de la estructura, acciones accidentales. En caso de no disponer de toda la información necesaria, algo que puede ser común, será necesario en fases posteriores el análisis de los materiales para conocer su estado actual.

Será también importante recopilar toda la información relativa a las condiciones del edificio previas a los daños, como pueden ser las reparaciones y refuerzos realizados con anterioridad, que pueden incluso haber tenido un efecto negativo sobre la estructura.

Del examen visual debe extraerse algún posible fallo de concepción del proyecto (falta de detalles, errores de dimensionamiento...), de ejecución de la obra, y de uso y mantenimiento. Debe obtenerse la estimación de las consecuencias del daño, así como las medidas urgentes a adoptar.

Se comprobará en plantas y alzados todos los daños aparecidos tanto en elementos portantes como no estructurales, acompañados de fotografías, y la posterior elaboración de los mapas de fisuras y daños del edificio. A través de estos mapas se pueden analizar las lesiones o defectos que presenta la estructura. En este sentido, la forma y localización de las fisuras puede ser suficiente, en ocasiones, para llegar a conclusiones muy aceptables para establecer un diagnóstico.

Debido a la importancia de la presencia de las fisuras y daños en las patologías de los edificios, se realiza a continuación un análisis, según el material que constituye la estructura, de los principales efectos que los causan, así como su localización y forma más común. Los mecanismos de fallo más frecuentes se analizan con más detalle en las estructuras de hormigón, puesto que son las obras más abundantes, no obstante, cuando alguno de los mecanismos de daño sea aplicable a una estructura ejecutada con otro material, se consideran los mismos principios.

## I.- CARACTERIZACIÓN

### I - I. HORMIGÓN

Se entiende por hormigón el material de construcción constituido por cemento, árido, agua, y aditivos y/o adiciones. Las propiedades del hormigón van muy ligadas con las de su constituyente principal: el cemento. Al contrario de los materiales naturales (piedra, madera,...) y los artificiales de origen artesanal (adobe, ladrillo,...) el cemento puede decirse que es el fruto de la experimentación científica en laboratorio.

El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que lo convierten en un producto maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, obteniéndose un material de consistencia pétreo.

Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del hormigón un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas, mediante los encofrados, y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

El hormigón tiene una escasa resistencia a tracción, para superar este inconveniente, se "arma" el hormigón introduciendo barras de acero, conocido como hormigón armado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es común, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Los intentos de compensar las deficiencias del hormigón a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del hormigón armado. Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del hormigón de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del hormigón pretensado y el hormigón postensado. Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el hormigón, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos.

La aparición y rápida difusión de este material se debe en parte al inevitable factor suerte, puesto que el hormigón y el acero no sólo resultaron ser compatibles en su reparto de los esfuerzos soportados, sino que se beneficiaron mutuamente de otras características. Como ejemplo de esto el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, y resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

Cuando se proyecta una estructura de hormigón armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos, y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto. Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación y los forjados.



Si se ensaya organolépticamente un hormigón se puede definir como un sólido, pero teniendo en cuenta su comportamiento se debe considerar el hormigón como un pseudo-sólido, puesto que posee propiedades reológicas, plásticas, elásticas y de fluencia. Esto es verificable si se observa un hormigón en un intervalo de tiempo suficientemente largo, pues se aprecian deformaciones, es decir, movimientos relativos de unas partículas respecto a otras.

A continuación realizamos un pequeño análisis de los principales constituyentes que se han enumerado con anterioridad:

- Cemento: Los cementos son productos que amasados con agua fraguan y endurecen formándose nuevos compuestos resultantes de reacciones de hidratación que son estables tanto al aire como sumergidos en agua.

Hay varios tipos de cementos. Las propiedades de cada uno de ellos están íntimamente asociadas a la composición química de sus componentes iniciales, que se expresa en forma de sus óxidos, y que según cuales sean formaran compuestos resultantes distintos en las reacciones de hidratación.

Cada tipo de cemento está indicado para unos usos determinados; también las condiciones ambientales determinan el tipo y clase del cemento afectando a la durabilidad de los hormigones. Los tipos y denominaciones de los cementos y sus componentes están normalizados y sujetos a estrictas condiciones. La norma española establece los siguientes tipos: cementos comunes, los resistentes a los sulfatos, los resistentes al agua de mar, los de bajo calor de hidratación, los cementos blancos, los de usos especiales y los de aluminato de calcio. Los cementos comunes son el grupo más importante y dentro de ellos el portland es el habitual. En España sólo pueden utilizarse los cementos legalmente comercializados en la Unión Europea y están sujetos a lo previsto en leyes específicas.

El cemento portland se obtiene al calcinar a unos 1.500 °C mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas. El producto resultante, llamado *clinker*, se muele añadiendo una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural.

Además del tipo de cemento, el segundo factor que determina la calidad del cemento, es su clase o resistencia a compresión a 28 días. Esta se determina en un mortero normalizado, y expresa la resistencia mínima, la cual debe ser siempre superada en la fabricación del cemento. No es lo mismo, ni debe confundirse la resistencia del cemento con la del hormigón, pues la del cemento corresponde a componentes normalizados y la del hormigón dependerá de todos y cada uno de sus componentes.

- Agua: El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua.

Cuando una masa es excesivamente fluida o muy seca hay peligro de que se produzca el fenómeno de la segregación (separación del hormigón en sus componentes: áridos, cemento y agua). Suele presentarse cuando se hormigona con caídas de material superiores a los 2 metros. Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento.

- Áridos: Los áridos proceden de la desintegración o trituración, natural o artificial de rocas y, según la naturaleza de las mismas, reciben el nombre de áridos silíceos, calizos, graníticos, etc. El árido cuyo tamaño es superior a 5 mm se llama árido grueso o grava, mientras que el inferior a 5 mm se llama árido fino o arena. Los áridos que se emplean en hormigones se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima. Tres factores intervienen en una granulometría adecuada: el tamaño máximo del árido, la compacidad y el contenido de granos finos.

Los áridos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al hormigón. El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena, y no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

Con áridos naturales rodados, los hormigones son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

- Adiciones y aditivos: Pueden utilizarse como componentes del hormigón los aditivos y adiciones, siempre que mediante los oportunos ensayos, se justifique que la sustancia agregada en las proporciones y condiciones previstas produce el efecto deseado sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón ni representar peligro para la durabilidad del hormigón ni para la corrosión de las armaduras.

Las adiciones son materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente molidos, pueden ser añadidos al hormigón en el momento de su fabricación, con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle propiedades especiales. La EHE recoge únicamente la utilización de las cenizas volantes y el humo de sílice, determinando sus limitaciones.

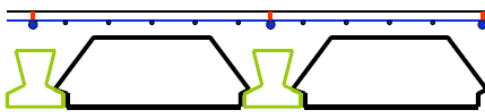
Los aditivos son sustancias o productos que se incorporan al hormigón, antes o durante el amasado, produciendo la modificación de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. La EHE establece una proporción no superior al 5% del peso del cemento y otros condicionantes.

## PROCESOS PATOLÓGICOS

### ESTADOS DEL MATERIAL

- **Asiento plástico:** El asiento plástico depende directamente de la exudación, que es un proceso que se presenta en el hormigón, que no puede ser eliminado, y se da en el período que transcurre desde el amasado y vertido al endurecido. Consiste en el ascenso del agua del hormigón hacia la superficie, a partir del momento del vertido de éste, y se debe a una pequeña sedimentación de los componentes del hormigón debida a la gravedad. El problema surge cuando el agua evaporada en la superficie del hormigón lo hace más rápidamente que el agua de reposición que acude a ella.

#### FISURAS EN FORJADOS



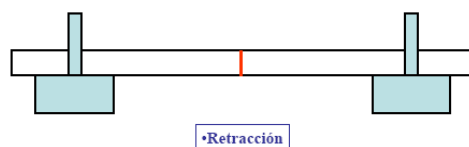
La exudación puede reducirse, que no anularse, mediante: reducción de la cantidad de cemento, de adiciones y de la relación a/c, con el empleo de agentes aireantes.

Una vez aclarado el factor fundamental que provoca los asientos plásticos, el problema que deriva de estos surge cuando una zona del hormigón tiene su asiento coartado de una manera diferente a las colindantes. Suelen ser fisuras amplias y poco profundas, y con poca trascendencia estructural. Son más frecuentes en piezas de gran canto y en elementos verticales como pilares y muros.

- **Retracción plástica:** Se trata de un daño frecuente en los elementos superficiales, y muy relacionada con el fenómeno de la exudación explicado en los asientos plásticos. Se producen en las horas iniciales después del vertido del hormigón. Es muy importante un curado adecuado del hormigón.

Fisuras amplias y poco profundas, y pueden cerrarse con un fratasado posterior de la superficie. Pueden generar problemas importantes de corrosión de armaduras a largo plazo

#### FISURAS EN VIGAS



- **Contracción térmica inicial:** Producida por el calor de hidratación derivado de la reacción de hidratación del cemento, el cual la pieza de hormigón no es capaz de disipar con la suficiente velocidad alcanzando temperaturas superiores a la temperatura de ambiente.

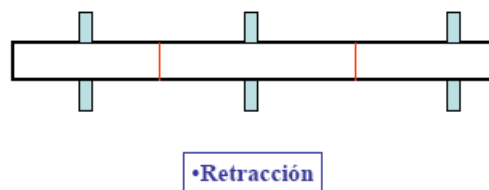
El problema se genera al alcanzar, debido al contacto con el aire o con otros elementos, una temperatura inferior en la superficie del elemento a la temperatura interior. Esto genera un equilibrio de tensiones que en la capa exterior produce tracciones, fisurándose, en consecuencia, la superficie de la pieza.

Sus efectos pueden reducirse con contenidos menores de cemento, cementos de bajo calor de hidratación y áridos de bajo coeficiente de dilatación, disposición de armaduras de reparto, encofrados adecuados, tiempos menores de hormigonado entre partes superpuestas, y por supuesto, un curado idóneo.

- **Retracción hidráulica:** Es el fenómeno que se produce por la disminución de volumen que experimenta el hormigón una vez endurecido en contacto con aire con humedad no saturada. De similares características y apariencia a las producidas por la retracción plástica y la contracción térmica inicial, puede, sino se ha hecho un correcto seguimiento del hormigón, confundirse con éstas, no obstante, las fisuras de retracción hidráulica aparecen en edades posteriores y con el hormigón endurecido.

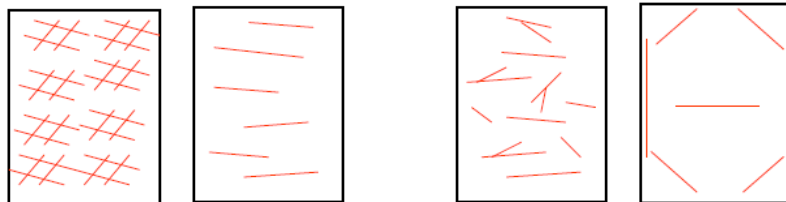
Sus efectos pueden reducirse con contenidos menores de cemento, de la relación agua-cemento, y la disposición de armaduras de reparto. Suelen ser fisuras finas pero de profundidad considerable y, según el caso, de importancia apreciable.

## FISURAS EN VIGAS



- **Fisuración en mapa:** De escasa importancia estructural. Aparecidas en los primeros 15 días después del vertido, y son generadas por las tensiones superficiales debido a un alto contenido de humedad. Especial incidencia tienen en superficies de encofrados de poca permeabilidad, y en superficies fratasadas o acabadas con la llana.

## FISURAS EN LOSAS



- **Deformaciones impuestas:** Dentro de este tipo de mecanismos del hormigón se distinguen: fluencia, variaciones de temperatura, variaciones higrométricas, pretensado y asentamientos del terreno. Si bien todos estos son mecanismos comunes en las estructuras, en nuestro estudio, al centrarnos en la aparición de fisuras y la morfología de estas, con vistas a un análisis visual para un estudio patológico del edificio, únicamente nos resulta de interés la información referente a los asentamientos del terreno, pues éstos producen unas grietas y fisuras muy características en las estructuras:

- *Asentamientos del terreno:* Son productores frecuentes de problemas patológicos en las estructuras. Se generan, con frecuencia, por operaciones colindantes que alteran el nivel freático de la zona, excavaciones cercanas, lavado de arenas en el terreno, desconocimiento de oquedades en el terreno, etc.

El descenso de un pilar de la estructura por esta causa, provoca una redistribución de esfuerzos en los pilares más cercanos, pudiendo, el exceso de carga transmitida a los

pilares colindantes, provocar el agotamiento resistente de los pilares, y en ocasiones, el colapso de la estructura.

- **Cambios de Color:** Si bien en primera instancia no tiene consecuencias estructurales inmediatas, resulta interesante su análisis. Normalmente este efecto en zonas concretas se debe a reparaciones de algún elemento, por lo que debe analizarse si la actuación ha sido realizada con acierto, y si su presencia puede estar relacionada con algún otro defecto o patología observada.

- **Acción de la helada:** Se produce en zonas climáticas donde los ciclos de hielo-deshielo están muy presentes. Se trata de un mecanismo de daño de gran importancia, ya que sus efectos pueden ser muy fuertes.

Su proceso es el siguiente, antes de la helada, los materiales que forman el elemento en cuestión absorben agua, y al congelarse este agua, con un aumento de volumen del orden del 9%, incluida en los poros se crean tensiones que pueden producir roturas locales en la superficie y la fractura del hormigón.

Sus efectos pueden reducirse con el tipo de árido empleado, con el aumento de la edad del hormigón resistente, con la dosificación del cemento y la reducción de la relación a/c. Una técnica muy eficaz para aumentar la resistencia a este efecto, consiste en el empleo de agentes aireadores que incorporan aire ocluido al hormigón.

- **Ataques químicos al hormigón:** Los ataques químicos al hormigón sólo se producen, a velocidad suficiente, en presencia de humedad, y aumentan esta con los incrementos de temperatura.

En primer lugar analizamos las reacciones por ataque de ácidos se dividen según estos se presenten en estado líquido o se trate de la carbonatación.

Los ácidos en estado líquido atacan a la pasta de cemento, debido a que esta está constituida por un elemento con débil carácter ácido (sílice), y otro de fuerte carácter básico (cal), por lo que se trata de un conjunto atacable incluso por ácidos débiles.

La carbonatación es debida a la penetración del CO<sub>2</sub> del aire en la estructura porosa superficial del hormigón, produciendo un descenso en su PH y dejando de ser un elemento protector para las armaduras. Este proceso aumenta con la permeabilidad.

En segundo lugar estudiamos el comportamiento del hormigón cuando es atacado por sulfatos o sales expansivas. Estos elementos están disueltos en muchas aguas, e incluso pueden encontrarse en el yeso empleado como regulador de fraguado. Los sulfatos reaccionan con la cal libre del cemento, formando yeso, que reacciona con el aluminato cálcico formando etringita, que es una sal expansiva, motivo por el que pueden producirse roturas y desconchones en la superficie del hormigón.

Por último mencionamos la reacción con cationes: reacción álcali-árido, algunos áridos contienen sílice reactiva que se combina con los álcalis del cemento formando un gel que tras un proceso de ósmosis ejerce grandes presiones en los poros del hormigón, capaces de

fisurarlo; reacción con amonio, produce una agresión que a través de una reacción con el cemento hidratado, puede conducir a la desintegración del hormigón.

- **Degradación del hormigón de cemento aluminoso:** Descubierta en 1918, con gran resistencia a los sulfatos y a las altas temperaturas, y de rápido endurecimiento y lento fraguado. Debido a estas características fue un material muy empleado, pero a finales de los 50 se descubrió que en condiciones frecuentes de humedad y temperatura, su estructura interna sufría una conversión del sistema hexagonal a la forma cúbica, con un perjudicial incremento de su porosidad, y su consecuente pérdida de resistencia a la compresión.

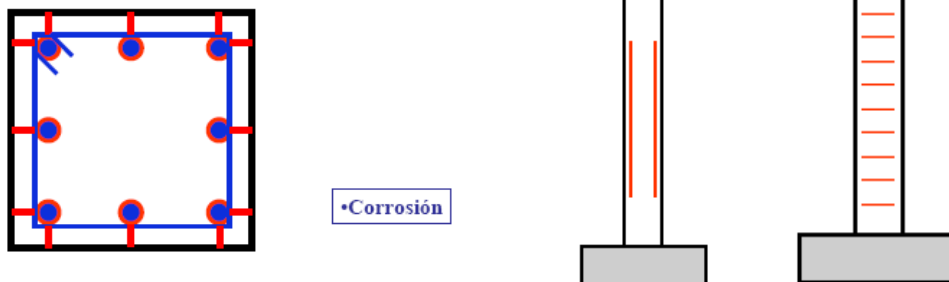
Este proceso se reduce con una menor relación de a/c, pero se acaba produciendo de igual manera

Por esta pérdida de resistencia pueden ser apreciables graves deficiencias estructurales, siendo, con frecuencia, necesaria su rehabilitación para garantizar una seguridad mínima.

- **Ataques químicos a la armadura:** En los aspectos apreciables en una inspección visual, sólo vamos a considerar los ataques químicos que se producen a través de una fisuración preexistente. Esta fisuración está presente en un gran número de estructuras actuales, debido a las condiciones de servicio establecidas.

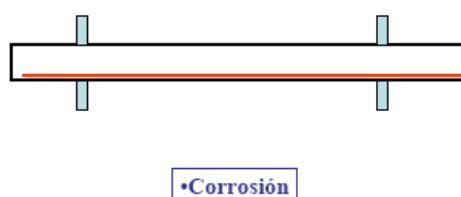
- Carbonatación y cloruros: Las fisuras suponen un camino de acceso a los dos agentes más frecuentes en las armaduras, el anhídrido carbónico y los cloruros, siendo tu ancho de fisura importante en la iniciación de estos procesos y en la rotura de la capa de pasivación.

### FISURAS EN PILARES



Una vez iniciado el proceso corrosivo, los agentes generados debidos al aumento de volumen que experimentan, ejercen presiones sobre el hormigón, fisurándolo y aumentando las vías de entrada de agentes agresivos.

### FISURAS EN VIGAS



- Corrosión bajo tensión en armaduras de pretensado: Las armaduras de pretensado pueden presentar los efectos de carbonatación y cloruros descritos anteriormente, pero además, pueden sufrir un tipo de rotura frágil, según el tipo de acero empleado y su proceso de fabricación. Una picadura en la armadura, profundiza en la sección de la barra en forma de fisura, acelerándose este proceso por la tensión aplicada, produciéndose así la rotura frágil.

- Fragilización por hidrógeno: Se trata de un proceso particular de corrosión bajo tensión, en el que los átomos de hidrógeno se acumulan en el fondo de una fisura, penetrando así en la masa del acero, donde se suman a las elevadas tensiones aplicadas y, en ocasiones, ha producido una rotura frágil del material.

- **Ataque por el fuego**: Se trata de un fenómeno muy complejo, ya que actúa sobre el hormigón y el acero, con comportamientos muy diferentes en ambos y en su adherencia. Si se aprecian los efectos del fuego, la evaluación del problema requerirá estudios experimentales complejos y un elevado grado de especialización de los técnicos y operarios.

#### ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

- **Fisuración**: Las fisuras que pueden producirse en el hormigón pueden tener un origen estructural o no, si bien estas últimas ya han sido analizadas con anterioridad, por ello nos centraremos ahora en la comprensión de las fisuras estructurales, producidas por variaciones longitudinales de las armaduras o excesivas tensiones de tracción o compresión en el hormigón.

Los orígenes de las fisuras estructurales se encuentran en los efectos anteriores ya descritos, así como en los estados límites últimos del hormigón que se expondrán posteriormente.

La fisuración presenta riesgos de corrosión en las armaduras, y, como efectos secundarios menos importantes, riesgo estético y psicológico. Debe controlarse el ancho de las fisuras.

- **Deformaciones excesivas**: Cuando centramos nuestro estudio en las deformaciones excesivas, debemos tener presente que la estructura puede ser satisfactoria para los estados límites de servicio y últimos, pero no frente al estado límite de servicio de la deformación excesiva. Es por esto, que conviene remarcar que en este caso la deformación excesiva no lo es desde un punto de vista estructural, sino para otros elementos no estructurales: flechas horizontales excesivas producidas por acciones de viento, con riesgo para cerramientos y tabiquerías; flechas verticales que producen mal efecto estético; flechas verticales que dificultan la eliminación de agua de las cubiertas; y, por último, flechas verticales de vigas, losas y forjados con riesgo para cerramientos y tabiquerías, que ponen en carga y fisuran partes no estructurales del edificio.

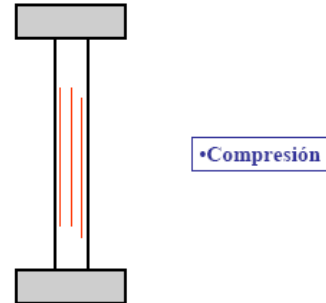
Un caso especial a considerar es el de los tabiques y cerramientos de plantas inferiores, cuya función no es la de soportar carga, pero es inevitable que se vean sometidos a ciertos esfuerzos. Es por esto que en una actuación de rehabilitación no deben retirarse sin un análisis previo los muros de plantas inferiores, puesto que a través de ellos los muros superiores transfieren su carga vertical y, al no ser posible, es frecuentes que se produzcan fisuras en estos elementos no estructurales, en ocasiones de extraordinaria importancia.

## ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

- **Compresión simple:** Se entiende por sección trabajando a compresión simple, cuando únicamente está sometida a un esfuerzo axial aplicado en el centro de gravedad de las áreas existentes de hormigón, aplicando el coeficiente de 0,85 a la capacidad mecánica del hormigón.

La rotura de estas piezas se manifiesta en fisuras que pueden ser de dos tipos: fisuras oblicuas, muy infrecuentes, y fisuras longitudinales, muy finas y no tiene porqué aparecer superpuestas a las armaduras. Estas fisuras aparecen en un estado precarga de rotura, para valores aproximados del 85% de la capacidad resistente de la sección.

## FISURAS EN PILARES

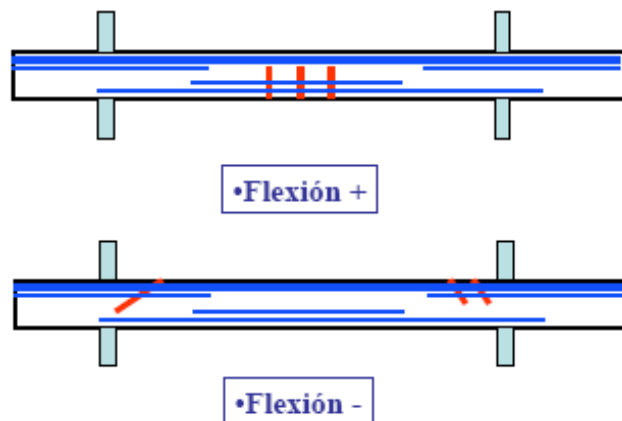


Este estado produce roturas muy frágiles, e incluso explosivas, por lo que su capacidad de aviso es muy reducida, salvo que haya sido estudiado un refuerzo específico mediante estribos. Son causa de múltiples derrumbamientos, ante la imposibilidad de redistribución de esfuerzos por parte de la estructura, especialmente en entramados.

- **Flexión simple:** Su comportamiento está íntimamente relacionado con la cuantía de barras de acero dispuestas en su masa, responsables de la resistencia a tracción, debido a la escasa, y a efectos prácticos considerada nula resistencia del hormigón a tracción.

Cuando se alcanza la tensión de rotura por flexotracción surgen las primeras fisuras, ya que el esfuerzo de tracción soportado por el hormigón desaparece, siendo la armadura la única que proporciona trabajo. En este instante si la capacidad mecánica de la armadura es inferior a la sollicitación de tracción se produce una rotura brusca y frágil de la pieza. No obstante esto es contemplado por las normas y los coeficientes de seguridad mediante las cuantías mínimas. Este efecto se ve incrementado con el empleo de hormigones de elevada resistencia.

## FISURAS EN VIGAS



La rotura de estas secciones se produce aparentemente en la zona comprimida del hormigón, pero esto no es totalmente cierto, puesto que en el momento de la rotura, las armaduras de tracción han entrado en estado plástico y se encuentran en su escalón de cedencia o relajamiento, siendo esta la causa real de la rotura visual a compresión.

En este tipo de mecanismo se producen multitud de fisuras, y la adherencia entre materiales queda prácticamente destruida. Su forma de trabajo se asemeja al de un arco de compresión y un tirante de tracción.



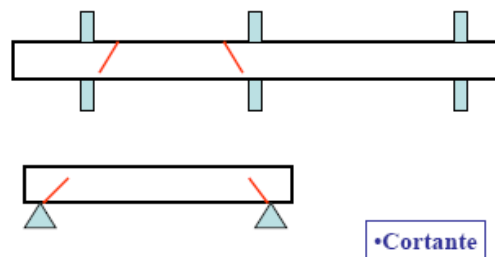
- **Flexión compuesta:** El agotamiento de una pieza sometida a un axil y un cortante viene determinado especialmente por la excentricidad.

En la primera forma de rotura contemplada, la rotura de la sección se produce al llegar al agotamiento de la armadura de la zona traccionada de la pieza, de manera similar a la flexión simple, apareciendo fisuración ortogonal a la directriz longitudinal.

Por otro lado, si el esfuerzo predominante es el de compresión, el agotamiento será similar a las piezas sometidas a compresión simple, con aparición de fisuras finas longitudinales y roturas frágiles.

- **Esfuerzo cortante:** Al verse sometido a un esfuerzo cortante, el equilibrio de fuerzas de la sección se realiza a través del esfuerzo de tracción en la armadura de corte, siendo esta estribo o barra inclinada, por el incremento de tensión de tracción en la armadura de flexión y por la resultante de compresiones en la biela inclinada, cuya inclinación depende de la relación entre el momento flector y el cortante.

## FISURAS EN VIGAS



Se pueden apreciar las distintas formas de agotamiento por esfuerzo cortante de una pieza:

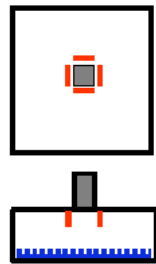
- Si la armadura de cortante no existe o es insuficiente, el fallo se produce por rotura por tracción diagonal del hormigón.
  - Anclaje insuficiente de la armadura transversal, o de cortante, en la cabeza comprimida.
  - Agotamiento elástico por tracción de la armadura de cortante.
  - Tensión soportada en la armadura de flexión superior a la tensión de adherencia acero-hormigón.
  - Excesivo ancho de fisura.
  - Compresiones excesivas en las bielas comprimidas.
- **Esfuerzo rasante:** Se debe garantizar la resistencia a este esfuerzo para garantizar la estabilidad, en caso de empleo de dos materiales distintos, como pueden ser la unión de dos hormigones, piezas mixtas de acero y hormigón, etc.

En estos casos el fallo se produce de dos maneras: en caso de que la armadura de conexión o cosido sea escasa o nula el fallo por rasante se producirá de manera frágil, sien necesario, en

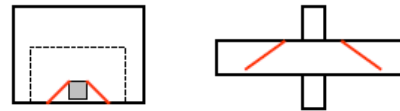
consecuencia, unos coeficientes de seguridad mayores puesto que se trata de estructuras que apenas presentan síntomas de aviso de su colapso, se recomienda no utilizar en caso de cargas dinámicas o esfuerzos cortantes elevados; piezas con una apreciable armadura de conexión, en las que el fallo se produce de manera dúctil, con una notable redistribución de tensiones antes de su rotura, y por lo tanto, con importantes síntomas de aviso de su fallo.

- **Punzonamiento:** Se trata de roturas de tipo frágil, que han motivado numerosos hundimientos. Se produce por causa de las tracciones que provocan las tensiones tangenciales provocadas por una fuerza localizada en una superficie pequeña en relación a esta fuerza. Generan superficies de fractura de forma troncopiramidal.

### FISURAS EN ZAPATAS

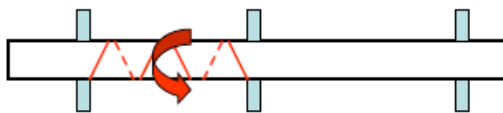


### FISURAS EN FORJADOS



- **Torsión:** Se diferencian dos estados diferentes de torsión: torsión de compatibilidad, es la debida a la necesidad de compatibilizar las deformaciones mediante rotaciones angulares de la pieza, pero no es necesaria para garantizar el equilibrio; torsión de equilibrio, los pares torsores son necesarios para asegurar el equilibrio de la pieza.

### FISURAS EN VIGAS



•Torsión

Las torsiones de compatibilidad no exigen un cálculo directo en las normas, si bien se establecen una serie de recomendaciones sobre disposiciones y cuantías de las armaduras. Las torsiones de equilibrio requieren cálculo directo de resistencia a torsión.

Uno de los aspectos más importantes de este mecanismo es que la resistencia a torsión de las piezas es muy susceptible a la presencia de la fisuración, es por esto que hasta la aparición de unas fisuras de tamaño mínimo reduce de forma drástica la resistencia a torsión de las piezas.

- **Adherencia:** Las tensiones de adherencia tienen dos orígenes claramente diferenciados:

El primero de ellos se debe al incremento de momentos entre dos secciones contiguas, con el consiguiente incremento de la tensión de adherencia. Este efecto fue muy estudiado en los inicios del hormigón armado, no obstante, actualmente, las comprobaciones se han limitado mucho, debido a que no suele presentar fallos por este motivo.

### FISURAS EN VIGAS



•Adherencia

Un segundo caso, y el más relevante a la hora de estudios patológicos, es la tensión de adherencia motivada por el anclaje de las barras, fuente usual de múltiples fallos en estructuras construidas.

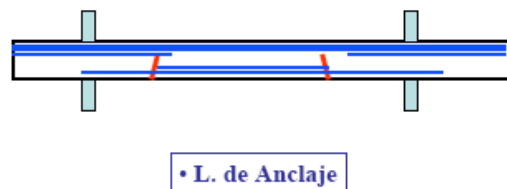
La presencia de restos disminuye sensiblemente la adherencia de las barras, siendo los más comunes: el líquido desencofrante y la bentonita. El óxido y las manchas de mortero no tienen efectos negativos sobre este aspecto.

- **Anclaje y solapo:** Se trata de dos mecanismos de transmisión de esfuerzos por parte de las barras que vamos a analizar por separado:

- **Anclaje:** Los extremos de las armaduras deben transferir su tensión a otros elementos, y en el caso de los anclajes, generalmente se trata de transmitirlos al hormigón. La longitud de una barra no podrá ser en ningún caso inferior al doble de su longitud de anclaje, debido a que cada extremo de la barra transmite al hormigón la mitad de la tensión soportada.

El fallo del anclaje se produce por lo general a causa de la rotura por tracción del hormigón que envuelve a la barra, sufriendo esa zona del mismo una rotura frágil, una especie de estallido, que puede mitigarse ductilizando la sección con el empleo de armadura transversal.

## FISURAS EN VIGAS



Las barras lisas se anclan conformando la armadura con forma de "L" en su parte final, método conocido como gancho o patilla. Cuando se emplean barras corrugadas su anclaje suele ser recto, pero también es empleado el anclaje en patilla, aunque puede producir problemas tensionales debido a la curvatura aplicada.

Debe analizarse tanto la posición de las barras en la sección como la forma de trabajo de la barra. Las normas establecen medidas para las armaduras en momentos positivos de centro de vano, como pueden ser las cuantías de armadura que deben prolongarse hasta extremos y apoyos de la estructura.

Es importante recalcar que el anclaje de cualquier tipo de barra se debe hacer siempre en las zonas comprimidas, y en caso de no ser posible, el estudio de ese detalle deberá ser analizado con cautela y la suficiente seguridad.

- **Solapo o Empalme:** Esta situación viene definida por el manejo y las longitudes comerciales de las armaduras, no superiores a 12 metros. Los procedimientos de empalme son tres:

Empalmes por solapo, en el que la tensión entre barras en tracción se transmite a través de un mecanismo de bielas a 45°, y en el caso de barras comprimidas, su ejecución es similar, pero su comportamiento es mucho más problemático, debido al apoyo de las puntas de las barras en el hormigón.

Es importante recalcar que el solapo de cualquier tipo de barra debe hacerse siempre en las zonas comprimidas, y en caso de no ser posible, el estudio de ese detalle deberá ser analizado con cautela y la suficiente seguridad. Se debe estudiar también la disposición de los solapos en la pieza.

Otros tipos de empalmes menos empleados son el empalme por soldadura, y los empalmes por manguito, incluyendo también en estos últimos los empalmes de barras comprimidas por simple contacto entre puntas.

- **Inestabilidad:** Se trata de problemas insuficientemente abordados en las normas, como pueden ser:

La inestabilidad de los pilares mediante el pandeo, debido a que las normas son conservadoras y no suelen ser frecuentes, en el que se estudia la influencia de la rigidez de la pieza en el pandeo, y de sus elementos colindantes, generalmente vigas, pero no con suficiente profundidad, encontrándose fuera de norma elementos como los forjados y las direcciones perpendiculares de los pilares a la dirección longitudinal.

En lo referente a las vigas se obvia el estudio de su inestabilidad en sentido transversal de las mismas, no obstante la geometría establecida en las normas se ha mostrado eficaz.

## I - II. ESTRUCTURA METÁLICA

En las estructuras metálicas del parque inmobiliario nacional se presentan las tres tipologías (hierro, fundición y acero) que fueron surgiendo según evolucionaban los materiales metálicos, y más concretamente en este caso, los productos férreos. Son aleaciones en las que el elemento químico predominante es el hierro.

- **Hierro:** El hierro puro es un metal blanco azulado, dúctil y maleable. Buen conductor de electricidad y calor. Forjable, soldable e imantable.

En contacto con el oxígeno de la atmósfera puede sufrir corrosión hasta su destrucción. Existe una norma UNE que nos proporciona una serie de definiciones del hierro, y se clasifican:

- Hierro dulce: Se divide en hierro elemento químico, hierro puro, hierro industrialmente puro y hierro electrolítico.
- Hierros industriales: Lingote de hierro o arrabio, hierro batido, hierro esponjoso o esponja de hierro y hierro pudelado.
- **Fundición:** La fundición es una aleación hierro-carbono, en pieza moldeada, que puede contener otros elementos y en la que el contenido de C es superior a 1,76 %, pudiendo variar ligeramente dependiendo de los elementos que intervengan en la aleación.

Existen tres tipos de fundiciones:

### I. Fundiciones originales (FO):

- Fundición Blanca: Presenta gran parte o todo su contenido de C en forma de cementita y perlita. No presenta grafito.
- Fundición Gris: Fundición q presenta gran parte o todo su contenido de C en forma de grafito laminar, debido a un enfriamiento más lento y al contenido de Silicio. Se pueden mejorar sus propiedades mediante tratamientos térmicos.
- Fundición Atruchada: Es la fundición cuya estructura es una mezcla de los constituyentes de la fundición blanca y de la gris. Presenta la superficie salpicada de manchas grises (escamas) y sus características son intermedias entre la blanca y la gris. Generalmente después de un proceso de afino, obtendré fundición blanca o gris.

### II. Fundiciones a partir de las fundiciones originales:

- Fundición Maleable: es la que se obtiene de una fundición blanca, mejorando sus propiedades, mediante un tratamiento térmico adecuado. Hay 2 tipos: fundición Maleable Europea o de Corazón Blanco y fundición Americana o de Corazón Negro.
- Fundición de Grafito Esferoidal o Dúctil: Es una fundición nodular similar a la fundición gris, con la diferencia de que se forman esferas de menor tamaño y más perfectas, debido a la adición de Ce (Cerio) y Mg en la colada. Mediante la adición de estos elementos se consigue q tenga un comportamiento y características similares a las de los aceros. Mejora sus propiedades con tratamientos térmicos.

– Fundición de Grafito Compacto: Es una mezcla entre las fundiciones nodulares y laminares (o entre esferoidales y grises).

– Fundición de grafito difuso: Aquí el grafito aparece en forma de pequeños nódulos o “puntitos”. Se obtiene por temple y revenido de la fundición blanca.

**III. Fundiciones especiales (FE):** Son fundiciones que presentan importantes cambios en sus propiedades debido a la gran cantidad de elementos en aleación, como son el Mn, P, S, Mb, Cu, Si, Ni y Cr.

– Fundiciones aleada de alta dureza y resistencia a la abrasión: Pueden obtenerse con la adición de Ni, Cr y Mn.

– Fundiciones especiales de alta resistencia a la Temperatura: Obtenidos con la adición de Si, Cr y Ni.

– Fundiciones especiales de alta resistencia a la corrosión: Obtenidos con la adición de Si, Cr y Ni.

Las fundiciones presentan las siguientes propiedades: alto contenido de carbono como componente de la aleación, se pueden moldear piezas por fusión, gran capacidad de amortiguar las vibraciones, resiste muy bien los efectos oxidantes del agua. Como características más importantes debe comentarse que poseen una gran resistencia al roce, una resistencia a tracción muy inferior a su resistencia a compresión, y que son inforjables, insoldables, muy duras y quebradizas.

La fragilidad de una fundición puede evitarse convirtiéndola en una fundición maleable, lo que se consigue descarburando las piezas.

Los defectos más comunes que puede presentar una fundición son los siguientes:

- Sopladuras o pajas: Son pequeñas oquedades en el interior de las piezas, producidas por las burbujas de los gases.

- Grietas: Estas aparecen debido a las tensiones producidas durante el enfriamiento.

- Manchas: Producidas por las impurezas.

- Vetas: Son manchas en forma alargada.

- Escamas: Son laminillas delgadas que se desprenden al golpear las piezas.

- **Acero**: Es un producto férreo generalmente apto para la conformación en caliente y en el que el porcentaje de C es inferior al 1,76 %. Según la composición química, podemos diferenciar entre aceros no aleados, aceros aleados y aceros inoxidable. Según la calidad, diferenciaremos entre aceros de calidad y aceros especiales.

– Aceros no aleados: Son aquellos en los que el contenido de los elementos de aleación es inferior a unos ciertos límites establecidos. Se diferencian los siguientes tipos:

– Aceros no aleados de calidad: Son aquellos a los que se les exige el cumplimiento de ciertas características específicas, como tenacidad, tamaño de grano y/o deformabilidad.

– Aceros no aleados especiales: Son aquellos aceros que por el control preciso de su composición química y sus condiciones particulares de elaboración, poseen propiedades mejoradas que permiten responder a requisitos estrictos.

- Aceros inoxidables: Son aceros aleados donde el elemento fundamental para conseguir que sean inoxidables es el Cr ( $\approx 8\%$ ), pudiendo tener presencia de Ni y Mb. Resisten la corrosión atmosférica, ácidos leves y la oxidación a  $t^a$  no muy elevada.

En cuanto al comportamiento en los procesos de fabricación, generalmente los aceros inoxidables se pueden soldar, mecanizar, estampar, laminar en frío, forjar..., si bien no es posible encontrar un acero inoxidable que admita todos estos procesos.

Resistencia a la corrosión: Este tipo de aceros forma una película de óxido que resiste a la corrosión atmosférica, pudiéndose perder con el tiempo. Para q esto no ocurra aumentamos el porcentaje hasta el 18%. Si además añadimos **Ni** (8%), resulta prácticamente inatacable por corrosión.

Sensitivación: Cuando a los aceros inoxidables al Cr-Ni se les somete a un aumento de  $t^a$ , el C se desplaza hacia la superficie del metal, combinándose con el Cr y formando carburos. Esta precipitación de los carburos se conoce como sensitivación, que provoca que los granos próximos a la superficie se queden sin Cr, corriendo el riesgo de ser atacados por agentes agresivos.

Clasificación de los aceros inoxidables:

– *Martensíticos*: Aleaciones d Cromo (13-17%), Níquel (hasta 2%) y Carbono (0,08-0,6%). Adquieren esta estructura martensítica cuando están perfectamente templados.

Son los únicos que admiten temple, son magnéticos y se sueldan bien. Resisten la corrosión de ácidos débiles y oxidación hasta 700 °C. Son los más empleados para la fabricación de piezas mecánicas.

Hay varios tipos: extra suave, de cuchillería, duros y al cromo-níquel.

– *Ferríticos*: Aleaciones d Cromo (11-18%) y Carbono (0,1% aprox.). Conservan su estructura ferrítica a cualquier  $t^a$ , debido a la presencia de Cr, por lo que no son sometidos a tratamientos térmicos.

Con carácter general son frágiles (aumentando exponencialmente su fragilidad en el intervalo 400-500°C), sin embargo en el intervalo 150-200°C aumentan su maleabilidad y permiten ser deformados. No es recomendable su soldadura por aumentar su fragilidad.

Presentan propiedades magnéticas. Su uso se basa en la resistencia a la corrosión, y suele emplearse en ciertos usos industriales, o para decoración.

– *Austeníticos*: Generalmente son aceros al Cr-Ni, con otros elementos de aleación. Son los más empleados (en torno al 50% de los aceros inoxidable son fabricados de este tipo).

La presencia de Ni favorece la resistencia a la corrosión y la oxidación, además de mejorar la ductilidad. No son magnéticos debido a su estructura austenítica. Conservan su estructura a tª ambiente gracias también a la presencia de Ni. No se pueden mejorar con tratamientos térmicos, pero pueden ser sometidos a un recocido a bajas temperaturas para eliminar tensiones.

- *Otros aceros aleados*: Se consideran como otros aceros aleados aquellos que no cumpliendo con la definición de aceros inoxidables, poseen un contenido de elementos de aleación superior a ciertos límites establecidos.

– *Aceros no aleados de calidad*: Son aquellos a los que se les exige el cumplimiento de ciertas características específicas, como tenacidad, tamaño de grano y/o deformabilidad.

– *Aceros no aleados especiales*: Son aquellos aceros que por el control preciso de su composición química y sus condiciones particulares de elaboración, poseen propiedades mejoradas que permiten responder a requisitos estrictos.

## PROCESOS PATOLÓGICOS

### CORROSIÓN

Estas estructuras de hierro, fundición y acero, se ven afectadas principalmente, por el efecto, ya definido, de la corrosión. En la construcción el principal agente corrosivo es el oxígeno, pero no directamente, sino a través de otros agentes, generalmente el agua, que catalizan y encauzan la reacción con los metales. Otros agentes que favorecen la corrosión son los ácidos, los álcalis, las sales, el ambiente, el clima, y los factores de diseño, construcción y sollicitación.

Esta reacción no se limita a la superficie sino que profundiza en la masa del metal disminuyendo sus propiedades mecánicas o de resistencia, por lo que es necesario tomar precauciones. Tipos de corrosión:

- *General, superficial o uniforme*: Ataca a toda la superficie en contacto con la atmósfera. Fácilmente detectable, es imposible su recuperación.

- *Intergranular o intercrystalina*: Se debe a la existencia de impurezas en el metal. Si estas tienen carácter electronegativo, se destruye la red cristalina originando una rápida desintegración del metal, sin que a simple vista se aprecie nada. No es frecuente.

- *Localizada o por picadura*: Se produce en determinadas partes de la pieza (puntos críticos), como zonas desprotegidas o zonas sometidas a una aireación diferencial. Es difícil de localizar, y por lo general avanza con rapidez hacia el interior del material, puesto que en las zonas afectadas la velocidad de corrosión suele ser alta, pudiendo producir la rotura de la pieza.



- Corrosión galvánica: Se produce cuando 2 o más metales están en contacto en presencia de un conductor electrolítico. Esta corrosión es más rápida cuanto más alejados están los metales en la serie electroquímica (la serie los ordena de mayor a menor conforme a la nobleza del metal). De los 2 metales se corroe el de índice más bajo.

- Corrosión microbiológica: Son los fenómenos de corrosión que tienen lugar en presencia de microorganismos, siendo los más habituales las bacterias, los hongos y las algas microscópicas.

- Corrosión bajo tensión: No es habitual en metales puros. Se produce cuando una aleación es sometida a una tensión mecánica de tracción, aplicada o residual, y está en contacto con un medio agresivo. Se caracteriza por la aparición de grietas o fisuras que avanzan en la dirección de aplicación de la tensión.

- Corrosión fatiga: La tensión aplicada es cíclica, y se caracteriza por la aparición de grietas que pueden originar la rotura del material en tiempos relativamente cortos. Se trata de una patología similar a la corrosión bajo tensión, pero no necesita de un medio agresivo, y las caras aplicadas son cíclicas.

#### DEFECTOS Y LESIONES DE LAS SOLDADURAS

Las causas principales de que aparezcan fallos o defectos en las uniones son la presencia de humedad, principalmente a través del mecanismo de fragilización por hidrógeno, la falta de limpieza en la ejecución, velocidad al soldar, tolerancias dimensionales, el tratamiento térmico y la distorsión.

A continuación exponemos las lesiones más frecuentes que suelen presentarse en los cordones de soldadura:

- Porosidad: Se conoce por este nombre a las bolsas de gas o vacíos que se encuentran en la zona de soldadura. Una excesiva cantidad de calor o una velocidad elevada en la ejecución del cordón puede amplificar este efecto, por el rápido enfriamiento de la soldadura, quedando los gases atrapados en su interior.

- Inclusiones de escoria: Óxidos y otros materiales que quedan atrapados en el metal fundido. Es por ello que se hace necesario, antes de empezar a soldar, dejar las superficies perfectamente limpias.

- Inclusiones de tungsteno: Pequeños restos del tungsteno empleado en la soldadura por arco, al sobrecalentar en la fusión, caen y quedan atrapados en el cordón, generando discontinuidades en la unión.

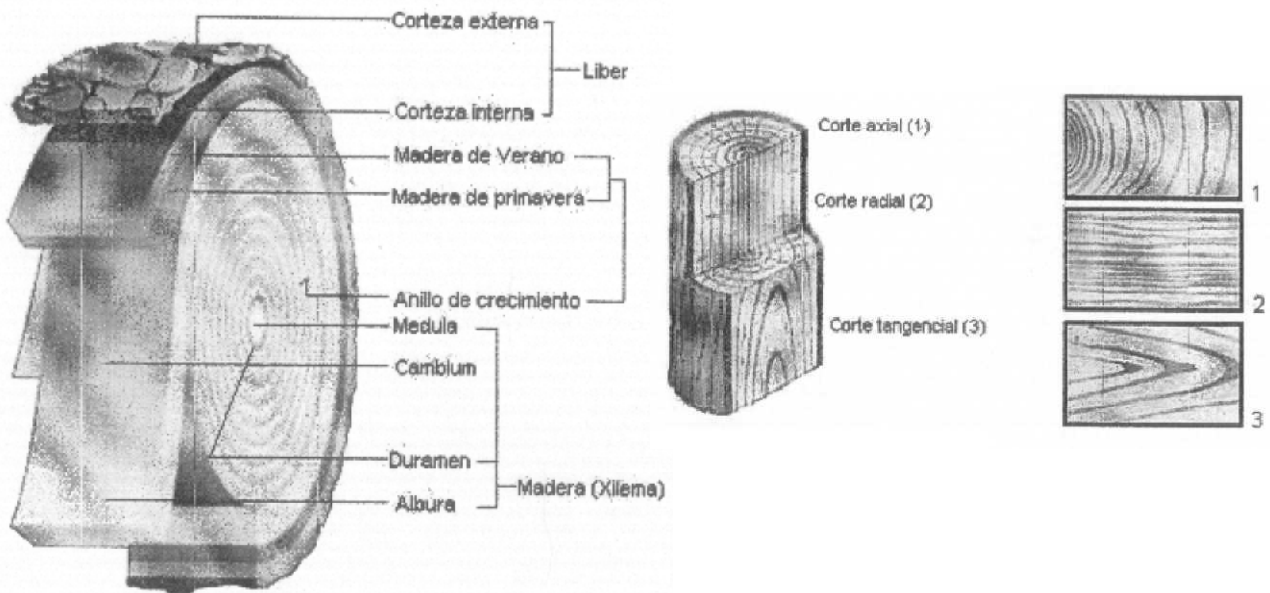
- Fusión incompleta: Cuando no se logra la correcta unión entre el material base y el material de aporte. Nuevamente se recomiendan superficies limpias y correcta ejecución.

- Penetración inadecuada: La fusión debe alcanzar la raíz de la unión, que es la zona en que las partes a soldar se aproximan más, en caso de no ser así se dice que no hay penetración, o que ésta es inadecuada.

- Golpes de arco: Pueden ser causa de una grieta, reducción del espesor del metal o formación de un rebajo o ranura. Se produce en aquellos puntos, localizados fuera de la zona de soldadura, donde el operario ha aplicado un arco accidentalmente.
- Rebajos: Ranuras que se forman por fusión en el metal base contiguo a la soldadura.
- Traslapo: Se generan por el empleo de un calor excesivo, por un avance demasiado lento del trabajador, por un ángulo inadecuado del electrodo, y por impericia del soldador. Consiste en que el metal depositado escurre sobre la orilla de un cordón, pero sin llegar a quedar unido al metal base en ese punto, su aspecto es el de una muesca.
- Grietas: Son separaciones estrechas en el metal sólido y revisten cierta gravedad. El agrietamiento en caliente depende de las características de la aleación, pero se recomienda precalentamiento de la pieza y temperatura constante. El agrietamiento en frío se produce en aceros poco dúctiles y en presencia de hidrógeno.
- Discrepancias dimensionales: La unión presenta unas dimensiones no coherentes entre las piezas de metal base y el cordón de soldadura.
- Exceso de soldadura: Existe un exceso de material de aporte, hecho que contribuye a la concentración de esfuerzos en el material adyacente, además de cierto perjuicio económico, debe evitarse en todos los casos.
- Falta de soldadura: Material de aporte escaso, y, en consecuencia, resulta una unión insuficiente mecánicamente, puesto que el cordón de soldadura no tiene la resistencia requerida.
- Desajuste: Falta de alineación entre las piezas.

### I - III. MADERA

Para un conocimiento adecuado de la madera como material estructural, para realizar una inspección, primero es necesario tener unas nociones de la composición de este material, y sus características principales.



Las maderas se distinguen en dos grupos principales según sean sus características más importantes, que son las *gimnospermas*, coníferas, y las *angiospermas*, frondosas.

Por otro lado pasamos a describir su estructura macroscópica, desde el exterior hacia el interior, los elementos constituyentes de una madera:

- corteza externa e interna constituyen el *líber o floema*, que es por donde circula la savia elaborada, envuelve al árbol y le proporciona protección ante agentes externos.
- el *cambium*, capa viva que hace crecer la madera, situada entre la corteza y la albura.
- *madera o xilema*, que es la zona interna del tronco que sirve de sostén al árbol, y para la conducción de la savia bruta. Se subdivide en: *anillos de crecimiento*, elementos anatómicos que aparecen al transcurrir las diferentes etapas de crecimiento en el grosor del árbol, cuanto más distanciados se encuentran estos anillos, más rápido es el crecimiento del árbol, y, en una misma especie, cuanto más espaciados están, menos densa y resistente es la madera; *albura*, madera joven y blanda, cuya función es conducir la savia y almacenar nutrientes, más porosa y blanda que el duramen, y con el tiempo se va transformando en duramen; *duramen*, núcleo muerto y central del árbol, presenta mayor resistencia mecánica y durabilidad cuanto más cerca se encuentre de la médula; en el centro del árbol encontramos el *corazón*, madera vieja, dura y agrietada, que rodea la *médula*, que es la parte central del tronco, formada por un tejido blando y poroso, de ella salen los radios leñosos; *radios leñosos*, son más blandos que el resto de la masa leñosa, consisten en unas bandas en dirección radial, que almacenan y distribuyen los nutrientes que aporta la savia elaborada.

Como propiedad reseñable se resalta su capacidad térmica, puesto que en lo referente a los movimientos debidos a la temperatura, la madera es uno de los materiales menos sensibles a este fenómeno. De hecho, las dilataciones por efecto del calor se combinan con una contracción por la pérdida de humedad que el incremento de la temperatura provoca.

Como característica propia de la madera se destaca la hendibilidad, que nos proporciona una idea de la facilidad con que puede romperse o hendirse una madera en la dirección de las fibras mediante esfuerzos de tracción transversal. Se trata de una propiedad muy interesante desde el punto de vista del despiece de la madera.

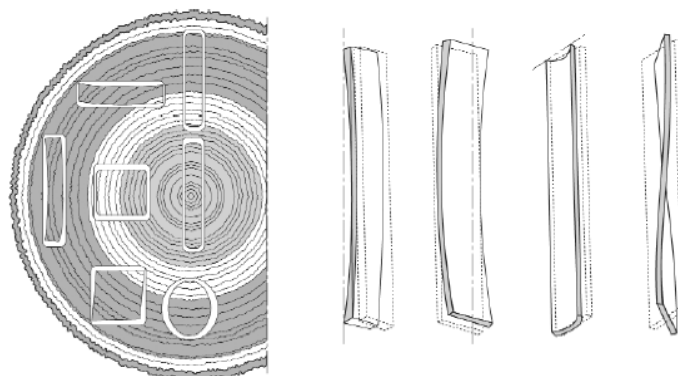
La madera presenta una alta relación resistencia – peso, tanto a compresión como a tracción, y una elasticidad notable, y su capacidad de soportar cargas notables es mayor en cortos períodos de tiempo, puesto que a tiempos más prolongados pueden aparecer deformaciones importantes. La resistencia aumenta con la densidad, dentro de una misma especie, y depende muy directamente de las características que presente cada madera: rectitud de las fibras, grado de lignificación y contenido de humedad. Sus mejores prestaciones suelen obtenerse en el sentido de las fibras, exceptuando los esfuerzos de corte.

### PROCESOS PATOLÓGICOS

#### - Agentes abióticos o fisicoquímicos:

Se trata de todos aquellos agentes que no son organismos vivos y que pueden causar lesiones o fallos en la madera de servicio.

Son consecuencia de fenómenos climáticos o meteorológicos, como la radiación solar, la humedad ambiental, la lluvia, el viento y las heladas, o de fenómenos más puramente químicos, como el contacto con productos o materiales agresivos que puedan deteriorar la estructura de la madera, deformabilidad (*motivada por la diferencia entre las hinchazones o las contracciones radiales o tangenciales*) y envejecimiento de la madera (*sucede por superposición de los siguientes mecanismos: alteración cromática por oxidación fotoquímica, primero amarillea y luego se vuelve gris; fotodegradación de la lignina, causa del característico peinado superficial; agrietamiento y rajado con aparición de fendas en la superficie de las piezas*), e incluso el fuego (*la combustión es mayor cuanto menor es su densidad y grado de humedad, la madera mantiene en pie un edificio mientras tenga sección, lo que suele dar tiempo a la evacuación y extinción en muchos casos, pero su reacción depende de: la especie, estado de conservación, relación superficie-volumen de la pieza, posición espacial*).

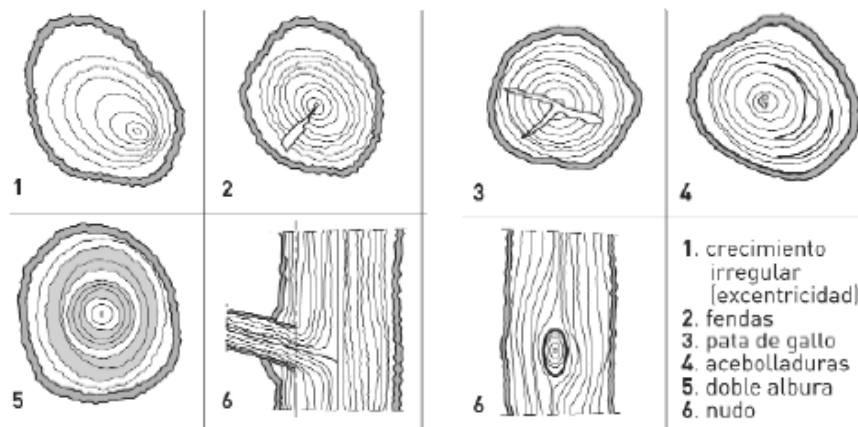


**- Agentes bióticos:**

Organismos vivos que degradan la madera al utilizarla como alimento, y por ello se denominan como xilófagos, no obstante, también hay algunos que sólo se sirven de ella como morada. Se habla de pudrición cuando el ataque es por hongos (*pérdida de la resistencia, sonido hueco, decoloración de la madera, olor a moho, y posible aparición de algún tipo de insecto*), y de infección cuando es por insectos (*agujeros en su superficie, túneles, presencia de larvas o pupas en el interior de las piezas, y ruidos de rascado producidos por las larvas al roer la madera*).

**- Factores de crecimiento:**

Para que una madera sea buena debe presentar las siguientes características: fibras rectas y uniformes, anillos anuales regulares, olor a fresca, una superficie sedosa al tacto cuando es cortada longitudinalmente, y ausencia de fendas, vacíos y manchas. Si nos encontramos una madera con atributos opuestos, puede tratarse de un defecto natural de la misma. Los defectos de crecimiento de la madera son alteraciones en la uniformidad que provoca el ambiente natural donde crece el árbol.

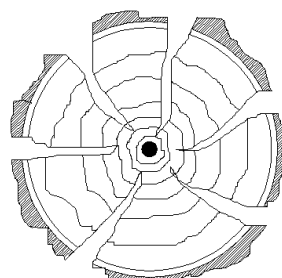


**ACEBOLLADURAS**

Aberturas curvilíneas entre anillos de crecimiento en la sección perpendicular del tronco.

**FENDAS**

Grietas longitudinales que se abren en la dirección de las fibras. De heladura, de desecación, de apeo, etc.

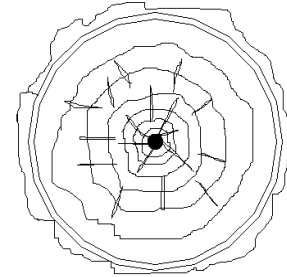


### ATRONADURAS

Fendas de helada en dirección radial que, si bien se abren hacia el exterior, pueden recubrirse con el crecimiento.

### AGALLAS O BOLSAS DE RESINA

Bolsas de resina que se sitúan entre la madera tardía y la temprana de dos anillos anuales sucesivos. Aparecen en forma de huecos al eliminarse la resina, provocando defectos mecánicos, discontinuidades, etc.

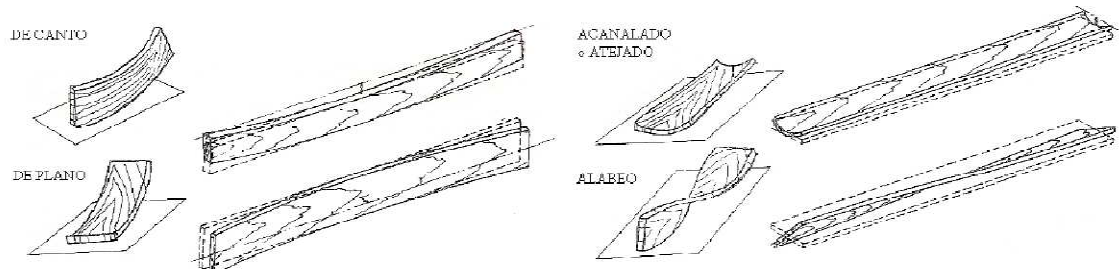


### CURVATURA DEL TRONCO

Defecto íntimamente ligado con la propiedad de la deformabilidad, que variará según la zona del tronco de la que se haya extraído la pieza, así como del grado de humedad. Su consecuencia es la falta de rectitud del fuste del árbol.

### IRREGULARIDADES EN EL CRECIMIENTO DEL CAMBIUM

La anchura de los anillos de crecimiento varía. Suele producirse cuando el árbol ha estado sometido a un esfuerzo predominante en un sentido. Tienen tendencia a la curvatura.



### CORAZÓN PARTIDO

Estrellado o abierto, consistente en grietas radiales que afectan al corazón y a la albura a causa de la desecación.

### ENTRECORTEZA O ENTRECASCO

Formada por la inclusión de corteza en el tronco del árbol al unírsele una rama durante el crecimiento.

### DOBLE ALBURA

Se trata de la capa de albura que aparece dentro del duramen tras un período de frío intenso que impidió su transformación en duramen.

### EXCENTRICIDAD DE CORAZÓN

Crecimiento radial no uniforme que provoca diferente anchura de los anillos anuales según los sectores del tronco de los árboles situados en pendientes o cerca de rocas.

## DEFECTOS PRODUCIDOS POR LA DISPOSICIÓN DE LAS FIBRAS

- Fibra diagonal: Defecto de labra que supone una dirección longitudinal de corte desviada de la fibra.

- Fibra entrelazada o torcida: Trenzado irregular de las fibras, que crecen en sentido helicoidal y comprometen el trabajo y la protección superficial de la pieza, pudiendo favorecer su alabeo.

## GRIETAS

Aberturas de distinto tipo: curvilíneas o acebolladuras, radiales o mermas, longitudinales, fendas o estrelladas. Aparecen por defectos de secado y cambios de humedad, o por congelación de los fluidos que contiene la albura. Reducen la durabilidad de la madera afectada.

## LUPIAS Y VERRUGAS

Protuberancias del tronco por reacción a las agresiones de virus, bacterias e insectos. Las primeras presentan forma de globo, y las verrugas son irregulares.

## MERMAS

Grietas que aparecen en sentido radial por causa de la desecación

## MADERA DE REACCIÓN

Diferencia sectorial y estructural provocada por el crecimiento heterogéneo del tronco, a causa de esfuerzos permanentes, como vientos dominantes y crecimiento en ladera.

## NUDOS

Es el defecto más frecuente. Son inclusiones de la base de una rama dentro del tronco, que se producen por el crecimiento en espesor del árbol envolviendo a la base de las ramas. Se manifiestan como una desviación de las fibras y los anillos de crecimiento a su alrededor, aunque sus tejidos pueden ser solidarios con los del tronco.

Pueden ser sanos o adherentes, cuanto las fibras de la rama tienen continuidad con la del árbol. O negros, cuando la rama está muerta, siendo saltadizo si el nudo queda suelto desprendiéndose al trabajar la madera, y podrido o vicioso cuando han sido atacados por algún agente externo, y se han podrido, por lo que favorecen la proliferación de hongos.

Generan deformaciones durante el secado, pérdida de resistencias y merma de la trabajabilidad.

## PATAS DE GALLO O CUADRANURAS

Consistentes en el conjunto de grietas radiales que parten del corazón o médula hacia la corteza.

## ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Una vez finalizado el análisis de las piezas de madera y sus principales defectos, estamos en disposición de realizar una inspección visual de una estructura de madera. En el caso de estructuras de madera será especialmente importante:

- Detectar y examinar las posibles fuentes de humedad y las vías para el ataque de organismos xilófagos (madera en contacto con el suelo, humedades, desconchones, etc.).

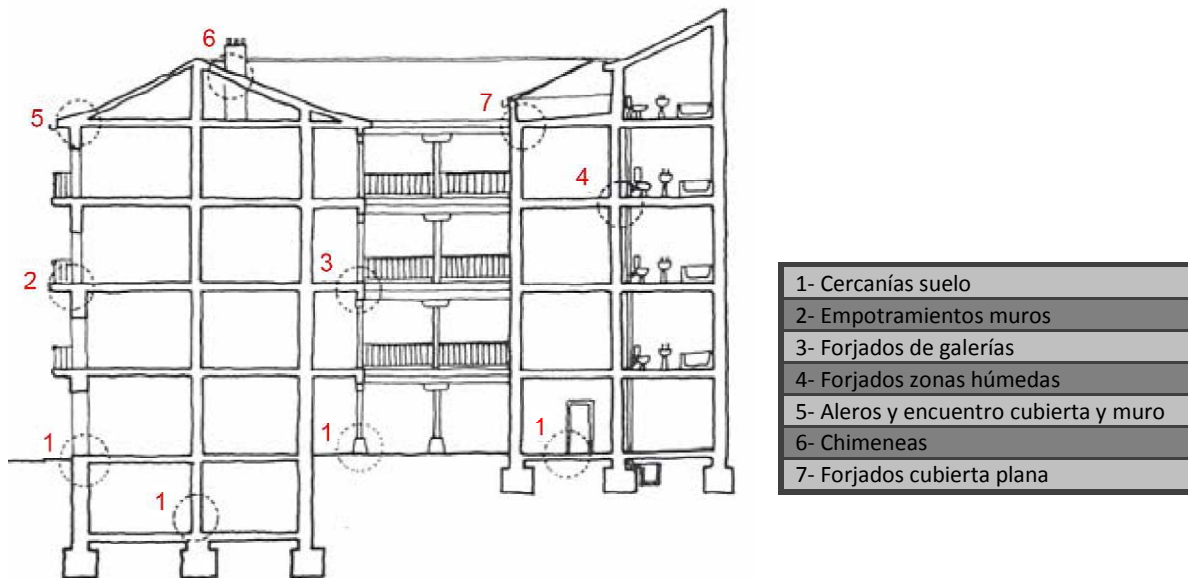


Figura 1

*“Intervención en Estructuras de Madera” - AITIM*

- Análisis visual de fachadas, patios y salientes, principalmente de zonas de vientos de dirección dominante.
- Cubiertas, aleros y bajantes (deformaciones y deterioros).
- Flechas excesivas en forjados y grietas en tabiques.
- Identificación de la especie y calidad de la madera de la estructura, inspeccionando los puntos críticos especialmente (piezas con albura, testas).

Para realizar estas evaluaciones visuales en las estructuras de madera, la inspección se puede y debe acompañarse de los métodos tradicionales de observación: punzón, formón, destornillador, taladro, martillo, linterna, endoscopio, prismáticos, espejos, etc.

De esta inspección visual se puede obtener una evaluación resistente de las piezas bastante aproximada, que se rige según lo que establece el Eurocódigo EN 14081-1 en la NORMA UNE 56.544:2003. A partir de la cual se evalúan las singularidades de cada madera:

- Estructura: nudos, bolsas de resina, fendas, desviaciones de las fibras, acebolladuras.



- Aserrado: médula, gemas, entrecasco.
- Biológicas: plantas, insectos y hongos.
- Deformaciones: Curvatura de cara, de canto, alabeo y abarquillado.

Y según las especificaciones de cada una se determina su calidad (ME1, ME2):

CRITERIOS DE CALIDAD		ME-1	ME-2
NUDOS DE CARA ( <i>h</i> )		$d \leq 1/5$ de " <i>h</i> "	$d \leq 1/2$ de " <i>h</i> "
NUDOS DE CANTO ( <i>b</i> )		$d \leq 1/2$ de " <i>b</i> " y $d \leq 30$ mm	$d \leq 2/3$ de " <i>b</i> "
FENDAS	De contracción	$f \leq 2/5$	$f \leq 3/5$
	- Acebolladuras - Rayo - Heladura - Abatimiento	No permitidas	
BOLSAS DE RESINA y ENTRECASCO		Se admiten si su longitud es menor que 80 mm	
MADERA DE COMPRESION		Admisible en 1/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
DESVIACION DE LA FIBRA		1:10 (10%)	1:6 (16,7%)
GEMAS - longitud - Anchura y espesor		$\leq 1/4$ de " <i>L</i> " $G \leq 1/4$	$\leq 1/3$ de " <i>L</i> " $G = 1/3$
ALTERACIONES BIOLÓGICAS - Muérdago (V. album) - Azulado - Pudrición - Galerías de insectos xilófagos		<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se admite</li> <li>- Se admite</li> <li>- No se admite</li> <li>- No se admiten</li> </ul>	
DEFORMACIONES MÁXIMAS - Curvatura de cara - Curvatura de canto - Alabeo - Atejado o abarquillado		10 mm (para una longitud de 2 m) 8 mm (para una longitud de 2 m) 1 mm (por cada 25 mm de " <i>h</i> ") $1/25$ de " <i>h</i> "	20 mm (para una longitud de 2 m) 12 mm (para una longitud de 2 m) 2 mm (por cada 25 mm de " <i>h</i> ") $1/25$ de " <i>h</i> "

Que se relaciona con las clases resistentes de la madera aserrada definidas en la norma UNE-EN 338 mediante la siguiente tabla de la NORMA UNE 56.544:2003:

Especie	ME1	ME2
P.silvestre	C27	C18
P.laricio	C30	C18
P.radiata	C24	C18
P.pinaster	C24	C18

CIFOR-INIA

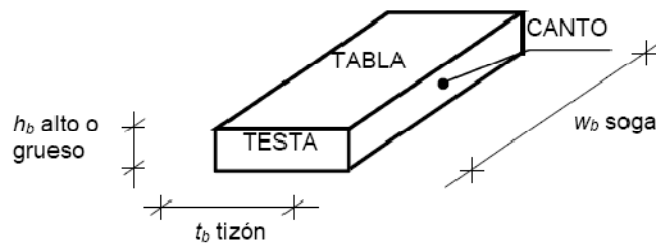
## I - IV. FÁBRICAS DE LADRILLO

El denominador común de todos los materiales cerámicos es su base de composición: la arcilla cocida. Pero esta base común no impide la generación de una variedad tal de fábricas cerámicas que su clasificación resulta muy dificultosa. Además de los ladrillos, los cerámicos incluyen también materiales de acabado (terracota, baldosa y azulejo), y de cubrición (teja), así como las bovedillas y las viguetas.

Los principios básicos de todos estos elementos son la combinación de fuego, tierra y agua. Las etapas de fabricación incluyen la selección y preparación de las arcillas, el moldeo de la pasta y su secado, y finalmente la cocción de la pieza.

La arcilla, componente principal de la cerámica, es un tipo de roa sedimentaria disgregada, terrosa y criptocristalina. Está formada fundamentalmente por silicatos de aluminio hidratados, que tiene la propiedad de aumentar su volumen y devenir plásticas al adquirir cierta cantidad de agua. Esta es la causa de que las deformaciones del material no desaparezcan aunque lo hagan las fuerzas que las provocaron.

Los constituyentes de los materiales cerámicos son el *esqueleto*, es decir, el material base, los *desengrasantes*, que disminuyen la plasticidad del material, los *fundentes*, bajan el punto de fusión, los *colorantes* y las *cubiertas* o *superficies de acabado*, como barnices, esmaltes y engobes.



Las obras de fábrica presentan una serie de peculiaridades que las diferencian de otras tipologías y que afectan directa o indirectamente al comportamiento mecánico de las mismas:

- La primera peculiaridad de estas estructuras, es la gran diversidad de tipos que cubre la obra de fábrica. Bajo el término *fábrica* se engloba una gran diversidad de materiales en estado y condición variable. Sólo dentro de las piezas la tipología es enorme (ladrillos macizos, perforados, huecos, etc.). El ligante, por su parte, está sujeto también a una cantidad muy considerable de tipos. Por último, la traba o aparejo presenta, como no podía ser de otra forma, diversas posibilidades.

- La fábrica es un material compuesto y su comportamiento está gobernado por las propiedades de los componentes y la relación entre estas propiedades. En particular, la distinta deformabilidad de las piezas y del mortero es una de las características más notables y propias de la fábrica.

Por otra parte, las condiciones en que se encuentran los componentes en la fábrica (en el compuesto) son muy distintas de las que se dan en los ensayos de los componentes por separado por lo que su comportamiento también será diferente. Por ejemplo, la resistencia a compresión de una pieza que se puede obtener en un ensayo no coincidirá necesariamente

con la tensión que experimentará esa misma pieza al fallar por aplastamiento en un muro, ya que los procesos y mecanismos de rotura que se dan en ambas situaciones son diferentes.

- No sólo es importante conocer el tipo de materiales y propiedades que conforman la obra de fábrica, sino también el estado en que se encuentran.

- Como indica la propia definición, la fábrica es un material anisótropo. La anisotropía intrínseca de las piezas, pero mucho más la existencia de juntas verticales (llagas) y de juntas horizontales (tendeles) condiciona el comportamiento mecánico de esta tipología, definiendo un comportamiento diferente en cada dirección. Será preciso conocer, por tanto, la dirección relativa de los esfuerzos actuantes con la dirección de las juntas.

- Por desgracia y, posiblemente debido a la caída en desuso de la fábrica como material portante para estructuras nuevas, actualmente existe un desconocimiento mayor de su comportamiento que del de otras tipologías.

- Señalar como característica común y general a la fábrica, **la práctica imposibilidad de desarrollar tensiones de tracción** y su carácter masivo que marca el comportamiento de estas estructuras. También se analiza el comportamiento de la fábrica como material compuesto, bajo esfuerzos predominantes de compresión y bajo esfuerzos de flexocompresión y corte. Se estudia, de igual manera, el comportamiento reológico de la fábrica.

Como todo material de construcción, los materiales cerámicos sufren alteraciones causados por una variedad extensa de factores. Los propios componentes de la fábrica, los métodos y deficiencias en la fabricación, y las alteraciones provocadas por factores físicos, químicos o biológicos originan patologías en las construcciones.

### *PROCESOS PATOLÓGICOS*

Muchas de las patologías o alteraciones que sufren las fábricas cerámicas coinciden con los que sufren las fábricas pétreas. Sin embargo el proceso de fabricación y el material base de los cerámicos es diferente, por lo que se pueden enumerar alteraciones específicas para este tipo de material constructivo.

En términos generales, y al igual que para la mayoría de los materiales empleados en la construcción, el principal agente agresor de los cerámicos es el agua, pero también lo son las sales solubles, los depósitos ambientales orgánicos e inorgánicos.

#### **- Características intrínsecas del material:**

La arcilla que se utiliza para producir piezas cerámicas es conveniente someterla a un tratamiento previo, ya que sirve para eliminar aquellas sustancias nocivas o impurezas que pudiera tener, o neutralizarlas. Estas impurezas pueden ser sustancias orgánicas, sales solubles o terrones y nódulos, así como presentar una dispersión desigual de humedades. Todas estas características del material sin trabajar pueden producir, después de la fabricación de la pieza y de la puesta en obra, lesiones o alteraciones con diverso grado de gravedad.

Un método sencillo de conseguir la eliminación de las impurezas de la arcilla es dejándola en reposo durante un año en condiciones de exterioridad. Así las impurezas orgánicas se pudren, la humedad es homogénea, se diluyen las sales solubles y los nódulos y terrones se disgregan.

## EFLORESCENCIAS

Durante el período de secado, estas sales pueden cristalizarse en la superficie, y si se humedecen, provocan la degradación del material debido a las fuerzas internas producidas por la cristalización. Si la arcilla no recibe sales de alguna fuente externa, las contenidas en la arcilla, en pequeñas cantidades, no son suficientes para causar daños a la pieza cerámica.



## CALICHES

Se conocen como caliches los nódulos de carbonato de calcio. Cuando el óxido de calcio absorbe agua proveniente de la humedad ambiental o del agua de lluvia, se transforma en hidróxido de calcio, que reacciona con el dióxido de carbono de la atmósfera, volviendo a formar carbonato de calcio. Este proceso se conoce como *ciclo de la cal*, y provoca un aumento de volumen que puede llegar a agrietar la pieza si estos nódulos tienen un tamaño considerable.

## MATERIA ORGÁNICA

Puede encontrarse después de la cocción, y provoca depósitos carbonosos, que aumentan la porosidad de la pieza.

### - Errores de fabricación:

Los métodos de fabricación de las piezas cerámicas son dos: manual con técnicas tradicionales e industrial en fábrica realizadas en serie. Los errores o deficiencias que se producen durante la fabricación, que pueden devenir en alteraciones posteriores de las piezas, se agrupan:

#### ETAPA DE MOLDEO

- Deformaciones: La deficiencia en la preparación y moldeo de la pasta produce deformaciones generalmente alabeadas y curvadas, especialmente con métodos manuales o artesanales. También se pueden deformar las piezas por presentar un bajo contenido de arena.
- Grietas y fisuras: Generadas por un amasado de la pasta no lo suficientemente homogéneo, que en el momento de la contracción que sufre la pieza por el aumento de la temperatura del horno puede fisurarse o agrietarse.
- Exfoliaciones y laminados: Son defectos producidos por el uso de arcillas con excesiva plasticidad. Un moldeo inadecuado es la causa de estos, que aparecen por la orientación de los planos superficiales como una estructura laminar hojosa. Estas anisotropías planares reaccionan ante la entrada de agua. El resultado suele producir el *decapado* de las piezas.
- Caliche: Ya definido en los fallos por características intrínsecas del material.

## ETAPA DE SECADO

- Fisuras y grietas: Un secado mal controlado puede generar temperaturas tan elevadas en la superficie del material, que el agua procedente del interior no llegue en cantidad suficiente. Si esto sucede se produce una contracción de la superficie, que se encuentra sometida a esfuerzos de tracción si el núcleo no experimenta contracciones similares, ocasionando fisuras y grietas.
- Deformaciones: Las piezas pueden tener un secado no uniforme, y esto puede generar deformaciones, como los alabeos. Si la masa es muy plástica puede llegar a la fisuración.
- Microtensiones: Si se presenta aire ocluido dentro de la pasta húmeda, el aire obstruye la conexión de la red de capilares y aísla dentro de la masa bolsas de agua. Si la cantidad de agua es excesiva el sistema poroso puede no ser suficiente, y si a esto se le añade el aumento de volumen producido durante el proceso de evaporación, puede dar como resultado microtensiones internas que llevan al deterioro de la pieza. También si para favorecer el secado se calienta la pieza, el aire ocluido se dilata más que la pasta, pudiendo provocar la ruptura posterior.

## ETAPA DE COCCIÓN

- Eflorescencias: Ya definido en los fallos por características intrínsecas del material.
- Materia orgánica: Ya definido en los fallos por características intrínsecas del material.
- Disminución de la resistencia mecánica: Para que la cocción del ladrillo sea efectiva debe alcanzar la temperatura de *vitrificación* o *sinterización*. Si no se alcanza, o no lo suficiente, se impide la obtención de la resistencia mecánica prevista, y de la resistencia a la penetración de agua deseada. Puede dar lugar a la *disgregación*.
- Microfisuraciones: Las altas temperaturas a las que se expone la arcilla durante la cocción generan un aumento de volumen, que en determinadas condiciones provoca la microfisuración de las arcillas con alto contenido de cuarzo, apareciendo éstas entorno a los granos de cuarzo, debilitando la pieza.
- Deformaciones: Si las arcillas son muy plásticas, las altas temperaturas en la cocción pueden generar que las piezas se deformen, e incluso lleguen a fisurarse.
- Corazón negro: Es el efecto producido por las condiciones reductoras que se dan en el interior del ladrillo. Cuando el oxígeno no puede penetrar en la masa de la pieza y permanece en la superficie, el interior del ladrillo queda, de este modo, de color negro.

### - Factores químico-ambientales:

Estas reacciones encuentran su origen en la contaminación atmosférica y la presencia de sales solubles.

#### CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

- Costras y depósitos: Acumulación de partículas sólidas de contaminación generadas por diversos procesos de combustión o por procesos industriales. Estas alteraciones evolucionan con el tiempo, espesándose y hasta desprendiéndose del sustrato, y su principal contaminante es el dióxido de azufre, que puede reaccionar en presencia de humedad con los ladrillos, formando depósitos de yeso en la superficie.

Las *costras negras* son depósitos de calcita, resultantes de la acumulación de las partículas en suspensión de los humos.

#### SALES SOLUBLES

- Eflorescencias: Ya definido en los fallos por características intrínsecas del material.

- Costras: Ya definido en la contaminación atmosférica como factor químico-ambiental.

- Exudaciones: Las eflorescencias son diferentes a las manchas de mortero, que se deben a una eliminación deficiente del sobrante de este material durante la ejecución. Es el caso de las exudaciones, que encuentran su origen en el lixiviado de la cal del mortero en el momento de su hidratación, para precipitar posteriormente en forma de carbonato cálcico.

### - Factores físico-ambientales:

- Humedad por capilaridad: Se produce cuando el material se encuentra en contacto con el suelo húmedo. Se relaciona directamente con el tamaño de los poros y su absorción. Este proceso se acentúa en el mortero, y es de estas juntas donde los ladrillos absorben el agua. Se aprecia en el exterior mediante la presencia de sales en la superficie.

- Aqua de lluvia: Sus principales efectos son: la presión del agua con la ayuda del viento, que genera erosión, aunque de escasa entidad; y el lavado de fachadas formando escorrentías, y se forman escorreduras si el lavado del agua es sucio, es decir, con partículas de suciedad.

- Heladas: Se da en situación de poros saturados de agua, cuya congelación provoca la expansión del agua, generando tensiones internas que afectan al material cerámico. La resistencia a este efecto depende en gran medida del tamaño de sus poros, siendo mayor a mayor tamaño de poro. Pueden producir *desconchados* y *desintegración* en la superficie.

- Expansión por humedad: Se produce al absorber la humedad ambiente, con el consecuente aumento de volumen, efecto que puede prolongarse mucho en el

tiempo. Estos cambios de volumen provocan movimientos que pueden causar fisuras o deformaciones.

- Efectos del terreno y de la cimentación: Los daños en las fábricas se producen por los asentamientos diferenciales en los terrenos y cimentaciones, que pueden ser por muy diversas causas. Estos asentamientos diferenciales son los descensos de un punto de la cimentación respecto al conjunto de ella, e imponen a la fábrica las deformaciones y formas de rotura que se citan a continuación: deslizamientos del terreno que se manifiestan mediante grietas y fisuras inclinadas que responden a una sollicitación de tracción; la presencia de árboles que absorben agua del terreno circundante a la cimentación, provocando asentamientos y cambios de plano en el apoyo de las cimentaciones, ocasionando fisuras inclinadas.

- Acción de la temperatura: Las oscilaciones térmicas contribuyen a la degradación de las piezas, especialmente las húmedas. Las bajas temperaturas producen la congelación del agua y su consiguiente aumento de volumen. Los ciclos hielo/deshielo pueden producir la fisuración de las piezas cerámicas.

Otro efecto de la temperatura son las dilataciones, que pueden generar desperfecto en las fábricas si no se han tenido en cuenta las variaciones dimensionales de las fábricas cerámicas cuando se las pone en obra. Se soluciona con juntas de dilatación.

#### - Factores biológicos:

- Bacterias: No son visibles como crecimientos superficiales, pero pueden causar la decoloración de las fachadas y el deterioro de los minerales y metales.

- Algas: Polvos o fragmentos de diversos colores, que ven favorecido su crecimiento y adherencia al soporte con la humedad. Forman pátinas que favorecen la colonización de otros organismos parasitarios. Su daño fundamental es estético, puesto que generan manchas.

- Hongos: Causan corrosión superficial del material. La alteración se manifiesta mediante manchas y erosiones.

- Líquenes: Se presentan como polvos o fragmentos orgánicos que originan costras de alta resistencia a la humedad y temperatura. Sufren de expansión con la humedad y contracción con el secado, procesos que favorecen la degradación de la resistencia mecánica de la fábrica.

- Musgos: Se muestran como almohadillas superficiales que pueden provocar alteraciones mecánicas según la penetración de sus raíces.

- Plantas superiores: Daños debido a la penetración de sus raíces, produciendo grietas, fisuras y desmoronamientos.

## I - V. FÁBRICAS DE ADOBE Y MUROS DE TAPIAL

### ADOBE

Se trata de un ladrillo hecho de barro, fabricado mediante un molde, de forma parecida a una escala de madera, en la que cada “peldaño” conforma el espacio de un adobe, más o menos como un ladrillo de unos 10 cm. de grueso. Inmediatamente relleno el molde, se levanta y se traslada a un nuevo lugar para fabricar otra serie, de forma que los adobes recién fabricados secan al aire por los cuatro costados.

Cuando los adobes secan del todo son despegados del suelo y utilizados como ladrillos, empleando como argamasa el mismo barro del que están hechos, de modo que todo el muro queda constituido de adobe. Antes que la pared seque del todo puede ser enlucida con barro, de forma que la pared quede totalmente lisa.

Al igual que en las tapias, la construcción de las fábricas de adobe se inicia con la ejecución de su cimentación, que deberá aislar la futura fábrica de la humedad del terreno y protegerla de las aguas de escorrentía, tanto de circulación como de salpiqueo. La cimentación suele emerger algunos centímetros por encima del umbral del terreno y está ejecutada normalmente con mampostería de piedra. Para la ejecución de la misma son necesarias unas labores previas de limpieza y desbroce del terreno, replanteo de los muros proyectados, excavación hasta terreno firme y aplicación de una capa de nivelación.



Una vez hemos terminado la construcción de este zócalo se procederá a la construcción de la fábrica. El material empleado fundamentalmente es la tierra, que se utiliza en forma de adobes y de mortero de barro. Se observan diferentes aparejos en la colocación de los adobes, siendo el espesor del muro siempre igual o superior a un pie, de modo que sea suficiente como para permitir a la fábrica realizar su función resistente. También pueden mezclarse el adobe con tabiquería de ladrillos sin mayores problemas.



En cuanto al mortero, su composición se basa en la propia tierra, con o sin aditivos, ligantes como la cal o agentes impermeabilizantes en forma de extractos vegetales: fibras de plantas o directamente estiércol. El mortero realiza principalmente tres funciones: recibir adobes y sellar las juntas que quedan entre ellos; hacer las veces de revoco para revestir el muro, lo que permite por un lado proteger los adobes de las inclemencias del tiempo (heladas, viento, lluvia, etc.) y por otro disimular las posibles irregularidades del muro, como cualquier revestimiento; finalmente, el mortero se emplea para rellenar la estrecha franja que queda en la coronación del muro al encontrarse con la cubierta.



El gran enemigo del adobe es la humedad, por ello tradicionalmente, la base de las paredes exteriores de los edificios de adobe se realizaban con sillares de piedra, hasta una altura aproximada de 40 cm., de modo que los muros de adobe quedaban aislados de la humedad que sube por capilaridad del suelo y de los charcos que se pueden formar en caso de lluvias intensas. La piedra se puede sustituir perfectamente, por un encofrado de hormigón, impermeabilizado en su parte superior con una capa continua de asfalto que sirva de barrera a la humedad.

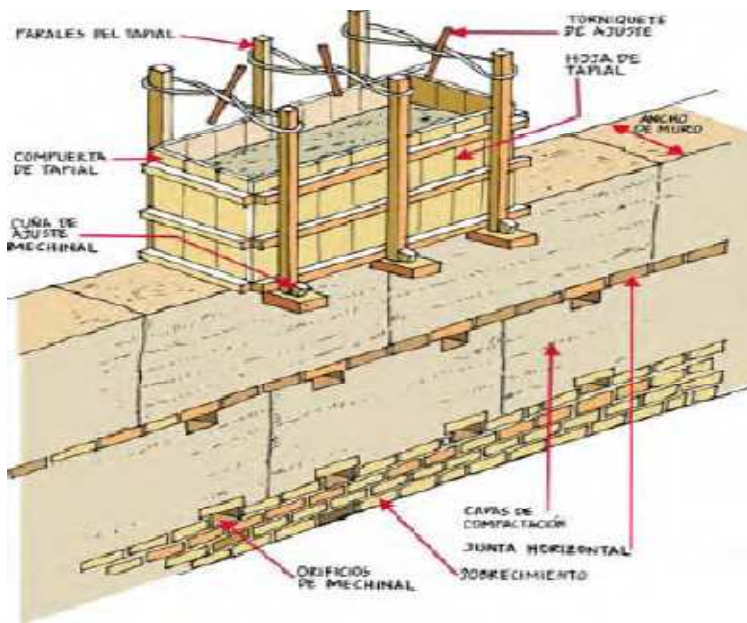
Para terminar con este breve repaso del uso del adobe, sólo resta añadir que, a pesar de su gran dispersión regional, aparece su empleo muy generalizado en la Península, predominando las variables típicamente mediterráneas, que favorecen el empleo de la tierra cruda en la construcción.

### TAPIAL

Es la construcción de muros monolíticos mediante la compactación de la tierra entre unos tabloncillos de madera. Se ha utilizado en construcciones de todo tipo y en todo el mundo. El término tapial se emplea habitualmente para definir tanto a la técnica de construcción utilizada como al elemento constructivo resultante. En un sentido estricto, debería emplearse únicamente para referirse al primer concepto, dado que el segundo sería una tapia propiamente dicha.

Las tapias pueden clasificarse en dos grandes grupos, el de los tapias monolíticas, en los que el muro funciona como un todo homogéneo y de igual resistencia, y el de los tapias mixtos, en los que ciertas zonas del muro son más resistentes que otras.

Dentro de la primera categoría encontramos multitud de variedades en función de la composición de la tierra empleada. Por lo que respecta al segundo, el de los tapias mixtos, aquellos en los que las cargas principales del edificio son asumidas por las partes más resistentes, observamos la presencia de otros materiales complementarios como el adobe, el ladrillo, la piedra o la madera.



El muro de tapial se fabrica superponiendo una especie de cajón desmontable de madera (encofrado u horma, en latín), y rellenándolo de una mezcla (tierra, barro o calicanto). Cuando la mezcla se ha solidificado suficientemente se retira el encofrado y queda sobre el muro una especie de sillar arcilloso que es la tapia.

El encofrado es una de las características básicas de una obra de tapia. A él debe, en buena medida, su forma. Se caracteriza por sus medidas basadas en las del hombre y por su manejabilidad, al mismo tiempo que permite levantar un edificio sin andamiaje.

Las tablas usadas en el encofrado deben ser de madera resinosa para que no se adhieran excesivamente a la mezcla muy apisonada que deben soportar. Los lados menores de encofrado quedan cerrados en el primer cajón con tablas en ambos extremos, en el resto utilizando el lateral del anterior como cierre, por lo que podrá incluso distinguirse cual de los dos ha sido construido primero. Al conjunto del encofrado se le puede llamar armaje, jarcia, molde, marco, cajón y tapial. Una vez montado el encofrado se vaciaba en su fondo la primera tongada de mortero o tierra y se extendía con un palustre. Después se apisonaba con ayuda de un pisón.

Para dar al encofrado la anchura necesaria se disponen unos travesaños que van de una a otra parte del muro, transversalmente, y reciben el nombre de riostras si son del hierro y agujas o cárceles si de madera.

Las agujas actúan como tirantes durante el proceso de compactación de la tierra, disponiéndose así con la intención de evitar, sobre todo, el desplazamiento de las puertas del tapial durante su construcción. Las agujas superiores de los cajones del tapial inferior sirven de soporte a los encofrados del tapial superpuesto, por lo que se dejan en su sitio hasta que cumplen esta función, y después suelen ser inmediatamente retiradas, junto con el resto del encofrado, para facilitar precisamente este proceso de secado. Únicamente en muros de gran espesor quedan sin retirar de la fábrica, pero no tienen el objetivo de mejorar la resistencia de la misma.

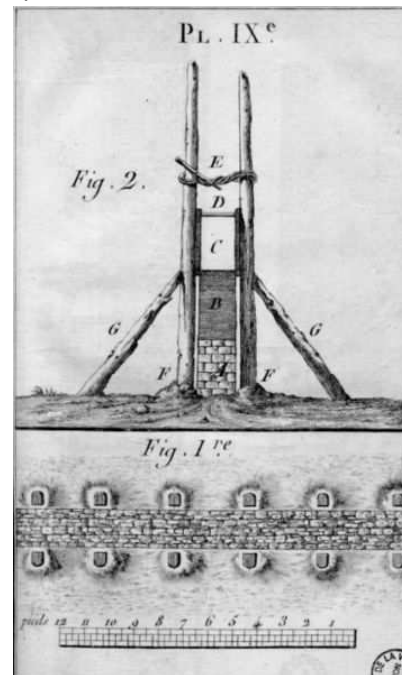
En la antigüedad y hasta bien entrado el siglo XI se usaron agujas o cárceles y, una vez desmontado el encofrado, se dejaban empotradas en el muro, aunque antes de dar el revoque final se aserraban a ras del muro. Con el tiempo esta madera se reseca y desaparece y el muro queda respunteado regularmente por una serie de mechinales que testifican, en hileras sucesivas, el número y la anchura de los tapiales aplicados.

También se utilizan cuerdas de esparto para dar rigidez y evitar que el cajón se abra al verter el material. Las cuerdas pueden atravesar todo el ancho del cajón y atarse de costal a costal. De no usar cuerdas se debe sujetar las agujas a los costales, o las tablas, con cuñas o clavos. Es en la sujeción de los cajones y disposición de las agujas donde encontramos un mayor número de soluciones y variantes constructivas.

El remate de muro o albardilla solía hacerse de forma de plano inclinado para protegerlo de la erosión de lluvia. A veces una fila de ladrillos o una simple cubierta de escaña sujeta con piedras cumplía esta función protectora.

Por otra parte, la tierra empleada en la construcción de tapias nunca es amasada —es decir, mezclada con agua— sino que se emplea prácticamente sin seleccionar o tratar y, efectivamente, es apisonada y compactada mediante el empleo de un encofrado de madera y de un pisón, que puede ser de piedra, madera o hierro.

Las tierras del tapial deben ser arcillosas, grasas y húmedas. La prueba tradicional de la idoneidad de la tierra consistía en comprimirla entre las manos haciendo con ella una pella. Si la pella adquiría consistencia y no se desmoronaba al rodar, la tierra era buena. La consistencia se aumentaba artificialmente mediante la adición de paja bien trillada.



## PROCESOS PATOLÓGICOS

En los procesos patológicos del adobe y del tapial existen unas lesiones debidas a diversos factores, como pueden ser la edad de los materiales entre otras. Estas lesiones deben ser reparadas con sus debidas actuaciones.

### FALTA DE ADHERENCIA EN EL REVESTIMIENTO

Cuando los recubrimientos que se les da a los muros pierden adherencia presentan desmoronamiento, teniendo consecuencias como deteriorarse por factores climáticos o disminuir la cohesión entre partículas en el muro induciendo perdidas en la capacidad portante y disminución de la vida útil de las edificaciones. La falta de adherencia puede ser por los diferentes coeficientes de dilatación y contracción de los distintos materiales.



### PATOLOGIAS QUÍMICAS. SALES SOLUBLES E HIGROSCÓPICAS

Un problema añadido de la escorrentía superficial del agua es que arrastra sales solubles desde otros materiales o desde el subsuelo. Las transporta por capilaridad desde el interior del material hasta la superficie del mismo, al entrar en contacto con el aire se evapora y se forman eflorescencias de cristales llamadas "salitre".

El problema es cuando la eflorescencia aumenta de tamaño y peso, y por efecto de la gravedad se desprenden llevándose consigo trozos de muro.

### INCORRECTA ELECCIÓN DE LA TIERRA

Cuando se construye con ladrillos de adobe y tierra para tapiales es muy importante saber elegir bien el tipo de tierra ya que así hablaremos de una construcción perecedera o una construcción perdurable.

Cuando la tierra utilizada es demasiado arenosa, a pesar de que tenga gran estabilidad ante los cambios de temperatura, la falta de arcilla la hará frágil y es mucho más rápida su erosión. Si la tierra es arcillosa tiene una alta cohesión, pero si se da humedad y secado continuo, sufre cambios volumétricos generando fuertes agrietamientos.

### EJECUCIÓN INCORRECTA:

- Ausencia de cimentación: Las patologías causadas por ausencia de cimentación pueden ser, un asiento diferencial, que debilita los muros principales y disminuyen la capacidad de la estructura, también se puede dar por la acumulación de humedad.



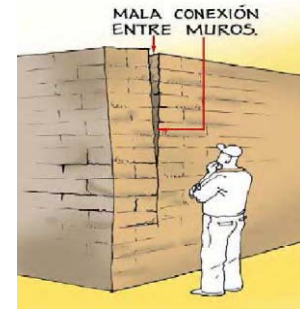
- Irregularidades en planta: Generalmente si una construcción en adobe presenta irregularidades geométricas tanto en planta como en altura, presentan efectos de torsión y sobre esfuerzos sobre los elementos estructurales y no estructurales, estos efectos de torsión producen fisuración y desplazamientos notables que pueden llegar al colapso.

- Distribución de los muros en planta: Si los cargueros están en una sola dirección son susceptibles a presentar colapso. También se puede dar cuando hay muros muy largos construidos sin contrafuertes.

- Colocación de las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias: Las hidrosanitarias pueden producir filtraciones de agua, lo cual genera erosión y pérdida de unión entre los diferentes materiales que componen el muro.

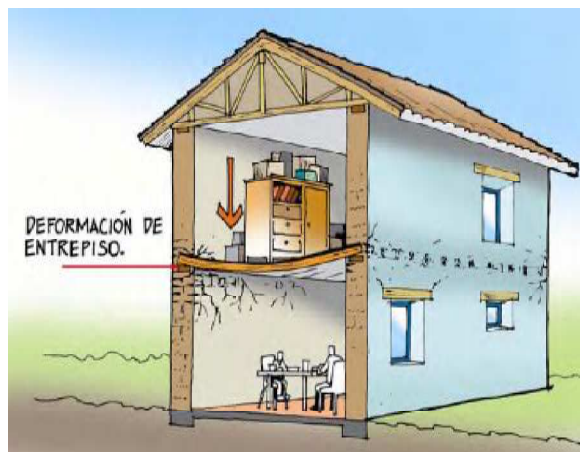
Las aberturas realizadas en los muros para la instalación de las tuberías se reparan con materiales compatibles con la tierra, por lo cual genera agrietamientos y desprendimientos del material. Estas aberturas generan también zonas de debilidad y planos que favorecen la inestabilidad de los muros y las cubiertas.

- Conexión entre muros: Si no están bien trabados los muros o en las conexiones de los muros de tapia disminuye la restricción lateral se produce una alta inestabilidad de los elementos verticales.



- Entrepisos y ausencia de diafragmas: Si un entrepiso no cumple la función de comportarse como un diafragma rígido hace que la distribución de las cargas laterales produzca un desprendimiento y agrietamiento del muro.

- Apoyo y anclaje de los elementos de entrepiso y cubiertas sobre muros: Cuando falta una longitud adecuada de apoyo de los elementos principales facilita que se presente la pérdida del apoyo con el consecuente colapso de la estructura.



- Entrepisos muy flexibles o luces muy largas: Cuando son sistemas de entrepisos muy flexibles o luces muy largas, se presentan deflexiones verticales las cuales pueden generar daños en los elementos no estructurales. A causa de esto puede inducir al colapso parcial o total.

- Estructuración de la cubierta: Cuando se presenta una cubierta con pocos elementos o configuraciones inestables se presentan deflexiones y sobreesfuerzos en los elementos que las componen.

## FALTA DE CORRECTO MANTENIMIENTO

Otro proceso causante es la falta de mantenimiento. Se puede apreciar la fragilidad del material ante la acción de los componentes medioambientales.

Si se tuvieran en consideración tendríamos que repasar y revisar periódicamente las fugas hidrosanitarias, la limpieza para evitar la acumulación de polvo, el desazolve de los colectores, y los muros para el aseo e impermeabilización de las cubiertas.

### AGENTES CLIMATOLOGICOS

- Humedad: Provocando en el interior del material el cíclico aumento y disminución de sus dimensiones como resultado de su interacción con la arcilla, que se acabará por agrietar y disgregar las estructuras. Esta humedad suele ser debida a la capilaridad de los muros.



- Nieve y hielo: Presentándose en los inviernos, el problema del agua solidificada se deriva de, mientras se funde durante el día penetra lentamente en los componentes de la tierra, y por la noche se vuelve a congelar y se expande dentro de los poros de los muros y cubiertas con los consecuentes empujes internos entre partículas.

- Lluvia o granizo: Cuando escurre por las superficies de las construcciones la fricción que provoca aunada a la perdida de dureza del material húmedo, acaban por erosionarlo gravemente.

- Sismos: Si no están bien hechas las trabas y no están puestas las conexiones adecuadas, también si en cubierta las conexiones no son suficientes y no tiene cimentación es muy posible que si se produce un sismo se produzcan figuraciones y agrietamientos, inclusive llegar al colapso.

- Agua: Uno de los problemas que produce el agua es la erosión basal, llevándose la parte baja del muro y debilitándolo.



## PATOLOGIAS FISICAS

- Pérdida de verticalidad (o plomo) de los muros: Al tener falta de verticalidad de los muros, se generan sollicitaciones en los elementos estructurales y un mal comportamiento, también es debido a la falta de plomo en los muros por la acción de fuerzas de inercia inducidas por el viento.



- Defloculación: Cuando se realiza mal una defloculación, es decir, la adición de electrolitos en la tierra (arcilla) en forma de barbotina para reducir la cantidad de agua, normalmente la compactación será suelta ya que no tendrá la consistencia necesaria.

- Granulometría: En la elección de la tierra tendremos que tener en cuenta que tenga buena granulometría y si no es así deberemos compensarla.

- Fibras: Estas pueden ser vegetales o animales y si no existieran no tendríamos buena trabazón.

- Armaduras: También pueden ser vegetales o sintéticas siendo una de las partes más importantes ya que una de las patologías sería el derrumbamiento parcial o total.

## BIOPATOLOGIAS

- Vegetación: Patología bastante extendida ya que al estar compuesto por tierra la vegetación irrumpe en ella, causando agrietamientos la mayoría de las veces.

- Aves: Estos animales utilizan los muros para hacer sus nidos causando así la pérdida de resistencia del propio muro.

- Roedores: Del mismo modo que las aves los roedores hacen pequeños agujeros en los muros, debilitándolos así hasta su posible colapso.

## I - VI. PIEDRA

Se trata de un material muy poco homogéneo, puesto que presentan discontinuidades y desigualdades a diferentes escalas. Es un material de difícil y cara obtención, sin embargo, durante siglos fue el más empleado en las obras de especial importancia, destinadas a perdurar en el tiempo. Esto se debe a que presenta gran resistencia y una durabilidad muy superior al resto de los materiales empleados en la construcción sin considerar su mantenimiento.

La función de los materiales rocosos en las obras de construcción es múltiple. Normalmente depende de su localización en el edificio y de tipo de piedra. Se pueden disponer como sillares, como parte de juntas y rellenos, como mampostería, como revocos y tratamientos superficiales y como ornamentación.

Los distintos tipos de rocas resultan de los diferentes procesos de generación, endógenos y exógenos, y se clasifican en tres grandes grupos:

- *rocas ígneas*: formadas por el enfriamiento y consolidación de magmas existentes en el interior de la tierra, a una presión y temperaturas muy elevadas, como por ejemplo el basalto y el granito.
- *rocas sedimentarias*: Se han formado en la superficie de la tierra como resultado de un largo proceso de sedimentación y consolidación mediante un conjunto de cambios físicos y químicos. Areniscas, calizas y dolomías.
- *rocas metamórficas*: Generadas cuando las rocas ígneas y sedimentarias se exponen a ambientes de temperatura y/o presión muy elevados, provocando cambios en las características de las rocas originales. Dos ejemplos de esta tipología son los mármoles y las pizarras.

Dentro de esta clasificación se encuentran las tres rocas más empleadas en la construcción:

- Granito (*ígneas*): Roca compuesta esencialmente por cuarzo, feldespatos y micas, con textura hipidiomórfica y heterogranular. Su porosidad se debe fundamentalmente a microfisuras de tipo intergranular, y consta también de microporos.

El granito se utiliza ampliamente en la construcción gracias a su tenacidad y resistencia a la erosión, comparado con otros tipos de roca. Tradicionalmente, era llamada piedra berroqueña y el trabajo con ella era considerado el más penoso de todos.

Actualmente, ya no se utiliza como elemento estructural pero sí con fines decorativos que aprovechan sus dibujos característicos. Para ello, suele usarse cortado en placas de algunos centímetros de espesor, las cuales se pulen y se utilizan como revestimiento.

El granito ha sido usado extensamente como recubrimiento en edificios públicos y monumentos, así como en la confección de piezas de sillería para construcciones. Al incrementarse la lluvia ácida en los países desarrollados, el granito reemplaza al mármol como material de monumentos, ya que es mucho más duradero. El granito pulido es muy popular en topes de cocinas debido a su alta durabilidad y cualidades estéticas.

- Arenisca (sedimentaria): La arenisca es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Se forma por la deposición (de viento y agua) de granos de arena que se juntan (cemento) a través del tiempo. Se reconocen fácilmente, porque su aspecto es el de una arena de playa cuyos granos están cementados. Su tacto es áspero y recuerda al de la lija. Su color es muy variable en función de la naturaleza de los granos, del cemento y del ambiente sedimentario donde se originaron.

Los granos son gruesos, finos o medianos, bien redondeados; de textura detrítica o plástica. El cuarzo es el mineral que forma la arenisca cuarzosa, pero las areniscas pueden estar constituidas totalmente de yeso o de coral. La arcosa es una variedad de arenisca en la que el feldespato es el mineral dominante además del cuarzo.

Las areniscas figuran entre las rocas consolidadas más porosas. El color varía de blanco, en el caso de las areniscas constituidas virtualmente por cuarzo puro, a casi negro, en el caso de las areniscas ferro-magnéticas.

Las areniscas de buena calidad son duraderas. La roca tiene una buena resistencia al fuego y, a este respecto, es superior a la mayor parte de las rocas empleadas para la edificación. Las areniscas carbonatadas se han explotado desde tiempos ancestrales para la construcción de las edificaciones históricas (castillos, iglesias, catedrales, puentes, etc.) y se han aprovechado también como roca ornamental.

- Caliza (sedimentaria): La roca caliza es una roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio. Este tipo de rocas puede presentar un aspecto muy variable, pero todas ellas se caracterizan por ser rocas de aspecto pétreo (duro), efervescer fuertemente con ácido clorhídrico en frío y presentar fracturas más o menos concoides. Así mismo es común que tengan fósiles, aunque éstos no sean visibles a simple vista (microfósiles).

La mayor parte de calizas proceden de la intervención de organismos que toman de las aguas los elementos para formar sus conchas y caparazones (corales, algas, foraminíferos, etc.). Al morir, se produce una acumulación de estas partes que se unen por un cemento calcáreo, generado a la vez que la sedimentación o por procesos diagenéticos.

En ella se forman capas que nos permiten determinar la "edad" de la roca. Sin embargo la acción de la lluvia y los ríos genera la disolución de la caliza, creando un tipo de meteorización característica llamada Kárstica.

Actualmente se emplea como un componente importante del cemento usado en las construcciones modernas, también en morteros de cal y estucos. Es utilizada en construcción como áridos para soleras y hormigones, para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras entre otras estructuras de estabilización y protección.



## PROCESOS PATOLÓGICOS

Como cualquier otro material, aunque debido a su durabilidad en menor medida, las piedras sufren alteraciones y daños con el paso del tiempo. Si las alteraciones o daños son muy graves, y no se detecta y sana a tiempo, las rocas pueden perder sus funciones de resistencia mecánica. A continuación se detallan las patologías que podemos encontrar en los materiales pétreos:

### PÁTINAS

Son películas o capas delgadas que recubren las piedras a nivel superficial. Constituyen una alteración y modificación superficial de los materiales pétreos, pero no implican que exista un proceso de deterioro del material. Se manifiestan en general como cambios de coloración de la superficie de las rocas, y se pueden distinguir los siguientes grupos:

- De envejecimiento: Piedras con tonalidad típica o aspecto externo, que adquiere cualquiera que sea con el paso del tiempo y con los efectos de su exposición al medio ambiente.
- De decoloración: Implican la pérdida de color de la piedra, decoloración natural o artificial que pueden sufrir los materiales pétreos. Puede ser consecuencia del continuo lavado de los materiales rocosos. Suele ocasionar pérdida más o menos importante de material en superficie.
- Cromáticas: Capa de color artificial o natural que presentan algunas piedras en las construcciones.
- Bióticas: Películas de carácter orgánico y tonalidades muy variables, están compuestas de organismos vivos como líquenes, algas o musgos.
- De tinción: Cambios cromáticos superficiales generados por sustancias como el orín, el verdín, etc.
- De suciedad o negras: Se produce un ensuciamiento de las superficies rocosas.

### EFLORESCENCIAS

De color blanquecino, se forman en la superficie de las piedras con poros, y son generadas por el fenómeno de la evaporación del agua contenida en el interior del material, puesto que si esta contiene sales solubles, en su camino hacia la superficie del material, al llegar al exterior el contenido de agua se evapora y quedan depositadas adiciones cristalinas de sales solubles en la parte externa del material pétreo.

En general, las sales y eflorescencias que se generan suelen variar periódicamente de volumen, pudiendo ser causa de importantes alteraciones, como picaduras y disgregaciones.

### DEPÓSITOS SUPERFICIALES

Acumulación a través del tiempo de materiales de diversos orígenes sobre las superficies pétreas, aunque no presentan gran adherencia. Estos depósitos puede formarlos el polvo, el hollín, los excrementos de aves, el humo o cualquier tipo de organismo biológico.

## ALVEOLIZACIÓN

Alvéolos o cavidades, con formas aproximadamente globulares, en la superficie de las rocas. En su interior pueden alojar material pétreo disgregado, eflorescencias o microorganismos, y se generan por causas físico – químicas.

Se conoce también como *erosión alveolar*, *tafonización* o *meteorización en panal*.

## ESCAMAS

Películas o láminas superficiales muy finas y fácilmente eliminables. Este proceso de desprendimiento de la superficie pétreo se conoce como descamación. Si no son eliminadas, con el tiempo las escamas pueden devenir en costras.

## COSTRAS

Láminas o cortezas compactas de material que se forman en la parte externa de las piedras, y se generan por la influencia de aportes exógenos. Su naturaleza física y química es sustancialmente diferente, e independiente, de la matriz rocosa.

Son elementos relativamente sencillos de identificar: se ubican en el estrato superficial, a menudo con forma de caparazón o incrustaciones; son de resistencia superior al material rocoso alterado, y más oscuras, negras o grises, debido a la contaminación. Se distinguen:

- Negras: Partículas sólidas de contaminación producidas por procesos de combustión. Con el tiempo evolucionan, espesándose y llegando a desprenderse de la matriz.
- Bióticas: Son de origen biológico, por la acción de diferentes organismos, como líquenes, algas y musgos, que desarrollan o acentúan distintas alteraciones.

Especialmente preocupante es la acción de los líquenes endolíticos, que pueden generar graves lesiones en el interior de la roca, sin manifestarse al exterior.

## AMPOLLAS

Costras y escamas abombadas y ahuecadas, que pueden eclosionar y despegarse de la superficie rocosa. Si la rotura es reciente presentan un color blanco intenso.

## DESCAMACIONES Y DESPLACACIONES

La descamación es el levantamiento y separación de las escamas formadas en la superficie de las piedras. Si este fenómeno tiene lugar a mayor escala, desprendiéndose pedazos considerables de roca, se conoce como desplacación, y se produce de forma paralela a los planos estructurales o de debilidad mecánica del material.

## DISGREGACIÓN O DESAGREGACIÓN

Desprendimiento de material pétreo cuando la roca pierde parte de su cohesión. Se produce bajo esfuerzos mínimos. Siempre que existen procesos de disgregación, el grado de alteración del material es muy elevado. Según el tamaño de los desprendimientos se distinguen: *disgregación granular* o *arenización*, y *disgregación pulverulenta* o *pulverización*.

### PICADURAS

Pequeños orificios formados en la superficie de las piedras, y que encuentran su origen en los procesos de erosión. Suelen formarse a partir de secciones del material más alterables que el resto, y en materiales calcáreos también por disolución kárstica.

### ACANALADURAS

Cavidades o excavaciones que ofrecen un aspecto acanalado de la superficie de la roca, y que se beneficia para aparecer de las heterogeneidades de la matriz rocosa.

### ESTRIADURA

Acanaladuras largas y delgadas con forma de estrías. Si presentan aspecto de pistas de gusanos, finas y sinuosas, se conocen como *vermiculaduras*.

### FISURAS

Discontinuidades de los planos estructurales que componen la matriz rocosa, son hendiduras o fracturas de dimensiones variables. Su rango abarca desde las *microfisuras* hasta las *grietas*. La gravedad de cada fisura dependerá de sus características, localización, entorno, función estructural, etc.

Pueden ser inherentes a la roca, pelos, generadas por esfuerzos mecánicos, por mala planificación o ejecución de la obra, por corrosión de elementos metálicos en contacto con la piedra o por ciclos hidrotérmicos.

### EROSIÓN

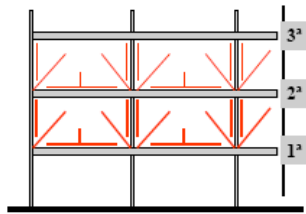
Abrasión o desgaste que comporta una pérdida de volumen de la matriz y la desaparición de las formas originales que presentaban las rocas. Los principales agentes activos de este proceso patológico es el viento en combinación con el agua, agravado lentamente con el paso del tiempo.

**II.- CASOS PARTICULARES – Fisuras en elementos singulares**

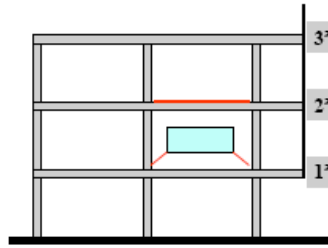
Por último se muestran una serie de fisuras que pueden producirse en elementos conformados de hormigón, hormigón armado, tapial, fábrica de adobe, fábrica de ladrillo o de piedra, según corresponda:

**- FISURAS EN TABIQUERÍA Y MUROS:**

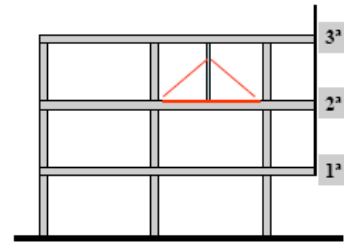
**FISURAS POR DEFORMACIÓN EN TABIQUERÍAS Y CERRAMIENTOS**



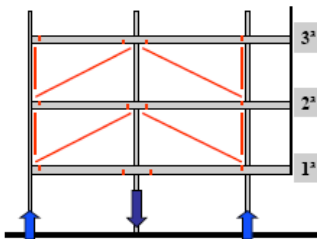
**FISURAS POR DEFORMACIÓN**



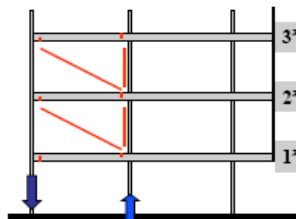
**FISURAS POR DEFORMACIÓN**



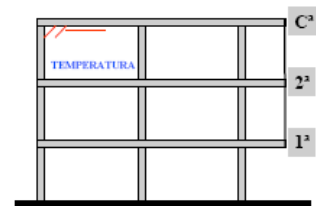
**FISURAS POR ASIENTO**



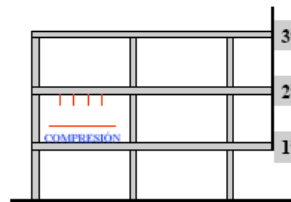
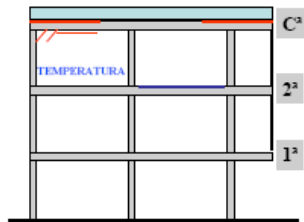
**FISURAS POR ASIENTO**



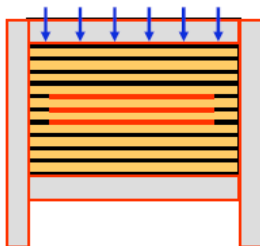
**FISURAS POR TEMPERATURA**



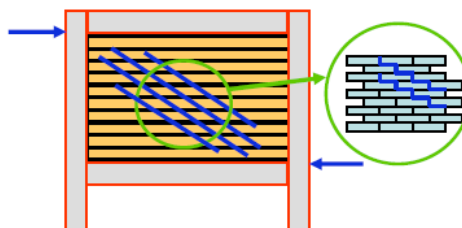
**FISURAS POR TEMPERATURA FISURAS POR COMPRESIÓN EN TABIQUES**



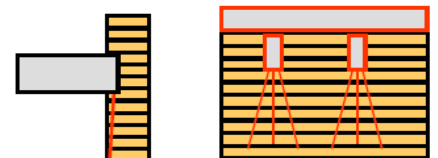
**DEBIDAS A CARGAS DE COMPRESIÓN : Pandeo**



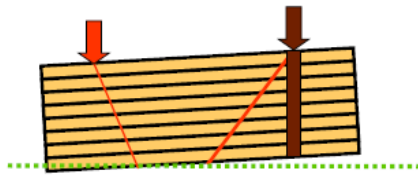
**DEBIDAS A CARGAS HORIZONTALES**



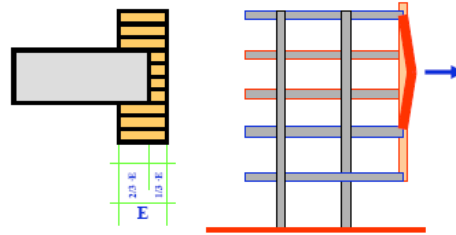
**DEBIDAS CARGAS CONCENTRADAS**



**DEBIDAS A ASIENTOS**

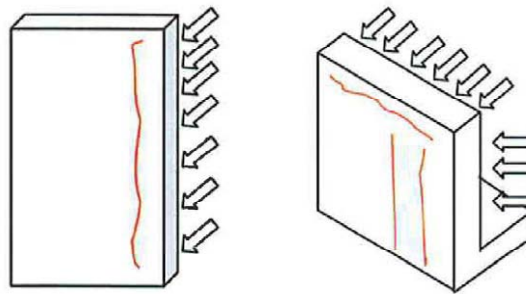


**APOYOS DE FÁBRICAS EN FORJADOS**

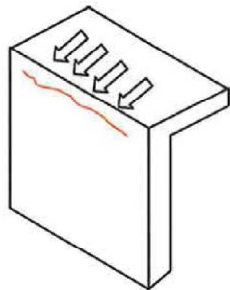


- GRIETAS POR EMPUJES (de tierras o de unos elementos sobre otros):

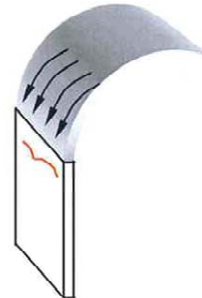
**EMPUJE DE TIERRAS O DE OTRO MURO**



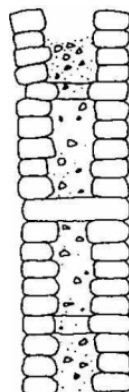
**ENCUENTRO DE FORJADOS**



**ARRANQUE DE BÓVEDAS**

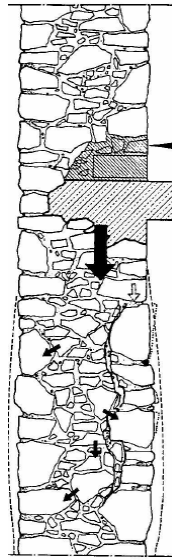


- GRIETAS POR EMPUJE DEL AGUA (Lixiviación de rellenos y pérdida de mortero):



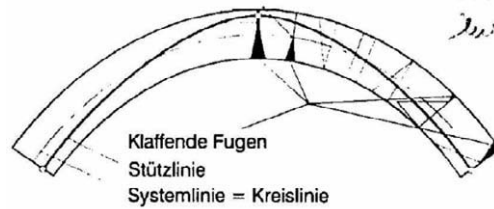
- GRIETAS POR CARGAS VERTICALES (Efecto de excentricidad de la carga):

**EN MUROS**

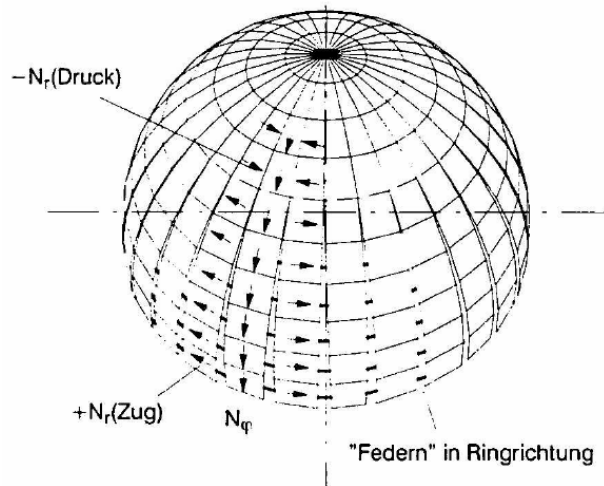


**EN ARCOS**

*Grietas longitudinales en el intradós en zona central y en el trasdós en el extremo más solicitado*



- GRIETAS POR CONCENTRACIÓN DE COMPRESIONES (Fisuración en zona inferior de los meridianos):



- GRIETAS POR ASIENTO:

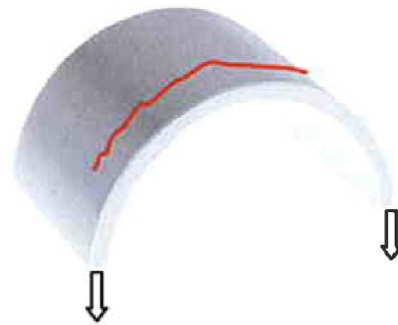
**ASIENTO CONTINUO LATERAL**

*Grietas longitudinales alternadas en trasdós – intradós en riñones*



**ASIENTO PUNTUAL**

*Grieta perpendicular a la directriz*



**ASIENTO POR APERTURA DE APOYOS**

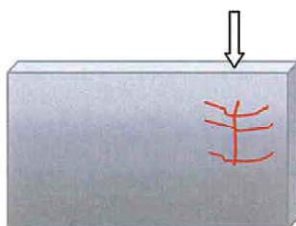
*Grietas longitudinales, en clave por el intradós, y en riñones por el trasdós*



- GRIETAS POR AGOTAMIENTO DEL MATERIAL EN MUROS:

**EN MUROS**

*Grieta vertical y en rama por carga puntual*



**EN ARCOS**



### III.- INSPECCIÓN POR ATRIBUTOS

A la hora de enfrentarnos a una inspección visual para una rehabilitación de una construcción de unas determinadas dimensiones, cobra gran importancia tener el conocimiento estadístico necesario de la cantidad de elementos de la misma que deben ser inspeccionados, evitando así una pérdida innecesario de tiempo con una inspección completa, pero siendo igualmente exhaustivos en su análisis.

Una inspección por atributos (correcta o incorrecta) es una inspección por muestreo para la aceptación. Esto significa que la aceptabilidad del lote de inspección se determina mediante un número de unidades defectuosas o por el número de defectos en un muestreo. *ISO 2859-1: 1999* sirve como una norma para las inspecciones por atributos. El componente QM contiene dos métodos de valoración para las inspecciones por atributos.

- Inspección por atributos conforme a unidades defectuosas
- Inspección por atributos conforme al número de defectos

En una inspección por atributos, el número de defectos o el número de unidades defectuosas se determina mediante el tamaño de la muestra. Según la forma de entrada, usted mismo introduce los resultados o el sistema los determina a partir de los valores individuales.

El resultado de inspección se compara con el número de aceptación y de rechazos de la característica en cuestión. Si el número de defectos o unidades defectuosas no sobrepasa el número de aceptación, se acepta la característica. Si se alcanza o se sobrepasa el número de rechazos, la característica se rechaza. Si el resultado se encuentra entre el número de aceptación y el de rechazo, la característica se acepta (pero se rechaza en la valoración de la dinamización).

Una valoración por atributos también es posible cuando se alcanza el número de rechazos con un tamaño de muestreo más pequeño o cuando el número de aceptación no se sobrepasa con un tamaño de muestreo más grande. En todas las demás situaciones, se debe ajustar al tamaño de muestreo definido en la instrucción de muestreo.

Se trata de una normativa de aplicación preferente en la recepción de lotes nuevos, no obstante, también es útil y necesaria su aplicación en edificios ya construidos.

#### HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Conceptos básicos de la inspección por muestreo:

- **Población**: Conjunto completo de individuos, objetos o medidas, que poseen alguna característica común observable.
- **Muestra**: Es una parte de la población, seleccionada según una política determinada, intentando que sea representativa de la población.
- **Unidad de Muestreo**: Es uno de los artículos, longitudes, áreas o volúmenes similares del material a inspeccionar.



- Lote o Partida: Es una cantidad especificada de material de características similares que es fabricada bajo condiciones de producción presumiblemente uniformes, que se somete a inspección como un conjunto unitario.

#### ASPECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS

- Ventajas de la Inspección por muestreo: A continuación se citan algunas de las ventajas observadas al aplicar esta normativa: ventajas económicas derivadas de inspeccionar sólo una porción del lote; menos personal y menos daños producidos en la manipulación durante en la inspección; aplicable a ensayos destructivos y rechazos a los proveedores o a las áreas de operaciones de lotes completos en lugar de devolver solamente los defectuosos, promoviendo así mayor motivación para la mejora.

- Desventajas de la Inspección por muestreo: riesgo de aceptar lotes "malos" y rechazar lotes "buenos"; requiere la elaboración de planes y documentación y la muestra provee menos información sobre el producto que la inspección al 100%.

#### PLANES DE MUESTREO

La muestra debe ser el resultado de una selección aleatoria. Cada elemento debe tener la misma probabilidad de ser tomado durante el muestreo.

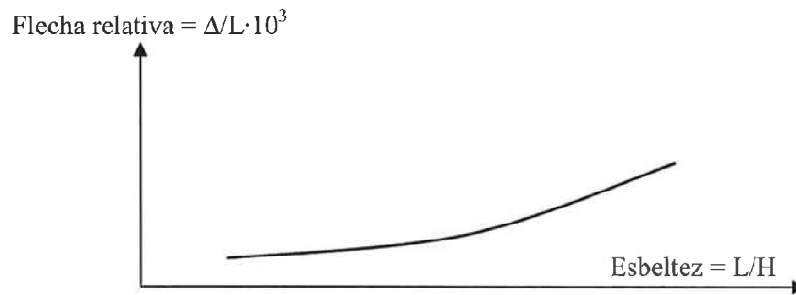
Por Atributos:

- La unidad del producto se clasifica como defectuosa o no defectuosa cubriendo un amplio rango de características. Se expresa como porcentaje de defectuosos.
- Se hace referencia al número de defectos encontrados en la unidad inspeccionada. Se expresa como resultado de conteo o relación de defectos por unidad. Obviamente una unidad de producto que contiene uno o más defectos o no conformidades es una unidad defectuosa o no conforme.

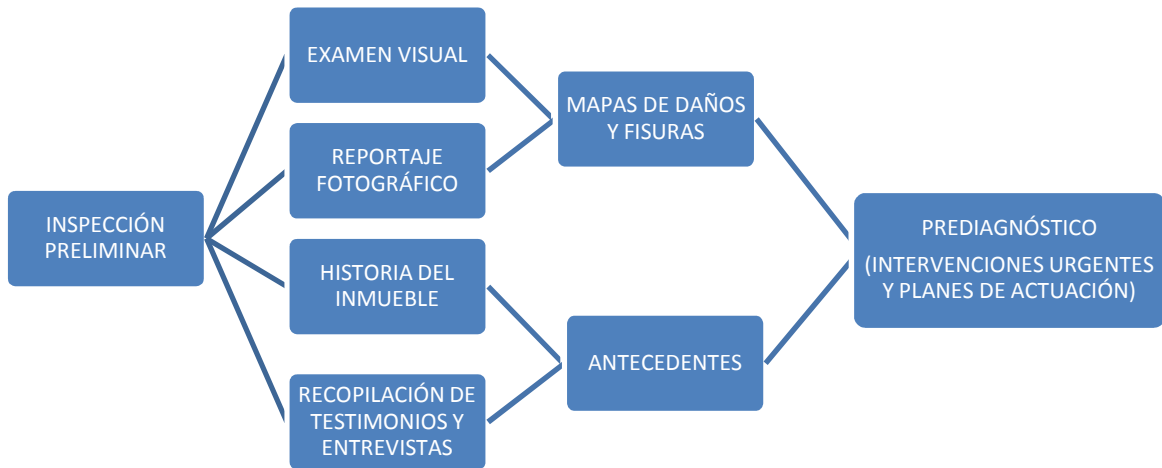
**IV.- CONCLUSIONES**

La fisuración de un edificio o de un muro está asociada con unas deformaciones de tracción o de corte que son función de: la resistencia de la fábrica o del muro de hormigón, la inercia a flexión del elemento, la esbeltez del mismo y la curvatura impuesta por los movimientos diferenciales. Las deformaciones críticas varían del 0,05 al 0,1% para fábricas de ladrillo o bloques con mortero de cemento, y del 0,03 al 0,05% para estructuras de hormigón armado.

Cuando la deformación es muy importante o el elemento es muy rígido (poco deformable), aparecen las roturas en forma de grietas, que atraviesan todo el elemento; fisuras, que sólo afectan a un determinado espesor superficial del mismo, o bien desprendimientos, que suponen una caída de parte de ese espesor. A continuación se presenta una gráfica que muestra de forma aproximada la relación que se establece entre la esbeltez y la flecha relativa que puede tomar el elemento:



Una vez analizados los 4 materiales constituyentes de las estructuras que vamos a inspeccionar, a modo de resumen de lo expuesto se presenta a continuación un flujograma donde se puede observar la secuencia de los trabajos a realizar:

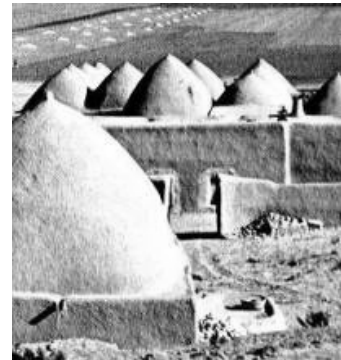


Como disposición final, y también aceptable para esta primera fase, según establece el CTE: *“El proceso de evaluación se considera finalizado cuando en alguna de las fases se alcanza una conclusión inequívoca sobre la seguridad estructural del edificio o sobre las medidas a adoptar. En los casos en los que no resulte posible verificar una capacidad portante o una aptitud al servicio adecuada, el informe final debe contener también las recomendaciones necesarias sobre las medidas a adoptar”*. Considerando estas las medidas de intervención urgente para mantener la funcionalidad, y sobre todo, la seguridad del inmueble.

CAPÍTULO 2 – SISTEMAS ESTRUCTURALES

Los grupos humanos primitivos eran nómadas o seminómadas, debieron existir, no obstante, además de los refugios en cuevas, formas de protección contra la intemperie y la acción de los depredadores; es posible que fueran "construcciones" efímeras de las que no han quedado vestigios. Tampoco se tiene el suficiente conocimiento de las primeras edificaciones realizadas en adobe, las sucesivas construcciones sobre los restos de las construcciones hacen difícil conocer cómo era esa primera arquitectura.

En *Babilonia* no había piedra, la construcción se hacía con ladrillo de arcilla secado al sol (adobe) y ladrillo cocido. Los muros son macizos y ciegos. Tanto los palacios como las casas se articulaban en torno a un patio al que se abrían, mientras que los exteriores eran prácticamente ciegos. Las cubiertas de las naves eran planas y en terraza. Para las cubiertas de luces se utilizaba el arco y la bóveda. La forma dominante era el cubo, lo que confiere una gran pesantez al conjunto, sólo aligerada por el escalonamiento de los edificios.



Se muestran en la siguiente tabla algunas tipologías constructivas alternativas, con mayor o menor presencia en función de los materiales disponibles en el entorno, puesto que ese era el elemento diferencial.

<p><i>Los hombres primitivos construían sus cabañas circulares con materiales del entorno: piedras, estacas y lianas trenzadas, que revestían con hojas, paja, cañas o pieles.</i></p>	<p><i>Los esquimales construyen sus casas de verano con costillas de ballena recubiertas con pieles y ventanas de tripas de foca, que recuerdan el wigwam de su patria original. De manera análoga construyen su casa de invierno, el iglú.</i></p>	<p><i>Junto a las formas circulares, la bóveda de cañón se puede encontrar en muchos países como cubierta, formada por nervios de cañas y entrevigado de cañizo (tipo constructivo de Mesopotamia).</i></p>

De la *civilización cretense o minoica* tomaron los griegos los primeros elementos de su arquitectura. Los cretenses llegaban del Norte, y cuando se instalaron en la península vivían aún en estado semisalvaje. Las ruinas evocan los palacios reales con sus poderosas murallas; la importancia de las armerías, de los depósitos y la distribución de las dependencias nos hacen pensar que esos palacios eran verdaderas ciudadelas.

En Micenas, los aqueos construyeron viviendas reales, muy semejantes a las de los cretenses, guiándose por una planimetría ya entonces sabida. Mientras los muros de los palacios estaban constituidos por grandes piedras superpuestas, para las viviendas comunes se emplearon piedras pequeñas cementadas con arcilla. Las más modestas estaban hechas de juncos y cañas. Surgen así dos tipos de viviendas: *las construcciones de un piso y las de desarrollo horizontal*.

Con la invasión de los dorios y la institución de los juegos olímpicos nuevo periodo se inicia para Grecia. En Atenas y en las colonias que recibieron su influencia encontramos un nuevo tipo de construcción. La casa de los ricos atenienses y los monumentos que adornaban la ciudad, superiores en excelencia a las propiedades privadas, ya que los griegos dieron mayor importancia a la vida pública que a la privada.

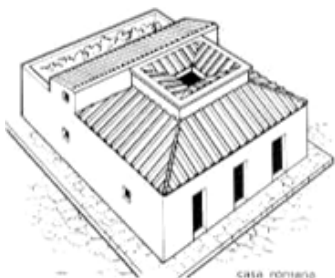


Las moradas urbanas estaban construidas según un plan uniforme: un vestíbulo, a menudo decorado con estatuas, que daba acceso, por una segunda puerta y un pasillo, a un patio bordeado de columnas.

Más tarde, los atenienses levantaron casas de dos o tres pisos, que podían ser alquilados separadamente.

La península itálica fue invadida por los etruscos, un pueblo que llevó consigo su civilización. Esta llegó a su completo desarrollo después de que los etruscos se hubieron establecido en Italia. En un comienzo los etruscos vivían en chozas de ramas recubiertas de arcilla. Más tarde variaron la forma de la vivienda y los materiales empleados en la construcción.

La casa de los ricos se apoya sobre una base de piedra y tiene un piso superior construido de madera. El techo, inclinado hacia el interior, presenta una ancha abertura, a la que corresponde, en el patio central, un estanque destinado a recibir las aguas de las lluvias. En el interior, el techo abovedado de las diferentes piezas y el arco que adorna la puerta de entrada nos muestran el grado de perfección alcanzado por la arquitectura etrusca. Si bien la bóveda había sido empleada por otros pueblos, jamás hasta ahora se había logrado de ella una ejecución tan perfecta.



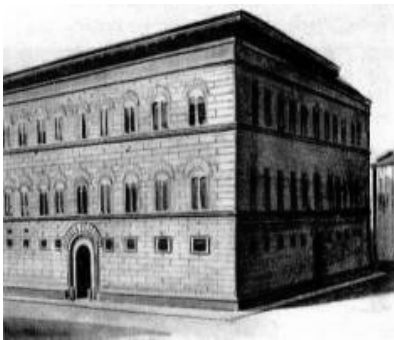
Cuando los romanos comenzaron a ocupar un lugar en la historia tomaron numerosos elementos de la cultura etrusca, mucho más avanzada que la suya. La abertura del techo recibió el nombre de "impluvio", y el estanque que se hallaba debajo de éste se llamó "compluvio". Con frecuencia el techo estaba sostenido por cuatro columnas de madera.

Bajo la influencia de la refinada civilización griega, Roma fue paulatinamente abandonando sus costumbres patriarcales y las moradas ganaron en dimensión y confort. Inspirado en las casas griegas, las casas contaban con un vasto jardín rodeado de un pórtico. Alrededor del cual se

encontraban los dormitorios, el comedor y las otras dependencias. Este tipo de construcción fue muy apreciado por los romanos de la clase rica en la época del Imperio.

Aquellos a quienes la falta de espacio impedía satisfacer en la ciudad sus aspiraciones de lujo se instalaban en el campo, donde se hacían edificar espléndidas viviendas con un vasto desarrollo horizontal.

En la época del Imperio las viviendas de la clase popular sufrieron, bajo ciertos aspectos, una verdadera regresión. El excesivo aumento de la población trajo aparejada la necesidad de construir, no ya pequeñas casas particulares como se había hecho hasta entonces, sino grandes inmuebles de departamentos que comprendían hasta 7 u 8 pisos. Estos edificios tenían vastas piezas separadas por medio de tabiques de madera.



Las casas de departamentos de la burguesía y del pueblo, de las que existen importantes vestigios en antiguas regiones, nos revelan concepciones arquitectónicas asombrosamente modernas. Eran construcciones de 2 ó 3 pisos que correspondían a igual número de departamentos, cada uno de los cuales disponía de una entrada independiente. Todos tenían, sin embargo, en común el patio interior. En la planta baja era frecuente encontrar tiendas.

En los países mediterráneos que cayeron bajo el dominio árabe, y sobre todo en España, se encuentra un tipo de vivienda que recuerda la de los conquistadores. Pero, la influencia de éstos sobre las poblaciones no tuvo jamás un carácter general y absoluto como la que ejercieron los romanos en los países vencidos.

La decadencia del régimen feudal determinó en todos los países de Europa un profundo cambio tanto en la vida pública como en la privada. Uno de los fenómenos que más directamente ha influido en la historia de la vivienda es la importancia que con motivo de esta decadencia tomaron las ciudades y las poblaciones urbanas. Prosperó el comercio, y los mismos nobles fueron seducidos por el bienestar de las ciudades.

El nuevo estado de cosas se refleja, naturalmente, en la construcción de las viviendas. Las casas son simples, pero ya no tienen el aspecto de covachas. Se componen por lo general de una planta baja con una pieza principal; en el primer piso están las habitaciones de los dueños, y debajo del tejado las de los servidores.



Ya no hay una diferencia esencial entre la casa de un pobre y la de un rico, pero esta última presenta a menudo torres laterales que constituyen una marca de dignidad y un refugio en caso de conflicto. Como los conflictos entre ciudades son frecuentes hay necesidad de defenderse y así surgen las casas-torres.

En los otros países de Europa, siguiendo una costumbre que viene desde los tiempos más remotos, se utilizan la piedra tallada y el ladrillo para la construcción de los pisos inferiores y la madera para los tejados.

Las grandes innovaciones en la arquitectura no se produjeron hasta el siglo XV; la transformación que se opera es, efectivamente, una utilización de las formas heredadas de Grecia y Roma, que las excavaciones habían traído a la atención pública. Se aumentó el tamaño de las casas y se suprimieron elementos cuya razón de ser era puramente defensiva.

En el siglo XV aparece un nuevo tipo de mansión señorial. Es el palacio, gran casa rectangular o cuadrada que se eleva alrededor de un patio central, inspirada en el peristilo romano, y que comprende una entrada monumental, un amplio vestíbulo y una escalera para los dueños.

Se crea a su vez en los siglos posteriores, en los países más civilizados de Europa, siguiendo un criterio más práctico y económico, casas divididas en departamentos para la burguesía pequeña y media. Estas viviendas se caracterizaban por una falta casi absoluta de higiene, por una mala y deficiente planificación arquitectónica, y por un excelente aspecto exterior. En este sector las soluciones más satisfactorias son bastante recientes.



La renovación de la arquitectura, cuyo origen se halla en la historia de la sociedad, estuvo acompañada por una verdadera revolución en la técnica de la construcción, gracias a los distintos materiales introducidos. Fueron esos nuevos materiales, experimentados primero en los edificios de interés público, los que permitieron desarrollar en altura las ciudades europeas más importantes.

Pero no podemos hablar de residencias verdaderamente modernas antes del período que siguió a la primera guerra mundial. En efecto, las viviendas de los primeros años de este siglo, aunque provistas de los últimos perfeccionamientos, como la iluminación eléctrica, la calefacción central, el teléfono, en lo que respecta a la disposición de las habitaciones y a la luminosidad no diferían mucho de las del siglo pasado.

Sin profundizar las teorías de los diseñadores contemporáneos, podemos resumirlas diciendo que la casa de departamento ha de ofrecer garantías de confort, sencillez e higiene. En las viviendas económicas actuales se ha adoptado racionalmente el principio de la pieza de uso múltiple.

Cuando se analiza el proceso evolutivo de las construcciones usadas como refugio y vivienda por el hombre, se observa el paso de estructuras horizontales y poco esbeltas a edificaciones en varias alturas, debido a la aparición de materiales adaptables a las nuevas necesidades del ser humano.

Se exponen a continuación, de modo esquemático y brevemente explicado, las principales tipologías y esquemas de cargas de los materiales analizados.

## I.- TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

### I.I.- MUROS DE CARGA

Los muros de carga, o muros portantes, son las paredes que en determinada construcción tienen función estructural. En otras palabras son las paredes que soportan otros elementos de la construcción. Los muros más antiguos conservados son los confeccionados en piedra.

Los romanos fueron los precursores del hormigón, mediante la técnica del *emplectum*, donde se encontraba presente el sillar de piedra, relleno de un mortero preparado con cal, arena y cascote.

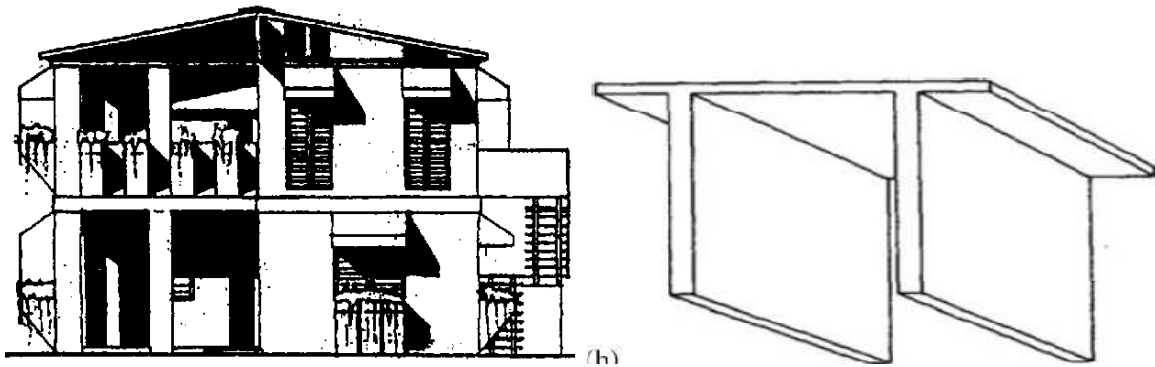


Cuando no se encontraban estas piedras, o era muy costosa su búsqueda, se procedía a sustituirla por adobe. Por esta razón se llevó a cabo una afinidad entre el *emplectum* y el tapial. Con la técnica del tapial se levantaron edificaciones de hasta 6 pisos. Cuando se habla de muros de carga, el material más empleado para esta tarea es el ladrillo, por ser un material resistente y duradero. El que se incorpora a estos muros es macizo.

Otras veces los muros de carga están confeccionados en bloques de hormigón, destacando que con este material no se puede lograr una gran altura.

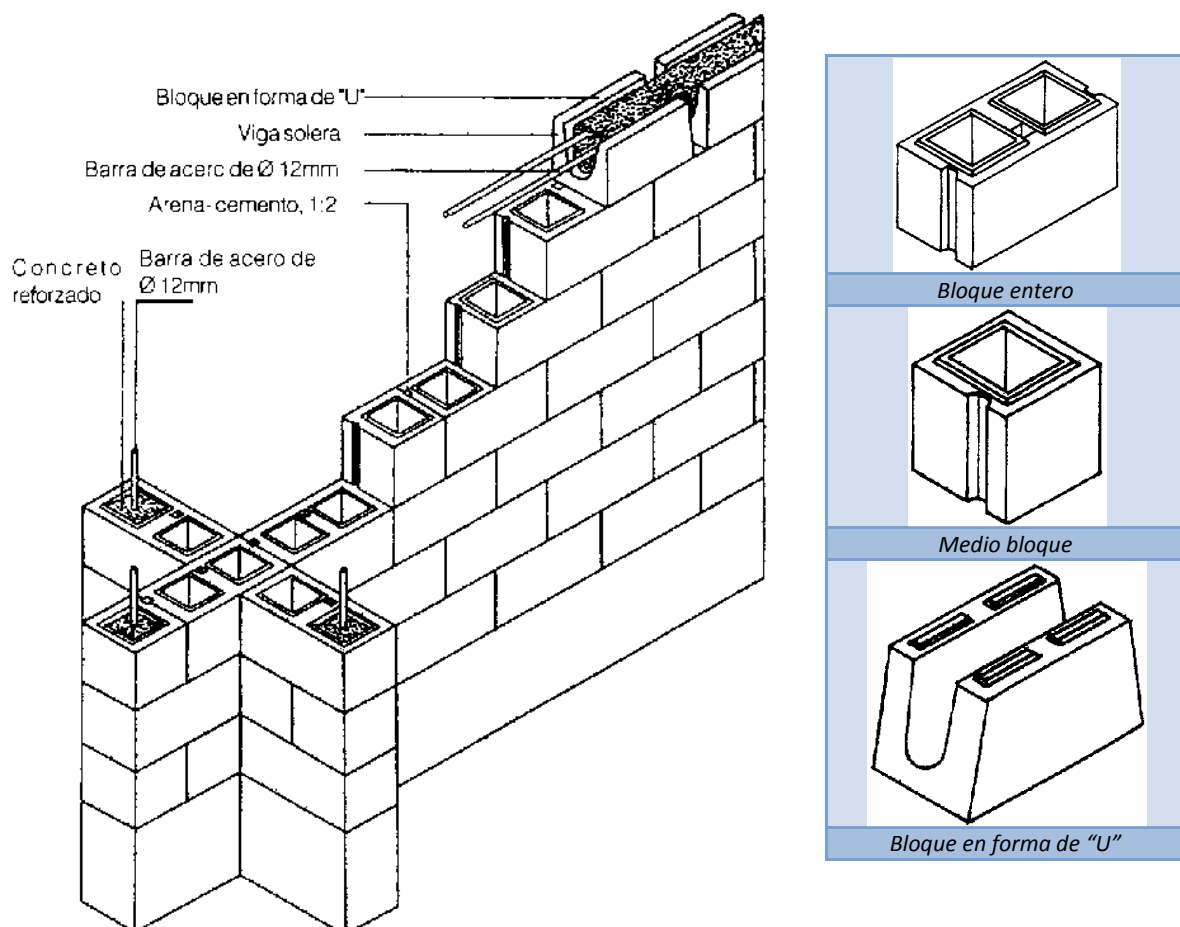
Lo que dio la posibilidad de la aparición del hormigón armado, fue la llegada del acero. De esta forma el método constructivo dio un gran cambio. Actualmente las estructuras se desarrollan por combinación de vigas y pilares, y es muy raro cuando un muro adquiere función estructural, funcionando únicamente como divisores de espacios. Los muros portantes tienen que transmitir las cargas al terreno, por lo que deben de estar dotados de cimentación, para que el muro no se clave en el terreno. La cimentación donde se encuentran los muros de carga es conocida como zapata lineal o corrida.

## I - I.I. HORMIGÓN



En la figura superior se muestra un ejemplo clásico de casa realizada con muros de carga, con una o dos plantas, cubierta a dos aguas, y luces de vano pequeñas. Y un forjado tipo.

Los muros de carga de una construcción, realizados con hormigón pueden ser de dos tipos: muro de hormigón armado; muro de bloques de hormigón, en los que se dispone unas armaduras en unas hiladas y en unas verticales preestablecidas, como refuerzo del muro. A continuación se muestran unas figuras con una breve explicación de los elementos más importantes de esta segunda tipología, muro de carga de bloques de hormigón reforzado, y las principales tipologías de bloques empleados:





## I – I.II. FÁBRICA DE LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA

### *FÁBRICA DE LADRILLO*

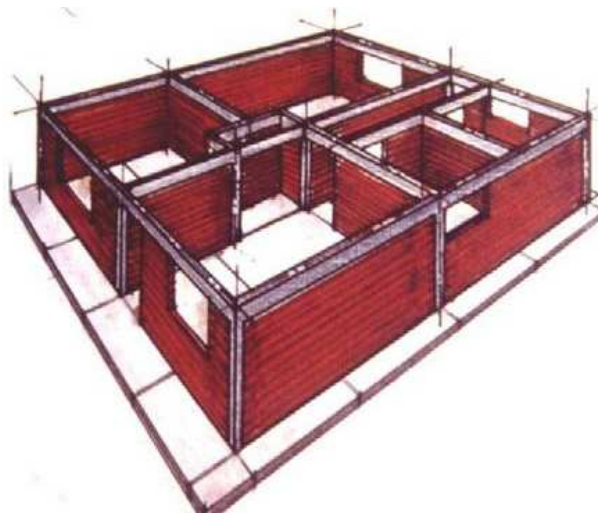
Se aprovechan los ladrillos de arcilla unidos mediante morteros de cemento. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables.

#### **- Tipos de fábrica**

Las fábricas pueden tener refuerzo en forma de varillas y entonces se denominará *fábrica reforzada*, cuando las varillas se introducen por los huecos de los ladrillos y se anclan con hormigón de relleno; y *fábrica confinada*, en la que el refuerzo se coloca en elementos de hormigón (vigas y columnas), situados en el contorno del muro.

- *Fábrica reforzada*: Es la mampostería con refuerzo embebido en celdas rellenas, conformando un sistema monolítico. También tiene refuerzo horizontal cada cierto número de hiladas. El refuerzo se usa para resistir la totalidad de las fuerzas de tensión y ocasionalmente, para resistir los esfuerzos de compresión y cortante que no pueda resistir la mampostería simple.

- *Fábrica confinada*: Elementos de hormigón reforzado en su perímetro. La fábrica confinada es la más común y con ella se construyen la mayor parte de las viviendas de; se realizan con bloques de arcilla de huecos horizontales y resistencia mediana, contruidos artesanalmente, de baja resistencia y poca estabilidad dimensional. No obstante este tipo de construcción no tiene un esquema estructural propio de un muro de carga.



*Esquema estructural de casa unifamiliar en fábrica confinada*

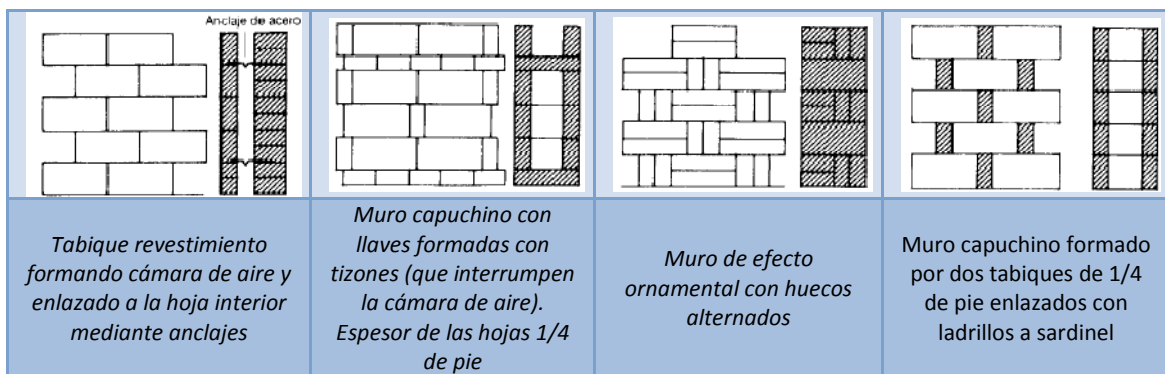
- *Mampostería simple*: Fábrica estructural sin refuerzo. Los esfuerzos dominantes son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas horizontales. Se prohíben explícitamente para las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia.

- Aparejo de fábrica de ladrillo

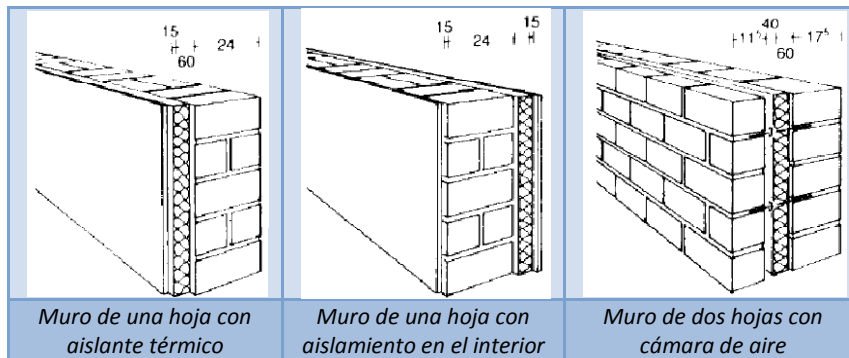
Tipologías más usuales de disposición de muros de fábrica de ladrillo:



Composición más frecuente en las obras históricas de fábrica de ladrillo:



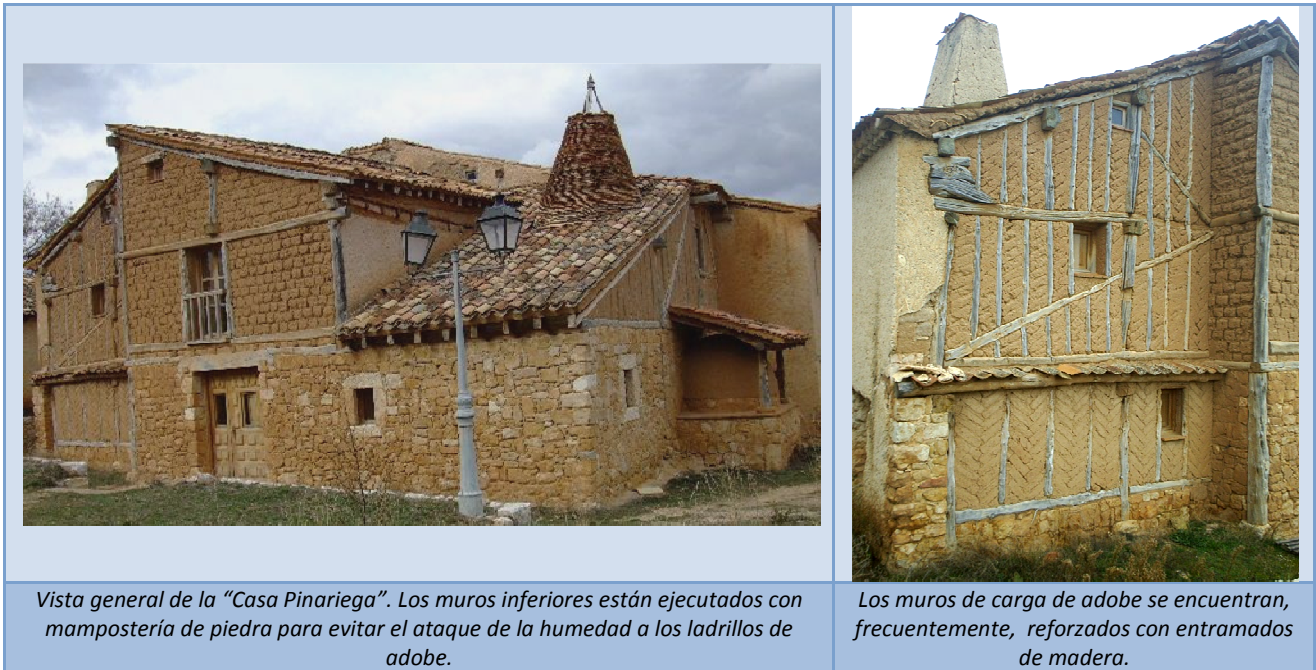
Disposición del aislamiento:



### FÁBRICA DE ADOBE

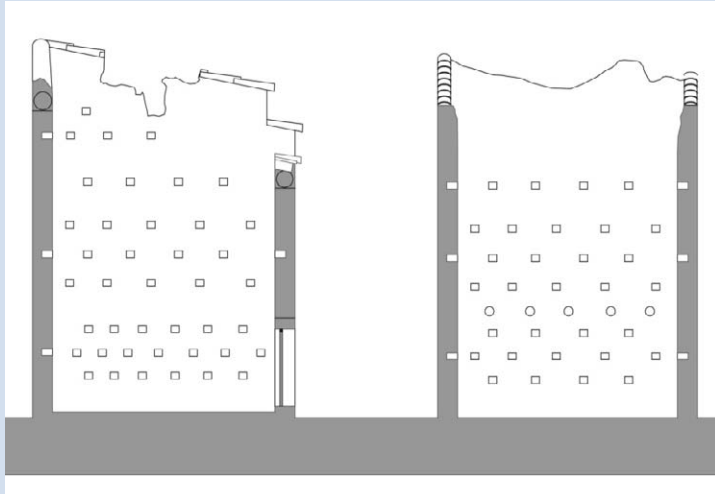
Las construcciones realizadas con muros de carga de fábrica de adobe comparten muchas características comunes con los muros de fábrica de ladrillo, no obstante la disposición de sus aparejos es de mayor simplicidad, y el material menos resistente, por lo que las construcciones suelen ser algo más modestas.

En las siguientes imágenes se puede observar una tipología de construcción en adobe de gran importancia en la región de Castilla y León, conocida como la Casa Pinariega:



A continuación se muestran imágenes de las tipologías constructivas más relevantes, muchas de ellas aún en uso hoy en día:

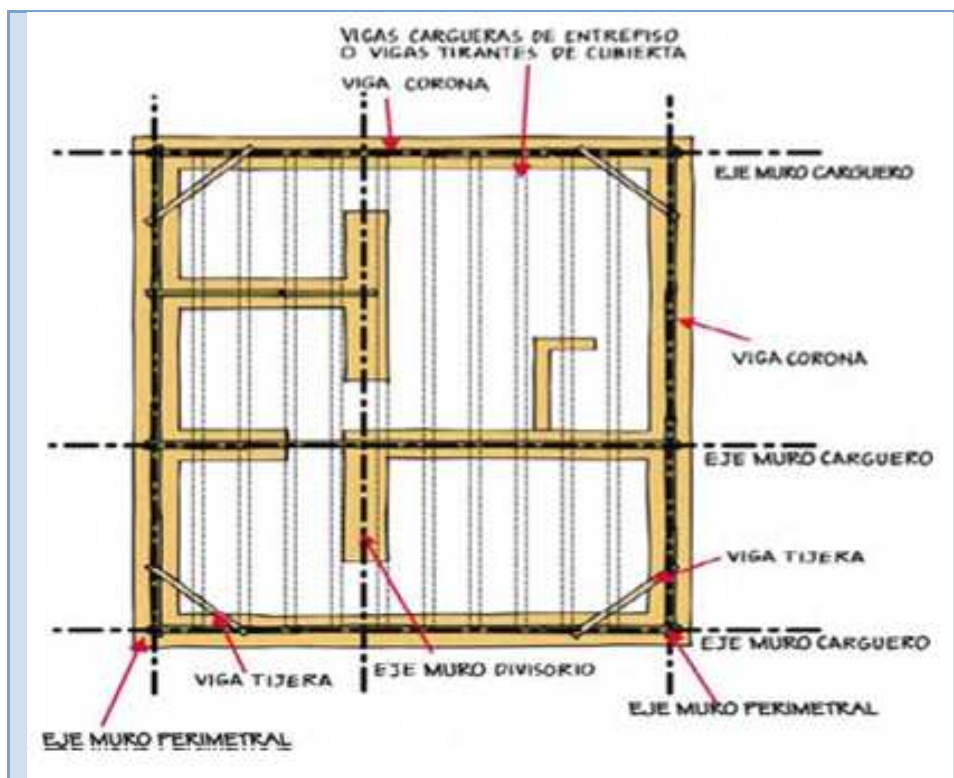




Estas construcciones podían tomar todo tipo de formas, en este caso es de forma cilíndrica, y con cubierta de madera. El barro, utilizado en forma de tapia o adobes, es la base de la mayor parte de estas construcciones.

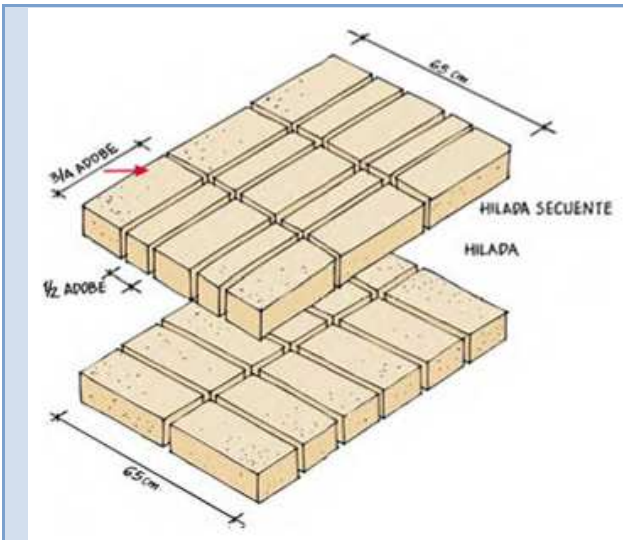


Fotografía aérea de un palomar, hoy en desuso. Algunas veces aparecen aislados o en pequeñas agrupaciones y cercanas a los núcleos urbanos rurales.

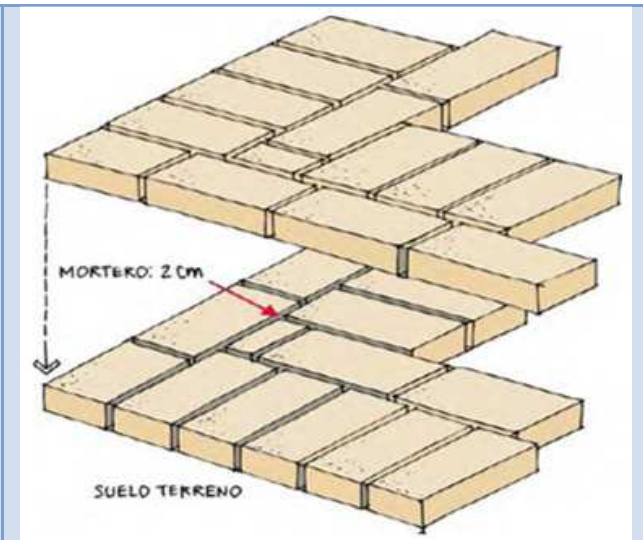


Planta típica de una construcción sencilla con muros de carga de adobe. Se citan los elementos más relevantes.

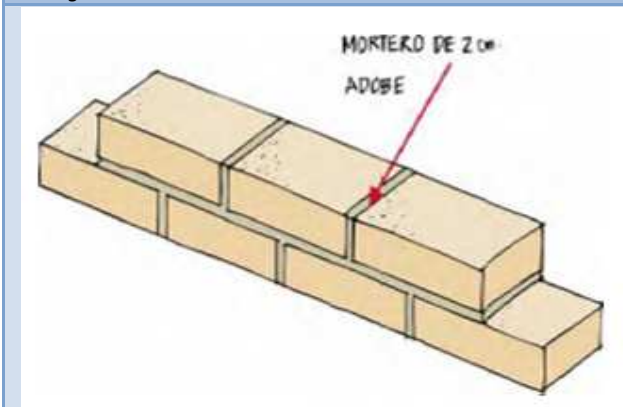
- Aparejo de fábrica de adobe y disposición de refuerzos



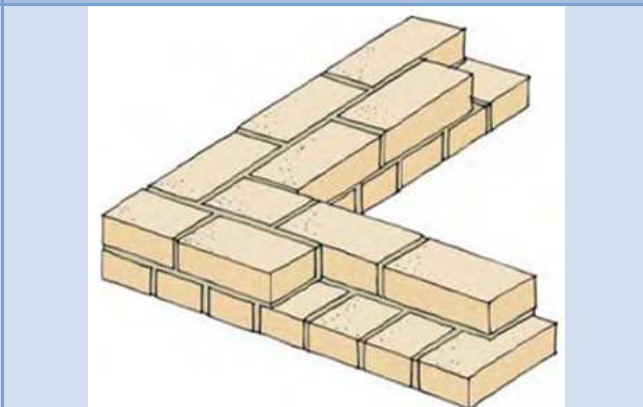
Hilada compuesta de dos adobes en tizón y la siguiente de tres en soga con dos medios adobes entre ellos.



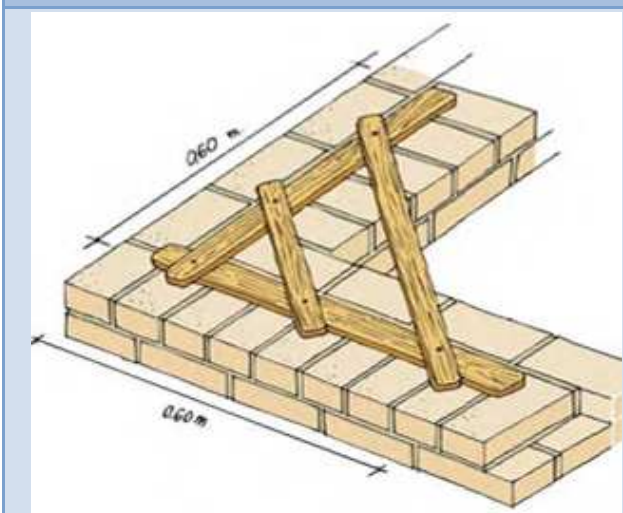
Hilada compuesta de un adobe en tizón y uno en soga.



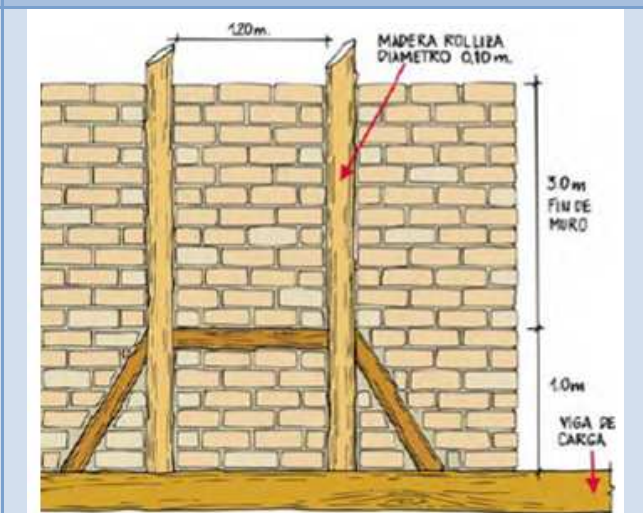
Hiladas compuestas por adobes dispuestos en soga.



Hilada compuesta por dos adobes en soga y la siguiente en tizón.




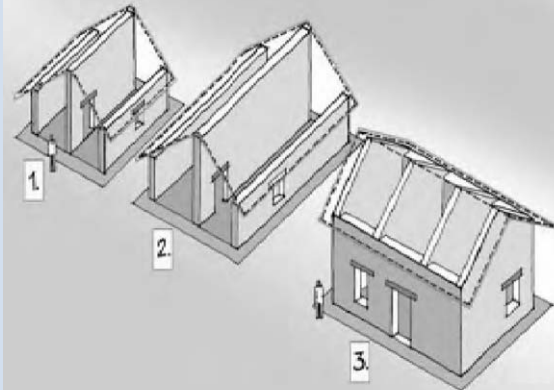

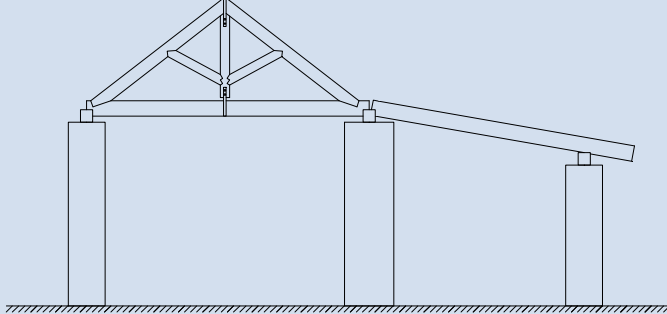
En algunos muros ortogonales se instalan refuerzos de esquina a manera de escuadra conformados por elementos de madera o caña brava. Este elemento de refuerzo se coloca únicamente en la parte superior del muro, a nivel de las vigas de amarre de la cubierta generalmente.

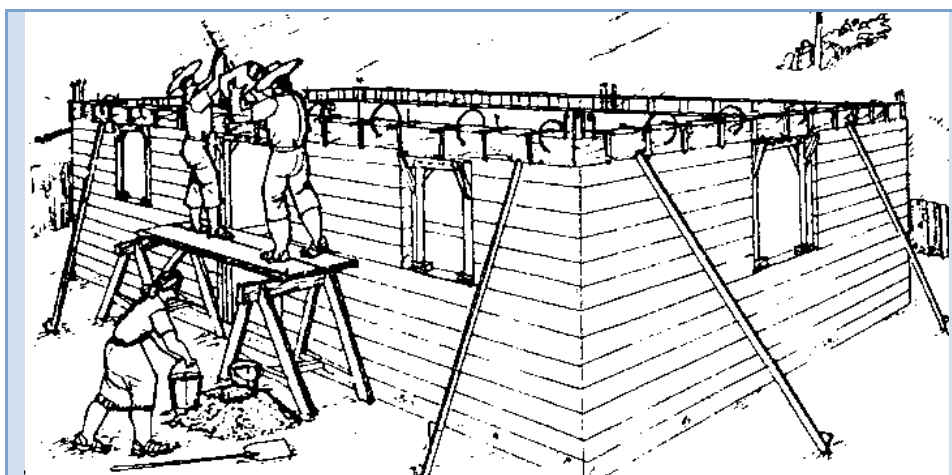


Algunas veces se incorpora un tipo de refuerzo interno en los muros que no queda amarrado a los muros principales de la edificación. Este refuerzo se coloca con la intención de mejorar la estabilidad del muro en dirección perpendicular al plano.

TAPIAL

Las construcciones realizadas con muro de tapia pisada, o tapial, aunque este término se refiere a los encofrados que daban forma al muro, son muy similares a las ejecutadas con adobe, en lo referente a sus dimensiones y formas, puesto que la capacidad del material era bastante semejante. Se muestran a continuación las formas más empleadas:

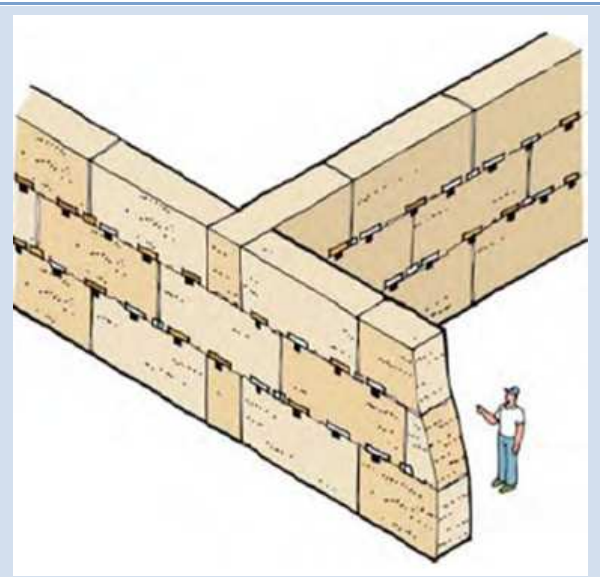
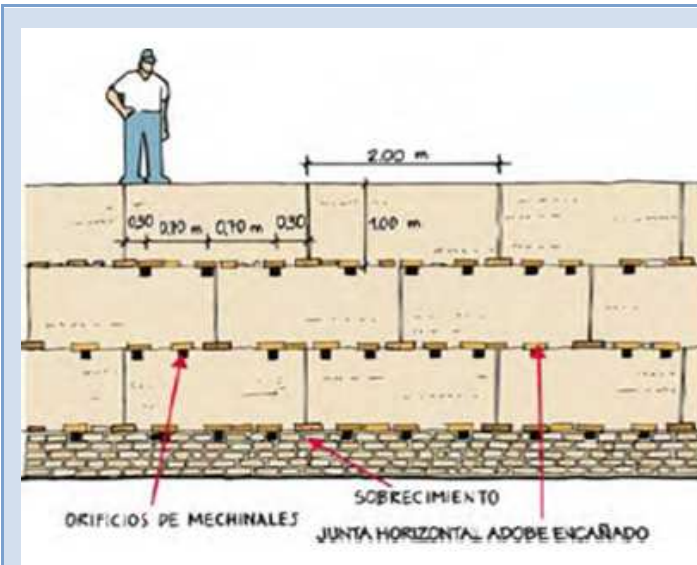
	
<p><i>Dos viviendas unidas ejecutadas con tapial.</i></p>	<p><i>Ejemplo de disposición de los muros cargueros de tapial. Es preferible que estos no se encuentren únicamente en una dirección, para evitar el colapso.</i></p>
	
<p><i>Tipología de vivienda unifamiliar.</i></p>	<p><i>Sección tipo, y de gran sencillez de una típica construcción de tapial, con cubierta de madera.</i></p>



*Ejecución de tapia pisada, en la que se puede observar su típica planta rectangular.*

## - Muro de tapial

Tipologías más usuales de disposición de muros de fábrica de ladrillo:



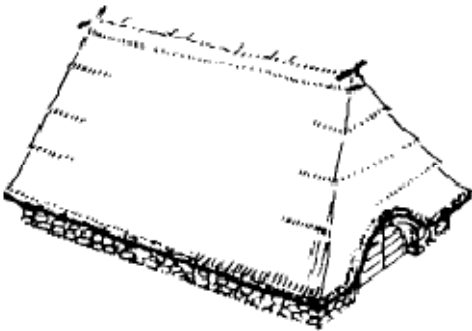
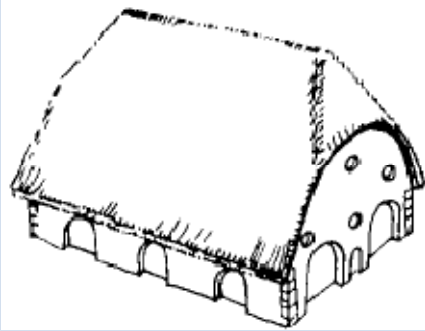

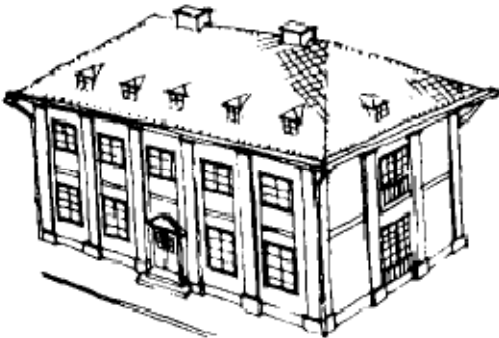
Las secciones de tapial se tratan de la misma manera como se levanta un muro con adobes pero de gran tamaño. Para realizar las juntas horizontales se escarifica con un punzón la superficie del muro que recibe la nueva hilada sin colocar ningún tipo de elemento de conexión. En algunas ocasiones se instalan elementos en las juntas horizontales tales como adobes, trozos de teja, de ladrillo cocido, caña o tendidos de esterilla de guadua, todo con el fin de proporcionar una superficie de fricción entre las dos hiladas. También, en algunos casos se colocan adobes para rellenar los orificios de los mechinales.

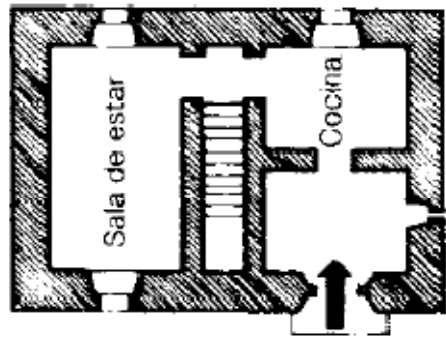
Generalmente los encuentros de dos muros principales (por ejemplo uno perimetral y uno carguero) se levantan con disposiciones de trabe similares a las de esquinas de adobe o ladrillo.

En algunos casos los muros divisorios internos no se traban con el muro ortogonal. Ha sido habitual instalar los refuerzos de escuadra en las esquinas entre muros. Aunque en la mayoría de los casos no se coloca ningún tipo de refuerzo interno en los muros, en algunos casos los muros incluyen refuerzos horizontales en madera o caña atravesando en general las juntas verticales.

PIEDRA

Evolución y principales tipologías de las casas de piedra:

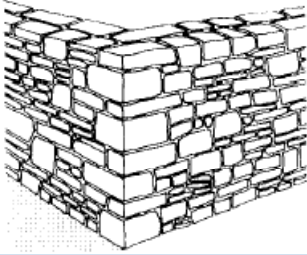
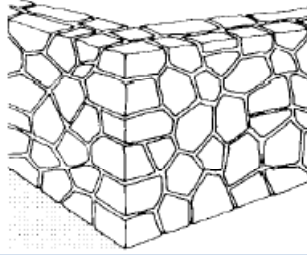
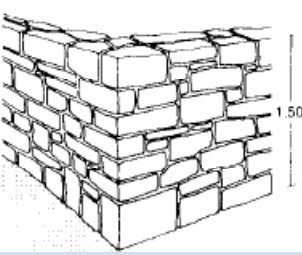
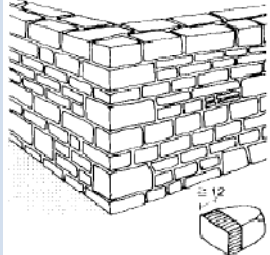
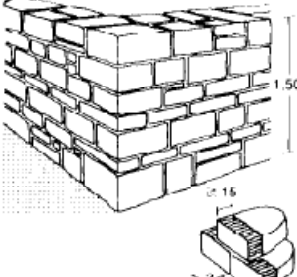
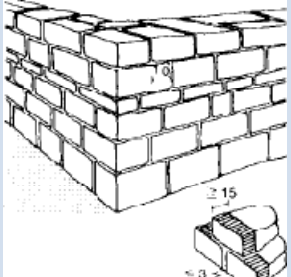
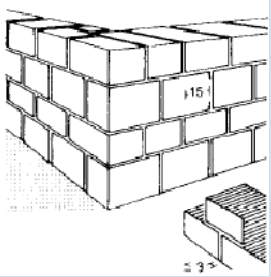
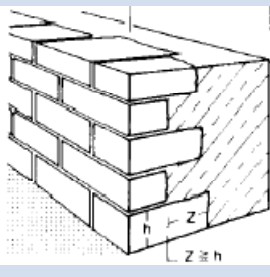
	
<p><i>Las casas construidas con piedra, sin emplear mortero, sólo permiten zócalos bajos. Por eso las primeras casas de piedra prácticamente estaban formadas por una cubierta y una entrada formada por una cubierta y una entrada mínima.</i></p>	<p><i>Trabajando la piedra se pueden conseguir paredes más altas, y el uso del mortero incluso permite practicar aberturas arqueadas.</i></p>
	
<p><i>En una época posterior los canos se enmarcan y se refuerzan las esquinas con sillares cuidadosamente cortados, rellenando el resto de los muros con mampostería irregular que se revoca.</i></p>	<p><i>El deseo de disponer de ventanas cada vez más grandes en los edificios urbanos llevó a construcciones con pilares de piedra, que recuerdan los entramados de madera.</i></p>



*Casa de muros de piedra, hacia 1500. Los muros sirven de protección contra los enemigos y el frío; ocupan tanta superficie en planta como las propias habitaciones.*



- Aparejos de piedra:

			
<p><i>Mampostería en seco</i></p>	<p><i>Mampostería ordinaria</i></p>	<p><i>Mampostería careada</i></p>	<p><i>Mampostería concertada</i></p>
			
<p><i>Mampostería de hiladas irregulares</i></p>	<p><i>Mampostería de hiladas regulares</i></p>	<p><i>Sillería</i></p>	<p><i>Muro trasdosado</i></p>

## I.II.- ESTRUCTURAS RETICULADAS

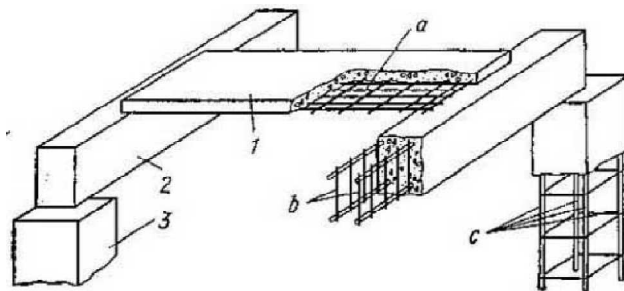
### I – II.I. HORMIGÓN:

El hormigón estructural, es un material artificial, creado de materiales comunes de gran resistencia a la compresión, pero muy poca a la tensión o tracción. Es un material muy durable, resistente al fuego y a la intemperie; muy versátil, y puede adoptar cualquier forma, dependiendo de los encofrados. Se producen actualmente hormigones de alta resistencia.

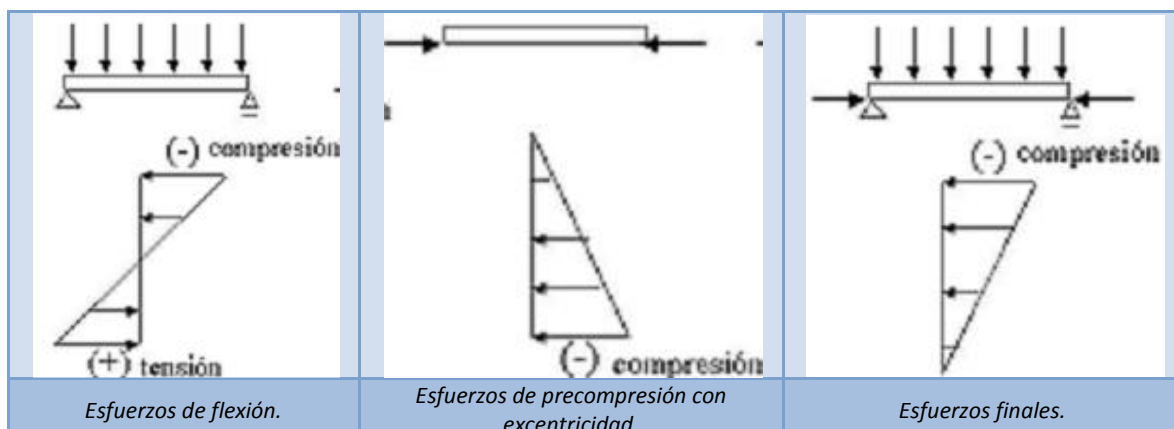
Como inconvenientes presenta su resistencia a la tracción, aproximadamente, la décima parte de la de compresión, y tal vez, su peso. Además, sus propiedades mecánicas pueden ser muy variables, ya que dependen de la calidad, la dosificación de los materiales, del proceso de producción, transporte, colocación y curado.

La fisuración por tracción se presenta en casi todos los elementos de hormigón solicitado a flexión, excepto en aquellos que están poco cargados o los que funcionan básicamente a compresión. La ausencia de fisuras no se consigue nunca totalmente, no obstante, en las estructuras de hormigón pretensado se mantiene un estado controlado de esfuerzos internos de compresión, o pequeños de tracción, con el fin de contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las cargas externas.

La deficiente resistencia a tracción del hormigón en masa dificulta su uso como material en vigas o elementos a flexión. Es necesario combinarlo con acero, que tiene alta resistencia a la tracción, dando origen al hormigón armado y al hormigón pretensado.

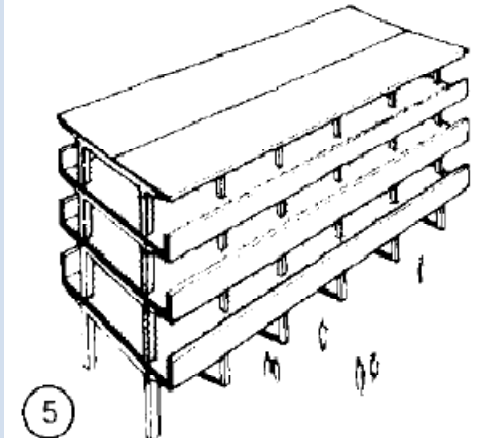
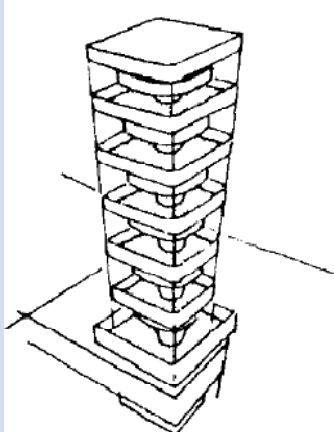
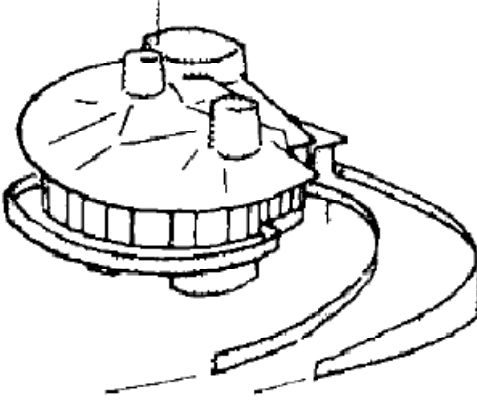
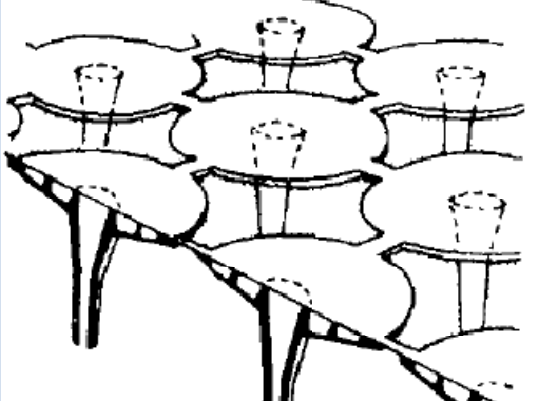
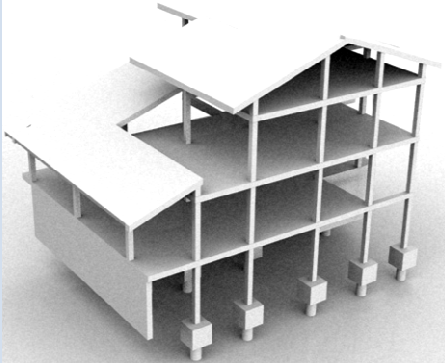
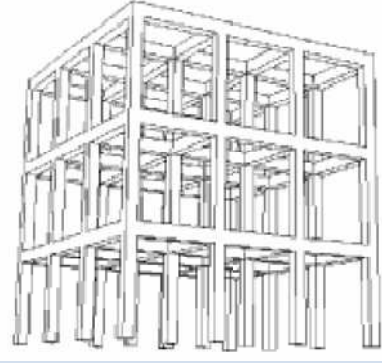


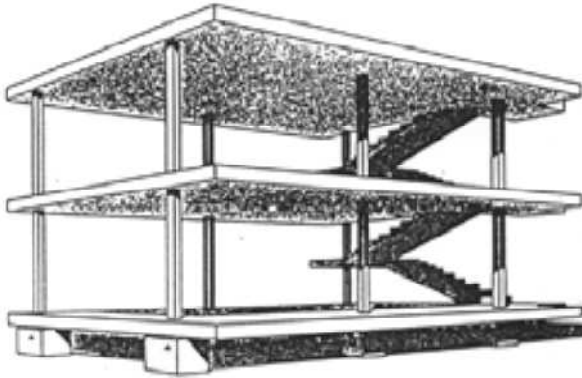
La fisuración del hormigón representa un problema, sobre todo en lo referente a la corrosión y al ataque por cloruros. Un armado convencional del hormigón sólo puede usarse económicamente si se acepta fisuración. Es por ello que surge el pretensado, que permite mantener los elementos sin fisuración en un rango de cargas muy más amplio, con ventajas adicionales de deflexiones pequeñas y una durabilidad mucho mayor, y la posibilidad de cubrir mayores luces con el mismo canto. A continuación se muestra el mecanismo resistente en el pretensado de un hormigón:



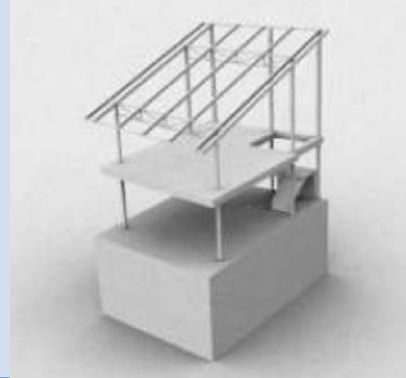
El pretensado consiste en aplicar una fuerza de compresión en la sección, que contrarreste los esfuerzos de tracción producidos por la flexión. Se emplean cables de acero de alta resistencia denominados tendones, que pasan a lo largo del elemento y transmiten su fuerza, mediante adherencia, generalmente en los extremos. Según el momento de aplicación de la tensión al hormigón, se consideran dos clases: hormigón pretensado y hormigón postensado.

En las siguientes tablas se muestran algunos ejemplos de las formas más frecuentes de construcción con hormigón:

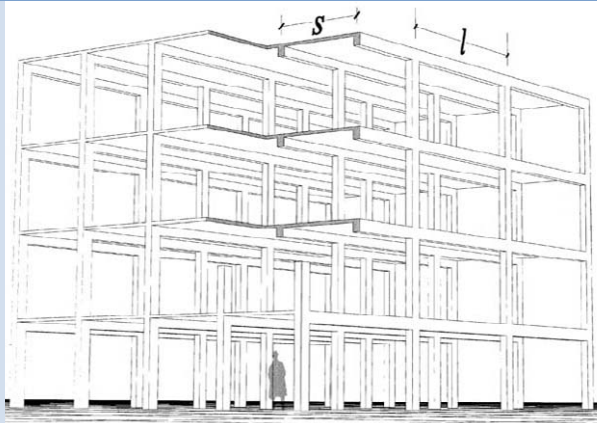
	
<p><i>En muchos casos las ordenanzas de edificación exigen sistemas constructivos resistentes al fuego, de manera que los elementos de acero se han de revestir, y por lo tanto adquieren el aspecto del hormigón armado. La característica más típica de estas construcciones son los forjados en voladizo apoyados sobre jácenas.</i></p>	<p>Núcleo torre.</p>
	
<p>Núcleo casa.</p>	<p>Forjados reticulares apoyados en pilares fungiformes.</p>
	
<p>Uniones rígidas con hormigón en edificios bajos.</p>	



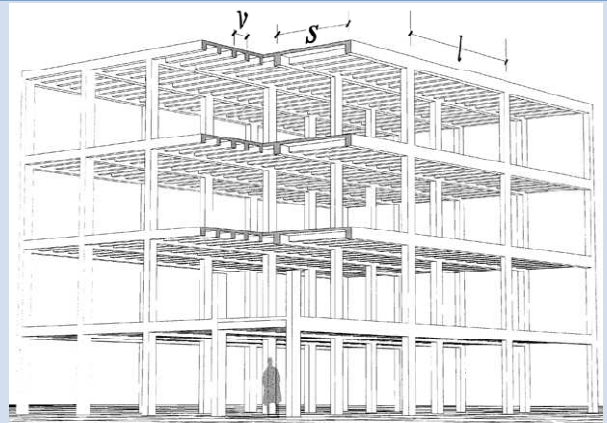
*Casa Dominó. Le Corbusier, 1914 – 15.*



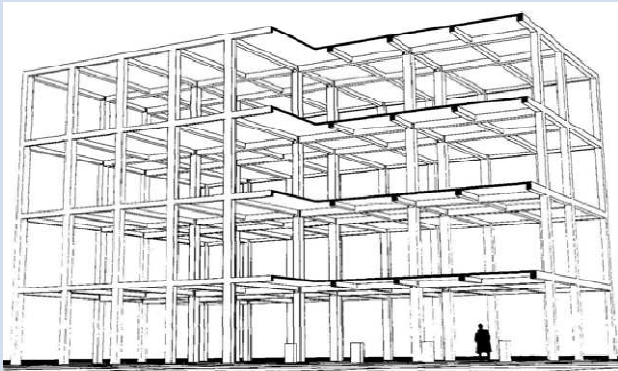
*Chalet unifamiliar con sótano y bajo cubierta.*



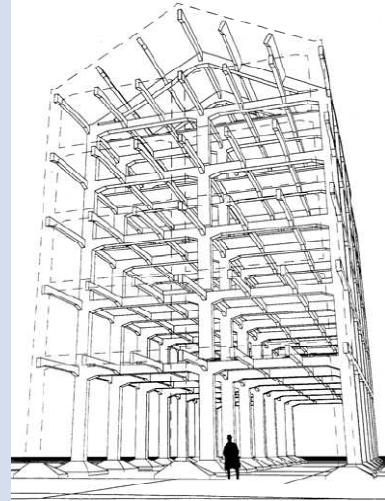
*Forjado formado por una losa de espesor constante colocada entre pórticos paralelos separados  $S$  entre sí. Eduardo Torroja.*



*Forjado formado por una losa de espesor constante dispuesta entre viguetas separadas  $V$  que, a su vez, salvan la separación  $S$  entre los pórticos. Eduardo Torroja.*



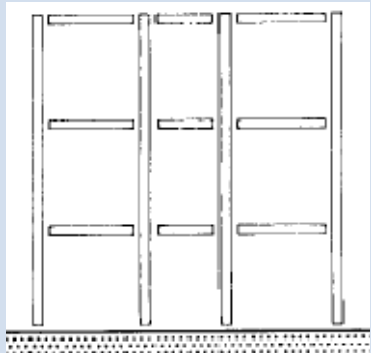
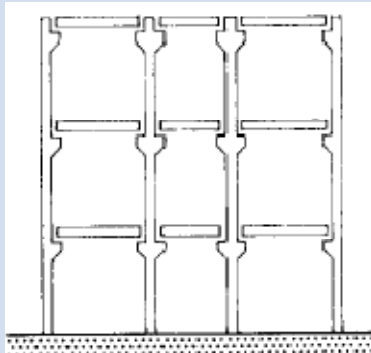
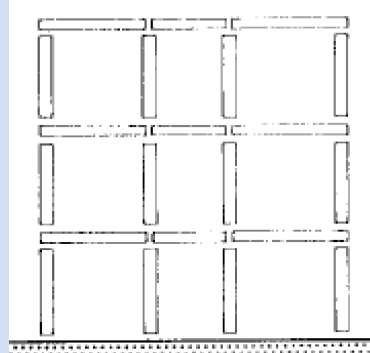
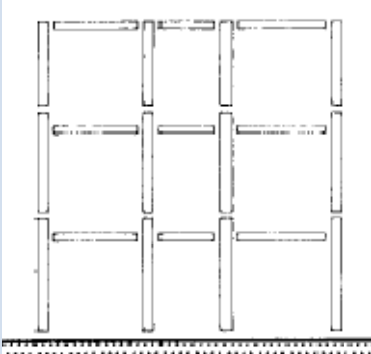
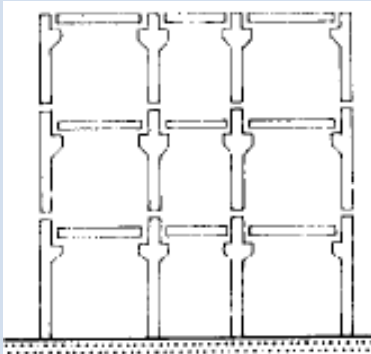
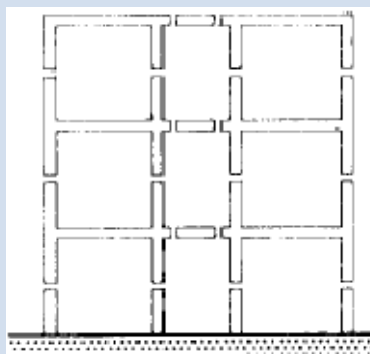
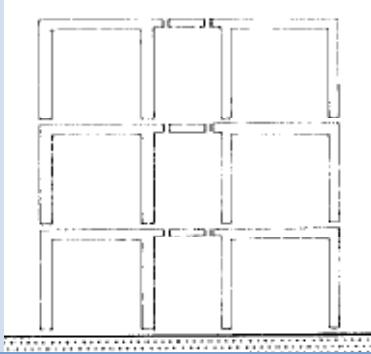
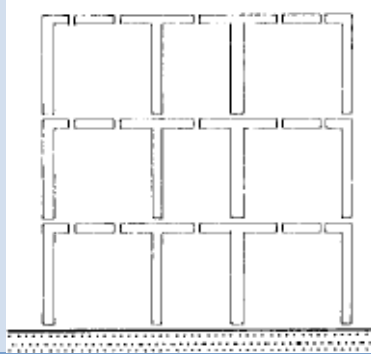
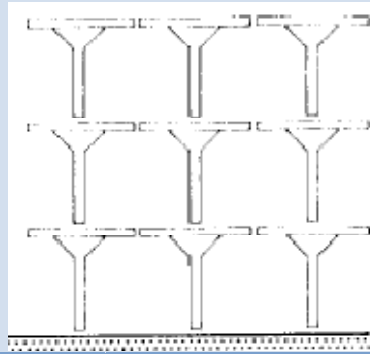
*Esquema de la estructura con vigas dispuestas entre vanos. Naves de la zona de Medicina. Ciudad Universitaria. Eduardo Torroja.*



*Pórticos con vigas acarteladas y viguetas dispuestas entre ellos, que también presentan los cartabones en el apoyo. Eduardo Torroja.*

ESTRUCTURAS PORTICADAS

Estructuras prefabricadas o construidas *in situ* en forma de pórticos. La elección de los materiales depende el tipo de construcción y del emplazamiento, pudiendo ser de hormigón, acero, o madera. Son aplicables a todo tipo de construcciones, están formados por pilares y vigas principales con nudos rígidos o articulados. Tres tipos: pórticos rígidos, superpuestos, y articulados.

		
<i>Pilares continuos. Vigas apoyadas sobre cartelas ocultas.</i>	<i>Pilares continuos. Vigas apoyadas sobre cartelas vistas.</i>	<i>Pilares discontinuos. Pilares aislados con vigas.</i>
		
<i>Pilares discontinuos. Vigas sobre cartelas.</i>	<i>Pilares discontinuos. Vigas sobre cartelas ocultas.</i>	<i>Pórticos en forma de H.</i>
		
<i>Pórticos biarticulados.</i>	<i>Pilares en forma de T y L.</i>	<i>Pilares en forma de hongo.</i>

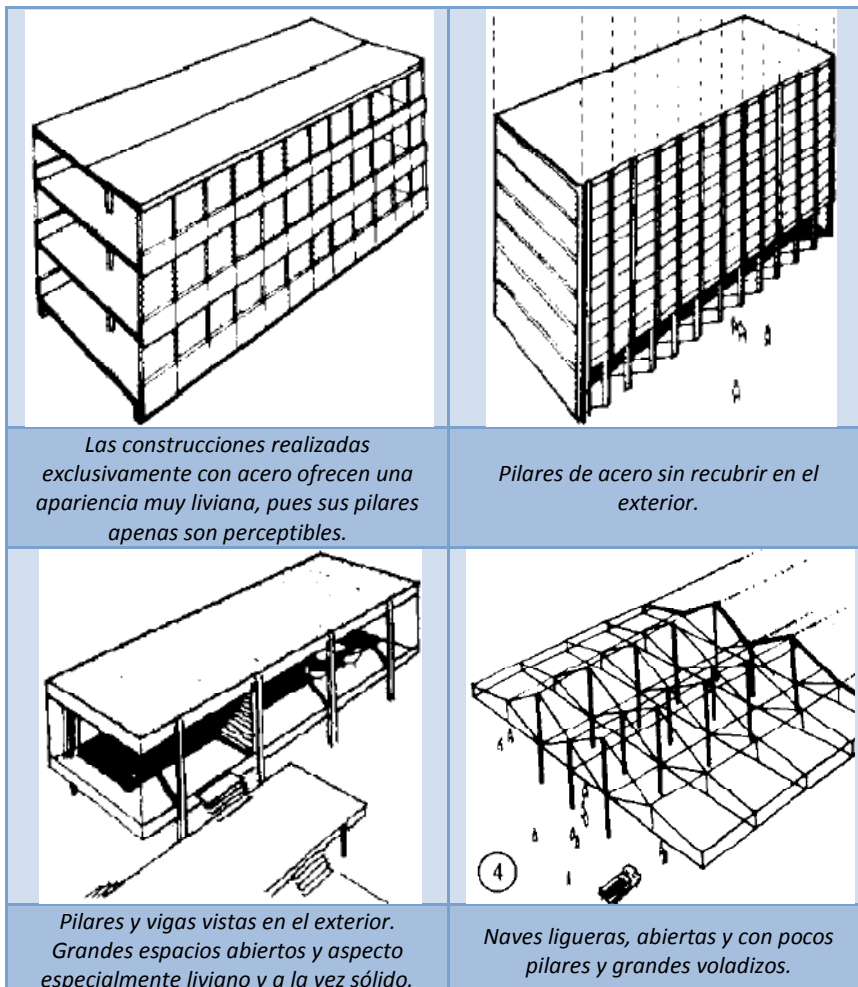
I – II.II. ACERO:

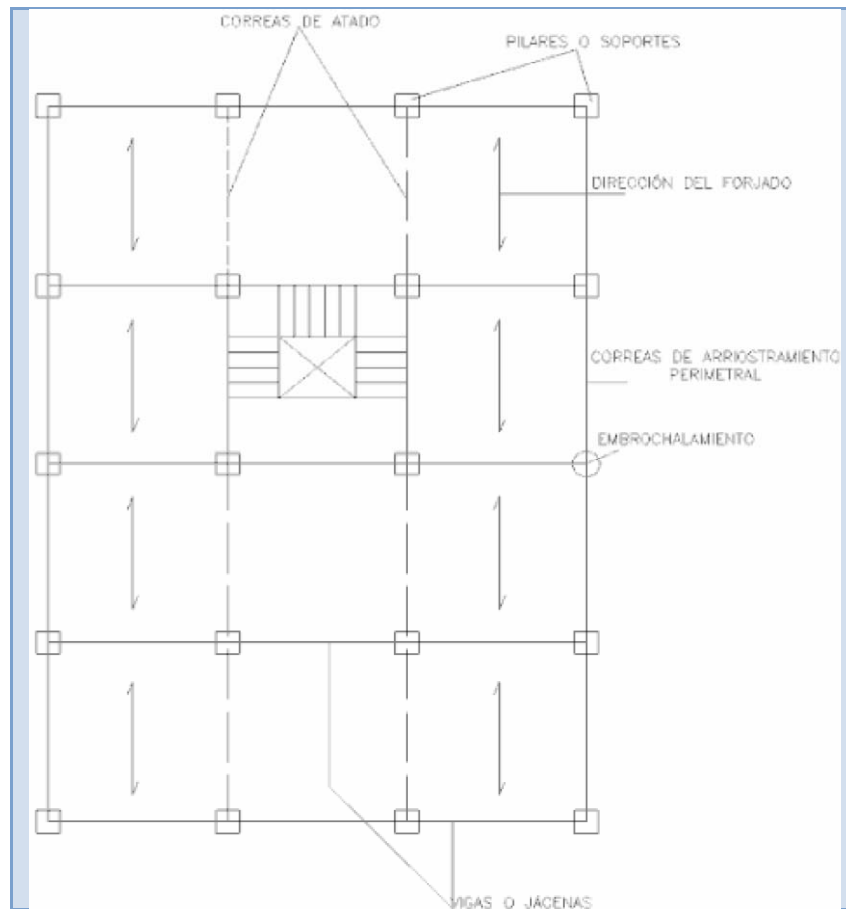
Es un material de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza. Entre sus ventajas están la gran resistencia a tensión y compresión y el costo razonable. A pesar de la susceptibilidad al fuego y a la intemperie es el material estructural más usado, por su abundancia, facilidad de ensamblaje y costo razonable. La industria de la construcción ha desarrollado diferentes formas de secciones y tipos de acero que se adaptan más eficientemente a las necesidades de la construcción de edificios.



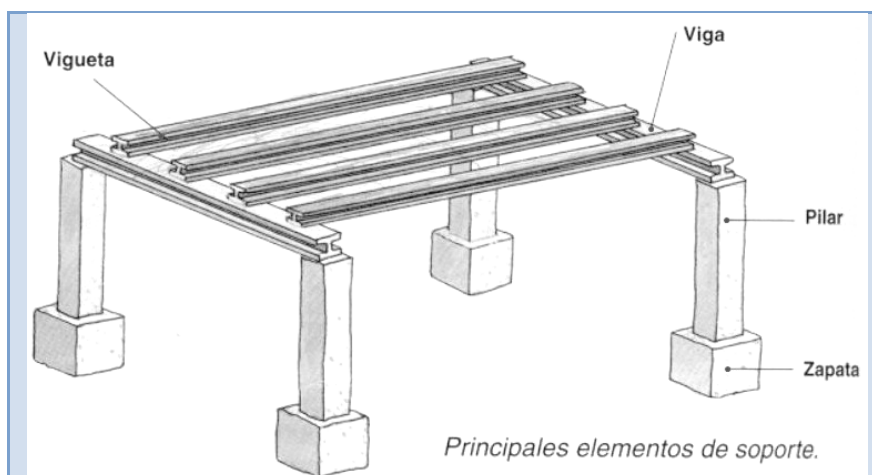
La “fatiga” puede reducir la resistencia del acero a largo plazo, cuando se lo somete a gran número de cambios de esfuerzos y romperlo frágilmente, por lo que en estos casos deben limitarse los esfuerzos máximos.

La deformación del acero a partir de la fluencia es denominada *ductilidad*. Esta es una cualidad muy importante en el acero como material estructural, y es la base de los métodos de diseño plástico. Permite, que la estructura absorba grandes cantidades de energía por deformación, circunstancia muy importante en zonas sísmicas, en las cuales es necesario que la estructura libere la energía introducida en su base por los terremotos.





Planta tipo de acero estructural. Se observa la disposición de vigas y la dirección de los paños, además del hueco de escalera.



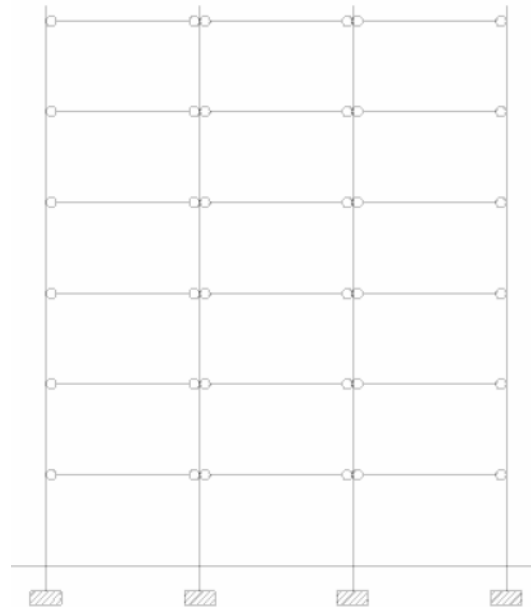
Principales elementos de soporte.

Estructura de pilares de hormigón y vigas y forjados de acero. Se aprecia la disposición de las vigas, y una forma de apoyo de las viguetas.

**- Pórtico de nudos articulados**

Es el tipo de construcción más utilizado, puesto que tiene mayor rendimiento tanto en taller como en montaje en obra.

En este tipo de estructura, los soportes están sometidos fundamentalmente a compresión y las vigas se articulan sobre ellos, no importando cual sea su dirección en el plano horizontal, por lo que esta tipología proporciona mayor flexibilidad en lo que se refiere a las necesidades arquitectónicas. Los soportes de las diversas plantas por su forma de enlace, pueden considerarse como articulados unos con otros en la base.



La estructura así concebida es un mecanismo, por lo que para oponerse a los esfuerzos horizontales producidos por sismos, viento u otras causas, deben disponerse unos elementos estructurales capaces de resistir solicitaciones. Para ello se utilizan arriostramientos.

Para efectuar un apoyo articulado de una viga en un soporte, ha de adoptarse una disposición que impida el movimiento de la viga en dirección del eje del soporte, o sea impedir su desplazamiento vertical, permitiendo, sin embargo, un giro en sentido longitudinal de la viga lo suficientemente grande para conseguir que el momento flector que pueda inducirse en la unión sea despreciable. Ejemplos de nudos articulados:

<p><math>d = \text{excentricidad de la carga}</math></p> <p><math>F</math> (Pto de acción)</p> <p>PILAR</p> <p>JACENA</p> <p>Anular de apoyo</p> <p><math>M = f \cdot d</math></p>	<p>2 UPN 200</p> <p>PRESILLAS 240x100x10 separadas 50 cm. entre ejes</p> <p>PERFIL IPN VIGA PASANTE</p> <p>REDONDO para apoyo puntual de la viga pasante</p> <p>IPN soldada al soporte para apoyo viga pasante</p>
<p><i>Soldando directamente el alma de la viga. Para que la unión pueda ser considerada flexible, la longitud de los cordones de soldadura no debe ser mayor que los 2/3 de la altura del alma.</i></p>	<p><i>La opción de viga pasante es muy buena, porque favorece tanto a la viga como al soporte. La viga, al ser pasante, se calcula como continua, con menores momentos flectores. El pilar, excepto los de medianera o esquina, recibe carga por ambos lados, por tanto puede considerarse que sólo recibe carga axial, por compensación de cargas.</i></p>



**- Pórtico de nudos rígidos**

En este tipo de estructuras, los soportes y vigas que concurren en un punto forman un nudo rígido. Es decir, las tangentes a las directrices de las diversas piezas (soportes o vigas), mantienen ángulos invariables después de la deformación.



Este tipo de estructura, tiene la ventaja de que los pórticos pueden resistir los esfuerzos horizontales en la dirección de su plano y para grandes luces suele tener mejor rendimiento que sus equivalentes de nudos articulados o de vigas continuas.

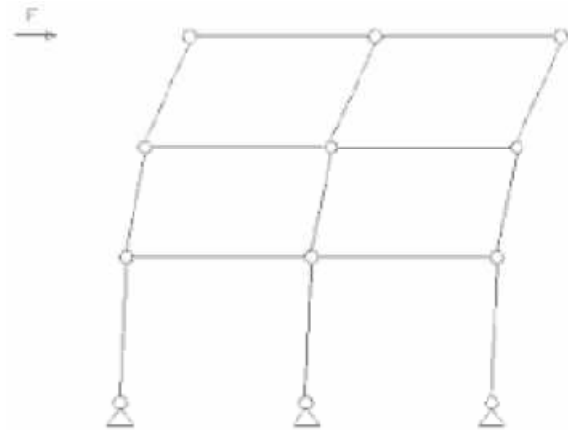


Como inconvenientes tiene mayor repercusión la existencia de asientos diferenciales, y la ejecución y el montaje son más caros que en los casos anteriores

Las uniones rígidas con empotramiento perfecto sólo se pueden conseguir si los soportes tienen una gran inercia en relación con el la de la jácena. En casos normales, una unión rígida va a introducir flexiones en los pilares, donde, para evitar esas deformaciones, harían falta pilares muy fuertes. Si la viga es muy importante, con relación al soporte, con sus esfuerzos de tracción y compresión puede producir deformaciones en las alas y alma del soporte. Con este tipo de nudos se busca coartar los tres posibles movimiento de la viga: impedir el desplazamiento horizontal en la dirección de la viga, el desplazamiento vertical en la dirección del pilar, e impedir el giro lateral de la viga (impedir el vuelco). Ejemplos de nudos rígidos:

<p><i>Ejemplo tipo de nudo rígido. Las vigas que llegan a un nudo, de cualquiera de los tipos existentes siempre han de estar niveladas en su parte superior para facilitar el apoyo del forjado.</i></p>	<p><i>Para evitar esto, será necesario transmitir el tirón y el empuje de las al (tracción y compresión), mediante rigidizadores, al alma del soporte y al ala posterior, con lo cual los esfuerzos de tracción y de compresión, se reparten entre el ala anterior, el alma y el ala posterior del soporte, tal como se indica en el dibujo siguiente.</i></p>

Con estructura metálica también se ejecutan la práctica totalidad de estructuras de edificios altos, combinándolo con forjados de hormigón, y estructuras mixtas de acero – hormigón. En ocasiones, y especialmente en el caso de estructuras de nudos articulados o vigas pasantes, son necesarios arriostramientos que aseguren la estabilidad del edificio frente a posibles esfuerzos horizontales que lo soliciten.

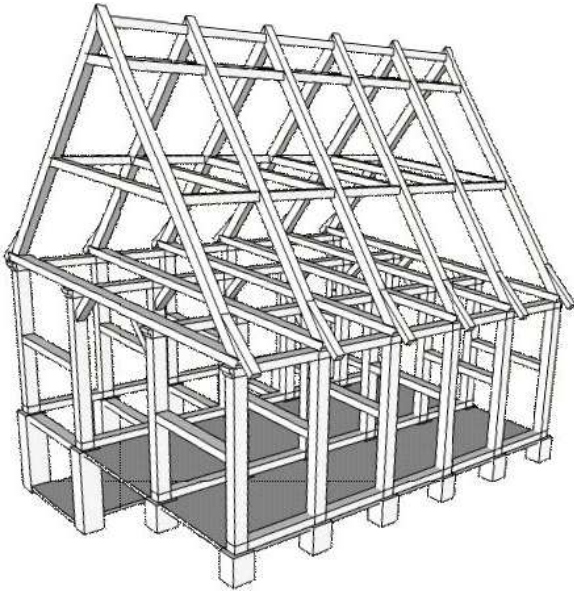


A continuación se muestran unos ejemplos de cómo se resuelve este problema:

<p>Vanos arriostrados</p> <p>Diagrama de un edificio con vanos arriostrados. Muestra un esqueleto de estructura con vigas y pilares, y triángulos de arriostramiento instalados en los huecos (vanos) para proporcionar estabilidad lateral.</p>	<p>Muros cruzados y Arriostrados</p> <p>Diagrama de un edificio con muros cruzados y arriostrados. Muestra un esqueleto de estructura con muros que se cruzan en el centro y arriostramientos adicionales para reforzar la estabilidad.</p>
<p><i>Estructura reforzada con arriostramiento con Cruces de San Andrés.</i></p>	<p><i>Estructura de muros cruzados.</i></p>
<p>Núcleo reforzado</p> <p>Diagrama de un edificio con núcleo reforzado. Muestra un esqueleto de estructura con un núcleo central sombreado que está reforzado para resistir momentos torsionales y proporcionar estabilidad.</p>	<p>Cerramiento Núcleo</p> <p>Diagrama de un edificio con cerramiento y núcleo reforzado. Muestra un esqueleto de estructura con un núcleo central reforzado y cerramiento exterior que contribuye a la estabilidad lateral.</p>
<p><i>Estructura con núcleo reforzado.</i></p>	<p><i>Estructura con núcleo y cerramiento reforzado.</i></p>

### I – II.III. MADERA:

La madera es un material natural, de poco peso y buena resistencia, pero de propiedades mecánicas muy variables. Aunque es combustible, sus propiedades mecánicas no se afectan con el fuego, como sí ocurre con los materiales metálicos como el acero y el aluminio. Es muy susceptible a los cambios de humedad y al ataque de insectos; sin embargo esta desventaja puede eliminarse con tratamientos químicos adecuados mediante el proceso de *inmunización*.



Tal vez debido a la popularización del acero en las estructuras de techos, se abandonó la práctica constructiva con madera. Aún existen ejemplos importantes de cubiertas soportadas por grandes arcos y cerchas de madera en nuestras ciudades.

#### - Uniones

La estabilidad de las estructuras de madera depende fundamentalmente de la capacidad de las uniones. Similar a lo que sucede con las estructuras metálicas, la predicción del comportamiento de ellas es muy compleja por lo que los diseños se basan en normas obtenidas a partir de ensayos experimentales. Las uniones más usadas en nuestro medio son con puntillas y pernos, y con el conformado de uniones: a media madera, cola de milano, etc).

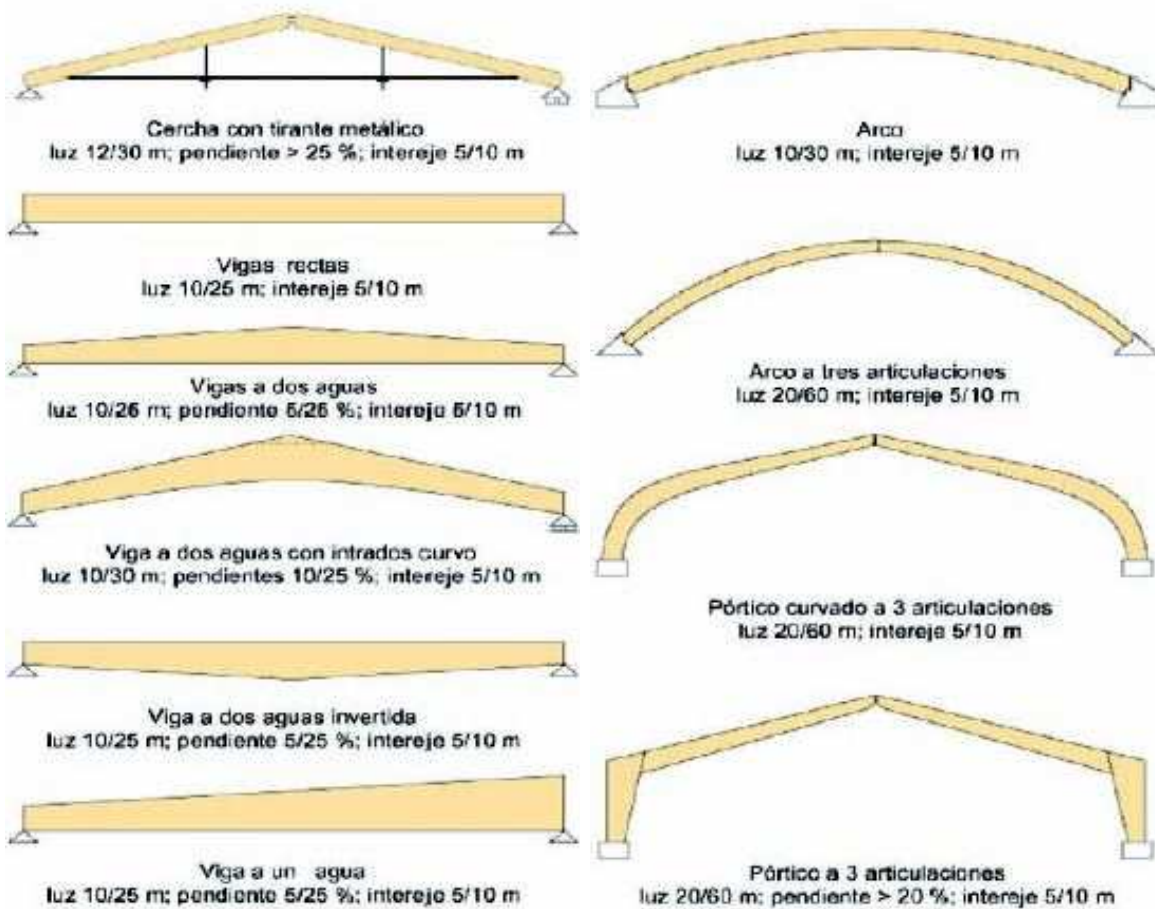
#### - Madera laminada

A medida que se han ido agotando los árboles robustos en los bosques debido a la sobreexplotación o a que algunos países han prohibido su explotación y a que la sociedad ha ido demandando estructuras que soporten cargas y luces mayores, las secciones grandes que pueden extraerse de los bosques existentes son difíciles de obtener con maderas aserradas. El avance tecnológico en los pegantes ha permitido que la madera pueda unirse, tanto en los extremos como lateralmente; así se han desarrollado productos como la madera terciada, aglomerada, laminada.

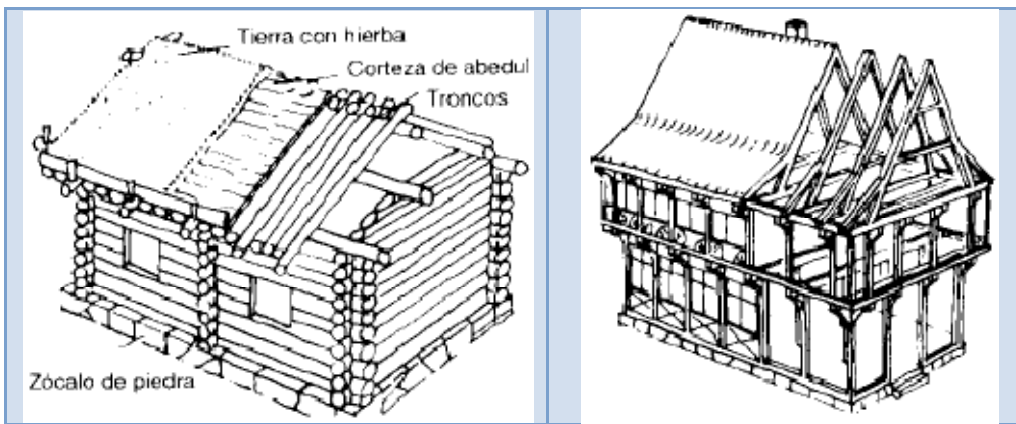


Se obtienen elementos más estables dimensionalmente y con menores deformaciones. Es un material adecuado para conformar las estructuras de las cubiertas de espacios con grandes luces, más liviano y resistente que la madera original, con una relación resistencia a peso superior. Se puede trabajar en distintas formas, siendo las más usuales la viga, el arco triarticulado y los marcos; se pueden obtener elementos de cualquier longitud y sección.

La laminación permite la construcción de vigas con sección variable, que responden a la variación de los momentos y por ende de los esfuerzos, concentrando mayor cantidad de material en las zonas de tensión y compresión de la viga, dejando la zona intermedia de la sección con menor cantidad de material (más estrechas) o con maderas de menor calidad.

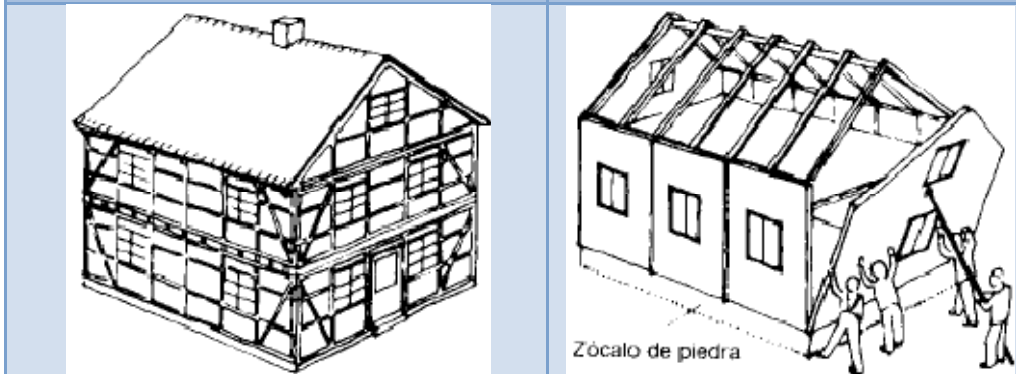


- Evolución y principales tipologías de las casas de madera



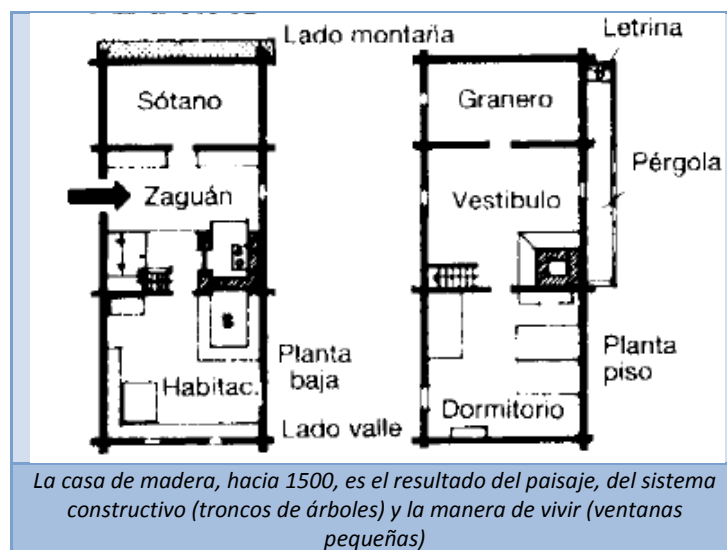
Las construcciones realizadas con troncos de árboles tienen el mismo aspecto en todos los países ricos en madera.

En las regiones pobres en madera se desarrolló el edificio con una estructura de madera (pilares aislados con ventanas entre ellos). Para conseguir un conjunto rígido se colocaban cruces de San Andrés en los antepechos.



En contraposición al ejemplo anterior se encuentran las estructuras de entramado de madera con ventanas aisladas, tornapuntas en las esquinas y entrepaños rellenos con ramas de sauce y barro.

La construcción con tableros preparados en taller permite una puesta en obra rápida y económica.



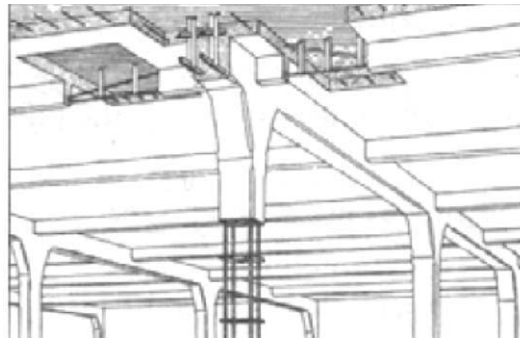
La casa de madera, hacia 1500, es el resultado del paisaje, del sistema constructivo (troncos de árboles) y la manera de vivir (ventanas pequeñas)

**I.III.- FORJADOS Y CUBIERTAS**

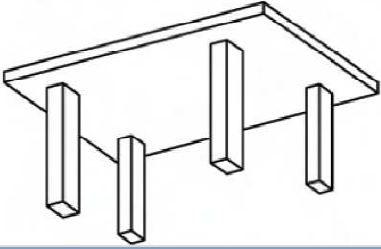
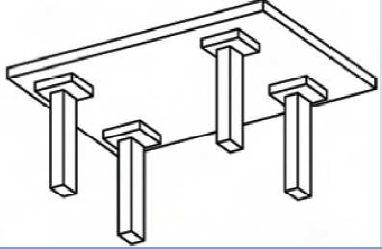
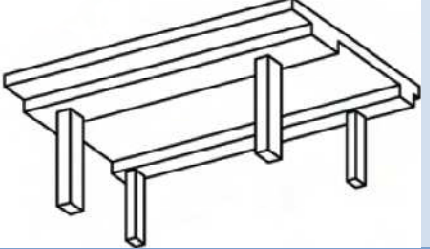
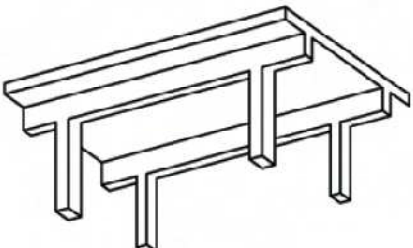
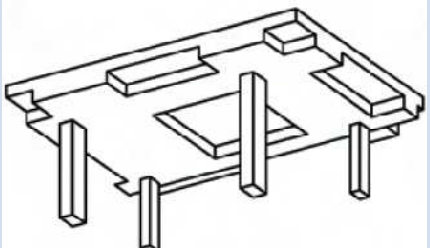
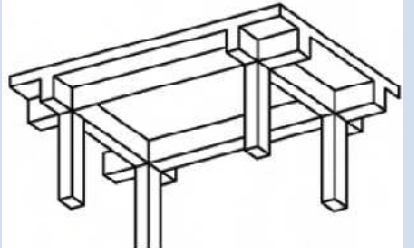
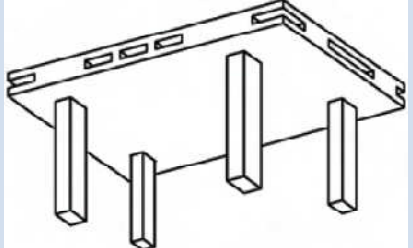
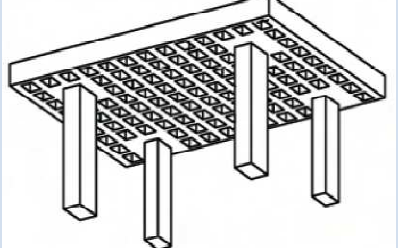
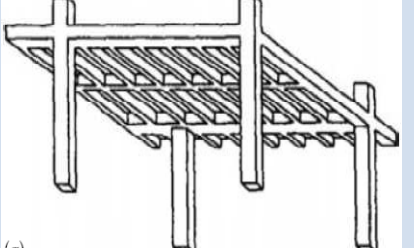
I – III.I. HORMIGÓN: FORJADOS UNIDIRECCIONALES Y BIDIRECCIONALES. LOSAS Y PLACAS. CUBIERTAS. LÁMINAS Y MEMBRANAS

*FORJADOS UNIDIRECCIONALES Y BIDIRECCIONALES. LOSAS Y PLACAS*



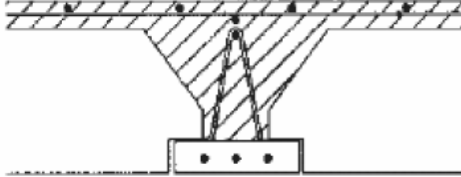
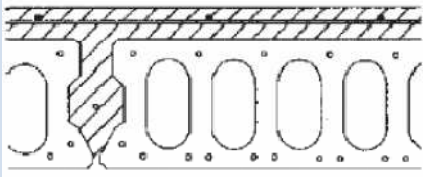
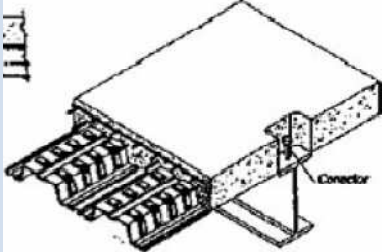
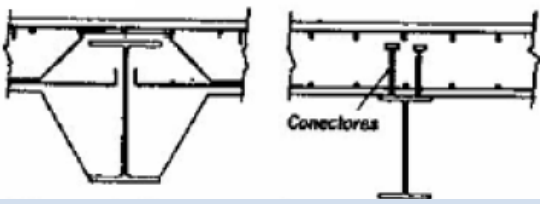
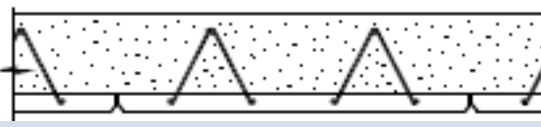

Los forjados de hormigón pueden clasificarse en dos tipos principales: nervados (unidireccionales y bidireccionales) y sin vigas (losa y placa maciza o aligerada). La imagen representa el sistema de forjado viga – pilar en hormigón armado de François Hennebique, uno de los primeros maestros en el empleo del hormigón.



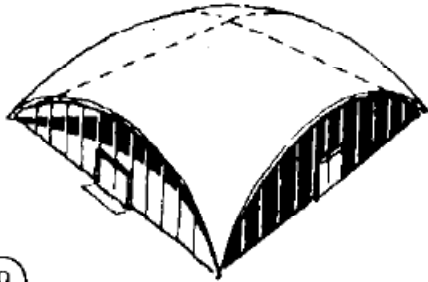

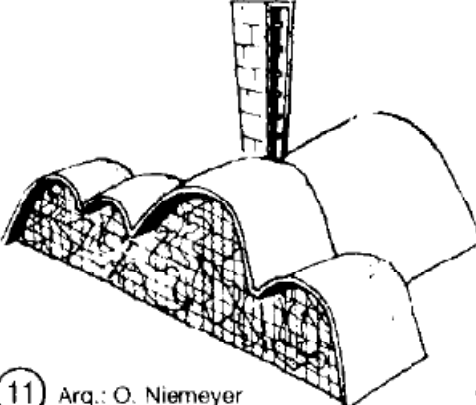
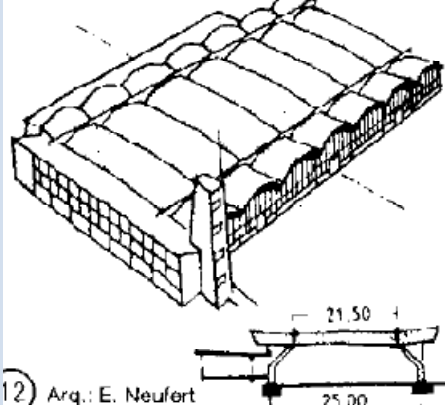
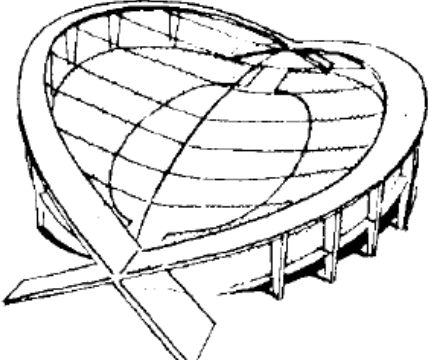
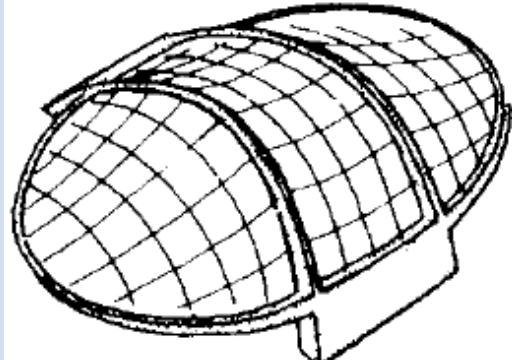
En la siguiente tabla se muestran las tipologías más empleadas para resolver las estructuras, con forjados, losas o placas:

		
<i>Losa maciza de canto constante.</i>	<i>Losa maciza de canto constante con capiteles.</i>	<i>Forjado unidireccional con vigas planas.</i>
		
<i>Forjado unidireccional con vigas de canto.</i>	<i>Forjado bidireccional con vigas planas,</i>	<i>Forjado bidireccional con vigas de canto.</i>
		
<i>Losa aligerada de canto constante.</i>	<i>Forjado reticular postesado.</i>	<i>Forjado aligerado.</i>

- Por último se representan las secciones tipo más comunes según el tipo de forjado escogido. Muchas de estas secciones son iguales que en los forjados metálicos, si sustituimos las viguetas prefabricadas por otras metálicas:

	
<p>Forjado de viguetas resistentes con bovedillas y relleno de senos.</p>	<p>Forjado de viguetas semirresistentes con bovedillas y relleno de senos.</p>
	
<p>Forjado de vigueta armada.</p>	<p>Losa alveolar pretensada,</p>
	
<p>Chapa grecada hormigonada.</p>	<p>Losa hormigonada in situ.</p>
	
<p>Forjado de prelasas prefabricadas con losa de hormigón ejecutada "in situ".</p>	<p>Forjado de piezas TT prefabricadas con losa de hormigón ejecutada "in situ".</p>

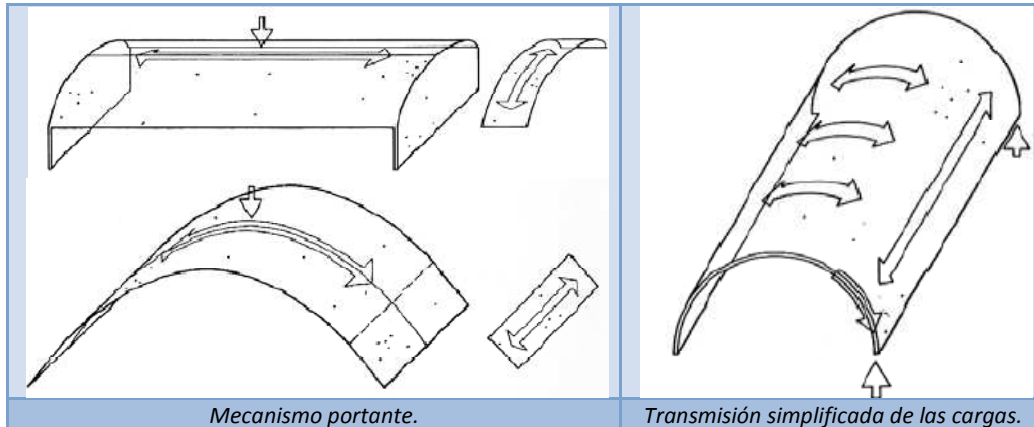
CUBIERTAS. LÁMINAS Y MEMBRANAS

	
<p>El reparto de las solicitaciones en todas las direcciones de una superficie permite emplear hormigón armado para construir cúpulas cortadas por planos.</p>	<p>Láminas longitudinales con doble curvatura.</p>
 <p>11 Arq.: O. Niemeyer</p>	 <p>12 Arq.: E. Neufert</p>
<p>Bóvedas alineadas.</p>	<p>Bóvedas con pilares inclinados en los puntos de momento nulo.</p>
	
<p>Las superficies suspendidas de hormigón armado, en conexión con vigas perimetrales, permiten edificios económicos e impresionantes, y ofrecen también la posibilidad de construir grandes voladizos.</p>	

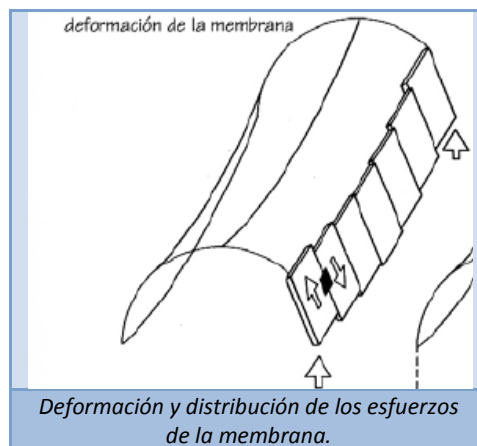


En la siguiente tabla se puede apreciar las diferencias entre lámina y membrana, puesto que, pese a que en apariencia son muy similares, sus formas de trabajo son diferentes. Para su estudio empleamos el elemento más común en este tipo de estructuras, la *bóveda de cañón*:

### LÁMINA

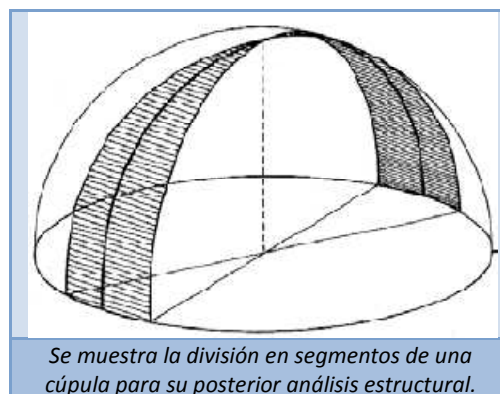


### MEMBRANA

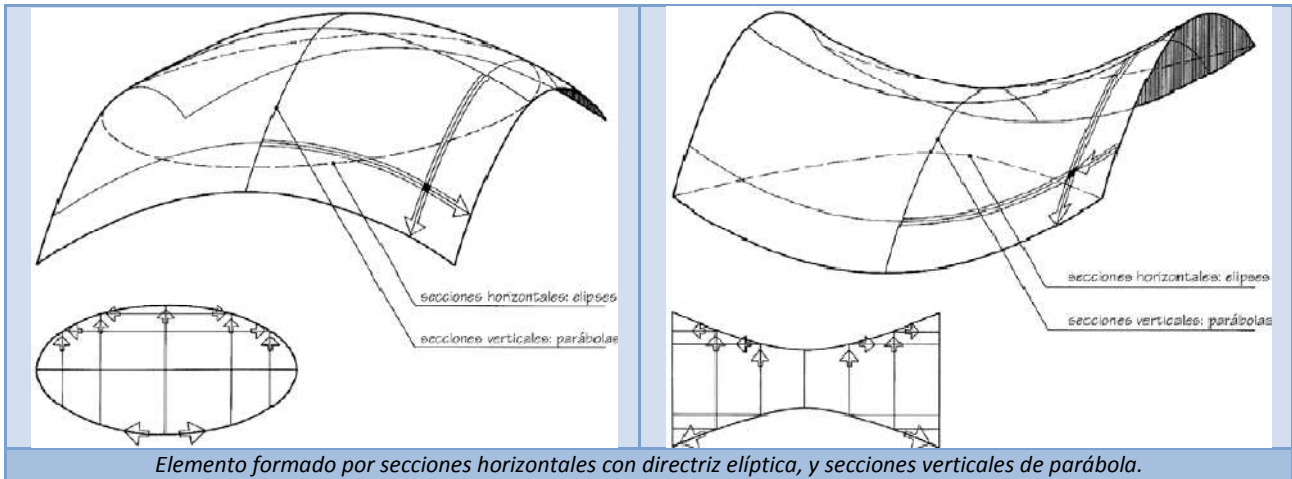


Las principales superficies generatrices de estas figuras, a parte de la *bóveda de cañón* que es la más frecuente, y ya ha sido mostrada, son las que aparecen a continuación, en ellas se aprecia esquemáticamente su reparto de cargas, aunque este será estudiado con más detalle en un apartado específico. Todas ellas supeditan su comportamiento resistente a su capacidad portante como *membrana*:

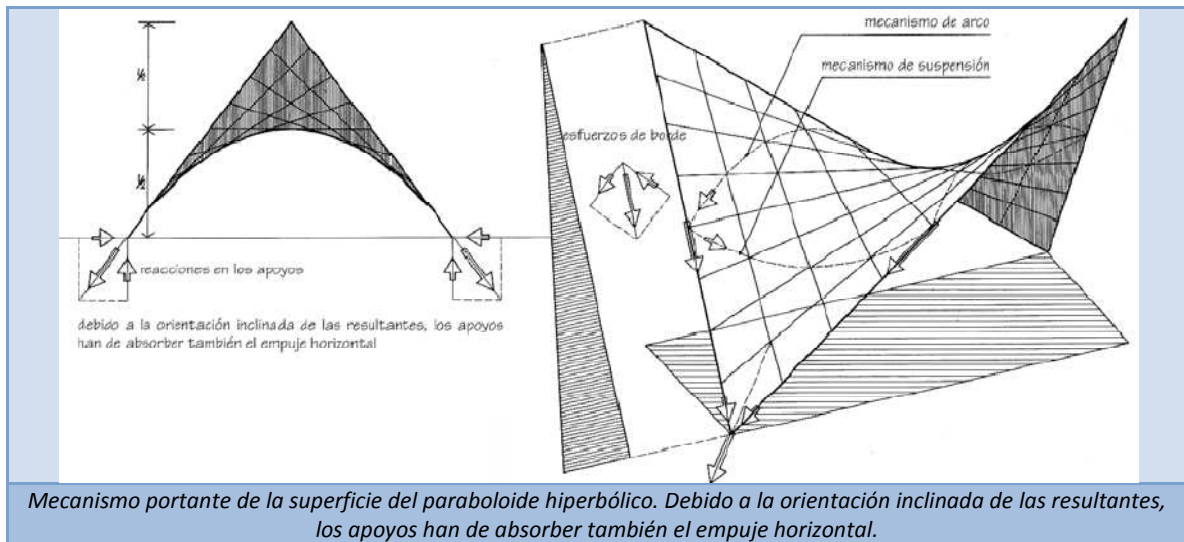
### CÚPULA



PARÁBOLAS Y ELIPSES



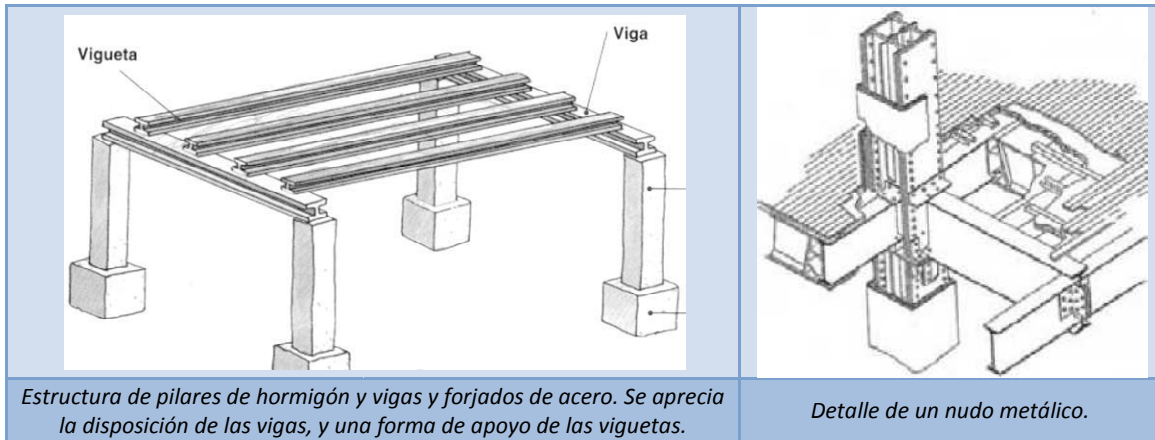
PARABOLOIDE HIPERBÓLICO



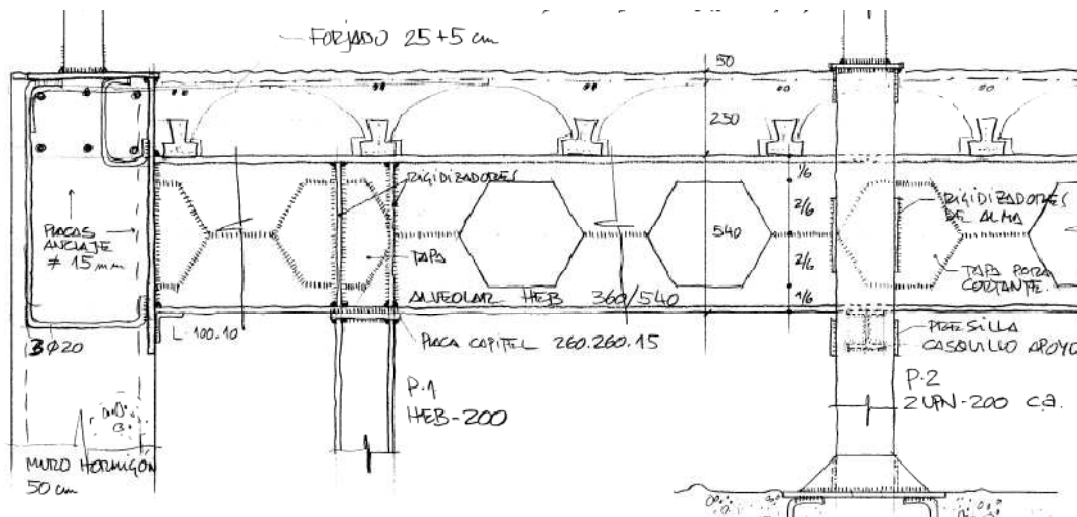
Mecanismo portante de la superficie del paraboloid hiperbólico. Debido a la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos han de absorber también el empuje horizontal.

I – III.II. ACERO: FORJADOS. CERCHAS. ESTRUCTURAS ESPACIALES

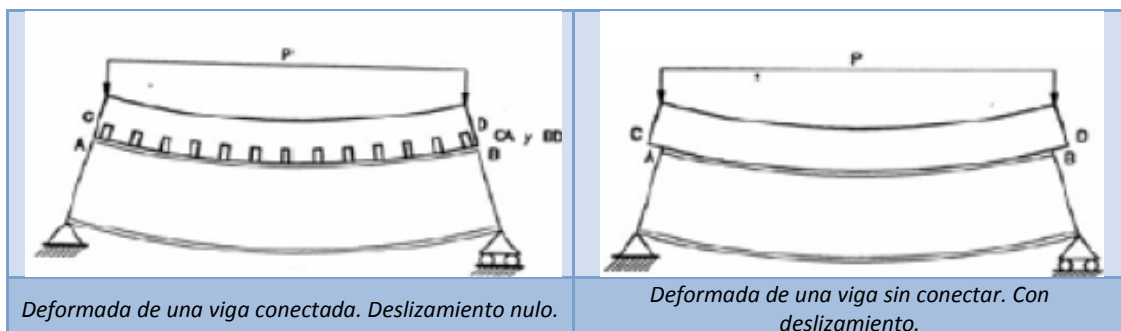
FORJADOS



En la siguiente imagen se observa la unión de una estructura metálica a un muro de hormigón, y la disposición del forjado en ella.

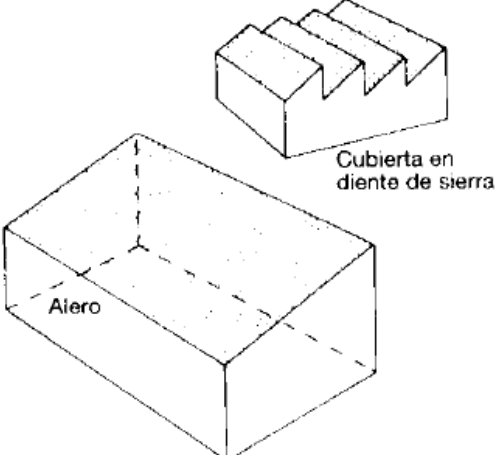
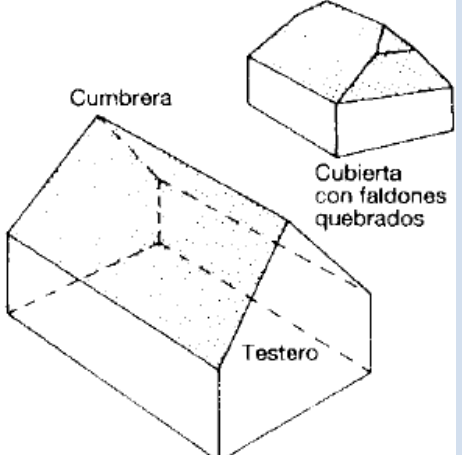
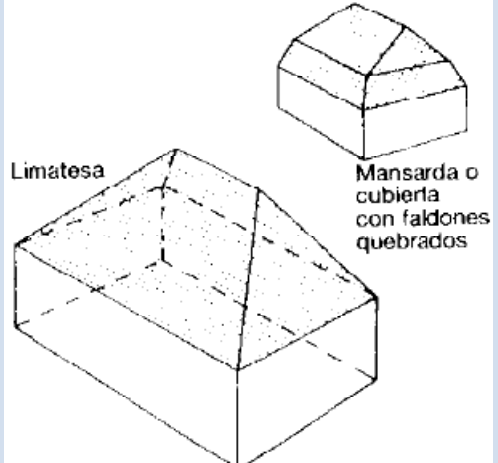
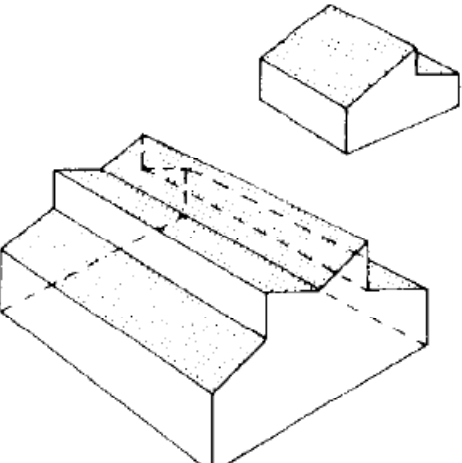
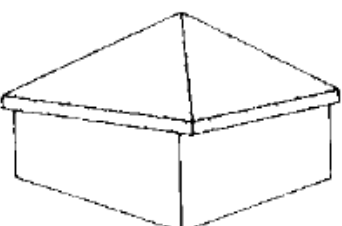
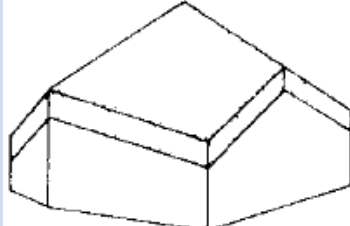
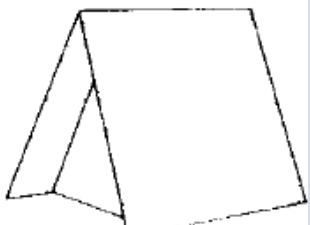
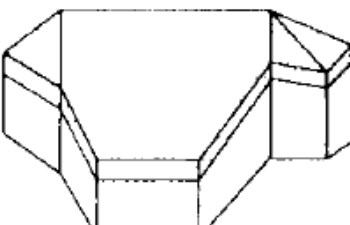


Es frecuente en las estructuras metálicas con viguetas y posterior hormigonado in situ, no realizar sólo un apoyo del forjado en la estructura metálica, sino que, empleando una serie de conectores, se consigue que la estructura metálica y los elementos de hormigón, respondan conjuntamente a los esfuerzos que los solicitan, formando así, una estructura mixta, con las peculiaridades de deformaciones conjuntas y transmisión de cargas, a corto y largo plazo, que eso conlleva:

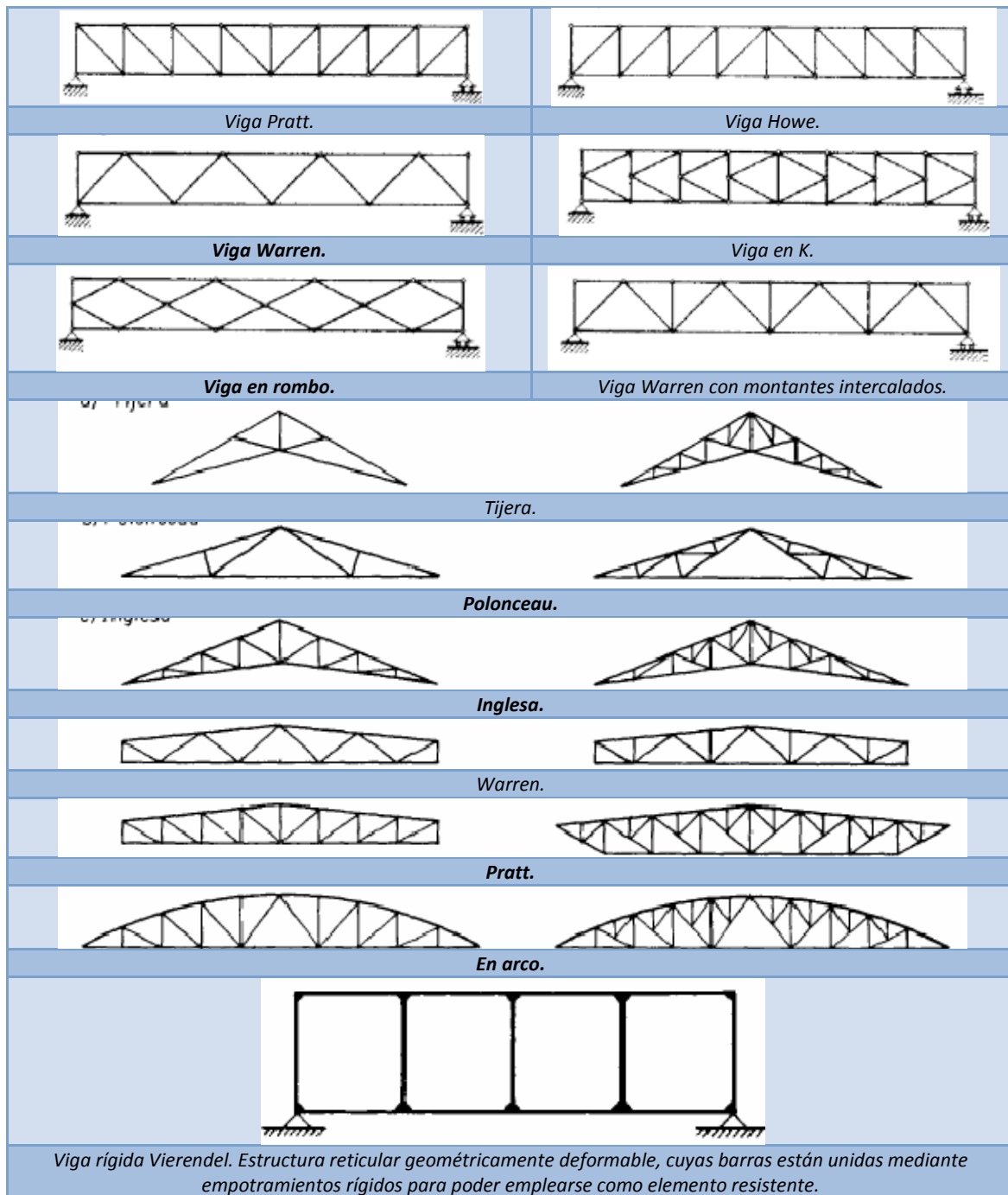


CERCHAS

- Tipologías de disposición de las cubiertas

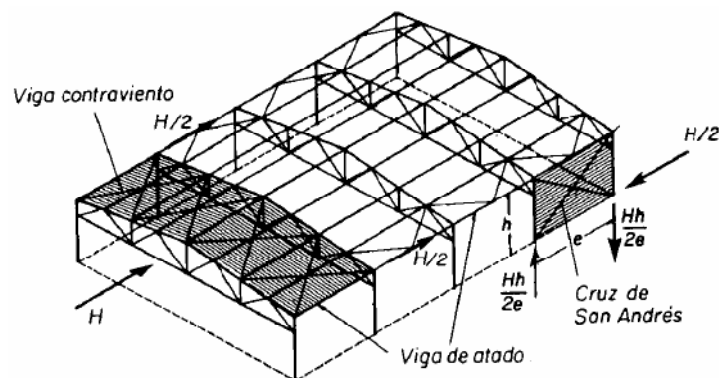
 <p>Cubierta en diente de sierra</p> <p>Alero</p>	 <p>Cumbreira</p> <p>Cubierta con faldones quebrados</p> <p>Testero</p>
<p><i>Cubierta de una vertiente</i></p>	<p><i>Cubierta a dos aguas</i></p>
 <p>Limatesa</p> <p>Mansarda o cubierta con faldones quebrados</p>	
<p><i>Cubierta con faldones</i></p>	<p><i>Cubierta combinada</i></p>
	
<p><i>Cubierta a cuatro aguas</i></p>	<p><i>Cubierta a cuatro aguas de planta poligonal</i></p>
	
<p><i>Edificio sólo con cubierta, sin fachadas</i></p>	<p><i>Cubierta con mansarda de planta poligonal</i></p>

- Cerchas y estructuras trianguladas



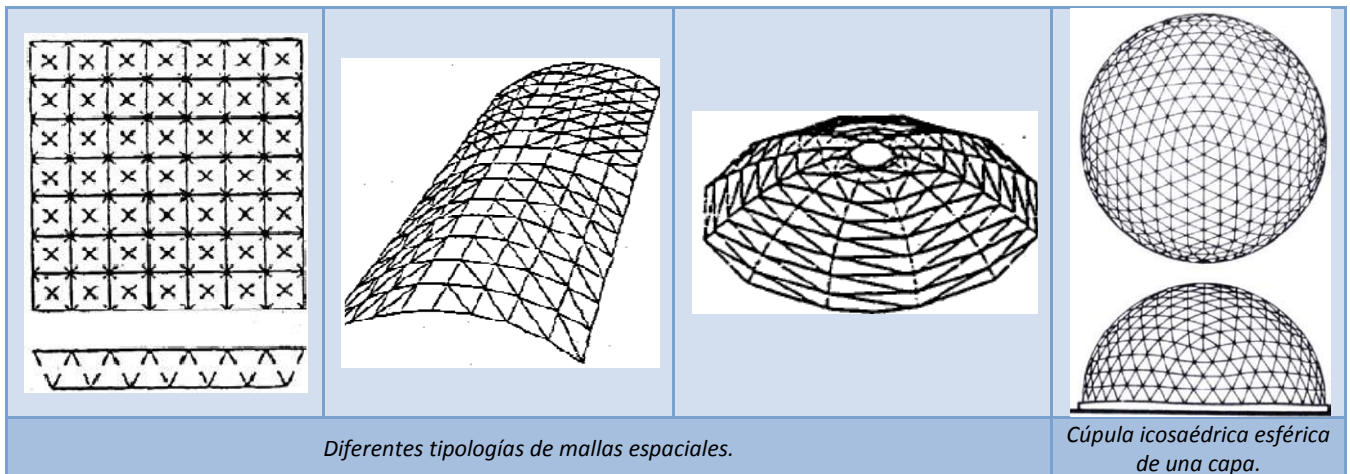
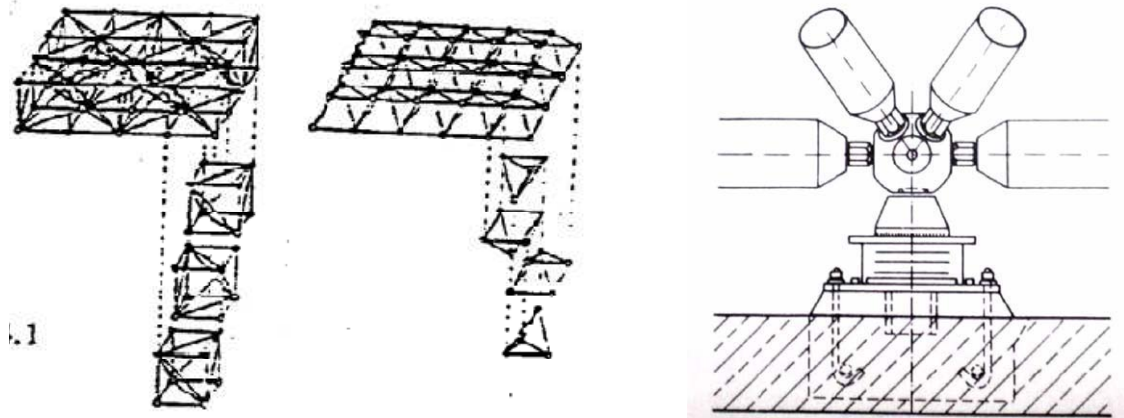
Rigidización, con Cruces de San Andrés, de un edificio con cubierta de cerchas metálicas.

Se establece que deben rigidizarse los paños verticales y horizontales, uno cada varios vanos, y en los extremos.

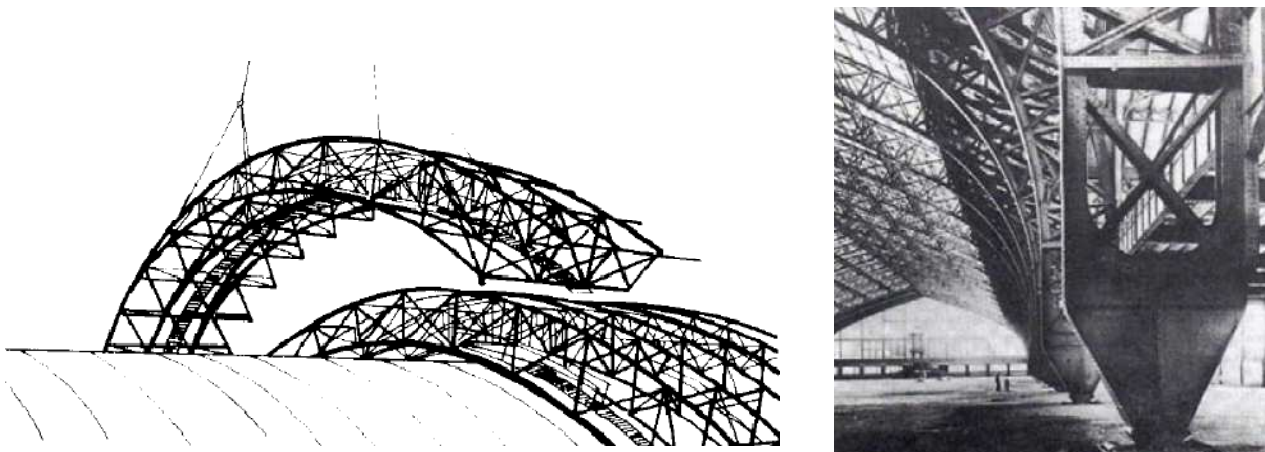


*ESTRUCTURAS ESPACIALES*

A continuación se muestran dos ejemplos de los elementos metálicos que conforman la geometría de estas mallas espaciales. El tipo de uniones empleadas y un ejemplo de apoyos de estas estructuras se aprecia también en la siguiente figura:



Ejemplo de empleo y colocación de una de estas mallas:



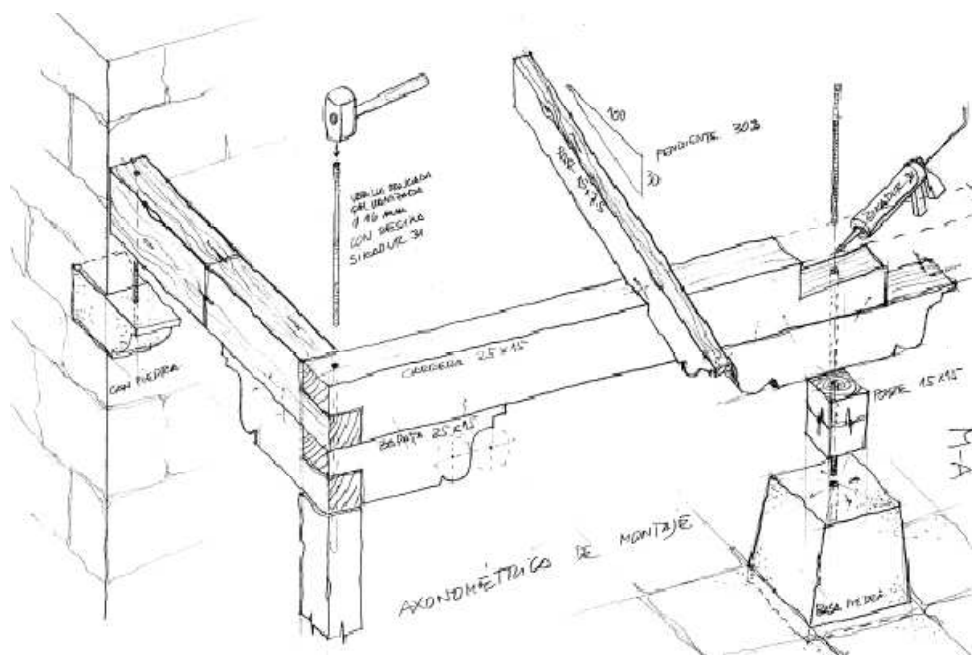
I – III.III. MADERA: FORJADOS. CERCHAS

FORJADOS

La escudría en viguetas de madera puede variar de dimensiones en función de la luz, y puede ser incluso de madera de rollizo. El entrevigado puede ser un relleno, botes cerámicos, yeso en forma de bovedilla, cascotes, yeso con paja, o estar hueco. El solado de los forjados de madera puede variar desde un entablado clavado directamente a las viguetas de madera, a un pavimento sobre capa de agarre. El cielorraso puede ser de yeso, entablado, o no existir. Los forjados recogen directamente las cargas verticales y las transmite horizontalmente a los puntos de apoyo.








En esta perspectiva se pueden apreciar las escudrías que forman la estructura y que reciben los forjados y las cubiertas:



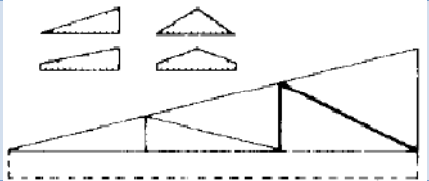
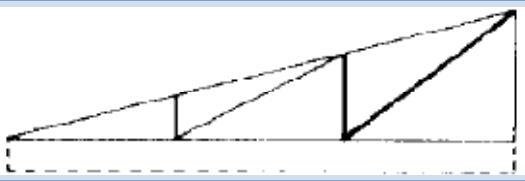
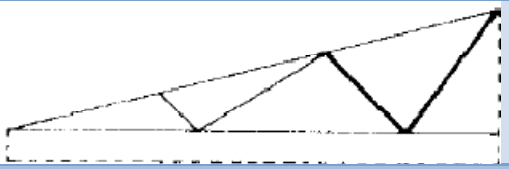
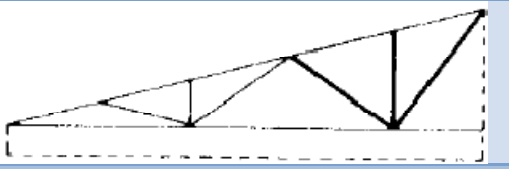
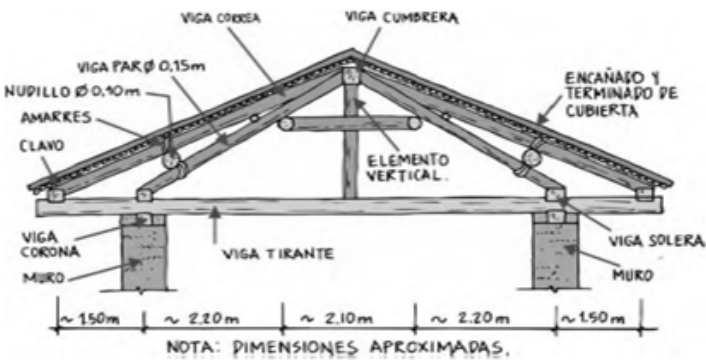

<p>Forjado clásico de madera con entrevigado de yeso y cascotes.</p>	<p>Detalle del entramado de madera de la fachada.</p>	<p>Forjado de madera con entrevigado del mismo material y solado con tablonés. Vista de perfil de viga carrera de apoyo.</p>

CERCHAS

Aunque actualmente con elementos de madera se pueden conseguir prácticamente las mismas tipologías de cerchas y disposiciones de las cubiertas que en las estructuras metálicas, en este apartado centraremos nuestro estudio en las cerchas de madera más comunes y sencillas. A lo largo de la historia de la construcción, las cerchas o estructuras trianguladas de madera han sido la forma más habitual de resolver las cubiertas de las edificaciones. En la siguiente tabla se muestran las disposiciones más empleadas y económicas:

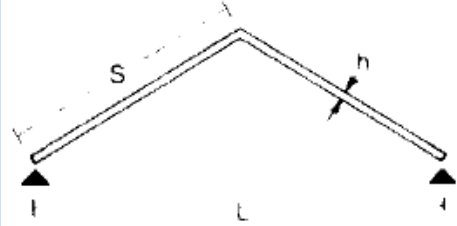
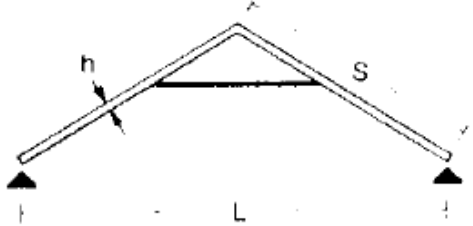
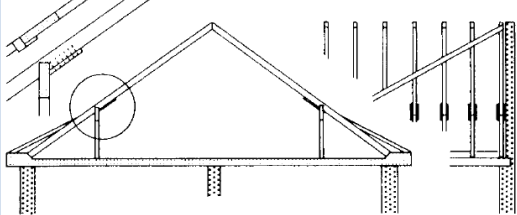
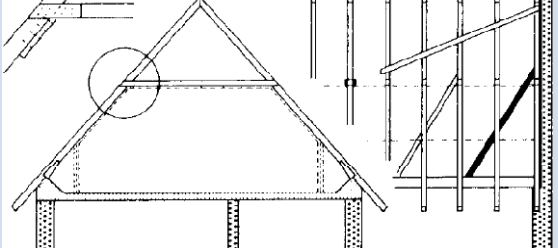
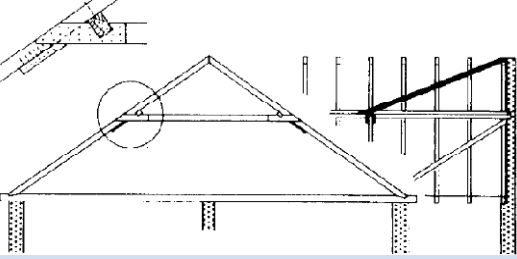
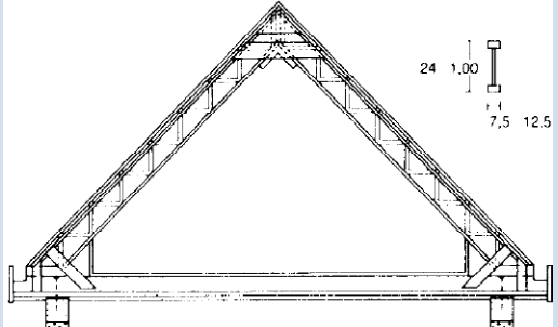
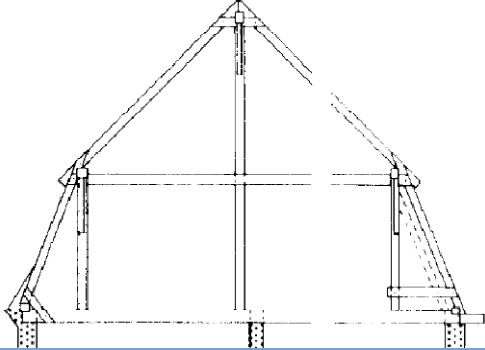
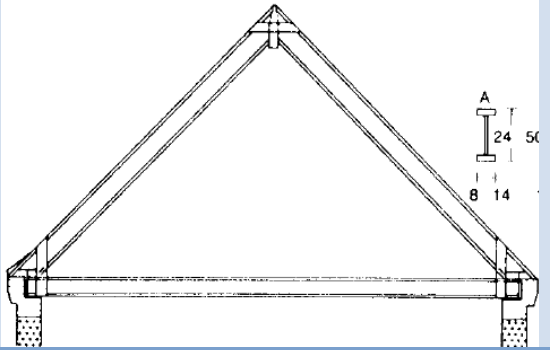
				
<i>Las cubiertas realizadas sólo con cabios son las más económicas siempre y cuando la distancia a cubrir sea reducida.</i>	<i>Las cubiertas con tirantes no son las más económicas si la pendiente es inferior a 45°, pero son la solución óptima para cubrir grandes luces sin apoyos intermedios.</i>	<i>Las cubiertas con un apoyo central siempre son más caras que las realizadas únicamente con cabios, por eso solo deben ejecutarse en casos excepcionales.</i>	<i>Las cubiertas con dos apoyos intermedios son las más económicas en la mayoría de los casos.</i>	<i>Las cubiertas con dos y tres apoyos intermedios sólo se emplean en edificios muy anchos.</i>

- Tipologías más comunes de cerchas y rigidizaciones

	
<i>Tornapuntas descendentes con tirantillos verticales</i>	<i>Tornapuntas ascendentes con tirantillos verticales</i>
	
<i>Tornapuntas descendentes y ascendentes</i>	<i>Tornapuntas descendentes y ascendentes con tirantillos verticales</i>
 <p>VIGA CORONA, VIGA CUMBREIRA, VIGA PAR <math>\phi</math> 0,15m, NUPILLO <math>\phi</math> 0,10m, AMARRÉS, CLAVO, VIGA CORONA, MURO, VIGA TIRANTE, ELEMENTO VERTICAL, ENCAÑADO Y TERMINADO DE CUBIERTA, VIGA SOLERA, MURO.</p> <p>~ 1,50m   ~ 2,20m   ~ 2,10m   ~ 2,20m   ~ 1,50m</p> <p>NOTA: DIMENSIONES APROXIMADAS.</p>	
<i>Cercha tradicional de madera.</i>	



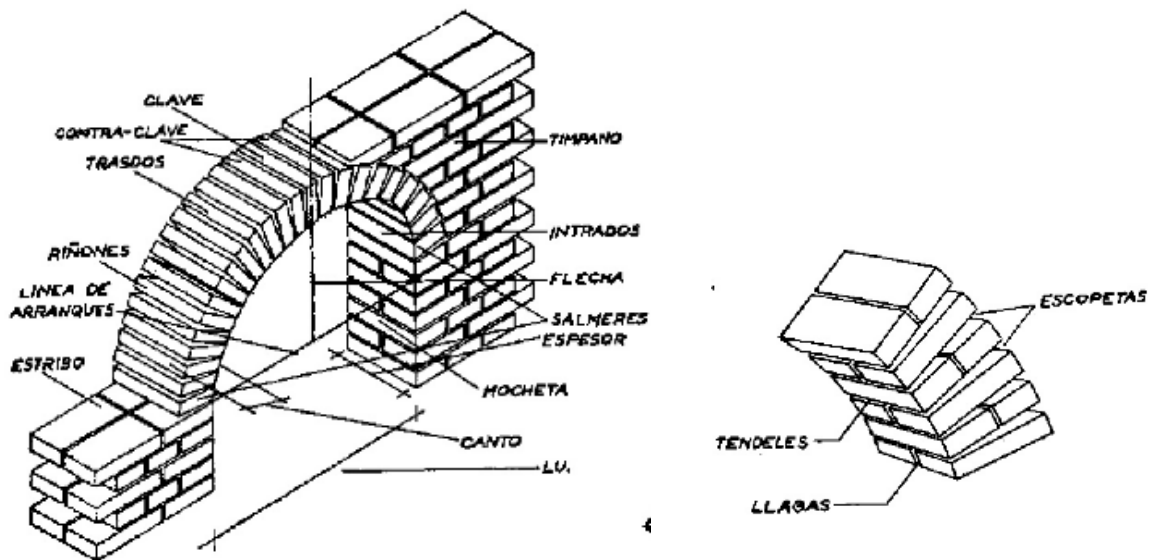
- Ejemplos de cerchas y estructuras trianguladas

	
<p><i>Cubierta de cabios</i></p>	<p><i>Cubierta de cabios atirantados</i></p>
	
<p><i>Cubierta de cabios con tirantillos verticales</i></p>	<p><i>Cubierta de cabios atirantados y desván habitable</i></p>
	
<p><i>Cubierta de cabios atirantados y correas</i></p>	<p><i>Cubierta de cabios encolados de celosía (con garantía indefinida) y tornapuntas a 45°; luz máxima de 25 m</i></p>
	
<p><i>Cubierta con mansarda</i></p>	<p><i>Cubierta de cabios con vigas de madera laminada; relación entre canto y luz 1:15 – 1:20</i></p>

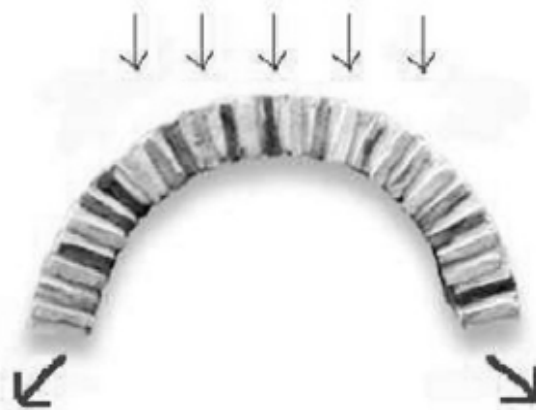
### I – III.IV. FÁBRICA DE LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA: ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS

#### - Arcos

Elementos formados piezas pétreas, dispuestas de tal forma que permiten soportar cargas sobre ellos y transmitirlos a los apoyos. Su nomenclatura es la siguiente:

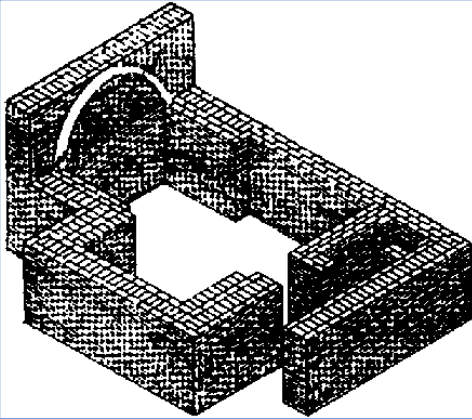


Basan su resistencia en su trabajo por forma, y en una gran capacidad de resistencia a compresión de cada elemento.

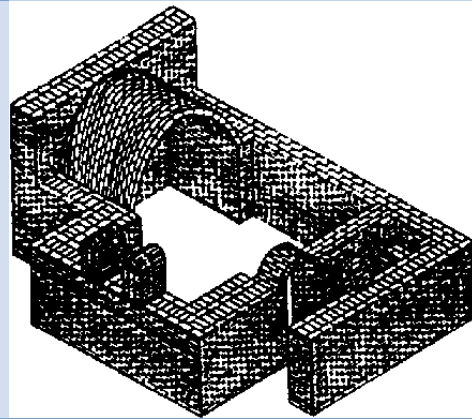


#### - Bóvedas y cúpulas de ladrillos de barro

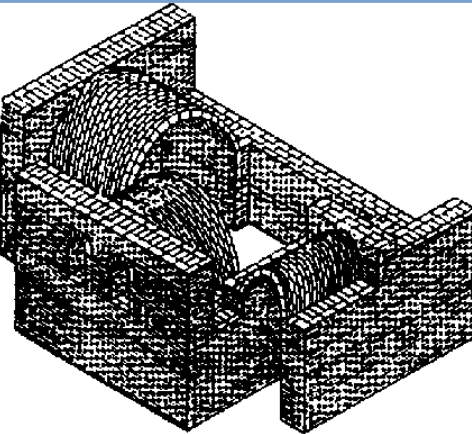
Cúpulas y bóvedas son formas estructurales autoportantes, una vez completadas, pero durante el proceso de construcción requieren de soportes y encofrados. Esto significa usualmente la construcción de una bóveda de madera idéntica, sobre la cual descansa la bóveda de mampostería, hasta que ésta sea completada y fraguada. La vivienda que se muestra a continuación, fue construida con ladrillos de barro, y no usa encofrado.



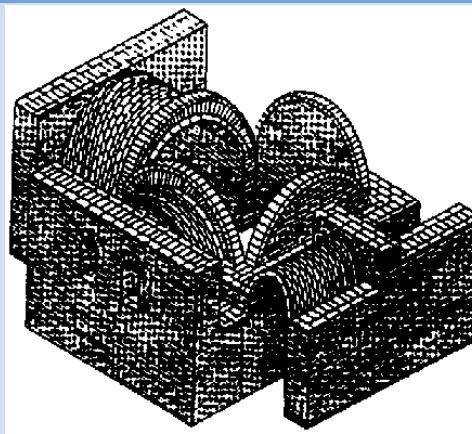
Los muros se construyen hasta el punto de arranque de las bóvedas. El muro al final es levantado hasta su altura completa, para que la bóveda se apoye en el mismo y sobre este muro se ubica el trazo de la catenaria invertida.



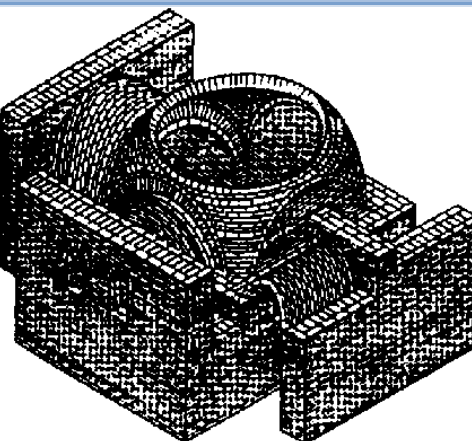
La bóveda es completada; cada hilada está menos inclinada, hasta que la bóveda se empareja con los muros laterales. Los vanos de las ventanas se construyen sobre ladrillo de barro sin mortero.



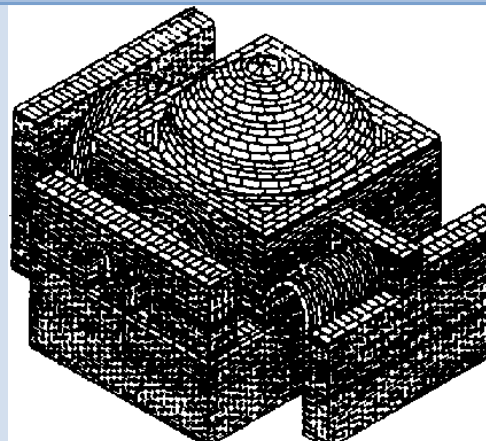
Las bóvedas pequeñas se construyen del mismo modo que las grandes. Los ladrillos sueltos se retiran de los huecos de las ventanas.



Se construyen áreas circulares sobre las bóvedas para crear una base para la cúpula.



Se completan las pechinas formando una hilada continua sobre la cual la cúpula se puede completar.



Las hiladas de ladrillos se inclinan sucesivamente hasta completar la cúpula.

Como caso particular, y con una relevancia especial en el panorama español, citamos la *bóveda catalana o bóveda tabicada*, que es una técnica de construcción tradicional catalana. Consiste en cubrir el recinto o espacio mediante una bóveda de ladrillos colocados por la parte plana, es decir, por la cara de superficie mayor que forman el largo o soga y el ancho o tizón del ladrillo, en vez de hacerlo por cualquiera de las demás caras gruesas. Esta técnica, si el recinto a cubrir no era demasiado ancho y los albañiles eran suficientemente hábiles, permitía construir con una cierta rapidez y sin usar cimbra, hecho este que entre otros motivó su amplia difusión y utilización. A partir del siglo XIX se aplicó a las fábricas y naves industriales.



El origen de la bóveda tabicada lo hallamos en el trabajo de los constructores romanos que doblan, para reforzar la cimbra o encofrado permanente de ladrillos planos que se extendía por debajo de las bóvedas de argamasa y piedra de las grandes construcciones romanas.

*"El (ladrillo) ha creado ese eficaz invento constructivo que es la bóveda tabicada; porque, con rasillas y yeso o cemento rápido, un albañil avezado es capaz de hacer, en pocas horas, las más variadas formas resistentes, sin otro instrumental que gaveta y paleta. Ciertos pisos extremeños, son simples bóvedas rebajadas en rincón de claustro, cubiertas de tierra hasta el nivel del piso, y estribadas sobre gruesos muros, de ladrillo o de adobe, que la dureza del clima y la naturaleza del suelo aconsejan en aquellas regiones."*

Eduardo Torroja, "Razón y Ser de los tipos estructurales"

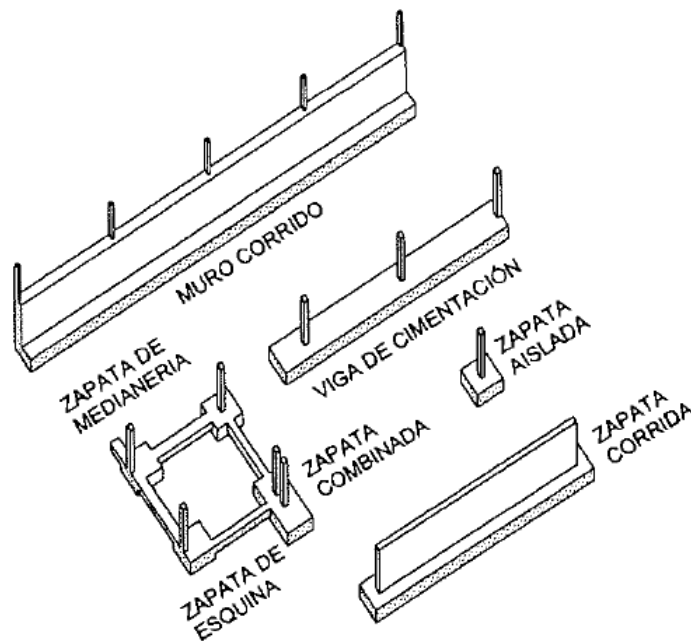


**I.IV.- CIMENTACIONES SUPERFICIALES Y PROFUNDAS: HORMIGÓN, ACERO, MADERA, LADRILLO Y PIEDRA**

Cuando nos centramos en el estudio de las cimentaciones de las diferentes tipologías de edificios, se observa que, independientemente de su material constituyente, se aprecian en todos unas formas comunes de transmisión de cargas al terreno. Estas tipologías las subdividimos principalmente en superficiales y profundas.

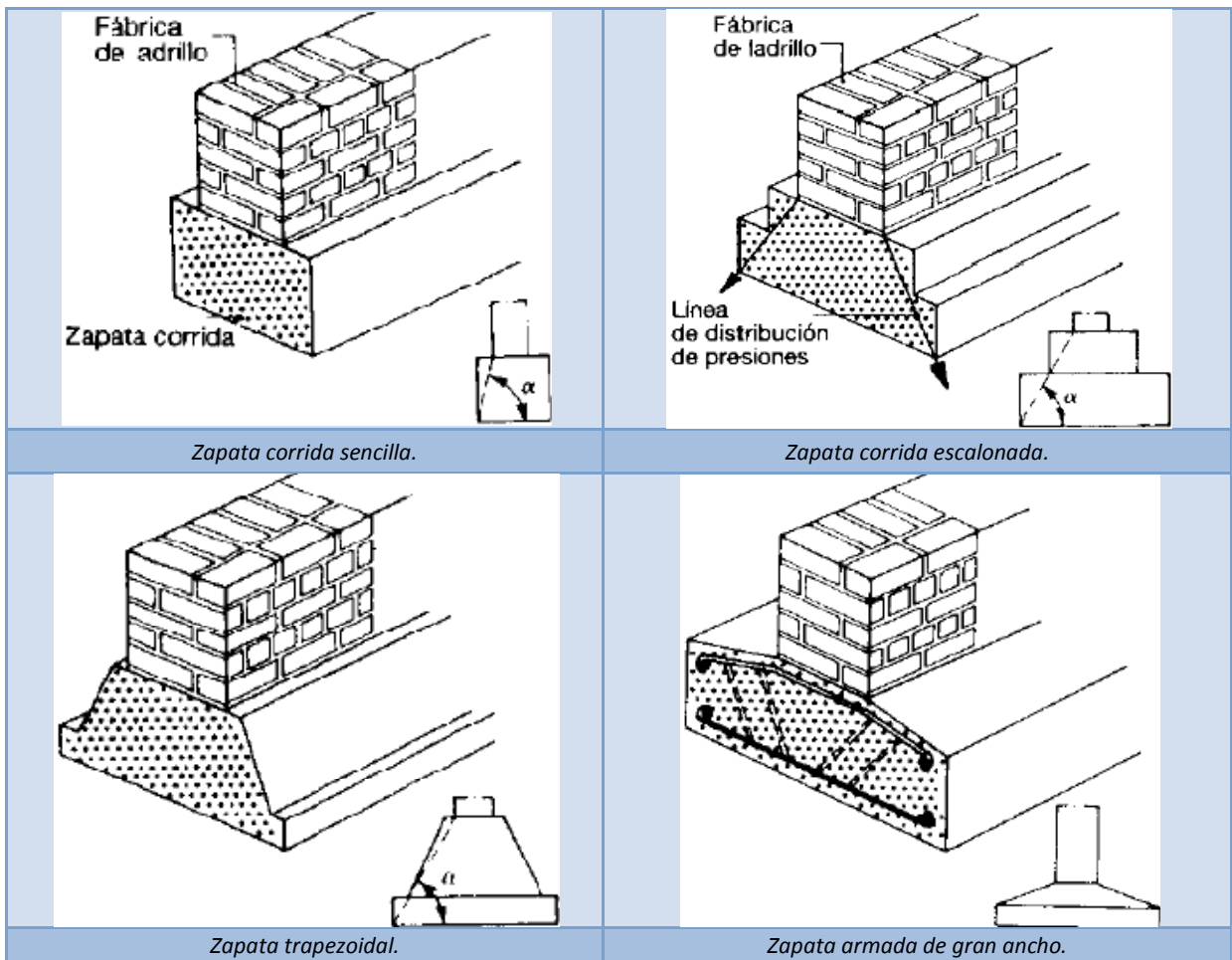
*SUPERFICIALES*

En la siguiente imagen observamos los diferentes tipos de cimentaciones que podemos encontrarnos y, a continuación, se nos muestra la diferencia entre unas zapatas aisladas, un emparrillado y una placa de cimentación:

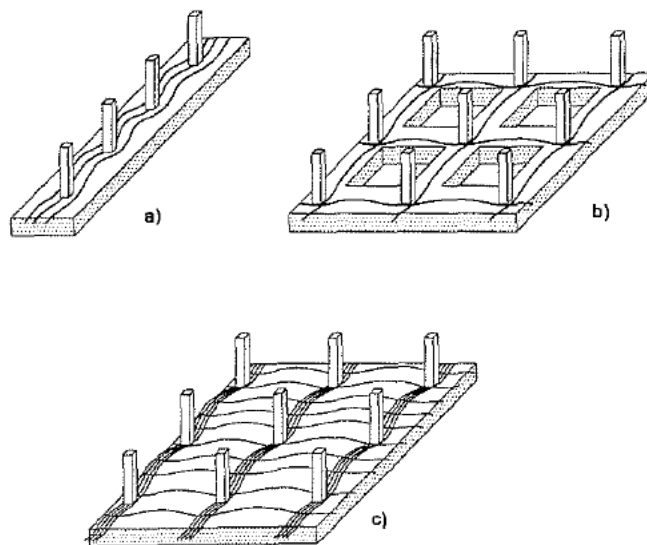


<p><i>Cimentación aislada para edificios ligeros sin sótanos.</i></p>	<p><i>Emparrillado. Lo más usual, especialmente en construcciones resueltas mediante muro de carga, es emplear cimentaciones corridas.</i></p>	<p><i>Placa. Losa de hormigón armado.</i></p>

- Diferentes formas de resolver una zapata corrida



También es de cierta importancia mencionar el hormigón pretensado, que representa una solución con grandes posibilidades en cimentaciones de importancia, y especialmente en el campo de las cimentaciones con vigas, emparrillados y placas:



PROFUNDAS

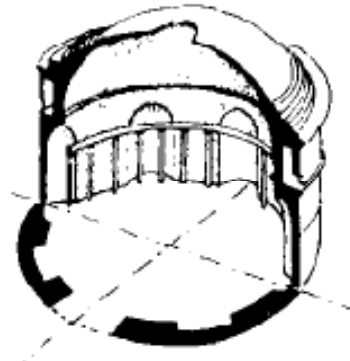
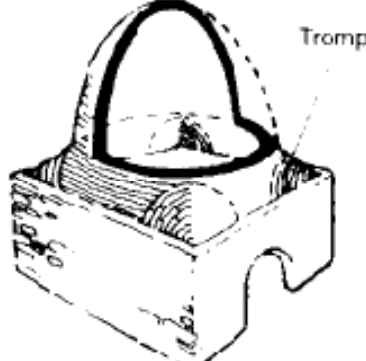
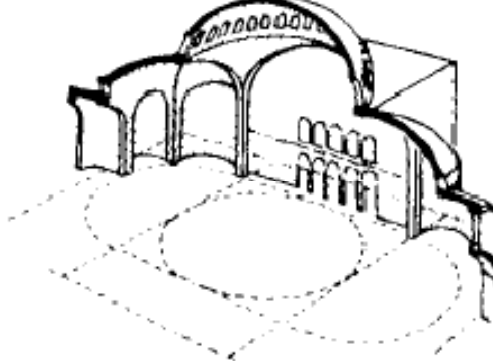
Las cimentaciones profundas se dividen en: pilotes, pozos, muros, pantallas y micropilotes.

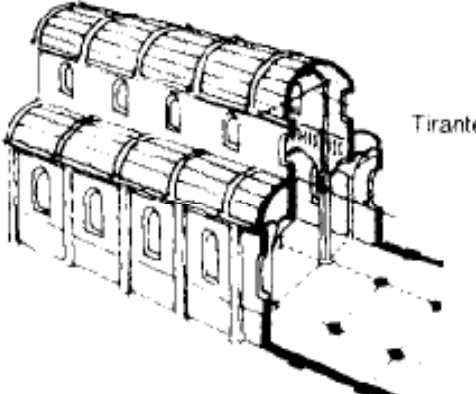
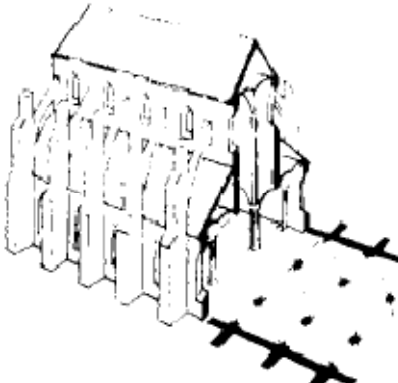
<p><i>Cimentaciones a base de pilotajes y pozos. Normalmente ejecutados con hormigón, ya sea in situ o prefabricado. Trabajan por fuste y rozamiento.</i></p>	<p><i>Pilotaje en construcción histórica, realizados con madera.</i></p>	<p><i>Esquema. Muros de contención de hormigón. Muros pantalla. Pantallas metálicas. Pueden ir anclados o no. Trabajan generalmente a flexión.</i></p>

<p><i>Esquema de cimentación mediante micropilotaje. Disposición e introducción de los micropilotes. Muy empleados en rehabilitación. Inicialmente conocidos como "pali radice".</i></p>	<p><i>Ejemplo de intervención con micropilotes. Trabajan por fuste casi exclusivamente, y ligeramente por punta.</i></p>

### I.V.- ESTRUCTURAS HISTÓRICAS

Se muestran en la siguiente tabla las edificaciones más representativas en las construcciones históricas. En ella se pueden ver los esquemas estructurales, y las principales disposiciones de bóvedas y cúpulas.

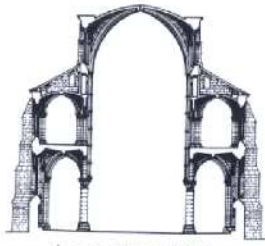
	 <p>Trompas</p>	
<p>Los romanos construyeron las primeras cúpulas de piedra sobre una planta circular; el Panteón es el ejemplo más puro.</p>	<p>En Persia, los Sasánidas (siglo VI) partían de una planta cuadrada para construir sus primeras cúpulas. Transición del cuadrado al círculo mediante "trompas".</p>	<p>Los maestros de obra bizantinos construyeron hace 1400 años las cúpulas de Santa Sofía sobre una planta rectangular, claramente visibles desde el exterior, pero ocultas en el interior por efectos ópticos (desmaterialización).</p>

 <p>Tirantes</p>	
<p>De piedra, primero en la época romana, y luego en la arquitectura románica (ejemplo: iglesia de Sibenik, Yugoslavia).</p>	<p>Partiendo de la bóveda de arista (intersección de dos bóvedas) y empleando el arco apuntado en el gótico surgieron soberbias bóvedas estrelladas y reticulares, cuya transmisión de fuerzas se convirtió en característica fundamental de este estilo (contrafuertes y arcos botareles).</p>

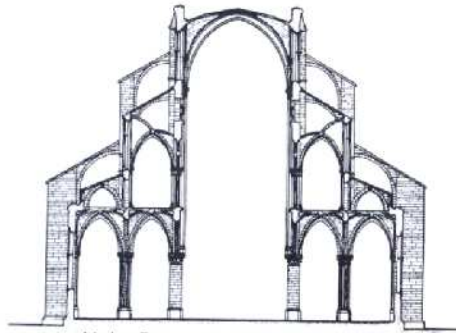
Por último se muestra la evolución en la sección principal de las catedrales. Se puede observar como según estas van ganando altura, la presencia de los arbotantes y botareles se hace más importante. También se muestra el perfil idealizado de la Catedral de León, y su planta. Así como una sección tipo de una catedral.



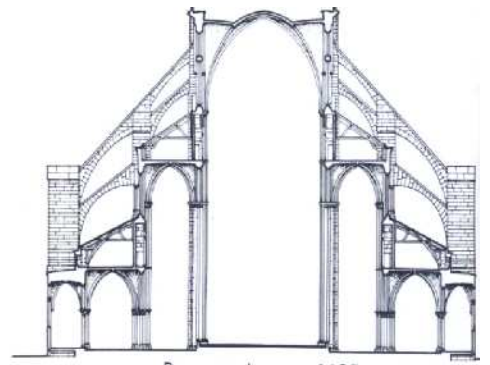
SECCIONES TRANSVERSALES DIVERSAS



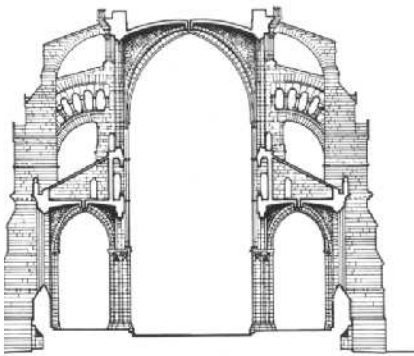
Laon, circa 1175



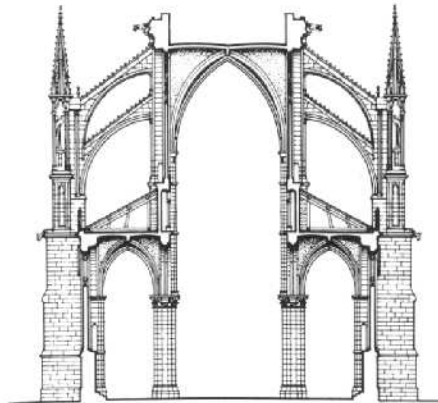
Notre Dame de Paris, circa 1180



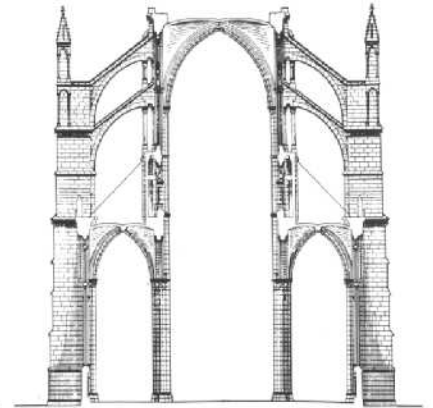
Bourges, begun 1195



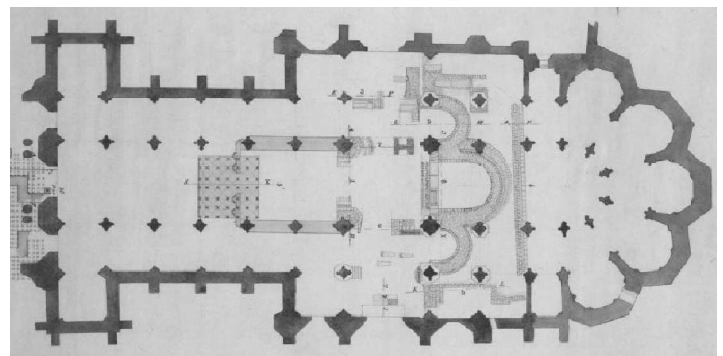
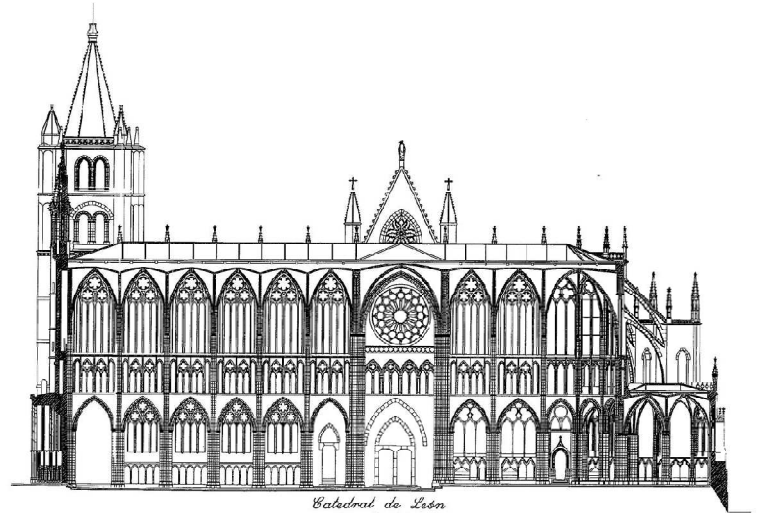
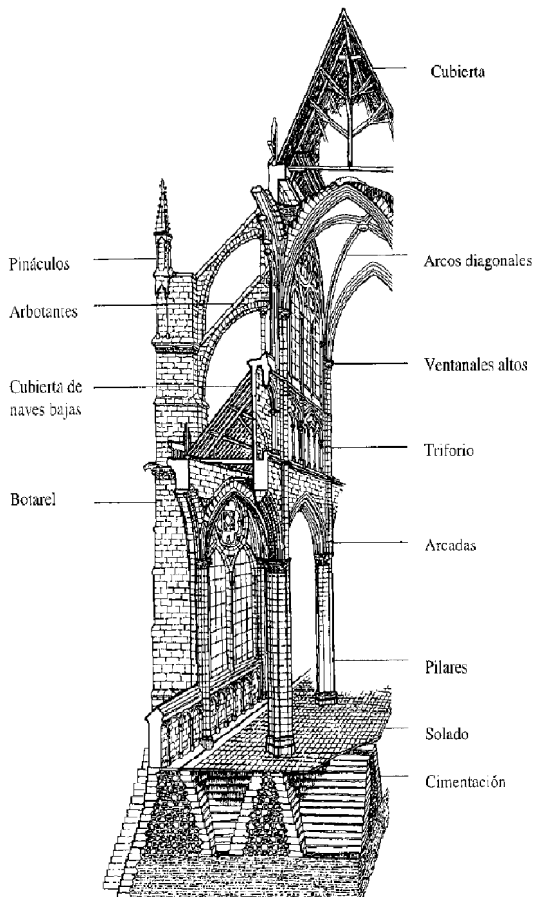
Chartres, begun 1194



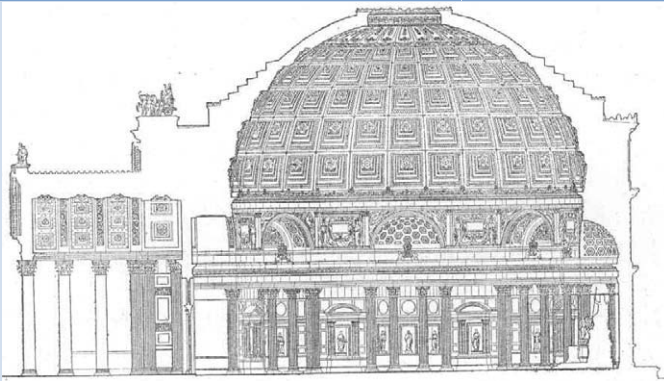
Reims, circa 1210



Amiens, begun 1220

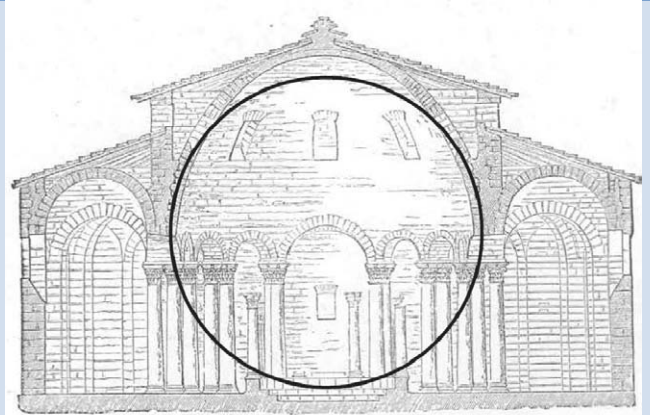


EJEMPLOS REPRESENTATIVOS DE CÚPULAS EN CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS



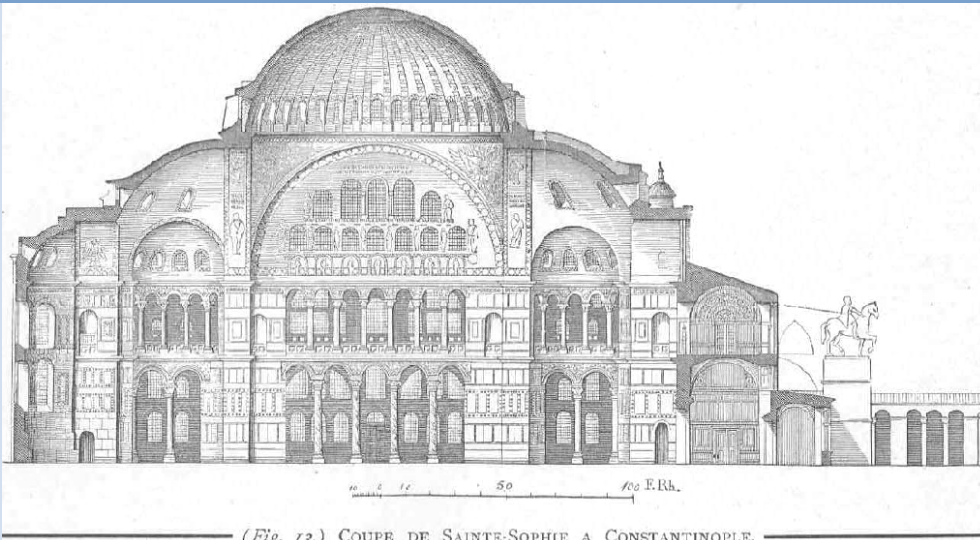
(Fig. 11.) COUPOLE DU PANTHÉON, COUPE.

Sección vertical longitudinal del Panteón de Agripa



(Fig. 5.) COUPE DE SAINTE-MARIE-MAJEURE A ROME.

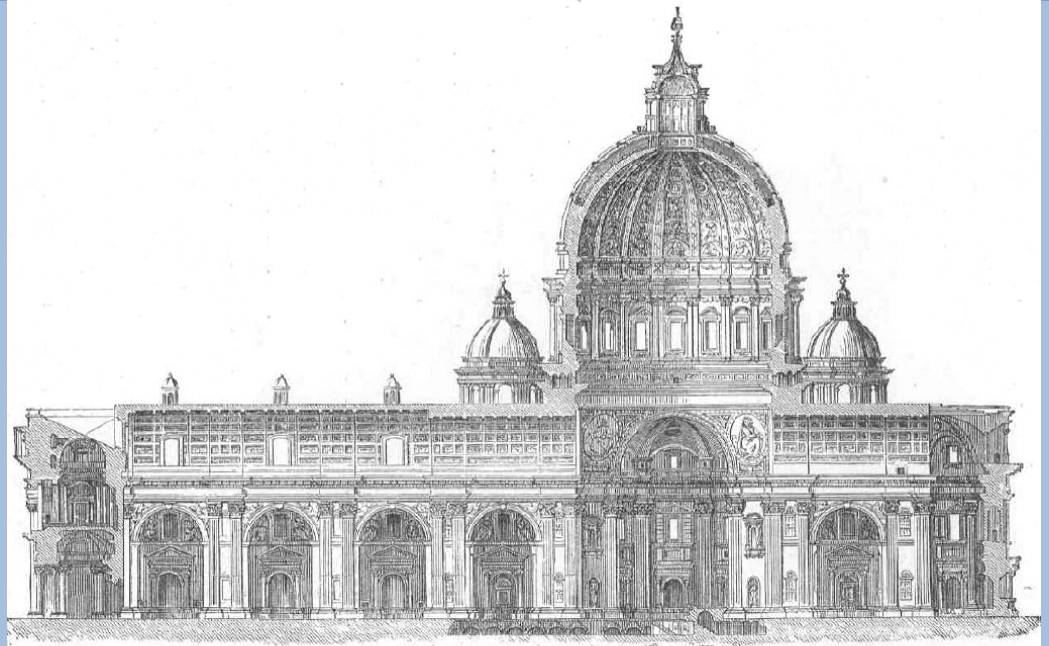
Sección vertical transversal del Panteón de Agripa  
(Circunferencia inscrita)



(Fig. 13.) COUPE DE SAINTE-SOPHIE A CONSTANTINOPLE.

Sección vertical longitudinal de la  
catedral de Santa Sofía

Sección vertical longitudinal de la  
iglesia de Saint-Pierre

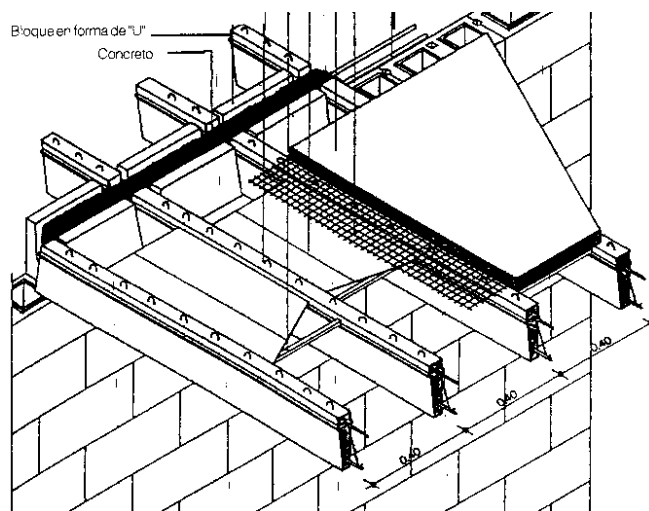
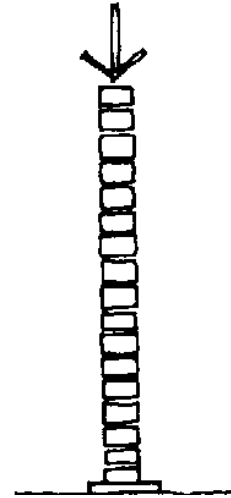


(Fig. 191.) COUPE TRANSVERSALE DE L'ÉGLISE SAINT-PIERRE, A ROME.

## II.- ESQUEMA ESTRUCTURAL

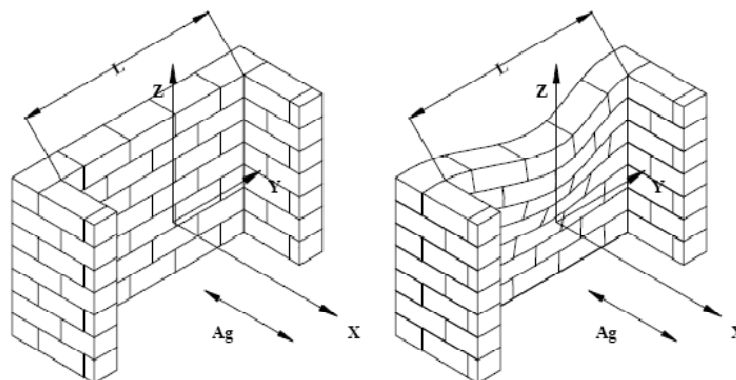
### II.1.- MUROS DE CARGA: HORMIGÓN, FÁBRICA DE LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA

La transmisión de cargas verticales a un muro portante de cualquier tipología y material debe ser siempre lo más centrada posible, puesto que al transmitir las cargas con excentricidad respecto del eje del muro, introducimos momentos en el modo de trabajo del elemento, y en consecuencia, tracciones en una cara del mismo. Es conocido que estos elementos masivos tienen gran capacidad resistente a compresión, pero su resistencia a tracción se suele considerar prácticamente nula, por lo que su fisuración se produciría de manera casi instantánea, y según la magnitud de las tracciones transmitidas, se puede producir el colapso como mecanismo de la estructura por la formación de rótulas plásticas.



El modo de transmitir las cargas a uno de estos muros se puede apreciar en la siguiente figura, bien sea un forjado de piso intermedio o en un forjado de cubierta. En este detalle podemos observar las vigas de borde necesarias en cada forjado, y una tipología de apoyo de las viguetas, que bien puede ser como vanos individuales, o vigas continuas, disponiendo sobre ellas la capa de compresión y el solado.

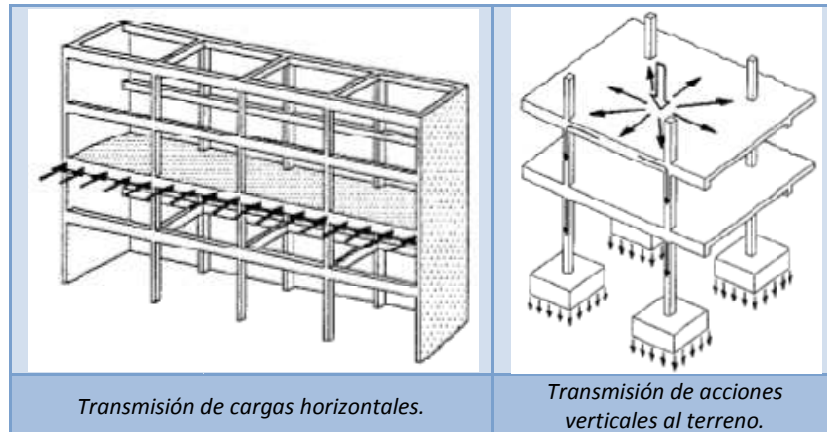
A continuación nos centramos en la transmisión de cargas horizontales a estos muros de carga, como pueden ser las acciones producidas por el viento, sismos, etc. Estas cargas sólo pueden ser admitidas por muros reforzados, y aún así estos movimientos generan mecanismos de transmisión de cargas inerciales perpendiculares al plano de los muros, muy perjudiciales para poder garantizar la estabilidad de los mismos. Se muestra la posible deformación que puede sufrir un muro portante sometido a estas acciones en su eje perpendicular.



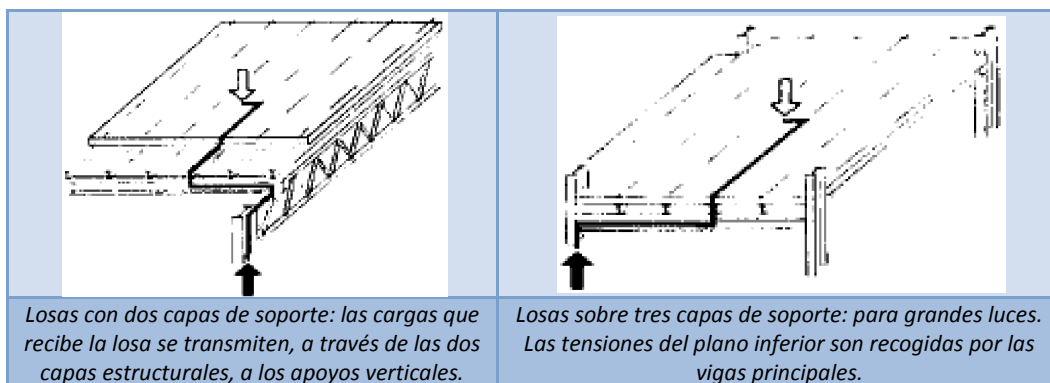
## II.II.- ESTRUCTURA RETICULADA: HORMIGÓN. ACERO. MADERA

### HORMIGÓN

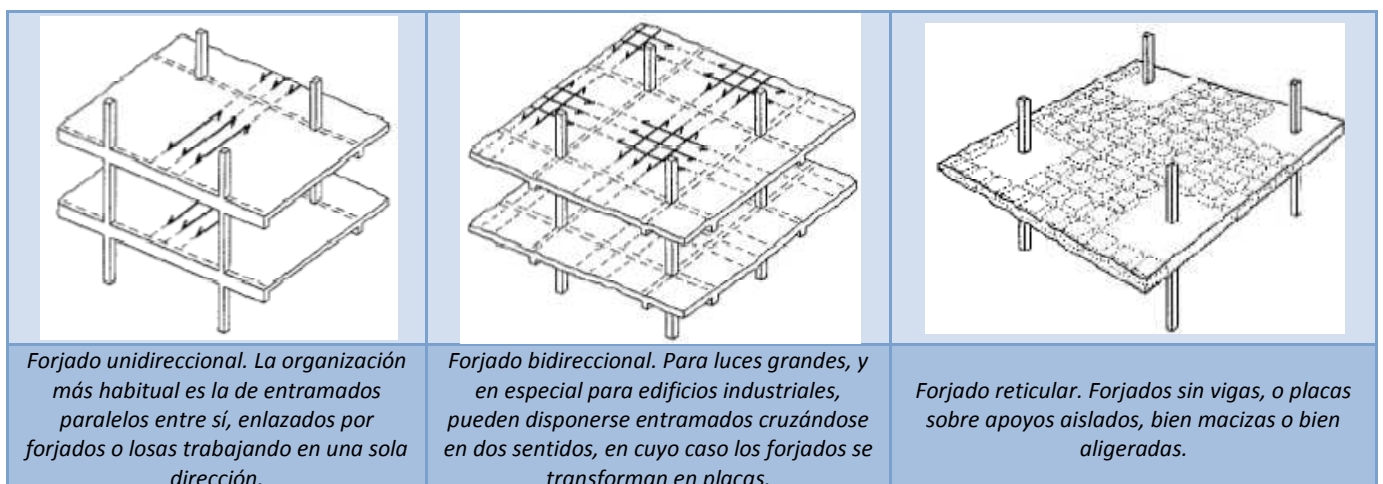
El objetivo es encontrar una estructura estable frente a cualquier sollicitación exterior:

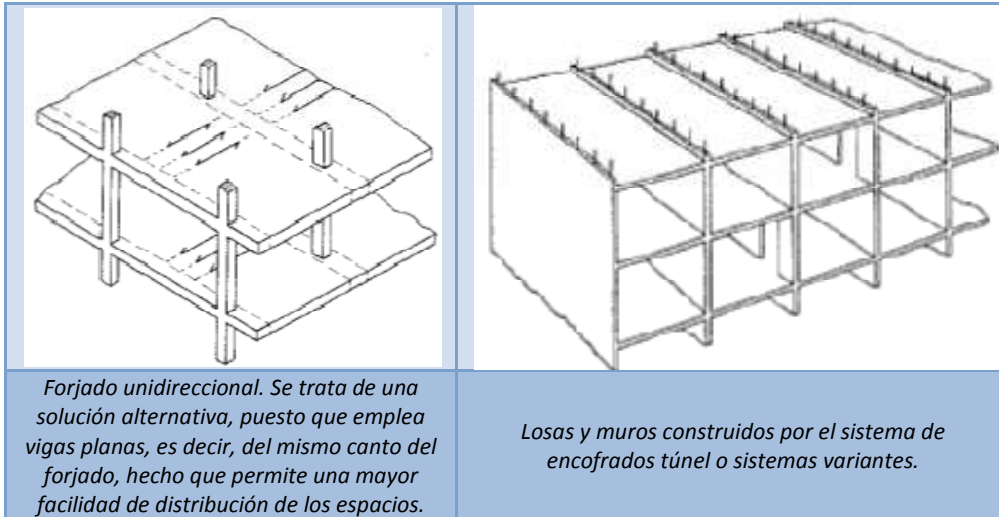


Cada forjado puede estar formado por más de una capa resistente (capa de compresión, mallazo de reparto, armadura de negativos, viguetas, etc.), y como se produce el reparto de cargas y la transmisión a los elementos verticales según sea el tipo de forjado.

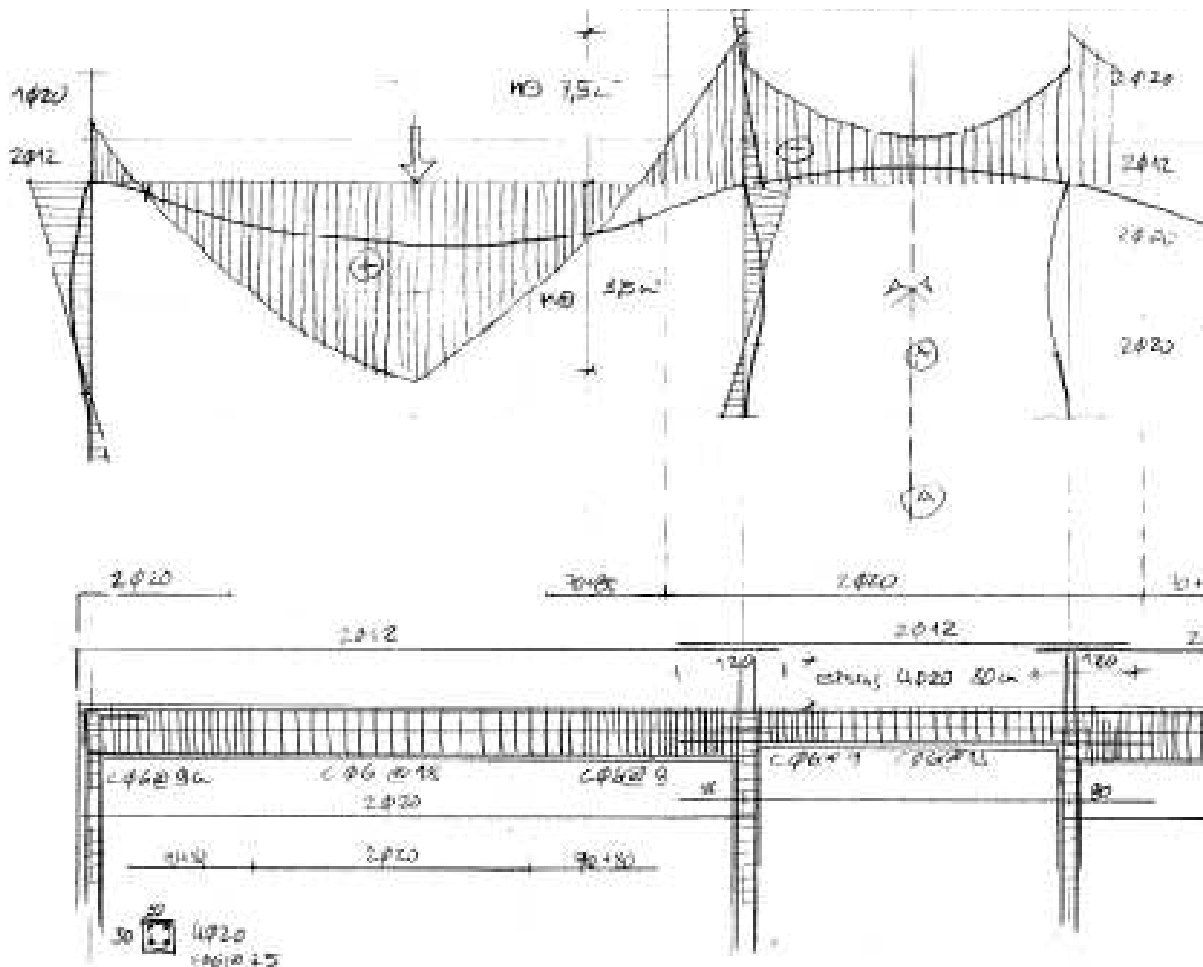


Diferentes sistemas estructurales existentes para resolver un forjado de hormigón:

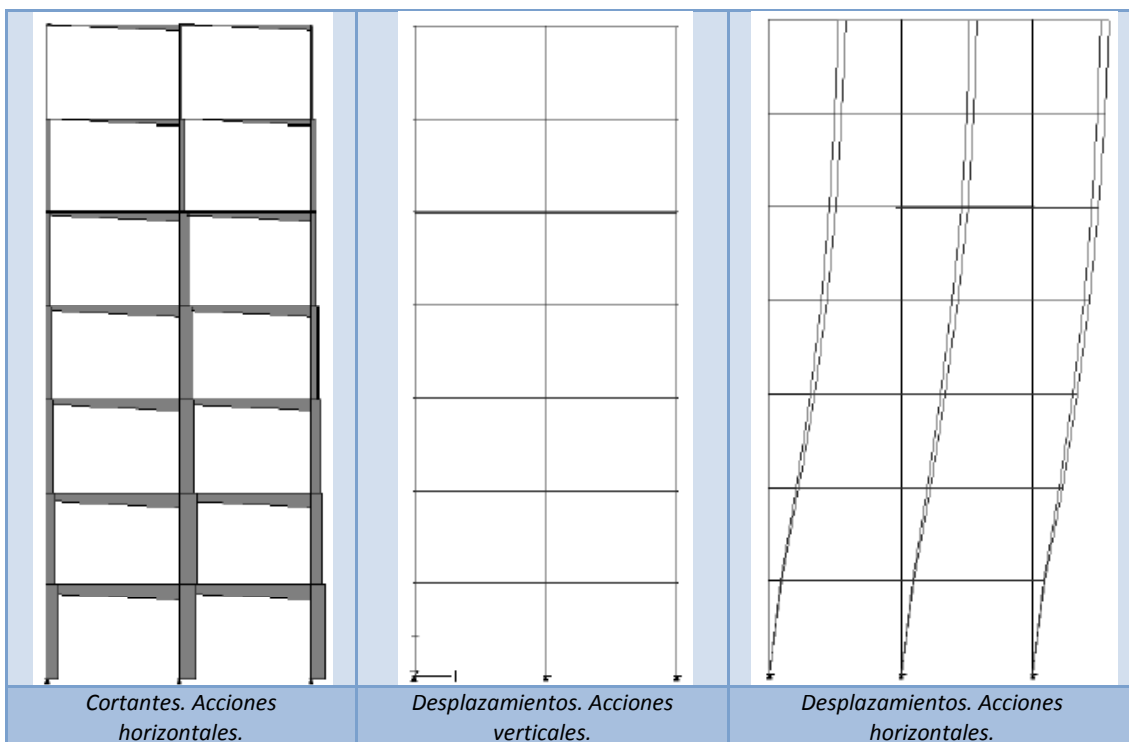
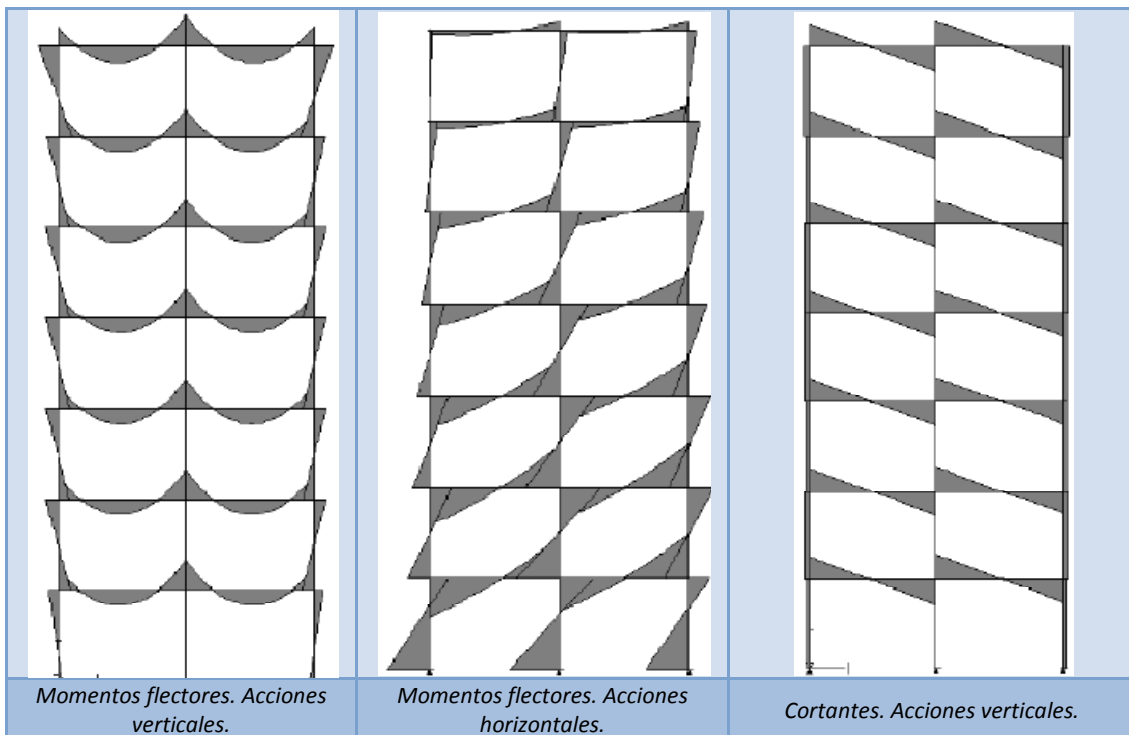




Estas estructuras suelen estar constituidas por nudos rígidos, formando pórticos. En los siguientes gráficos se muestra un detalle de su armado y distribución de momentos. También una distribución de esfuerzos y desplazamientos en un edificio estándar.

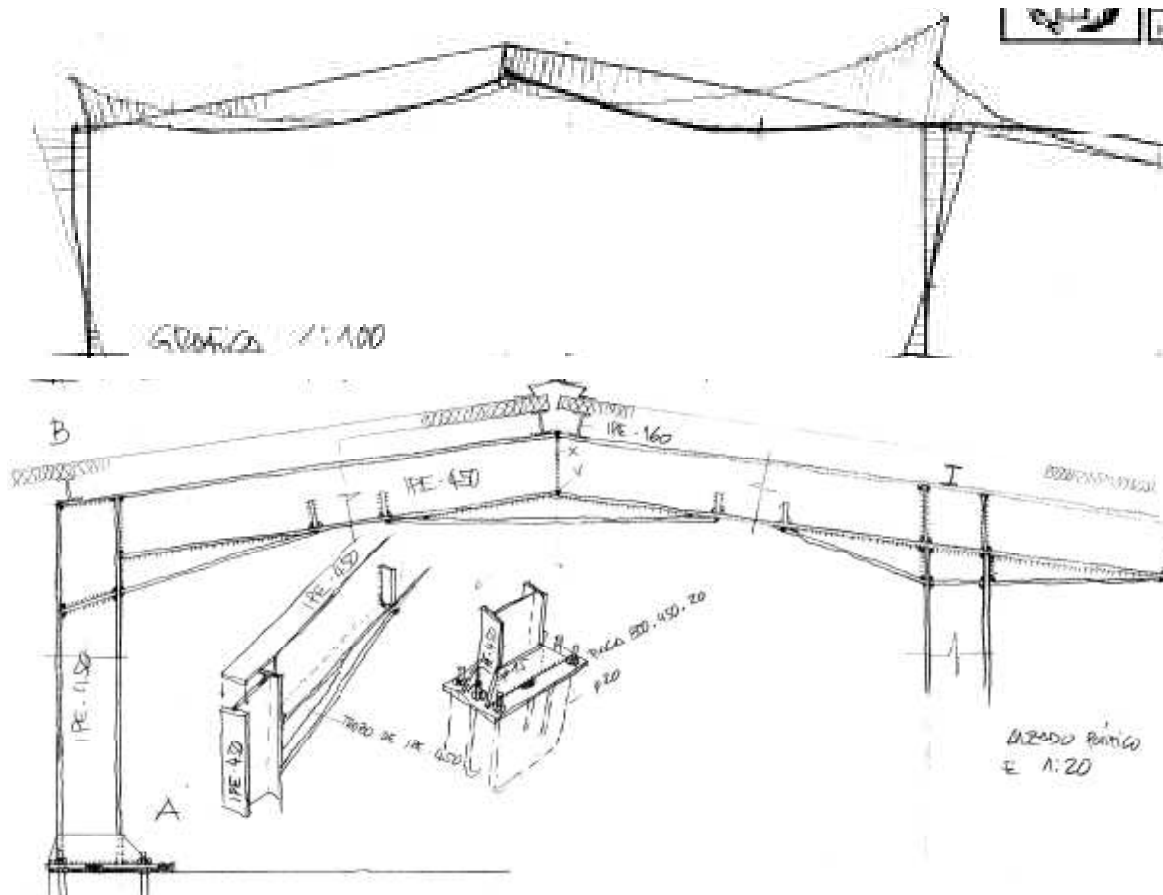


- Comportamiento de pórticos

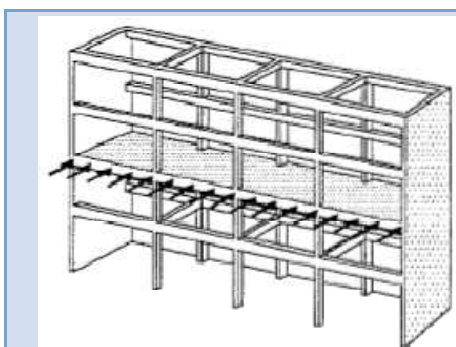


ACERO

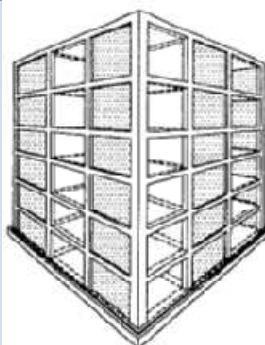
Como podemos apreciar el comportamiento estructural de un pórtico de acero es similar al de un pórtico de hormigón y cualquier otro material. Se observa la deformada y el reparto de momentos.



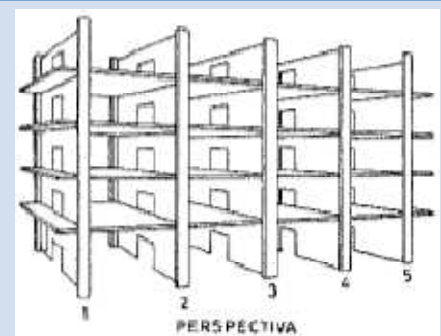
En las estructuras metálicas estudiamos con mayor profusión las acciones horizontales, ya que suelen ser estructuras mucho más ligeras y con ellas se realizan los edificios más altos y esbeltos, por lo que las acciones horizontales adquieren en ellas una mayor importancia.



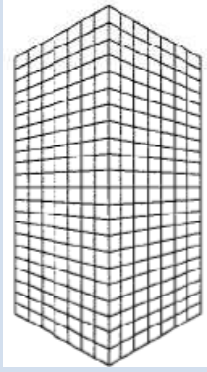
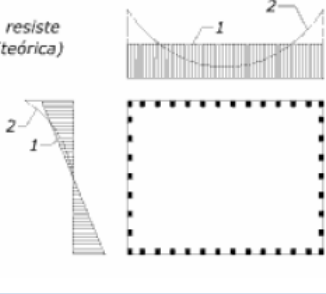
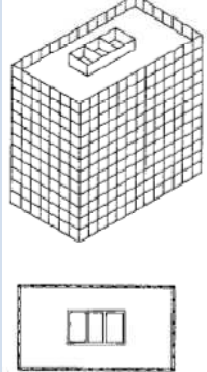
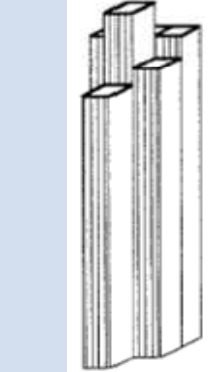
En lo referente a las acciones horizontales, si éstas no son muy importantes, el sistema de entramados puede ser una solución válida. Los forjados funcionan como grandes vigas horizontales, repartiendo las acciones horizontales a todos los entramados mediante lo que se denomina acción diafragma.



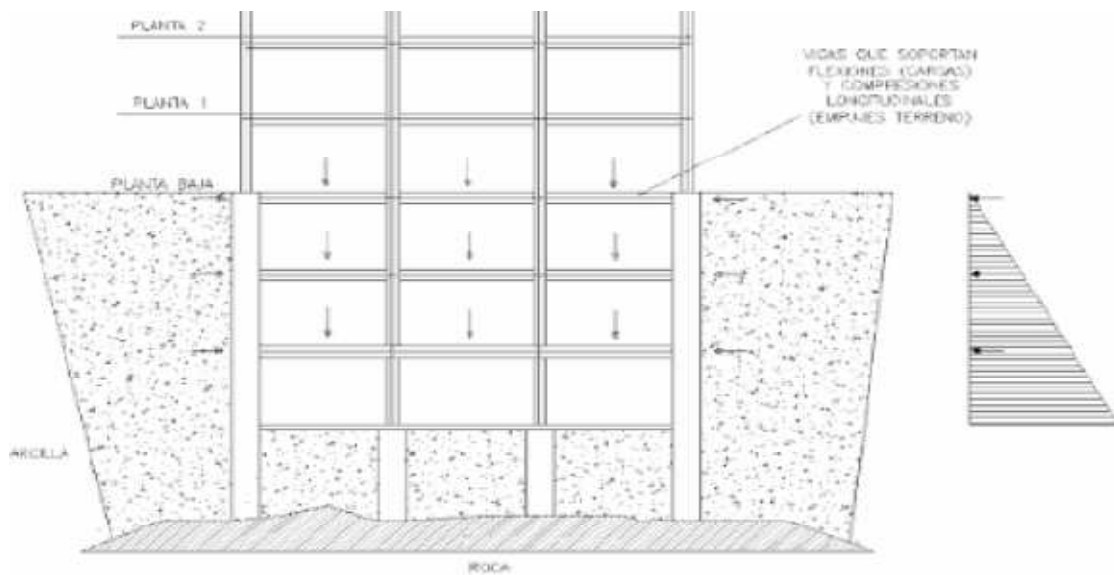
Se consigue mayor rigidez rellenando los recuadros de los entramados, total o parcialmente, con fábrica de ladrillo, etc.



Si estas acciones horizontales son muy importantes, será necesario asociar pantallas y entramados, solidarizados por los forjados. O constituir la solución íntegramente por pantallas.

	<p>1.- Todo el tubo resiste como ménsula (teórica)</p> <p>2.- Real</p> 		
<p>Para estructuras altas y esbeltas suele emplearse la solución en tubo, que funciona como un voladizo. Se observa como la dirección del viento genera unos esfuerzos diferentes en cada dirección.</p>		<p>Una solución aún más potente es las compuesta de un tubo en fachada y un núcleo interior, conocida por tubo en tubo.</p>	<p>La agrupación de estructuras tubo en tubo, en paquetes interconectados conduce al paquete de tubos, que es la solución de mayores posibilidades para edificios de gran altura y rascacielos.</p>

En las acciones verticales, el mecanismo resistente es igual al analizado en las estructuras de hormigón armado. En la siguiente figura se puede observar un caso real de combinación de cargas: verticales por el peso propio de cada elemento; y empujes laterales producidos por el terreno, que son soportados por un muro pantalla empotrado en cada forjado y en el terreno.



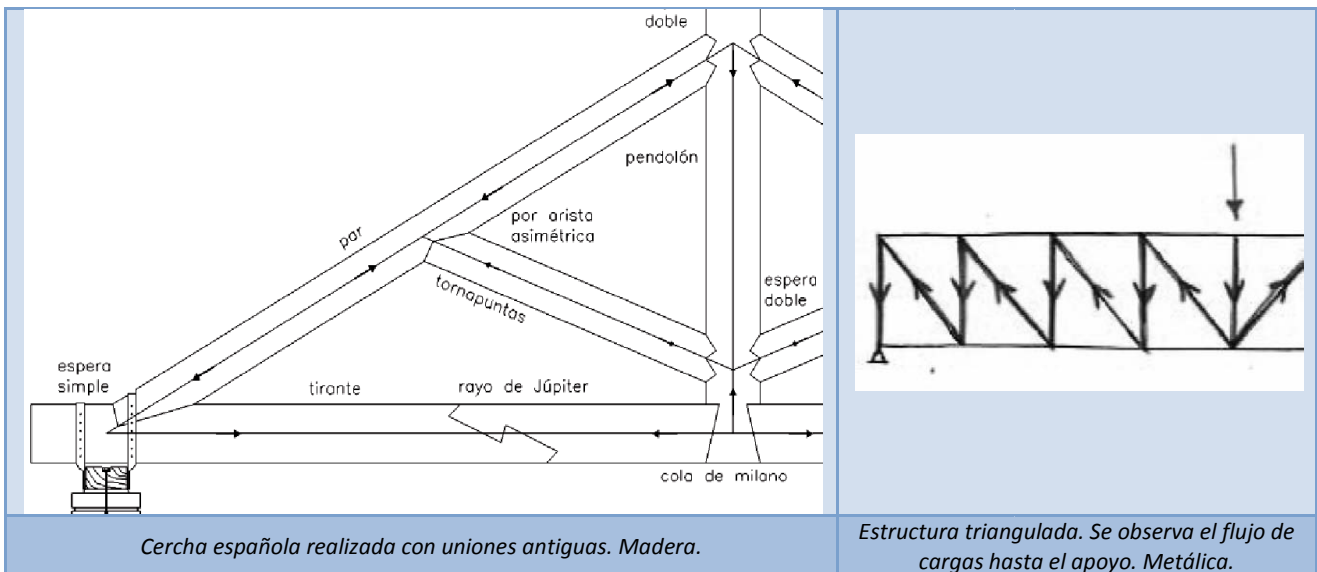
**MADERA**

Como ya se ha indicado anteriormente, el comportamiento de un entramado de madera, no difiere en absoluto de uno de acero o de hormigón armado. La diferencia residirá en la capacidad resistente de cada material, y en su versatilidad para tomar diferentes formas y adaptarse a cada uso. Es por ello, que su transmisión de cargas en el proceso (forjados y cubiertas – pilares – vigas – cimientos – terreno) ya descrito, se asemeja fielmente a lo reproducido para estructuras metálicas y de hormigón, que se han analizado más profusamente, debido a que son materiales con una mayor variedad de tipologías en sus formas y construcciones.

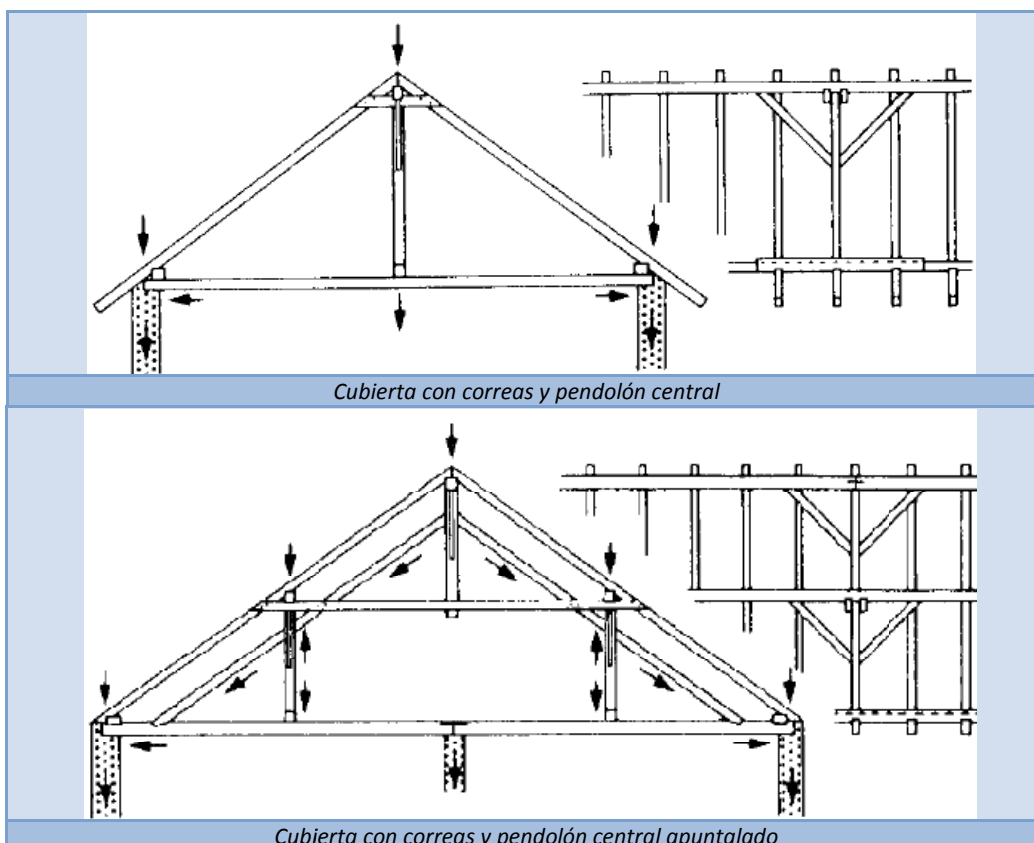


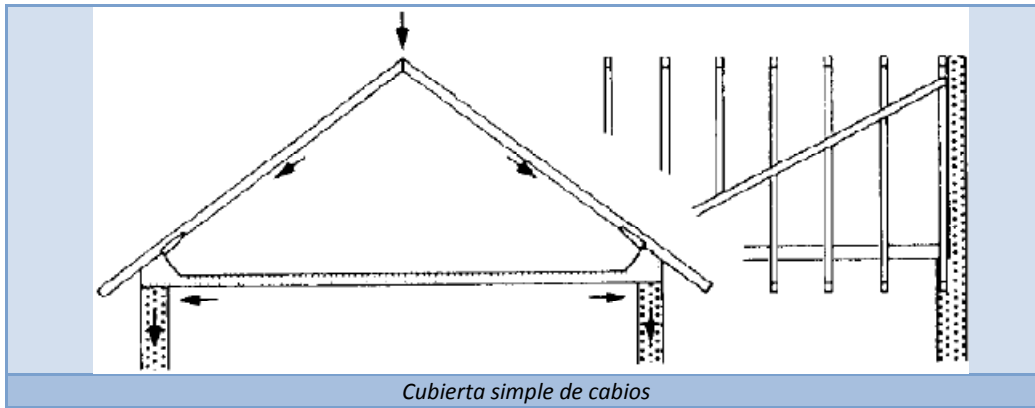
II.III.- CERCHAS DE MADERA Y ACERO. ESTRUCTURAS TRIANGULADAS. ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS. ESTRUCTURAS LAMINARES DE HORMIGÓN.

CERCHAS DE MADERA Y ACERO. ESTRUCTURAS TRIANGULADAS

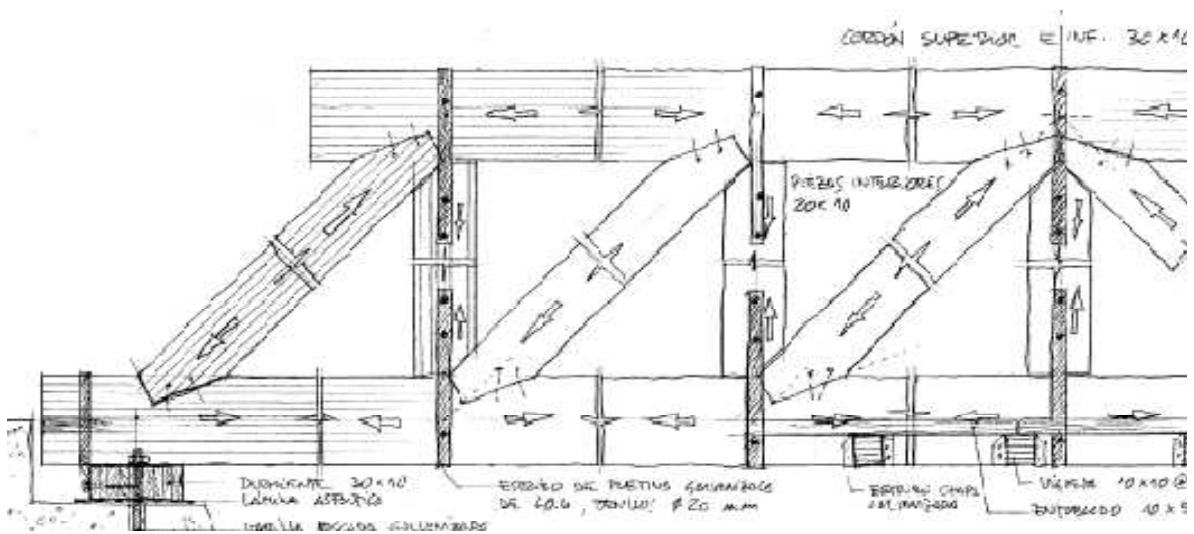


A efectos del reparto y transmisión de las cargas, las cerchas de madera y acero se comportan de igual modo, mediante la unión de piezas con coincidencia de ejes, considerando todas las cargas aplicadas en los nudos, y solo con la transmisión de esfuerzos axiales, con barras a tracción o compresión, hasta los apoyos. Ejemplos genéricos:

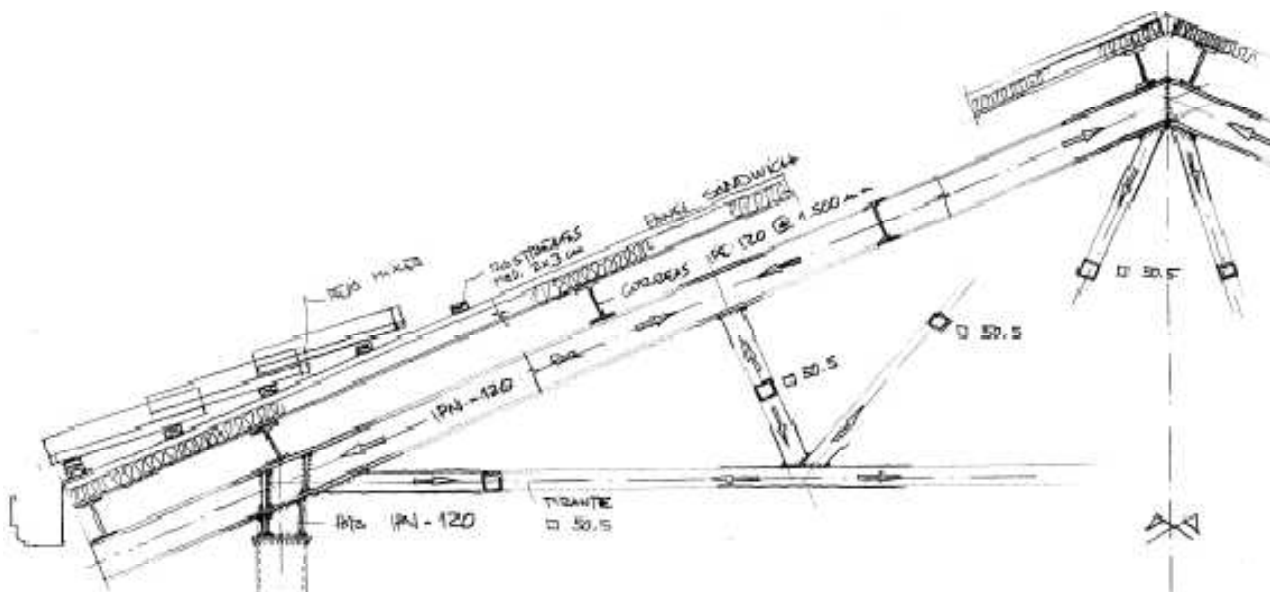




- Ejemplos de cercha y estructura triangulada de madera:



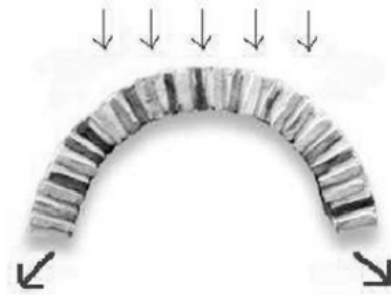
- Ejemplos de cercha de estructura formada por tubos cuadrados metálicos y por perfiles IPN:



*ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS. ESTRUCTURAS LAMINARES DE HORMIGÓN*

El análisis de estos elementos se ve ampliado en el estudio de las estructuras históricas. Realmente estos tres elementos se basan en el mismo fundamento: el comportamiento mecánico de la forma de arco.

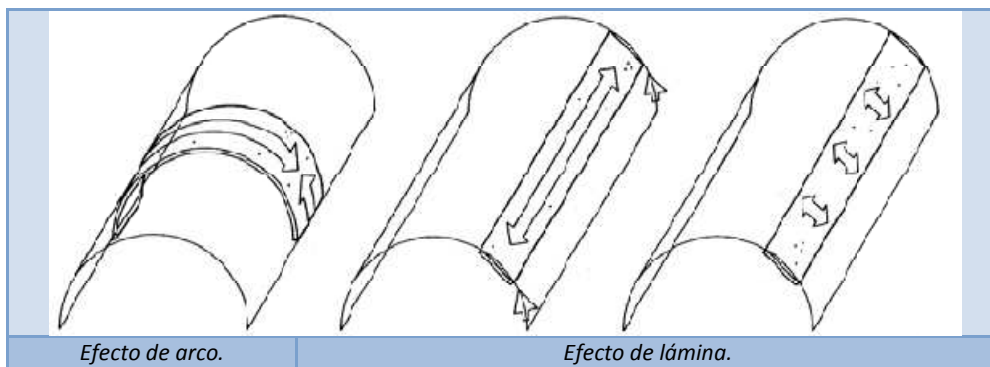
Una bóveda no es más que una sucesión de arcos, y las cúpulas son producto de situar un eje vertical de revolución, perpendicular a la dovela superior.



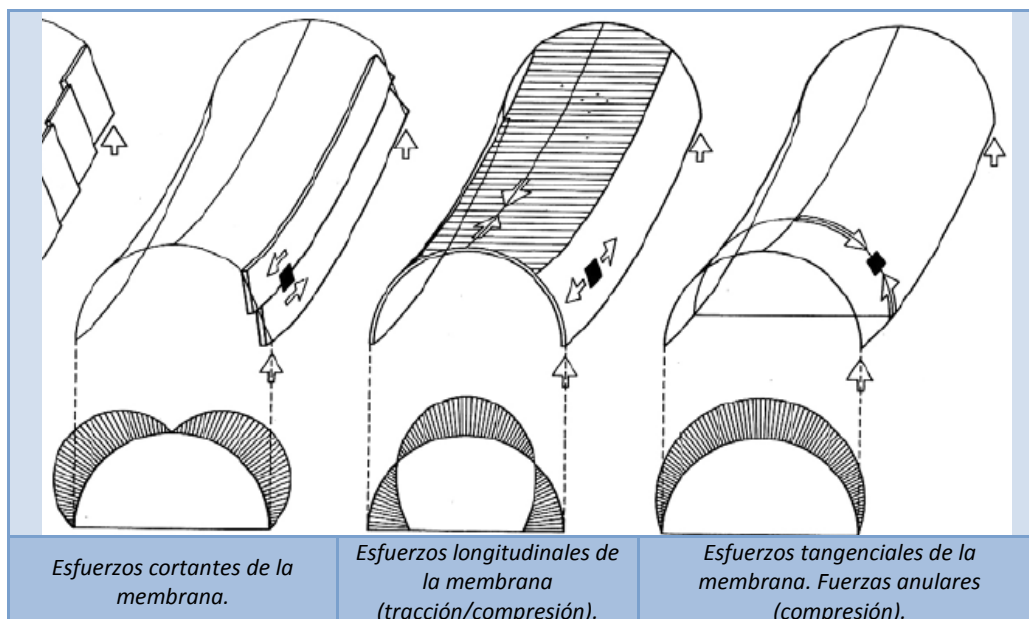
Aunque son elementos que trabajan por forma, y normalmente a compresión, en los siguientes apartados se analizan algunas singularidades de las estructuras laminares en formación de cúpulas, que también son aplicables a estos elementos masivos, como es la aparición de tracciones en la zona de riñones.

- Mecanismos resistentes de las estructuras laminares:

**LÁMINA**

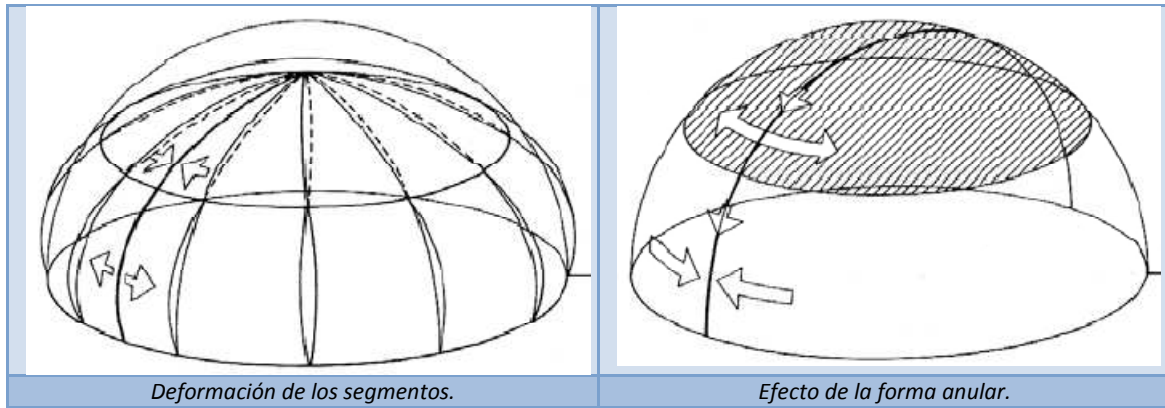


**MEMBRANA**

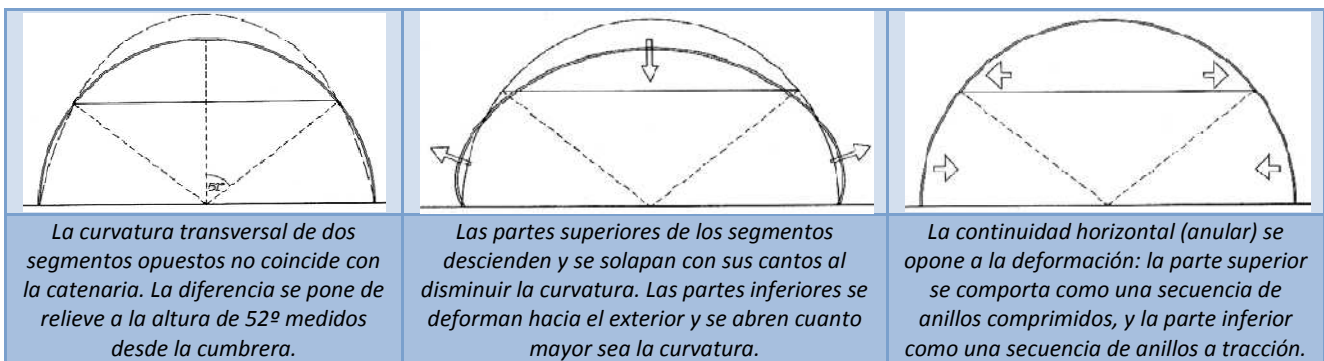


Como ilustración del comportamiento mecánico de las *membranas*, se analiza también las cúpulas:

CÚPULA



Las cúpulas se rigen según el mecanismo que se describe a continuación:



La curvatura transversal de dos segmentos opuestos no coincide con la catenaria. La diferencia se pone de relieve a la altura de 52º medidos desde la cumbre.

Las partes superiores de los segmentos descienden y se solapan con sus cantos al disminuir la curvatura. Las partes inferiores se deforman hacia el exterior y se abren cuanto mayor sea la curvatura.

La continuidad horizontal (anular) se opone a la deformación: la parte superior se comporta como una secuencia de anillos comprimidos, y la parte inferior como una secuencia de anillos a tracción.

La capacidad de la membrana en cúpula para generar esfuerzos anulares, evita que se deforme hacia el interior o el exterior a causa de la desviación de la catenaria meridional. Esta capacidad también permite perfiles transversales para membranas de rotación que no sean circulares.

- Comportamiento resistente de los apoyos. Flexión del borde inferior de la membrana: *perturbaciones de borde*.



Movilidad en el apoyo.

Resistencia por rozamiento.

Reacción horizontal.

## II.IV.- ESTRUCTURAS HISTÓRICAS

### TEORÍA DEL EQUILIBRIO LÍMITE

Teoría del equilibrio límite, basada en las fuerzas actuantes y la geometría de las piezas. Con este método se buscan el número suficiente de rótulas plásticas para que se produzca el colapso de la estructura en forma de mecanismo, y se obtiene el valor de las fuerzas que garantizan la estabilidad en la construcción.

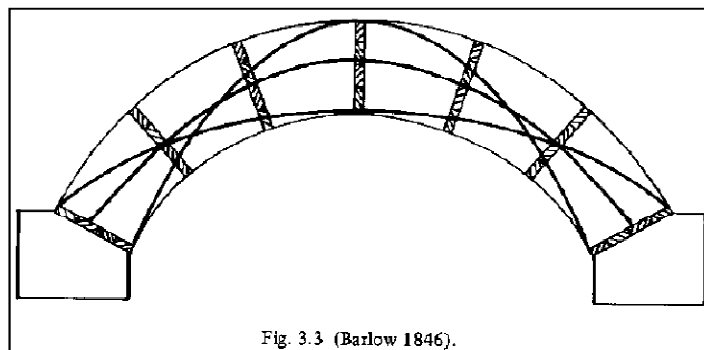
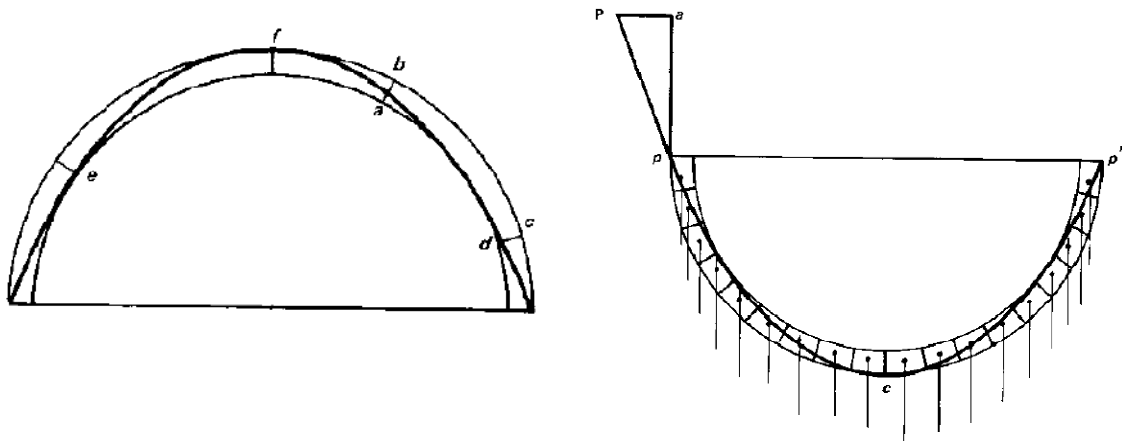
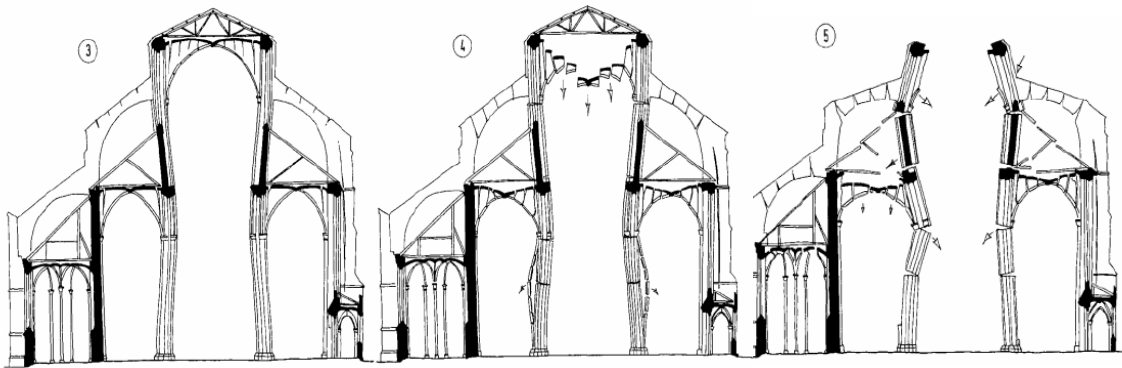


Fig. 3.3 (Barlow 1846).

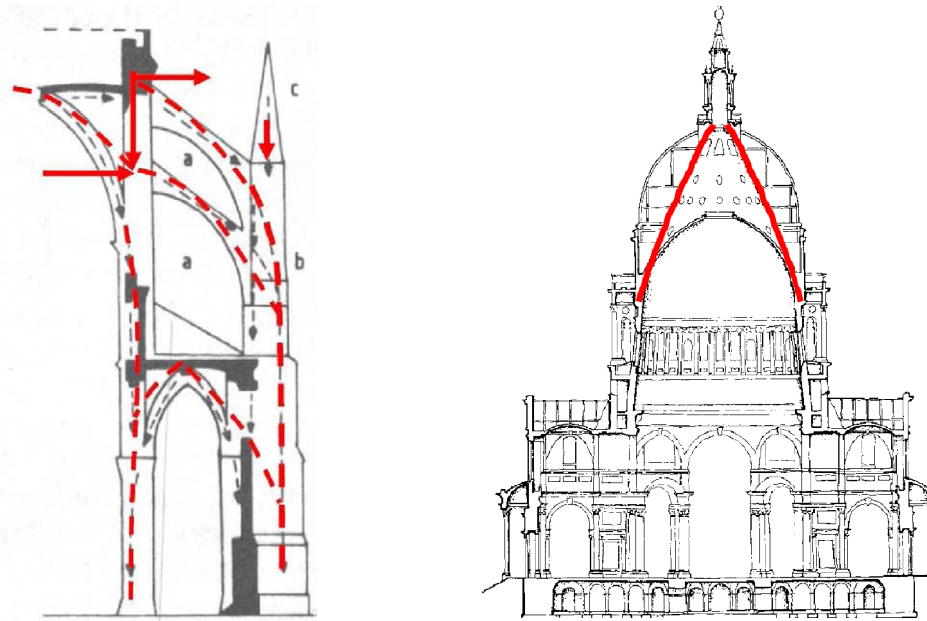
### PROCESO EVOLUTIVO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CATEDRAL

<p>Los períodos de construcción de una catedral son tiempos muy largos, por lo que el asentamiento de las piezas se produce antes del final de la obra.</p>	<p>En Persia, los Sasánidas (siglo VI) partían de una planta cuadrada para construir sus primeras cúpulas. Transición del cuadrado al círculo mediante "trompas".</p>	<p>Los maestros de obra bizantinos construyeron hace 1400 años las cúpulas de Santa Sofía sobre una planta rectangular, claramente visibles desde el exterior, pero ocultas en el interior por efectos ópticos (desmaterialización).</p>

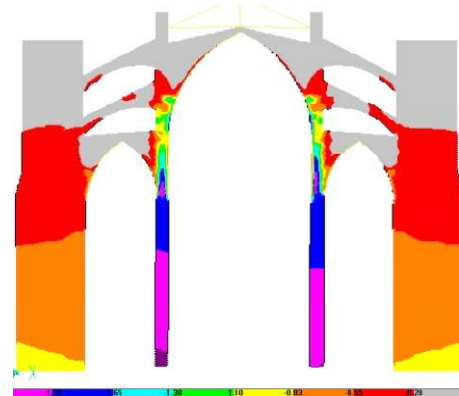
Mecanismo de rotura producido por la pérdida de equilibrio en la estructura, debido a la formación de un excesivo número de rótulas plásticas.



Como se ha explicado anteriormente, estas construcciones se estudian mediante un método relativamente sencillo, el método de las líneas de presiones. En las siguientes figuras se muestran su distribución, tanto en el lateral de la nave de una catedral (cúpula, pilar, arbotantes y contrafuerte o botarel), como en la distribución de estas en la cúpula central, transmitiendo sus esfuerzos a los estribos de los muros.



Estas estructuras también pueden ser analizadas empleando el método de los elementos finitos. Se obtienen resultados aparentemente muy detallados y exactos, no obstante para ello, se deben conocer a la perfección las características de los materiales que componen la estructura, y representarlos fielmente en nuestro modelo. Se trata de algo de gran dificultad.



### CAPÍTULO 3 - ESTADO DE LAS CARGAS ACTUALES Y DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

---

Como parte de las actividades previstas para el estudio del estado actual de la estructura del edificio, y para un conocimiento profundo del estado de cargas actuales, y el ajuste real de los detalles constructivos y estructurales de Proyecto, se hace necesaria la redacción de un Plan de Apertura de Calas en estructura, para la toma de aquellos datos no suficientemente definidos en la documentación disponible, y que fuesen necesarios para la realización del estudio, todo ello sobre una muestra suficientemente representativa de los elementos que componen la estructura del inmueble.

Con objeto de tomar datos básicos para la elaboración del citado plan de calas se debe realizar una inspección del inmueble. Con base en los resultados de esta inspección, se realiza el Plan de Apertura de Calas en la estructura del inmueble, cuyo objetivo es describir la localización y tipología de las calas en estructura previstas en el edificio. Cuando estas inspecciones se realizan para el reconocimiento del estado de las cimentaciones, así como para obtener muestras del terreno natural existente bajo las mismas, se conocen como calicatas.

#### LOCALIZACIÓN DE LAS CALAS DE INSPECCIÓN

Una vez realizada la inspección preliminar y redactado el plan, el siguiente paso es decidir el número de calas que se van a realizar por elemento y tipología.

Deben analizarse los siguientes grupos de elementos estructurales: cimentaciones, pilares, muros, vigas, forjados y cubiertas.

Una vez realizadas estas divisiones, se deben inspeccionar las principales tipologías dentro de cada uno, y los elementos singulares que se encuentren. El número de elementos a analizar es una decisión que corresponde tomar al técnico, que, siguiendo la Normativa de Inspección por Atributos (Capítulo 1, apartado III), selecciona el nivel de confianza exigido para garantizar el conocimiento en profundidad de la estructura. Un nivel muy común de nivel de confianza suele ser el 95%. Como ejemplo de esto, se describe la siguiente situación:

- *“Edificio con forjado de 500 m<sup>2</sup> que va a ser analizado para una posterior rehabilitación, con forjado de viguetas autorresistentes de hormigón, y 1 paño de viguetas metálicas.”*

El plan de apertura de calas debería determinar la apertura de una cala en el elemento singular (forjado de viguetas metálicas, con inspección de zona de elementos a flexión positiva y negativa), y una inspección probabilista para el resto del forjado que, según la Norma de Inspección por Atributos, podría ser, para un nivel de confianza del 95%, 3 aperturas de calas cada 500 m<sup>2</sup> de forjado de viguetas autorresistentes de hormigón. 3 en zona de flexión negativa, y 3 en zona de flexión positiva.

En caso de observar deficiencias estructurales en 1 de las 3 calas, se realizarán otras 3 calas más, según el mismo procedimiento. Si se vuelve a repetir el incumplimiento de una de ellas de los requisitos de proyecto, se procederá a un análisis completo o un estudio determinista de la tipología en cuestión.

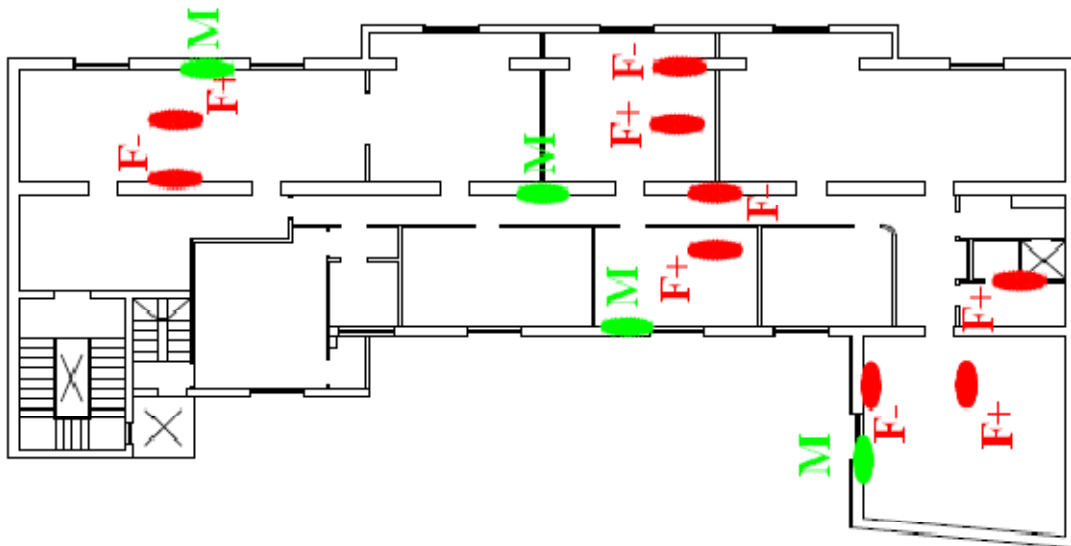
Una vez tomada la decisión al respecto del número de calas en estructura previstas, se realizan unos planos para incluir en el Plan de Apertura de Calas. Estos pueden realizarse según los esquemas y croquis que se muestran a continuación:

**Leyenda:**

**CALAS TIPO  $F+$ :** Calas en la cara inferior de forjados, que se realizarán en el techo de la planta indicada en los planos.

**CALAS TIPO  $F-$ :** Calas en la cara superior de forjados que se realizarán en el suelo de la planta superior a la indicada en los planos.

**CALAS TIPO  $M$ :** Calas en muros, que se realizarán en la planta indicada en el plano.



A pesar de que planteamos el Plan de Inspección de forma que en el muestreo se obtenga información suficiente para la realización del estudio, a la vista de los resultados obtenidos en la inspección, podría resultar necesaria la ejecución de alguna cala no prevista en el presente documento, que en todo caso marcarían *in situ* los técnicos.

#### TIPOLOGÍA DE LAS CALAS Y RECOMENDACIONES GENERALES PARA SU APERTURA

Todas las calas se realizarán por medios manuales (puntero y maceta). Quedará específicamente prohibida la utilización de martillos demolidores con compresor independiente para la apertura de calas. Un técnico supervisará la apertura de una cala de cada tipo.

#### - Inspección de forjados unidireccionales de hormigón armado

##### *CALAS TIPO $F+$*

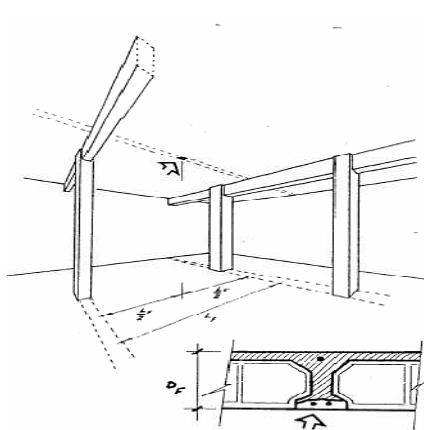
Para la inspección de armaduras principales de flexión frente a momentos positivos se practicará una roza por cara inferior de vigueta de forjado en una sola vigueta y



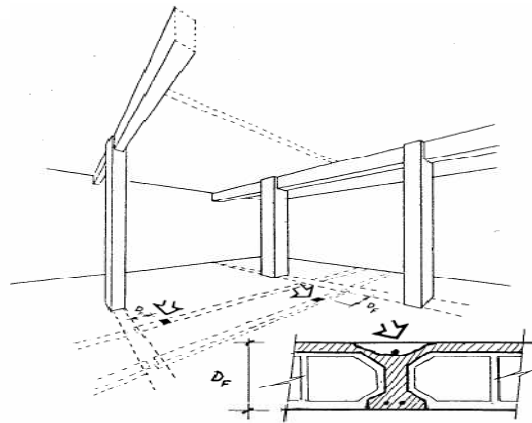
aproximadamente en el centro del vano, de anchura igual al ancho de la vigueta y de unos 15 cm de longitud según su eje, con profundidad suficiente para medir con pie de rey el diámetro de todas las barras de la capa de armaduras más próxima a la superficie de hormigón, y en todo caso no superior a  $0.3 \cdot D_f$  ó 6 cm (véase la figura nº 1).

**CALAS TIPO F-**

Para la inspección de armaduras principales de flexión frente a momentos negativos se practicarán, en dos viguetas diferentes del forjado a inspeccionar, sendas rozas por cara superior del forjado, a una distancia de la cara de viga de apoyo igual al canto del forjado, de anchura igual a la del ala de la vigueta, y de unos 15 cm de longitud según el eje de la vigueta, con profundidad suficiente para medir con pie de rey el diámetro de todas las barras de la capa de armaduras más próxima a la superficie de hormigón y en todo caso no superior a  $0.3 \cdot D_f$  ó 6 cm (véase la figura nº 2).



**Figura 1**

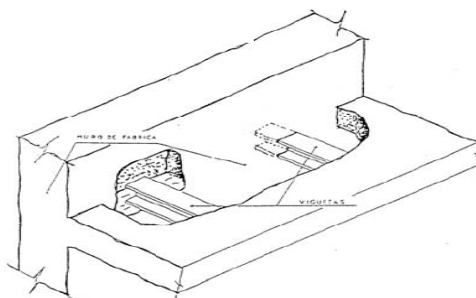


**Figura 2**

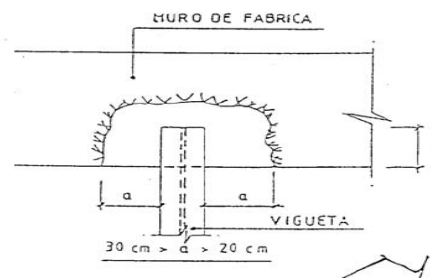
**- Inspección de viguetas y vigas metálicas**

**CALAS TIPO F-**

Para la inspección de la configuración geométrica del apoyo de las cabezas de las viguetas y su estado de conservación, se practicará una cala en la parte inferior del tramo de muro, en contacto con el forjado, profundizando lo suficiente para detectar las cabezas de la viga o de dos viguetas consecutivas, según el caso, y su apoyo inferior para poder obtener por medición directa las cotas indicadas en las figuras 3 y 4. En vigas, la cala tendrá características análogas.



**Figura 3**



**Figura 4**

PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE LAS CALAS EN ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

El procedimiento de reparación de calas realizadas en elementos de hormigón es el siguiente:

- Primeramente se procederá al desprendimiento por medios mecánicos de los fragmentos de hormigón no firmemente adheridos al elemento a recomponer, tratando de conseguir que la superficie sea de árido fracturado y no de árido desprendido.
- Sobre estas superficies, deberá emplearse una resina epoxídica que garantice la correcta adherencia entre el hormigón existente y el material de relleno a emplear. El grado de sequedad de la superficie a tratar será el adecuado dependiendo del tratamiento a aplicar.
- Para el relleno de la cala se utilizará un mortero de expansión controlada (sin retracción). El mortero tendrá la consistencia de masa para espatular y se aplicará mediante llana antes de que se produzca el endurecimiento de la resina. Para el correcto curado del mortero, deberán seguirse específicamente las instrucciones de curado facilitadas por el fabricante.

CONTROL Y ARCHIVO DE LOS DATOS OBTENIDOS

Por último, se muestra el tipo de tablas que es recomendable elaborar, para llevar un correcto y eficiente control de los datos obtenidos en las calas. Se debe disponer de una tabla específica por cada grupo de los anteriormente mencionados. En el ejemplo podemos observar una ficha elaborada en el control y estudio de los pilares, es importante también considerar la posibilidad de añadir una columna para otras observaciones o datos de interés.

PLANTA/ ZONA	VIGA Nº	DIMENSIONES			ARMADURAS CENTRO DE VANO				RECLUBIIMIENTO CENTRO DE VANO (cm.)		FOTO	CARBONATACION		CRDQUIS
					PRINCIPAL		ESTRIBOS					LATERAL	BAJO	
		ANCHO (cm.)	CANTO (cm.)	LIZ (m.)	Nº DE BARRAS	DIAMETRO (mm.)	DIAMETRO (mm.)	SEPARACION (cm.)						
BAJA ZONA 3	F10+	15	37	6	4 2	10 8	8	19	Lateral Inferior	2,5 / 4,0 4,0	40	TODO	TODO	
BAJA ZONA 3	F11+	15	37	6	6	10	8	17	Lateral Inferior	3,5 / 2,5 2,5	41	TODO	TODO	
BAJA ZONA 1 HUMEDADES	F12+	16	40	6	6	RESIDUAL 10	RESIDUAL 8		Lateral Inferior	2,5 / 4,5 2,5	42	TODO	TODO	
BAJA ZONA 1 HUMEDADES	F13+	16	40	6	6	RESIDUAL 12	RESIDUAL 7	20	Lateral Inferior	1,5 / 2,0 3,0	43 44	TODO	TODO	
BAJA ZONA 1 SAMUR	F14+	15	42	6	6	10	6	12	Lateral Inferior	3,5 / 1,5 3,0	45	TODO	TODO	
BAJA ZONA 1 SAMUR	F15+	15	37	6	6	10	6	21	Lateral Inferior	1,5 / 3,5 3,5	46 47	TODO	TODO	
BAJA ZONA 1 SAMUR	F16+	15	24	4	5	8	6	20	Lateral Inferior	4,0 / 2,0 4,0	48	TODO	TODO	

Resultados de la inspección en vigas de forjados. Figura 5

---

## CAPÍTULO 4 – DEFINICIÓN DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA

---

### RECONOCIMIENTO: IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS

El diagnóstico consiste en identificar las causas del daño y del deterioro, en dos fases. La primera fase, análisis cualitativo, ha de basarse principalmente en la observación de los daños estructurales y la degradación material, así como en la investigación histórica y arqueológica; y la segunda, análisis cuantitativo, fundamentalmente en pruebas sobre los materiales y los elementos estructurales (campaña experimental), en la supervisión continua de los datos (monitorización) y en el análisis estructural (modelización matemática). El diagnóstico es a menudo una fase difícil, puesto que los datos disponibles normalmente se refieren a los efectos, mientras que es la causa o, más frecuentemente, son las distintas causas concomitantes lo que hay que determinar.

- **Enfoque experimental:** Desde el punto de vista de la tecnología de estructuras es imprescindible conocer las geometrías, así como propiedades físicas y mecánicas de los diferentes elementos estructurales involucrados en una construcción, para poder verificar la tolerabilidad de los niveles tensionales motivados por las acciones, y por ende discernir los coeficientes de seguridad y estimar la vida útil de las estructuras.

Optimizar las metodologías experimentales existentes (ensayos in situ, preferentemente no destructivos y monitorización, preferentemente remota) se traduce de forma inmediata en una optimización de los resultados obtenidos con el empleo de las herramientas numéricas, ya que hay un desconocimiento generalizado de la tecnología de los materiales involucrados, sobre todo de las propiedades mecánicas, lo cual hace que los modelos numéricos no deban contemplarse desde una visión eminentemente cuantitativa. De la misma forma se pretende que las metodologías experimentales ayuden a calibrar dichos modelos.

- **Enfoque analítico:** Se trata de un procedimiento deductivo. Sin embargo, las incertidumbres que pueden afectar a la representación de las características de los materiales y del comportamiento estructural, junto con las simplificaciones adoptadas, pueden llevar a resultados que no siempre son fiables o que incluso están muy alejados de la situación real. Los modelos matemáticos son las herramientas más frecuentemente utilizadas en el análisis estructural y deben tener en cuenta tres aspectos: Geometría y condiciones de contorno, resistencia de los elementos estructurales, y acciones.

El análisis es indispensable. Incluso en los casos en los que sus resultados no puedan ser precisos, los cálculos y análisis pueden indicar el flujo de las tensiones y de las posibles zonas críticas.

### DEFINICIÓN DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA

El análisis de la situación en que se encuentra la estructura, tanto en su actualidad como en las condiciones futuras, en otras palabras, la evaluación del nivel de seguridad, debe determinar, a partir de un análisis de la condición actual de la estructura y los materiales, si los niveles de seguridad son aceptables o no.

En la relación de ensayos que se citan a continuación, destructivos y no destructivos, estos se han agrupado de la manera en que suelen ser más habitualmente empleados, si bien no existe inconveniente alguno para que una gran parte de ellos puedan utilizarse en algún otro de los materiales aquí analizados.

## I.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

### I - I. HORMIGÓN

<b>DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE</b>	
FUNDAMENTO	Determina la dureza superficial del hormigón.
OBJETIVO	Se emplea en estudios de conformidad del hormigón, determinando las zonas de baja calidad, para la extracción de probetas testigo, comparaciones de calidad (prefabricados) o estimación orientativa de resistencia. Se necesita un aparato llamado <i>medidor de índice de rebote</i> o <i>esclerómetro</i> .

<b>PROPAGACIÓN DE IMPULSOS ULTRASÓNICOS</b>	
FUNDAMENTO	Los ultrasonidos son ondas acústicas similares a las ondas sónicas, pero con diferentes frecuencias (están por encima de la zona audible). Se basa en la velocidad de propagación y las constantes elásticas del hormigón.
OBJETIVO	A partir del estudio de las ondas podemos hacernos una idea de la calidad del hormigón y de su resistencia, podemos determinar heterogeneidades (grietas, fisuras...) y se pueden medir espesores (sobre todo recubrimientos).

<b>FLEXÍMETROS Y EXTENSÓMETROS</b>	
FUNDAMENTO	Para la medida de flechas y deformaciones a la hora de la puesta en carga de la estructura.
OBJETIVO	Láminas proyectan o experimentan un aumento de la resistencia eléctrica cuando se estiran, permitiéndonos medir deformaciones unitarias.

<b>MÉTODOS MAGNÉTICOS (PACHÓMETROS, ETC.)</b>	
FUNDAMENTO	Se emplean para conocer la situación de una barra o su diámetro.
OBJETIVO	Resultan de utilidad a la hora de la extracción de probetas testigo, ya que mediante estos métodos se pueden conocer las zonas con ausencia de Fe. En función de la intensidad de la respuesta del aparato podemos llegar a conocer el diámetro de una barra, distancia entre barras, etc.

<b>INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA</b>	
FUNDAMENTO	Método para detectar defectos internos en las piezas.
OBJETIVO	Consiste en una imagen proyectada sobre un plano o película. En piezas de hormigón se aplica empleando rayos y gammagrafía.

## I - II. ACERO

<b>LÍQUIDOS PENETRANTES</b>	
FUNDAMENTO	Se emplea para revelar la existencia de grietas, fisuras, pliegues, porosidad e incluso la existencia de falta de fusión o discontinuidades en las soldaduras.
OBJETIVO	Cubrir una superficie con un determinado líquido, manteniéndolo el tiempo necesario para que este penetre en la pieza (la superficie de aplicación debe estar limpia). Una vez transcurrido este tiempo se elimina el líquido restante superficial y se aplica un revelador.

<b>ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS</b>	
FUNDAMENTO	Descubrir discontinuidades superficiales.
OBJETIVO	Aplicable a metales con propiedades ferromagnéticas, ya que son capaces de generar un campo magnético (los materiales no ferromagnéticos no pueden inspeccionarse por este método). Las discontinuidades que no den continuidad en el campo magnético provocan una distorsión que aflora a la superficie, en la cual, si colocamos partículas magnéticas, se situarán en zona de discontinuidad.

<b>INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA</b>	
FUNDAMENTO	Método para detectar defectos internos en las piezas.
OBJETIVO	Consiste en una imagen proyectada sobre un plano, donde se puede deducir el procedimiento empleado para realizar la soldadura, posición en la que se ha realizado el soldeo, incluso el tipo de unión y espesor de esa soldadura.

<b>ENSAYO DE DUREZA (BRINELL, ROCKWELL Y VICKERS)</b>	
FUNDAMENTO	Mide la capacidad del material de resistir la penetración.
OBJETIVO	Consiste en la huella que produce sobre la probeta de ensayo una esfera de diámetro normalizado. Brinell, Rockwell y Vickers, son los nombres que reciben tres tipologías de estos ensayos, que, con matices, determinan las mismas propiedades del material.

<b>ENSAYOS POR ULTRASONIDOS</b>	
FUNDAMENTO	Los ultrasonidos son ondas acústicas similares a las ondas sónicas, pero con diferentes frecuencias (están por encima de la zona audible). Se basa en la velocidad de propagación y las constantes elásticas del acero.
OBJETIVO	A partir del estudio de las ondas podemos hacernos una idea de la calidad del acero y de su resistencia, podemos determinar heterogeneidades (grietas, fisuras...) y se pueden medir espesores.

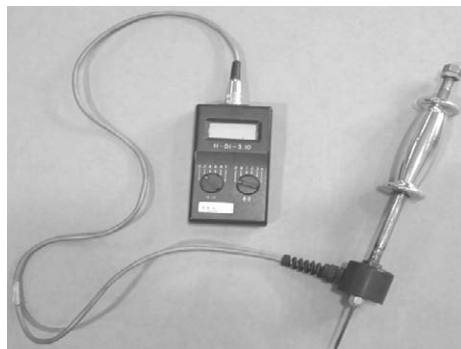
<b>ENSAYOS MICROSCÓPICOS Y RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>	
FUNDAMENTO	Se emplean para conocer los desperfectos superficiales que contiene la pieza.
OBJETIVO	Se utilizan microscopios para detectar la presencia de irregularidades o defectos en el material, en su composición o propiedades. Para medir la rugosidad de las piezas se utilizan instrumentos electrónicos llamados rugosímetros, que miden la profundidad de la rugosidad media.

## I - III. MADERA

<b>SISTEMA DE CLASES RESISTENTES</b>	
FUNDAMENTO	Inspección visual, documentación fotográfica y examen superficial. Se basa en clasificar la madera por clases que tienen valores definidos de sus propiedades resistentes y de elasticidad.
OBJETIVO	Para conocer a que clase resistente pertenece un espécimen o una población de madera se debe tener en cuenta la especie de que se trate y su calidad, entendiéndose esta como la mayor o menor presencia de las singularidades que experimentalmente se ha comprobado que perjudican el comportamiento estructural. La inspección visual permite la obtención de datos iniciales sobre lesiones de tipo biótico y abiótico que puede presentar la estructura, y proponer las zonas en las que se realizarán otros ensayos.

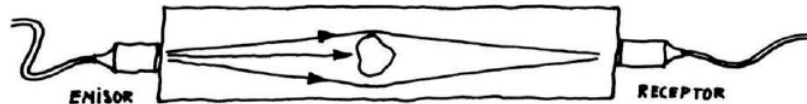
<b>MICROFOTOGRAFÍA</b>	
FUNDAMENTO	La identificación de la especie de madera es esencial pues sirve, entre otras cosas, para tener una aproximación general a las características físico – mecánicas, de resistencia natural a los ataques xilófagos de dicha madera y de impregnabilidad para la posible aplicación de tratamientos curativos o protectores.
OBJETIVO	Para tener una primera aproximación de la especie de madera primeramente se realiza una identificación macroscópica en distintas zonas del edificio. Pero para tener una certeza positiva en la identificación de la especie se debe proceder a su análisis microscópico.

<b>XILOHIGRÓMETRO</b>	
FUNDAMENTO	La humedad y la densidad son las primeras propiedades que se relacionaron con las características mecánicas, y es sobradamente conocido que cuando aumenta el contenido de humedad disminuyen la resistencia y el módulo de elasticidad.
OBJETIVO	El xilohigrómetro mide la conductividad eléctrica entre electrodos configurados como dos púas de acero clavadas en la madera. Ofrece una lectura directa media de la humedad superficial de la pieza en el punto concreto en el que se ha hecho la lectura a una profundidad de 1 cm, basándose en la relación lineal entre el contenido de humedad y el logaritmo de la resistencia óhmica.



Xilohigrómetro

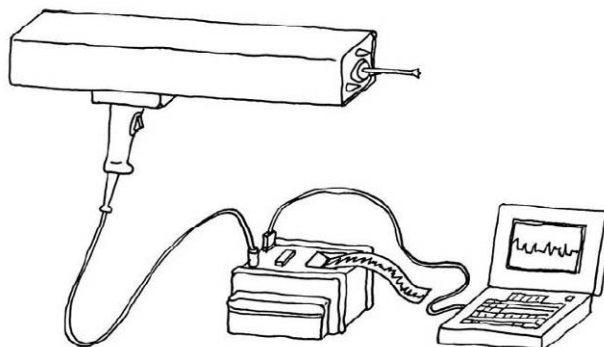
<b>VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ULTRASONIDOS</b>	
FUNDAMENTO	Descubrir la presencia de defectos internos.
OBJETIVO	La presencia de oquedades, nudos, bolsas de resina o degradaciones internas, hacen que la velocidad de transmisión de las ondas generadas sea diferente de la que se presenta en el material sin defectos. La aplicación de esta técnica tiene la ventaja de que puede ser empleada "in situ" para la evaluación de madera puesta en obra. Se puede determinar el Módulo de Elasticidad Dinámico. La relación entre la velocidad de la onda y el módulo de elasticidad aporta información sobre la calidad general de las piezas.



Velocidad de propagación de ultrasonidos. Método de transmisión

<b>EXTRACCIÓN DE TORNILLOS</b>	
FUNDAMENTO	Un dispositivo registra la máxima fuerza que se precisa para arrancar un tornillo de características específicas previamente introducido en la pieza de madera.
OBJETIVO	Existe una relación directa entre la resistencia al arranque y la densidad de la pieza de madera, el ensayo permite predecir esta y relacionarla con otras propiedades de la madera. La técnica es válida también para detectar daños y lesiones ocultos en las piezas de madera estudiada.

<b>RESISTÓGRAFO</b>	
FUNDAMENTO	Se basa en la evaluación de la variación de la fuerza, es decir la resistencia que la madera opone a la penetración de una broca a velocidad constante, mediante el consumo de potencia del taladro, relacionándolo con la densidad.
OBJETIVO	La cantidad de fuerza es variable según la zona que atravesase y son esas variaciones a lo largo del tiempo las que ofrece el aparato gráficamente en forma de resistograma. La integral de la curva fuerza – tiempo es la variable indicadora del ensayo. La resolución del método es tan alta, que se pueden detectar variaciones de densidad incluso entre los anillos de crecimiento.



Resistógrafo

## I - IV. ESTRUCTURAS DE FÁBRICA: LADRILLO, ADOBE, TAPIAL Y PIEDRA.

El objetivo de estos ensayos es variable. Desde el punto de vista de las estructuras de fábrica, los hay que tratan de obtener *valores cuantitativos de ciertos parámetros*.

<b>GATO PLANO SIMPLE (“SIMPLE FLAT JACK”)</b>	
FUNDAMENTO	Liberación de tensiones.
OBJETIVO	Nivel tensional local asociado a un determinado plano.

<b>GATO PLANO DOBLE (“DOUBLE FLAT JACK”)</b>	
FUNDAMENTO	Ensayo a compresión simple de una probeta real de fábrica.
OBJETIVO	Relación $\sigma - \epsilon$ . Módulo de deformación, coeficiente de Poisson.

<b>RESISTENCIA AL CORTE DE LA JUNTA (“IN SITU SHEAR TEST” O “PUSH TEST”)</b>	
FUNDAMENTO	Ensayo a “corte”, bajo diferentes niveles de carga vertical, de una probeta real de fábrica.
OBJETIVO	Índice de la resistencia in situ a corte en las juntas horizontales de fábricas sin reforzar. Relación $\xi - \epsilon$ .

<b>“HOLE DRILLING”</b>	
FUNDAMENTO	Tensiones residuales.
OBJETIVO	Nivel tensional. Posibilidad de obtención de tensiones principales. Posibilidad de obtención de estados a tracción.

<b>DILATOMETRÍA</b>	
FUNDAMENTO	Registro de la presión suministrada y del incremento de volumen generado. La sonda ejerce una tensión radial conocida contra el material que la rodea. Relacionando esta tensión con la deformación medida en la misma dirección (a partir de consideraciones de variación volumétrica) se obtiene un índice del módulo de deformación de la fábrica en la zona de aplicación.
OBJETIVO	Relación $\sigma - \epsilon$ en elementos de gran espesor. Módulo de deformación (módulo presiométrico).

<b>TÉCNICAS ESCLEROMÉTRICAS</b>	
FUNDAMENTO	Relacionan la resistencia del material con la penetración de un útil en su seno.
OBJETIVO	Orden de magnitud de la resistencia y calidad del material (mortero, piedra, ladrillo, etc.).

<b>“IN SITU BOND TEST”</b>	
FUNDAMENTO	Aplicación de carga excéntrica.
OBJETIVO	Proporciona una estimación de la resistencia a flexión de la junta de mortero.



<b>“PULL OUT RESISTANCE”</b>	
FUNDAMENTO	Fuerza necesaria para el arrancamiento de un útil introducido en un tendel de la fábrica.
OBJETIVO	Proporciona la resistencia al arrancamiento del mortero. Indirectamente también la resistencia mecánica del mortero.

<b>“DRILLING RESISTANCE” - Penetrómetro PNT – G</b>	
FUNDAMENTO	Correlacionar la resistencia del mortero de cal con la energía necesaria para reducirlo a arena.
OBJETIVO	Orden de magnitud de la resistencia y calidad del mortero.

<b>“DRILLING RESISTANCE” - Taladro DRMS</b>	
FUNDAMENTO	Correlaciona la resistencia al avance con la resistencia mecánica. El uso del Par permite la corrección a la abrasión debida a la naturaleza distinta dureza de los áridos.
OBJETIVO	Orden de magnitud de la resistencia y calidad del mortero.

Por el contrario los hay que proporcionan *órdenes de magnitud cualitativos* sobre la composición de los muros (en hojas de diferentes materiales), distribución de defectos, etc.:

<b>ENDOSCOPIO Y VIDEOENDOSCOPIO</b>	
FUNDAMENTO	Observar cavidades de difícil acceso de forma sencilla y precisa, con un grado de nitidez, fidelidad en la reproducción de los colores y luminosidad que resultan decisivos.
OBJETIVO	Tamaño de defectos. Composición de las hojas de un muro, etc.

<b>VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO (ENSAYO DIRECTO O TRANSPARENCIA)</b>	
FUNDAMENTO	Medida del tiempo de propagación de la onda ultrasónica. Evaluación de elementos pétreos aislados (mampuestos o sillares de compacidad adecuada) o probetas extraídas de los mismos. No son adecuados para evaluar materiales muy heterogéneos (por ejemplo: fábricas).
OBJETIVO	Estimación, mediante correlaciones, de propiedades físicas (densidad) y mecánicas. Rangos de velocidades relacionados con la calidad del material.

<b>VELOCIDAD DE PULSO SÓNICO (ENSAYO DIRECTO O TRANSPARENCIA)</b>	
FUNDAMENTO	Se mide el tiempo que toma el impulso para cubrir la distancia entre el transmisor y el receptor (tiempo de viaje) – Se deduce la $V_{\text{onda}}$ . Más adecuado para evaluar materiales muy heterogéneos (por ejemplo: fábricas).
OBJETIVO	Calificar la fábrica. Detectar la presencia de vacíos y defectos. Encontrar patrones de agrietamiento y modelos de daño. Controlar la eficacia de una inyección. Detectar cambios en las características físicas de los materiales.

<b>IMPACTO ECO (SÓNICO O ULTRASÓNICO)</b>	
FUNDAMENTO	En un material heterogéneo, como la fábrica, se producirá una reflexión de la onda acústica de llegada siempre que haya una discontinuidad del material, produciéndose una pérdida de velocidad respecto a la que se obtendría en un material homogéneo. Si se mide el tiempo de viaje (ida y vuelta), y si se conoce la velocidad de propagación de la onda puede determinarse la distancia a que se produce la reflexión (profundidad e intensidad de la interfase reflectora: defecto o cara opuesta).
OBJETIVO	Calificar la fábrica. Detectar la presencia de vacíos y defectos. Controlar la eficacia de una inyección. Detectar cambios en las características físicas de los materiales.

<b>TOMOGRAFÍA SÓNICA O ULTRASÓNICA</b>	
FUNDAMENTO	Técnica computacional que utiliza un método iterativo para el procesado de una gran cantidad de datos. La tomografía reproduce la estructura interna de un objeto a partir de medidas (sónicas o ultrasónicas) recogidas desde su superficie externa.
OBJETIVO	Mapa de distribución de velocidades acústicas en el interior de la fábrica. Permite zonificar la fábrica desde un punto de vista de su calidad, detectar la presencia de vacíos y defectos, controlar la eficacia de una inyección y detectar cambios en las características físicas de los materiales.

<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>	
FUNDAMENTO	Las radiaciones infrarrojas del espectro electromagnético, invisibles al ojo humano, que todo cuerpo a temperatura superior al cero absoluto (-273.15 °C) se emiten en forma de calor, con una distribución espectral en función de la temperatura, de la composición del cuerpo y de su emisividad.
OBJETIVO	Localización de humedades. Identificación de estructuras ocultas. Localización de huecos cegados. Identificación de grietas. Localización diferentes materiales. Etc.

<b>TÉCNICAS RÁDAR</b>	
FUNDAMENTO	Basada en el estudio de las reflexiones de las ondas electromagnéticas de alta frecuencia. Los impulsos emitidos se reflejan entre los interfaces de materiales con propiedades dieléctricas diferentes como las superficies de un muro, huecos, inclusiones, etc.
OBJETIVO	Ámbito de la arqueología y paleontología: definición de zonas de excavaciones en yacimientos arqueológicos y paleontológicos, localización de vías, murallas, restos fósiles, etc. Localización de cavidades bajo superficies rígidas. Localización de tuberías de servicios y cables enterrados en medios urbanos, etc. En fábricas: localizar la posición de grandes vacíos e inclusiones de materiales diferentes como acero, madera, etc., identificar el estado de conservación o daño de estructuras, definir la presencia y nivel de humedad, controlar la eficacia de reparación por técnicas de inyección, descubrir la morfología de la sección de muros de múltiples hojas de piedra y/o ladrillo.

## II.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS

## II - I. HORMIGÓN

ÍNDICE DE ACTIVIDAD RESISTENTE	
FUNDAMENTO	Compara la resistencia entre morteros según la adición empleada.
OBJETIVO	Refleja el resultado de comparar, mediante la rotura de probetas, la resistencia de un mortero patrón o de control con un mortero con adiciones.

CONSISTENCIA MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS	
FUNDAMENTO	Se realiza para determinar la consistencia de hormigones con un tamaño de árido $\leq 40\text{mm}$ y de consistencia $\geq 1\text{cm}$ (dada por el fabricante). Se debe comprobar siempre que se fabriquen probetas para el control de resistencia. La consistencia es una propiedad importante ya que es un índice de la docilidad del hormigón y de su deformabilidad.
OBJETIVO	Para esta determinación se emplea el "cono de Abrams". Se calcula el asiento, que será la diferencia entre la parte superior del cono y la parte superior de la muestra desmoldada, medido en cm enteros.

ENSAYOS DE FLEXIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar resistencia a flexión.
OBJETIVO	Se realiza sobre una probeta simplemente apoyada, y con cargas a los tercios de la luz. Con este ensayo se evalúan el módulo de elasticidad, a partir de las deformaciones relativas, y la resistencia a flexión, de la carga máxima.

ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a tracción del hormigón.
OBJETIVO	La resistencia a tracción del hormigón es muy baja, alrededor de 10 veces menos que a compresión. La resistencia a tracción simple no se puede obtener mediante ensayo, sino que debe ser calculada de forma empírica (por fórmulas) según la resistencia a compresión del proyecto. El método más empleado para obtener la resistencia a tracción es el ensayo de tracción indirecta o ensayo brasileño.

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a compresión del hormigón.
OBJETIVO	Para la realización de este ensayo se empleará una prensa en la que el plato inferior es fijo, y el superior es móvil para poder ajustarse mejor a la probeta. Las probetas se colocan centradas en el plato inferior, y una vez ajustado el plato superior se rompen, obteniendo la carga de rotura.

DENSIDAD RELATIVA	
FUNDAMENTO	Determinación del peso del $\text{m}^3$ de hormigón.
OBJETIVO	Se toma un recipiente de dimensiones en función del tamaño máximo del árido y de volumen conocido. Se pesa, se rellena de hormigón y se vuelve a pesar, obteniéndose el peso por $\text{m}^3$ .

**ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN**

FUNDAMENTO	Obtener la profundidad de penetración, que no debe superar ciertos valores.
OBJETIVO	Se aplica a probetas de hormigón endurecido, moldeadas o testigo. La profundidad de penetración viene condicionada por el grado de compacidad, presencia de grietas, fisuras o juntas.

**- Ensayos de piezas para bloques de hormigón:****DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA PARED**

FUNDAMENTO	Obtener el valor medio del espesor.
OBJETIVO	Se realizan 3 mediciones y se calcula la media.

**DETERMINACIÓN DEL % DE SUPERFICIE DE HUECOS**

FUNDAMENTO	Obtener el % de huecos de cada pieza y la media de la muestra.
OBJETIVO	Se sitúa el bloque entre dos hojas de papel. Se aplica una carga con prensa y la geometría de la pieza quedará marcada sobre las hojas. Se mide el área total de la pieza y el área de los huecos sobre las hojas.

**DETERMINACIÓN DE LA PLANEIDAD DE LAS CARAS**

FUNDAMENTO	Garantizar la planeidad a los bloques de cara vista.
OBJETIVO	Se determinan las flechas máximas de los bloques, medidas en las diagonales de sus caras. El resultado se dará dando la flecha máxima de cada bloque.

**DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN**

FUNDAMENTO	Obtener la resistencia a flexotracción de cada pieza y la resistencia media.
OBJETIVO	La máquina posee 2 cilindros en la parte inferior y 2 en la parte superior con los que se aplica carga. Se miden las dimensiones de las piezas y se rompen.

**VARIACIÓN DEBIDA A LA HUMEDAD**

FUNDAMENTO	Conocer las variaciones dimensionales de las piezas debidas a la humedad.
OBJETIVO	Se adhieren unas chapas metálicas a las piezas. En estas chapas medimos: la dilatación, desde tiempo inicial hasta después de estar en agua; la contracción, desde tiempo inicial hasta después del secado.

**DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD**

FUNDAMENTO	Obtener el coeficiente de absorción de cada pieza y la media de la muestra.
OBJETIVO	Se miden las caras y se sumergen las piezas. Después de un tiempo de inmersión se sacan las probetas, se elimina su humedad superficial y se pesan. Calculamos el coeficiente de absorción.

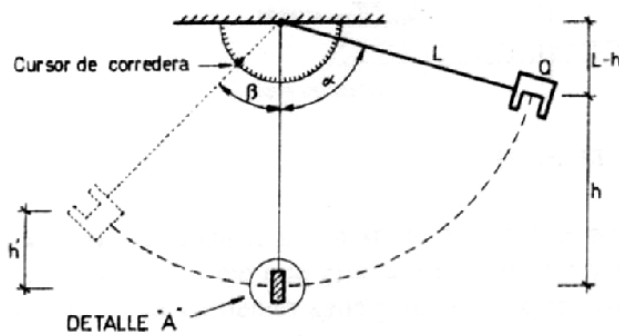
**ENSAYO DE EXPANSIÓN POR HUMEDAD**

FUNDAMENTO	Se calculan la expansión exclusiva por humedad y la expansión potencial
OBJETIVO	Medimos a tª ambiente, y comprobamos sus variaciones dimensionales tras aplicar procesos de desecación e inmersión en agua en ebullición.

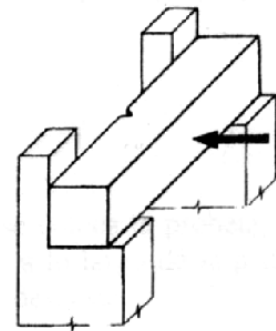
II - II. ACERO

En función del tipo de ensayo es fundamental la localización y orientación de la toma de muestras, ya que en cada tipo de ensayo la muestra debe obtenerse de un punto determinado.

ENSAYO DE RESILIENCIA O ENSAYO DEL PÉNDULO DE CHARPY	
FUNDAMENTO	Obtener la media de la energía absorbida por las probetas ensayadas.
OBJETIVO	En un ensayo de flexión por choque sobre probeta entallada. Solo se exige a perfiles y chapas laminadas (conformadas en caliente). El ensayo consiste en romper a flexión, de un solo golpe, una probeta entallada en su centro y apoyada en sus extremos.



Esquema del péndulo

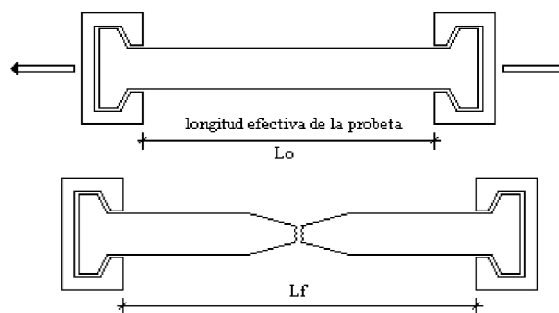


Detalle A

Ensayo de resiliencia o del péndulo de Charpy

ENSAYOS DE FLEXIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar resistencia a flexión.
OBJETIVO	Se realiza sobre una probeta simplemente apoyada, y con cargas a los tercios de la luz. Con este ensayo se evalúan el módulo de elasticidad, a partir de las deformaciones relativas, y la resistencia a flexión, de la carga máxima.

ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a tracción.
OBJETIVO	Se realiza sobre una probeta, a la cual se le exigen unos valores mínimos de carga máxima sobre el límite elástico, la carga de rotura y el alargamiento de rotura.

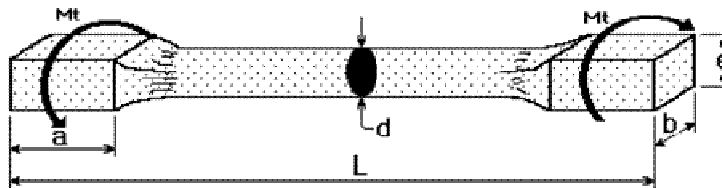


Ensayo de resistencia a tracción

ENSAYOS DE COMPRESIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a compresión.
OBJETIVO	La carga se aplica de manera concéntrica con un dispositivo articulado que permite transmitir un axil de compresión sin generar esfuerzos de flexión. La resistencia a compresión se obtiene aumentando la fuerza con un desplazamiento constante de la cabeza de cara.

ENSAYOS DE CORTANTE	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a cortante.
OBJETIVO	La probeta se somete a un esfuerzo de compresión, que provoca un esfuerzo rasante. La carga se aplica con un avance constante de la cabeza de carga, y se obtiene así la resistencia a cortante.

ENSAYOS DE TORSIÓN	
FUNDAMENTO	Determinar el valor de la resistencia a torsión y el módulo de rigidez.
OBJETIVO	El <u>ensayo de torsión</u> consiste en someter una probeta de sección redonda a un momento torsión gradualmente creciente hasta que se produzca la falla en la misma. Por medio de esta prueba pueden determinarse la <u>resistencia</u> a la torsión, el límite de fluencia y el módulo de rigidez, propios de cada material.



Ensayos de torsión

ENSAYOS DE FATIGA	
FUNDAMENTO	Conocer el número de ciclos que es capaz de soportar el material, aplicándole unas cargas variables, sensiblemente inferiores a las de rotura.
OBJETIVO	Las acciones actuantes sobre el material adoptan cíclicamente valores extremos, lo que va determinando en el período elástico acumulación de deformaciones residuales por aplicación de cargas previa recuperación elástica. Este fenómeno denominado <i>histéresis</i> produce la rotura de la pieza por fatiga (acumulación de esfuerzo de la misma).

ENSAYOS DE FLUENCIA	
FUNDAMENTO	Estudiar el comportamiento de la fluencia del material.
OBJETIVO	Consiste en la deformación gradual, de tamaño y forma, con esfuerzos generalmente bajos. Se realiza por calentamiento de la probeta y aplicando cargas.

## II - III. MADERA

<b>ENSAYO DE DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	
FUNDAMENTO	Determinar la densidad de la muestra y su contenido de humedad.
OBJETIVO	Estas propiedades físicas se obtienen sobre una rebanada de la sección transversal completa de la probeta. Debe estar libre de nudos y bolsas de resina, extrayéndose en una sección próxima a la zona de rotura. Normalmente el espesor de la rebanada es de unos 5 centímetros.

<b>ENSAYOS DE FLEXIÓN</b>	
FUNDAMENTO	Determinar resistencia a flexión y el módulo de elasticidad según la dirección paralela a la fibra.
OBJETIVO	Se realiza sobre una probeta simplemente apoyada, y con cargas a los tercios de la luz. Con este ensayo se evalúan el módulo de elasticidad, a partir de las deformaciones relativas, y la resistencia a flexión, de la carga máxima.

<b>ENSAYOS DE TRACCIÓN</b>	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a tracción paralela a la fibra.
OBJETIVO	Se realiza sobre una probeta fijada con mordazas en sus extremos para poder ejercer el axil de tracción. La resistencia a tracción se obtiene aumentando la fuerza con un desplazamiento constante de la cabeza de carga.

<b>ENSAYOS DE COMPRESIÓN</b>	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a compresión paralela a la fibra.
OBJETIVO	La carga se aplica de manera concéntrica con un dispositivo articulado que permite transmitir un axil de compresión sin generar esfuerzos de flexión. La resistencia a compresión se obtiene aumentando la fuerza con un desplazamiento constante de la cabeza de cara.

<b>ENSAYOS DE CORTANTE</b>	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a cortante, provocado por un esfuerzo de deslizamiento de las fibras en un plano paralelo a la dirección de las fibras.
OBJETIVO	La probeta se encola a unas placas de acero que permiten someter la pieza a un esfuerzo de compresión, que provoca un esfuerzo rasante en la madera. La carga se aplica con un avance constante de la cabeza de carga, y se obtiene así la resistencia a cortante.

## II - IV. FÁBRICA DE LADRILLO

<b>DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN BRUTO</b>	
FUNDAMENTO	Obtención del volumen bruto medio de las muestras.
OBJETIVO	Se obtienen la longitud, la anchura y la altura. Con las dimensiones obtenidas se calcula el volumen bruto de cada probeta: $V = l \times w \times h$ .

<b>DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN NETO</b>	
FUNDAMENTO	Obtención del volumen neto medio de las muestras.
OBJETIVO	Se introducen las probetas en recipiente de agua hasta peso constante (Masa saturada). Introducimos la pieza en un depósito y se pesa mediante balanza hidrostática (Masa saturada sumergida). Con la densidad obtenemos el volumen neto.

<b>DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES, ABSOLUTA Y APARENTE, SECAS</b>	
FUNDAMENTO	Obtención de las densidades secas, absoluta y aparente.
OBJETIVO	Secamos hasta masa constante. Densidad absoluta seca será la masa por unidad de volumen neto. Densidad aparente seca será la masa por unidad de volumen bruto.

<b>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>	
FUNDAMENTO	Determinar la resistencia a compresión.
OBJETIVO	Se preparan las piezas y se eliminan irregularidades. Se refrentan las caras donde se aplica el esfuerzo. Una vez acondicionadas las probetas llevamos las piezas a la máquina de rotura, obteniendo la resistencia a compresión mediante la carga de rotura.

<b>DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE AGUA</b>	
FUNDAMENTO	Obtener el porcentaje de absorción.
OBJETIVO	Se sumergen las piezas en agua, transcurridas 24 horas, se sacan y se pesan. Se obtiene el porcentaje de absorción a partir de la diferencia entre la masa desecada y la masa sumergida.

<b>DETERMINACIÓN DE LA DILATACIÓN POR HUMEDAD EN PIEZAS DE GRANDES DIMENSIONES</b>	
FUNDAMENTO	Obtener de la dilatación por humedad en los grandes elementos de arcilla.
OBJETIVO	Se mide la longitud inicial. Se someten las piezas a un recocado, se dejan enfriar y se desecan. Se toman dimensiones nuevamente. Se introducen las probetas en agua hirviendo, se dejan enfriar. Se toman dimensiones. Relacionando todas estas medidas obtendremos el valor de la dilatación por humedad de cada probeta y el valor medio.



## II - V. FÁBRICA DE ADOBE Y TAPIAL

Estos ensayos tienen por objeto determinar la pérdida de material, cambios de humedad y volumen producidos por repetidos y alternativos ciclos, que intentan reproducir de manera acelerada el comportamiento del material en condiciones extremas.

La causa más común de los daños es la presencia de agua mientras que la resistencia mecánica nunca es un problema, ya que tradicionalmente las dimensiones responden a criterios de estabilidad y sistema de ejecución, siendo muy escasa la presencia de daños debidos a exceso de sollicitación o falta de resistencia.

En este sentido, resultan más significativos los resultados de los ensayos que estudian el comportamiento de la tierra ante el agua (humedad/sequedad, hielo/deshielo, goteo, lluvia artificial) que a aquellos referidos a resistencia o dureza superficial.

ENSAYOS DE MÓDULOS DE VIVIENDA	
FUNDAMENTO	Analizar el comportamiento estructural del conjunto de la construcción.
OBJETIVO	Son los más representativos, pues permiten comprobar el comportamiento global de la unidad de vivienda. La forma más simple de estudiar el comportamiento de estos muretes frente a cargas laterales es colocando el murete sobre una plataforma inclinable, de tal forma que aparece una componente del peso propio actuando lateralmente sobre la estructura.

ENSAYOS DE MUROS A ESCALA NATURAL	
FUNDAMENTO	Analiza de forma aislada el comportamiento de los elementos resistentes de las construcciones.
OBJETIVO	Generalmente consisten en someter al muro a alguna de las sollicitaciones más importantes, como flexión, normal, cortante o torsión. Indispensables para estudiar efectos tales como los producidos por aberturas en los muros, encuentros entre muros, sistemas de refuerzo y para comprobar resultados obtenidos mediante ensayos más sencillos.

ENSAYOS DE MURETES	
FUNDAMENTO	Predecir, de forma aproximada, el comportamiento de los muros, como una simplificación de los ensayos de muros a escala natural.
OBJETIVO	<p>Ensayos en elementos pequeños:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compresión en pilas, para obtener la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad.</li> <li>- Corte en muretes, nos proporciona el esfuerzo a cortante último del murete, que después se puede comparar en ensayos de muros a escala natural.</li> <li>- Compresión diagonal, que reproduce las fallas típicas que se producen en los muros de albañilería sometidos a cargas laterales en su plano, y proporciona además una buena medida de la calidad de la mampostería, y sus ensayos una correlación aceptable con los obtenidos a través de ensayos de corte en muros a escala natural.</li> </ul>

<b>ENSAYOS DE ESPECÍMENES SIMPLES</b>	
<b>FUNDAMENTO</b>	Estudio del comportamiento mecánico en ensayos menos complejos y con menos material empleado.
<b>OBJETIVO</b>	Se mejora la maniobrabilidad de la muestra y es factible realizar un mayor número de pruebas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de corte directo, que sirve de base para establecer el esfuerzo de corte horizontal admisible en muros de adobe solicitados por acciones sísmicas, y consiste en aplicar simultáneamente fuerzas de corte y compresión en un ensamblaje de tres hiladas de adobe.</li> <li>- Tracción indirecta, que se emplea para medir la calidad de la albañilería.</li> <li>- Tracción directa, muy utilizada para medir la adhesión entre el mortero y el bloque. Para fábricas de adobe es de difícil aplicación y poco representativa.</li> </ul>

<b>ENSAYOS DE BLOQUES</b>	
<b>FUNDAMENTO</b>	Obtención de los valores resistentes de los bloques.
<b>OBJETIVO</b>	Dentro de esta categoría se encuentran los ensayos de compresión simple de la unidad de adobe y los ensayos de tracción por flexión. Lo malo de estos ensayos es que al comprobar un solo adobe, la resistencia de este no es representativa de la resistencia de la albañilería.

<b>ENSAYO DE LLUVIA ARTIFICIAL</b>	
<b>FUNDAMENTO</b>	Se observan los efectos generados por una incidencia constante de agua.
<b>OBJETIVO</b>	Se realiza disponiendo 22 muros en dos círculos de 5m de diámetro y colocando un aspersor en el centro de manera que el agua incida directamente a media altura de las caras interiores, midiendo la profundidad del surco originado por el agua.



## II - VI. PIEDRA

## - Caracterización analítica de los materiales

<b>MICROANÁLISIS ELEMENTAL CON SONDA ELECTRÓNICA (EDAX)</b>	
FUNDAMENTO	Conocimiento morfológico de las muestras.
OBJETIVO	Observación microscópica de las probetas, y determinación analítica de las composiciones propias de este tipo de materiales. Permite detectar la presencia de cristalizaciones en el interior de las piezas.

<b>ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD)</b>	
FUNDAMENTO	Análisis de las eflorescencias presentes en las muestras.
OBJETIVO	Estudio de la estructura cristalina de las eflorescencias, determinando también, la mayor o menor presencia de agua en estas, su hidratación.

## - Caracterización física de los materiales

<b>VOLUMEN APARENTE</b>	
FUNDAMENTO	Determinar el volumen aparente de las muestras.
OBJETIVO	Se emplea una balanza hidrostática, y se pesan las muestras sumergidas. Estas medidas proporcionan directamente el volumen de agua desplazado por las muestras (puesto que la densidad del agua es 1 g/cm <sup>3</sup> ) y, consecuentemente, el volumen aparente (V <sub>a</sub> ) de la misma.

<b>POROSIDAD</b>	
FUNDAMENTO	Obtención de la porosidad mediante la diferencia de volúmenes.
OBJETIVO	Se introducen las probetas en recipiente de agua hasta peso constante (Masa saturada). Introducimos la pieza en un depósito y se pesa mediante balanza hidrostática (Masa saturada sumergida). Con la densidad obtenemos el volumen neto. Mediante la diferencia de volumen aparente y neto obtenemos el volumen de poros de cada pieza.

<b>DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES, ABSOLUTA Y APARENTE, SECAS</b>	
FUNDAMENTO	Obtención de las densidades secas, absoluta y aparente.
OBJETIVO	Secamos hasta masa constante. Densidad absoluta seca será la masa por unidad de volumen neto. Densidad aparente seca será la masa por unidad de volumen bruto.

<b>DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE AGUA</b>	
FUNDAMENTO	Obtener el porcentaje de absorción.
OBJETIVO	Se sumergen las piezas en agua, transcurridas 24 horas, se sacan y se pesan. Se obtiene el porcentaje de absorción a partir de la diferencia entre la masa desecada y la masa sumergida.

**- Caracterización mecánica. Determinación de resistencias**

<b>ENSAYOS A COMPRESIÓN</b>	
<b>FUNDAMENTO</b>	Determinar la resistencia a compresión.
<b>OBJETIVO</b>	Se estima la resistencia mecánica a compresión, mediante un ensayo en máquina de rotura, obteniendo la resistencia a compresión mediante la carga de rotura. Para la realización de este ensayo se empleará una prensa en la que el plato inferior es fijo, y el superior es móvil para poder ajustarse mejor a la probeta. Las probetas se colocan centradas en el plato inferior, y una vez ajustado el plato superior se rompen, obteniendo la carga de rotura.

<b>ENSAYOS DE HELADICIDAD</b>	
<b>FUNDAMENTO</b>	Evaluar la durabilidad de las distintas piedras.
<b>OBJETIVO</b>	Se llevan las piezas hasta secado constante, y se obtiene su peso desecado. Se saturan por inmersión en agua, y se ejecuta un programa de ciclos de hielo – deshielo, de 20 ciclos. La evaluación del posible daño producido en el material a consecuencia de la acción expansiva de la transformación del agua líquida en hielo en el caso de los ciclos de hielo – deshielo se realiza con el control de la pérdida de masa experimentada por la probeta en estado seco a la finalización del programa de ciclos. Un método alternativo es la estimación de la posible pérdida de propiedades mecánicas mediante la realización de ensayos de rotura a compresión de las probetas tras haber completado el programa de ciclos previsto.

<b>ENSAYOS DE CICLOS DE HUMEDAD - SEQUEDAD</b>	
<b>FUNDAMENTO</b>	Evaluar la durabilidad de las distintas piedras.
<b>OBJETIVO</b>	Se llevan las piezas hasta secado constante, y se obtiene su peso desecado. Se saturan por inmersión en agua, y se ejecuta un programa de ciclos de humedad - sequedad, de 10 ciclos. La evaluación del posible daño producido en el material a consecuencia de la acción de la evaporación del agua en el caso de los ciclos de humedad – sequedad, se realiza con el control de la pérdida de masa experimentada por la probeta en estado seco a la finalización del programa de ciclos. Un método alternativo es la estimación de la posible pérdida de propiedades mecánicas mediante la realización de ensayos de rotura a compresión de las probetas tras haber completado el programa de ciclos previsto.

## ANEJO I - INFORME DEL ESTUDIO REALIZADO EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS. MADRID

---

Como ejemplo de aplicación de métodos y conceptos analizados en este trabajo, a continuación se presenta un informe de análisis y conocimiento del estado real de una construcción, y los condicionantes que esta impone. A su vez, se profundiza algo más en el estudio, y se llegan a proponer soluciones a los diferentes defectos encontrados, también se proponen actuaciones preventivas en elementos que puedan ocasionar daños en un futuro.

### I.- ANTECEDENTES

Se solicitó al XXXXX un estudio sobre el estado actual de la estructura de un edificio de viviendas en el barrio de XXXXX (Madrid). En primera instancia se elaboró un *INFORME DE RESULTADOS DEL ESTUDIO SOBRE LOS DAÑOS EXISTENTES EN LA PLANTA OCTAVA DEL EDIFICIO SITO EN XXXXX (MADRID)*, que posteriormente fue ampliado con el siguiente informe *ADDENDA AL INFORME DE RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO SOBRE LOS DAÑOS EXISTENTES EN LA PLANTA OCTAVA DEL EDIFICIO SITO EN XXXXX (MADRID)*, en la que se recogían las recomendaciones de refuerzo que podrían ejecutarse en el forjado de cubierta del inmueble.

La investigación realizada en la planta octava, puso de manifiesto algunos aspectos anómalos en la estructura, que hacían que fuera necesario un análisis de las condiciones de seguridad y servicio de la estructura del resto del inmueble, así como un análisis de las condiciones de estabilidad del aplacado de la fachada principal. En este sentido, y atendiendo a una nueva solicitud del Peticionario, se emitió una propuesta de servicios técnicos que recogía las actividades que considerábamos necesarias para llevar a cabo estos análisis.

Una vez manifestada la aprobación por parte de Peticionario, se llevaron a cabo unos trabajos que consistieron en la inspección de daños y en la inspección de las calas sobre elementos estructurales, estas últimas ubicadas de acuerdo con lo indicado en el *PLAN DE APERTURA DE CALAS EN LA ESTRUCTURA DEL INMUEBLE SITO EN XXXXX (MADRID)*, incluido como anejo nº 2 en el documento original.

Una vez analizados los resultados de los trabajos de inspección, procedimos a la realización de los trabajos de gabinete oportunos, para concluir los trabajos con la redacción del presente documento.

### II.- OBJETO DEL INFORME

El objeto del presente documento es exponer los resultados del análisis de las condiciones de seguridad y servicio de la estructura del inmueble sito en XXXXX, Madrid. Así como establecer recomendaciones sobre las medidas de reparación y/o refuerzo que pudieran ser necesarias como consecuencia del estudio realizado.

Cabe señalar que no es objeto del presente documento el análisis del estado actual de la planta octava, la cual ya fue objeto de estudio como se ha indicado en el apartado anterior, llevándose a cabo en la misma actuaciones de refuerzo atendiendo a las recomendaciones ya efectuadas anteriormente.

### III.- DATOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

#### DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

El edificio consta de planta de semisótano y nueve plantas más sobre rasante. La planta de semisótano está destinada a vivienda del portero y cuartos de instalaciones.

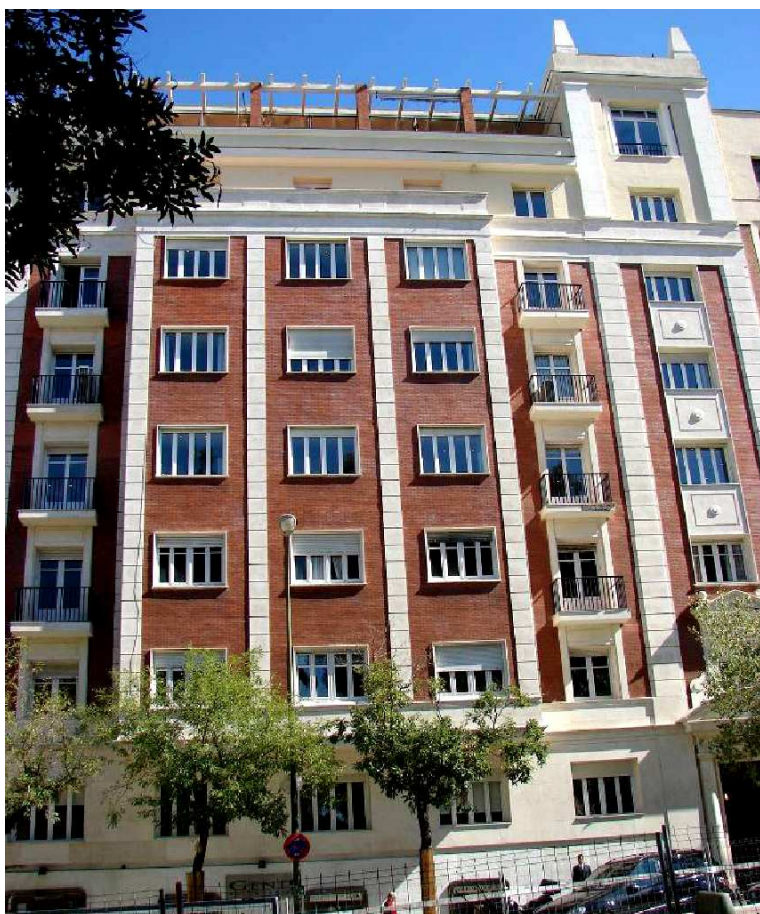
La planta baja está destinada a portal, oficinas, escalera y zonas diáfanas comunitarias; y el resto de las plantas están destinadas a oficinas.

La cubierta es transitable, accesible sólo privadamente, y está ocupada parcialmente por un casetón.

La fachada, de fábrica de ladrillo y aplacado de piedra, ha sido recientemente rehabilitada, según la información verbal facilitada.

La estructura del edificio está constituida por muros de carga de fábrica de ladrillo, paralelos a la fachada principal, sobre los que apoyan forjados unidireccionales de viguetas metálicas o prefabricadas de hormigón. En la planta octava la fachada se retranquea y, en vez de en un muro de carga, en la línea interior los forjados descansan sobre pórticos de jácenas y pilares metálicos.

En la figura nº 1 se muestra una vista general del edificio objeto de estudio.



Vista general del edificio objeto de estudio

Figura nº 1

#### IV.- PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Una vez revisada la documentación técnica facilitada sobre la estructura objeto de consulta, y analizados los resultados del estudio anteriormente efectuado referido en el primer apartado, para la realización del estudio solicitado hemos desarrollado las siguientes actividades:

a) Inspección detallada de las dependencias accesibles del inmueble, con objeto de identificar aquellos síntomas que pudieran ser indicativos de un anómalo comportamiento estructural del inmueble o de su cimentación.

b) Redacción de un plan de apertura de calas de inspección para verificar la adecuación de la estructura realmente ejecutada a las especificaciones de la documentación técnica existente, así como para tomar aquellos datos no suficientemente definidos en dicha documentación y que pudieran ser necesarios para la realización del estudio.

c) Inspección de las calas practicadas.

d) Comprobaciones de cálculo sobre los elementos muestreados en el plan de investigación en la estructura. Dichas comprobaciones han tenido por objeto analizar las condiciones de seguridad de dicha estructura. También, dichas comprobaciones han tenido por objeto analizar si se justifican los daños existentes por la propia respuesta estructural y, en tal caso, si existe un problema de seguridad asociado a ella.

Las actividades antes indicadas, cuyos resultados se exponen con detalle en los apartados V a VII siguientes, han servido para establecer un diagnóstico sobre el origen y trascendencia de los daños, diagnóstico que se explica en los apartados de Comentarios y de Conclusiones, así como para poder analizar las tipologías de las actuaciones de reparación y/o refuerzo que resultan necesarias, y que se recogen en el apartado X de Recomendaciones.

#### V.- RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DE DAÑOS

Se realiza una inspección de los daños existentes en las dependencias del edificio objeto de estudio y en su fachada principal. Dicha inspección comprende todas las dependencias accesibles del inmueble, excepto en la planta octava, que ya fue inspeccionada para un estudio previo.

En el anejo nº 1 del informe original, se recogen, mediante croquis y fotografías, los resultados de la inspección realizada. A modo de resumen, a continuación se exponen los aspectos más significativos observados en dicha inspección:

a) Fisuras de distintos trazados en los muros de carga del inmueble (véanse las figuras nº 2, 3).

Se destaca que las fisuras horizontales suelen localizarse, en general, en el encuentro de techo con los muros medianeros, y las verticales en la situación de las ventanas, puertas y encuentro de muros.



**Fisura vertical en muro de fábrica de ladrillo**  
**Figura nº 2**



**Fisura horizontal en muro de fábrica de ladrillo**  
**Figura nº 3**

b) Fisuras de trazados horizontales, verticales e inclinados también en la tabiquería del inmueble.

c) Fisuras en techo marcando la posición de las viguetas (véase la figura nº 4). En algunas zonas se observa una sombra indicando la posición de las viguetas.



**Fisura marcando la posición de la vigueta en techo, reparada**  
**Figura nº 4**

d) Abertura de juntas entre las piezas que conforman el pavimento (véase la figura nº 5).



**Junta de solado abierta**  
**Figura nº 5**



e) Humedades en zonas próximas a los muros de cerramiento (véase la figura nº 6).



**Humedades en encuentro de techo con cerramiento**  
**Figura nº 6**

f) Deterioro de los acabados de los muros y tabiques que conforman el edificio.

g) Desprendimiento de una de las piezas de aplacado de la fachada principal del edificio (véase la figura nº 7).



**Desprendimiento de una pieza de aplacado de la fachada principal**  
**Figura nº 7**

En algunos casos el aplacado se encuentra fisurado y se han realizado actuaciones de reparación. También se observa deterioro de los acabados de los elementos ornamentales de la fachada.

h) Desplazamiento y deterioro de algunas piezas de fábrica de ladrillo de la fachada (véase la figura nº 8).



**Desplazamiento de piezas de fábrica de ladrillo de la fachada**  
**Figura nº 8**

i) Reparaciones de los acabados de la fachada principal, tanto en el ladrillo *cara vista* como en los acabados de revestimiento de mortero (véanse las figuras nº 9 y 10).



Reparaciones en fachada de ladrillo *cara vista*  
Figura nº 9



Reparaciones en revestimiento de mortero  
Figura nº 10

Aparte de las anomalías ya detectadas en planta octava, cabe indicar que durante los trabajos de refuerzo que se estaban realizando en dicha planta octava, se produjo un descenso de uno de los pilares metálicos debido al fallo de la fábrica de ladrillo donde estaba apoyado, al haberse realizado un hueco históricamente bajo el mismo para paso de instalaciones, tal y como se observa en las figuras nº 11 y 12. Una vez detectada dicha anomalía, se corrigió.



Vista desde la planta inferior del apoyo del pilar metálico que ha sufrido el descenso durante el refuerzo en la planta octava  
Figura nº 11



Vista desde la planta superior del pilar metálico que ha sufrido el descenso durante el refuerzo de la planta octava  
Figura nº 12

## VI.- RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DE CALAS EN ESTRUCTURA

La tipología y localización de calas realizadas fue fijada en el *PLAN DE APERTURA DE CALAS EN LA ESTRUCTURA DEL INMUEBLE SITO EN XXXXX (MADRID)*, que se recoge como anejo nº 2 al informe original.

En el anejo nº 3 del mismo, se recogen la localización definitiva de las calas realizadas, así como croquis y fotografías de los resultados de los trabajos de inspección de las mismas. A continuación se exponen, a modo de resumen, los aspectos más significativos observados en las calas practicadas:

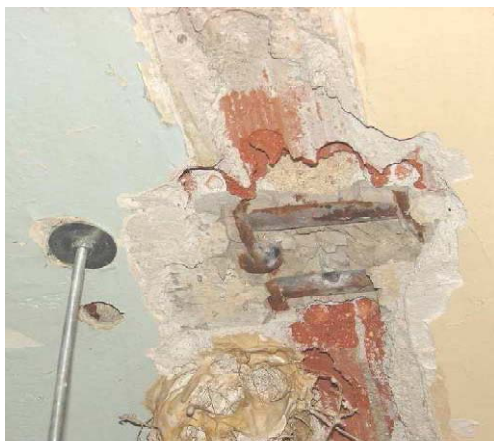
a) Los forjados detectados en el inmueble son unidireccionales de dos tipos: de viguetas prefabricadas autorresistentes de hormigón armado, como los observados en los techos de planta segunda y planta séptima; y de viguetas metálicas tipo IPN como los observados en los techos de planta cuarta y en otras plantas.

En cuanto a los forjados de viguetas de hormigón armado, su intereje es variable y se encuentra entre 0,73 m y 0,93 m. El canto del forjado coincide con el de las viguetas y es de 19,5 cm, pues no existe capa de compresión. Los rastreles donde se fija el pavimento de madera apoyan directamente sobre las viguetas cogidos con argamasa o mortero de agarre. El entrevigado es cerámico, compuesto por rasillas y *revoltón*. La entrega de las viguetas en los muros es de 28 cm aunque en el caso de los voladizos es completa. Cabe señalar que en los voladizos, en los puntos donde se ha comprobado, las viguetas no tienen continuidad (véase la figura nº 13). Las viguetas están armadas con dos barras de diámetro 16 mm superiores y otros dos inferiores, de acero *liso*. Estas armaduras presentan en algunos casos oxidación superficial. Los recubrimientos nominales de las armaduras longitudinales están en torno a 10 mm y 20 mm.



Cala en cara superior de forjado en voladizo  
Figura nº 13

En la figura nº 14 mostramos una vista de una de las calas realizadas en la cara inferior del forjado, y en la figura nº 15 una vista de una de las calas realizadas en la cara superior.



Cala en cara inferior de forjado  
Figura nº 14



Cala en cara superior de forjado  
Figura nº 15

Cabe indicar que en alguna de las calas realizadas hemos comprobado que, en el extremo de las viguetas, las armaduras terminan en punta lo que es una anomalía reseñable, puesto que se trata de armaduras de acero *liso*, cuyo anclaje se garantizaba con terminaciones en *gancho*.

En cuanto a los forjados de viguetas metálicas, su intereje es variable y se encuentra entre 0,78 m y 1,02 m. Los perfiles detectados son de tipo IPN100, IPN120 e IPN160, y presentan oxidación superficial. Tampoco en este caso hemos detectado capa de compresión. El entrevigado es cerámico, compuesto por rasillas y *revoltón*. En la figura nº 16 mostramos una vista de una de las calas realizadas en la cara inferior del forjado.



Cala en cara inferior de forjado  
Figura nº 16

b) Los cargaderos detectados son de hormigón armado (como por ejemplo, en techo de planta séptima) o metálicos (como por ejemplo, en techo de planta cuarta).

El cargadero de hormigón armado está descolgado del forjado 19 cm, tiene un ancho de 22,5 cm y está compuesto por dos viguetas de hormigón armado de la misma tipología que las detectadas en los forjados rellenas de mortero. Cada vigueta está armada por 2Ø12 de acero *liso*. El recubrimiento nominal de estas armaduras es de 15 mm. Estas barras están “cogidas” horizontalmente por barras de 8 mm de diámetro de acero *liso* que a su vez están sujetas verticalmente por barras de sección rectangular 10x5 mm cada 17 cm.

El cargadero metálico detectado en el techo de planta cuarta está compuesto por dos perfiles IPN120 (análogos a las viguetas detectadas en los forjados) separados 12,7 cm, rellenos entre sí de mortero. Los perfiles presentan oxidación superficial.

En la figura nº 17 incluimos una vista de la cala realizada en la cara inferior del cargadero. En la figura nº 18 incluimos una vista de la cala realizada en la cara inferior del cargadero.



Cala en cara inferior del cargadero de  
hormigón armado  
Figura nº 17



Cala en cara inferior del cargadero metálico  
Figura nº 18

c) La estructura horizontal que compone el inmueble apoya en general sobre muros de fábrica de ladrillo de aparejo inglés. El espesor detectado en estos muros es de entre 28 cm y 48 cm, y la altura entre plantas es de unos 3 m. El mortero de agarre es de cal, con espesores de tendeles de unos 1,5 a 2,0 cm. Existen diferentes tonalidades de ladrillo, los nudos presentan además distintas dimensiones, tal y como se muestra en las figuras nº 19 y 20. En cuanto al mortero de cal, cabe indicar que en algunos puntos presenta algo de disgregación, aunque sólo de forma superficial.



Cala en muro de carga de fábrica de ladrillo  
Figura nº 19



Cala en muro de carga de fábrica de ladrillo  
Figura nº 20

## VII.- COMPROBACIONES DE CÁLCULO

Hemos realizado unas comprobaciones de cálculo sobre los elementos muestreados en la campaña de calas realizada, con objeto de analizar el estado actual de la misma (análisis de condiciones de seguridad y servicio).

En el anejo nº 4 incluido en el documento original se recogen de forma detallada las hipótesis adoptadas y las comprobaciones de cálculo realizadas. Estas comprobaciones han sido realizadas considerando los pesos reales de estructura, acabados, etc.; las sobrecargas de uso exigibles por la Normativa vigente, y los coeficientes parciales de seguridad que exige dicha Normativa.

A continuación se exponen, a modo de resumen, los aspectos más significativos considerados en dichas comprobaciones y los resultados obtenidos:

### FORJADOS

En las comprobaciones realizadas en los vanos de forjado de viguetas de hormigón armado hemos obtenido condiciones de seguridad técnicamente no admisibles frente al estado límite último de flexión. Asimismo, hemos obtenido en la mayoría de los casos valores técnicamente no admisibles frente al estado límite último de corte.

Queremos destacar que en estas comprobaciones no hemos considerado el empotramiento que podrían ejercer los muros de carga dado que, en primer lugar, la configuración estructural de la entrega no permite garantizar el empotramiento de los forjados en los muros, y además, existen igualmente incertidumbres sobre las condiciones de anclaje de las armaduras de las viguetas en los extremos de éstas. Esta anomalía afecta también a las condiciones de seguridad de estos elementos frente a flexión (como elemento biapoyado) y corte, ya de por sí

técnicamente no admisibles como hemos indicado, por no estar garantizado tampoco el anclaje de la armadura inferior.

Así mismo, los voladizos existentes en el edificio presentan incertidumbres sobre sus condiciones de seguridad frente al estado límite último de flexión, dado que al no ser continuo el forjado y no contar con otro sistema avalado por la práctica constructiva habitual, no se pueden garantizar sus condiciones de seguridad. Debe existir otro mecanismo resistente que haya garantizado a lo largo de la vida del inmueble la seguridad, aunque tal mecanismo no ha sido encontrado en la investigación realizada.

De la misma manera, en las comprobaciones realizadas en los vanos de forjado de viguetas metálicas se han obtenido condiciones de seguridad técnicamente no admisibles frente al estado límite último de flexión en todos los casos, excepto en algún caso puntual en el que se ha detectado una vigueta de mayor canto. En cambio, hemos obtenido valores correctos frente al estado límite último de corte.

En todo caso, los coeficientes parciales de seguridad obtenidos en los cálculos, aunque inferiores a los Normativos, son suficientes como para que en nuestra opinión no sea necesario tomar medidas de emergencia en tanto se acometa, como se indica en el siguiente apartado, el refuerzo de la estructura.

#### CARGADEROS

En las comprobaciones realizadas en los cargaderos de hormigón armado hemos obtenido condiciones de seguridad técnicamente no admisibles frente al estado límite último de flexión. Asimismo, hemos obtenido valores técnicamente no admisibles frente al estado límite último de corte.

En las comprobaciones realizadas en los cargaderos metálicos hemos obtenido condiciones de seguridad técnicamente no admisibles frente al estado límite último de flexión. Sin embargo, hemos obtenido valores correctos frente al estado límite último de corte.

#### DEFORMABILIDAD

Hemos analizado la relación *luz/canto útil* de los vanos de forjado y de los cargaderos, obteniendo para ambos casos valores que están muy por encima, sobre todo para los vanos de forjado de mayor luz (valores en torno a 20-30 en el caso de la estructura de hormigón y en torno a 30-40 en el caso de las estructuras metálicas), de los recomendados en la normativa actualmente en vigor (la relación *luz/canto útil* no debe superar el valor de 20), valores que justifican la deformabilidad de la estructura horizontal que ha producido la mayor parte de las fisuras existentes en tabiques interiores.

#### CAPACIDAD DE CARGA

- Por último, en las comprobaciones realizadas para analizar la capacidad portante de los muros de carga de fábrica de ladrillo, considerando la reducción que suponen las excentricidades debidas a la aplicación de la carga y la configuración geométrica de los mismos, hemos obtenido valores correctos y/o técnicamente admisibles en cabeza, pie y fuste para los tramos de la muestra de machones tipo en toda la altura del edificio que ha sido comprobada.

## VIII.- COMENTARIOS

Con base en los aspectos referidos en los apartados anteriores, se formulan los siguientes comentarios:

a) La configuración estructural de los forjados y las condiciones de seguridad de éstos obtenidos en el estudio de la planta octava del inmueble, así como la existencia de algunas anomalías fundamentalmente en tabiquerías interiores del edificio, hace que exista incertidumbre sobre las condiciones de seguridad de la estructura del resto del inmueble.

b) En las investigaciones llevadas a cabo hemos caracterizado la configuración estructural del edificio, comprobando que su estructura está constituida por forjados unidireccionales apoyados sobre muros de carga de fábrica de ladrillo.

En relación con los forjados, cabe indicar que, según las zonas, y sin atender a un criterio fijo, están formados por viguetas prefabricadas de hormigón armado o por viguetas metálicas, en ambos casos con interejes notablemente superiores a los empleados en la práctica constructiva habitual. Además, las condiciones de apoyo de las viguetas de hormigón en los muros, así como las condiciones de anclaje de las armaduras existentes en los extremos de dichas viguetas, hacen que existan incertidumbres sobre la capacidad de empotramiento de los forjados en los muros, aspecto que ha sido tenido en cuenta en las comprobaciones de cálculo realizadas y que se juzgan en el punto c) siguiente.

Por último, cabe indicar que en las calas realizadas hemos detectado oxidación superficial tanto en los perfiles que conforman las viguetas y vigas metálicas, como de manera puntual en las barras de armado de las viguetas de hormigón armado, sin mayor trascendencia estructural en su estado actual.

c) Hemos analizado las condiciones de seguridad de los forjados realizando comprobaciones frente a los estados límite últimos de flexión y corte, con los criterios de la Normativa vigente tanto en lo relativo a las sobrecargas de uso como en lo referente a los criterios de seguridad estructural obteniendo, en general, resultados técnicamente no admisibles, por lo que deben ser reforzados.

De la misma manera hemos analizado la capacidad de los cargaderos detectados junto a las escaleras obteniendo valores técnicamente no admisibles en las comprobaciones realizadas.

En el caso de los voladizos, éstos presentan una configuración resistente que no está avalada por la práctica constructiva habitual, por lo que no se pueden garantizar sus condiciones de seguridad.

En todo caso, los márgenes de seguridad obtenidos sobre los distintos elementos de la estructura horizontal hacen que, en tanto se acometa el refuerzo de dicha estructura, no sea preciso tomar medidas de emergencia (tales como desalojo y/o apeos).

d) En el caso de los muros de fábrica no hemos detectado daños indicativos de un comportamiento anómalo de los mismos, excepto en algún caso puntual, en el que hemos detectado anomalías compatibles con acortamientos diferenciales de carácter reológico entre distintos machones de fábrica. Con objeto de comprobar si estos daños están relacionados con un problema de seguridad hemos analizado la capacidad portante de una muestra representativa de los machones de fábrica que componen el edificio, obteniendo coeficientes de seguridad correctos y/o técnicamente admisibles, incluso en las exigencias de la Normativa

actual en cuanto a sobrecargas a considerar y coeficientes parciales de seguridad a adoptar. Por lo tanto, consideramos que estos daños carecen de trascendencia estructural y únicamente será preciso reparar los daños detectados para restituir su monolitismo y funcionalidad.

e) Por último, en relación con el resto de anomalías que presenta el inmueble, cabe indicar lo siguiente:

– Se han detectado daños en los forjados y en las tabiquerías indicativos de excesivas deformaciones de la estructura horizontal del inmueble. En efecto, las fisuras detectadas en la tabiquería son indicativas de que se han producido deformaciones en los forjados incompatibles con sus condiciones de rigidez. De la investigación realizada se deduce que la relación *luz/canto* de la estructura horizontal del edificio es en general elevada (de hasta 40), lo que justificaría esta deformabilidad.

– Por otro lado, se han detectado fisuras en techo marcando la posición de las viguetas. Estos daños son indicativos de la falta de rigidez transversal del forjado, debido a que estos forjados no poseen losa superior de reparto. Efectivamente, la losa de reparto hace que se distribuyan las cargas puntuales entre viguetas contiguas repartiendo la solicitación que afecta a las mismas entre las adyacentes. Como los interejos detectados son, además, importantes (llegando incluso a alcanzar un metro) las solicitaciones que reciben las viguetas son significativas.

Por lo tanto, todos estos aspectos favorecen la excesiva deformabilidad transversal del forjado y la aparición de daños como los indicados, y en último extremo puede dar lugar en situaciones excepcionales a la rotura del entrevigado.

## IX.- CONCLUSIONES

Con base en los aspectos referidos en los apartados anteriores, formulamos las siguientes conclusiones:

a) A partir de los resultados de la investigación realizada en el forjado de techo de planta octava y los daños detectados en el edificio, planteamos la necesidad de ampliar el estudio de la estructura a la totalidad del inmueble. De este estudio se desprende, como se detalla en el apartado anterior, que existe un problema de seguridad en la estructura horizontal del edificio, de acuerdo con las exigencias de la Normativa en cuanto a sobrecargas de uso y criterios de comprobación estructural.

Además hay algunos aspectos constructivos no adecuados, incluso con los criterios y prácticas constructivas de la época de construcción del edificio, como por ejemplo la terminación “*en punta*” de la armadura en los extremos de las viguetas (en lugar de “*en gancho*”) o la no continuidad de las viguetas en voladizos hacia el vano interior.

Asimismo, dicha estructura horizontal presenta una alta deformabilidad y una gran deformabilidad transversal, que ha dado lugar a algunos daños.

b) Por lo anteriormente expuesto, en cuanto a la estructura horizontal, se requiere su refuerzo lo antes posible, si bien no es necesario adoptar medidas de emergencia en tanto se acometen estas operaciones de refuerzo, excepto en el caso de los voladizos en los que se recomienda limitar el uso (no disponer carga en estas zonas).



Además, la estructura horizontal presenta otros daños asociados a problemas de durabilidad que, en general, en la actualidad carecen de trascendencia estructural, si bien deberán ser reparados para garantizar unas adecuadas condiciones de durabilidad y seguridad a medio y largo plazo.

c) Las anomalías detectadas de forma puntual en los muros de carga de fábrica de ladrillo carecen de trascendencia estructural y tienen su origen en el comportamiento reológico de los mismos. Además, en las comprobaciones realizadas de la capacidad portante de los machones hemos obtenido coeficientes parciales de seguridad correctos y/o técnicamente admisibles. Por lo tanto, estos daños carecen de trascendencia estructural.

## X.- RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del estudio realizado para la planta octava se plantearon incertidumbres sobre la estructura del resto del edificio. Una vez realizado el estudio hemos concluido que, de acuerdo con los resultados obtenidos, resulta necesario reforzar la estructura horizontal del inmueble lo antes posible, si bien no es preciso tomar medidas de emergencia en tanto se acometen dichos refuerzos (excepto en los voladizos en los que se recomienda que se limite el uso). Establecemos a continuación las siguientes recomendaciones en cuanto al refuerzo de la estructura horizontal.

### X – I. REFUERZO A FLEXIÓN Y CORTE DE LOS VANOS DE FORJADO DE VIGUETAS PREFABRICADAS

El refuerzo de los forjados de viguetas de hormigón podrá realizarse con la misma tipología utilizada para el refuerzo del techo de planta octava, es decir, disponiendo *parteluces* y *jácenas* de refuerzo que descansarán sobre los muros carga de fábrica de ladrillo. El dimensionamiento de estos perfiles quedará recogido en el correspondiente Proyecto de refuerzo.

El refuerzo de los forjados disponiendo *parteluces* metálicos que dividan la luz libre de los forjados a reforzar exigirá la disposición de unas *jácenas* metálicas principales paralelas a la dirección del forjado y referidas a los muros sobre las que se apoyarán los *parteluces*. Estas *jácenas* también resolverían el refuerzo de los cargaderos.

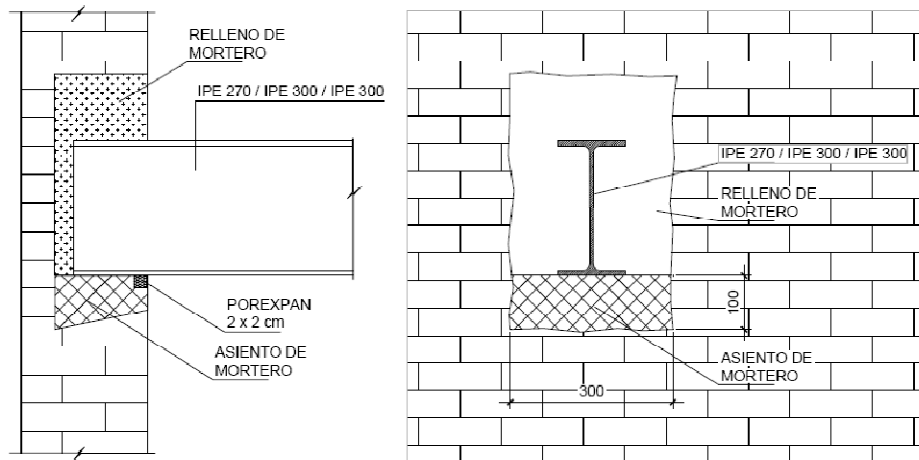
El apoyo de los perfiles metálicos en la fábrica deberá realizarse en un mechinal practicado en el muro. Para ello se preparará la superficie de apoyo realizando una meseta con mortero autonivelante de dimensiones suficientes para que reparta la carga convenientemente en el mismo.

Además, deberá asegurarse el contacto entre los elementos de refuerzo y las viguetas originales, por ejemplo, retacando dichos refuerzos mediante un mortero de reparación a las viguetas (previa disposición de cuñas metálicas interpuestas).

Cabe señalar que una vez dispuesto el refuerzo de los cargaderos y forjados deberá disponerse una adecuada protección contra el fuego de acuerdo con lo indicado en la normativa actualmente en vigor. Asimismo, también deberá protegerse la estructura existente en caso de que quedara expuesta para garantizar su durabilidad.

En los balcones de la fachada principal y de la terraza de la fachada interior no hemos señalado la necesidad de disponer un refuerzo dado que, una vez se comiencen las obras de refuerzo en el resto de la estructura, podrían analizarse la configuración estructural de estos balcones, cuyas dimensiones y uso hacen que, previsiblemente, no exijan refuerzo alguno.

Por último, en relación con la estructura horizontal, cuando se ejecute el refuerzo deberán realizarse algunas calas complementarias en las zonas de los voladizos para detectar la existencia de otros mecanismos resistentes no observados en la campaña de calas efectuada y que eventualmente permitieran delimitar el alcance del refuerzo a disponer en estas zonas.



Croquis tipo del apoyo de los perfiles metálicos en la fábrica

Figura nº 21

#### X – II. REFUERZO A FLEXIÓN DE LOS VANOS DE FORJADO METÁLICOS

Cabe indicar que existen zonas de la estructura donde se han ejecutado forjados unidireccionales metálicos. De acuerdo con las comprobaciones realizadas dichos elementos también deben ser reforzados. Para ello, si se trata de viguetas aisladas interpuestas en forjados de viguetas de hormigón, valen las recomendaciones de refuerzo antes expuestas. No obstante, si se trata de vanos compuestos íntegramente por viguetas metálicas, otra opción sería reforzar las viguetas soldando pletinas metálicas en la cara inferior, previo análisis de las características del acero existente para confirmar si éste es soldable o no. Alternativamente, y a falta de confirmar este aspecto, se pueden disponer pletinas de refuerzo en los perfiles mediante anclajes mecánicos.

#### X – III. PROTECCIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

No se observan daños en las viguetas de hormigón armado indicativas de corrosión en sus armaduras (fisuras longitudinales, etc.) por lo que en general no será necesario tomar medidas protectoras. No obstante, en el caso de que algún elemento de hormigón armado vaya a quedar expuesto a condiciones desfavorables, deberá preverse una imprimación superficial protectora (no anticarbonatación, sino hidrófuga).

#### X – IV. PROTECCIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS

Se inspeccionarán los perfiles metálicos procediendo a la eliminación del óxido mediante cepillo de púas con alambre o chorreado de arena. Todos los perfiles cuya pérdida de sección sea superior al 15% deberán ser reforzados o sustituidos por nuevos perfiles de la misma sección. En nuestro caso, previsiblemente los daños no son tan severos.

Una vez limpios los perfiles se protegerán con una pintura anticorrosión. Tanto para las viguetas metálicas como para las de hormigón es imprescindible que se lleve un mantenimiento adecuado del edificio, corrigiendo las posibles humedades que puedan aparecer tan pronto se detecten.

## ANEJO II - INFORME DEL ESTUDIO REALIZADO EN UN ANTIGUO MERCADO. MADRID

---

Como ejemplo de aplicación de métodos y conceptos analizados en este trabajo, a continuación se presenta un segundo informe de análisis y conocimiento del estado real de una construcción, y los condicionantes que esta impone. A su vez, se profundiza algo más en el estudio, y se llegan a proponer soluciones a los diferentes defectos encontrados, también se proponen actuaciones preventivas en elementos que puedan ocasionar daños en un futuro.

### I.- ANTECEDENTES

Se solicitó al XXXXX un estudio sobre el estado actual de la estructura del edificio que albergaba el antiguo Mercado de XXXXX (Madrid), en el cual se a llevar a cabo una rehabilitación integral. Paralelamente se ha solicitado un estudio del estado de la cimentación de dicho inmueble, que está recogido en el Informe, como anejo nº 5 en el original. A partir de la revisión de la documentación técnica facilitada se propuso un plan de actuación con las actividades que llevaríamos a cabo para el estudio solicitado.

Como primera actuación, un equipo técnico realizó la inspección detallada del estado del inmueble objeto de estudio.

Tras el análisis de los resultados obtenidos en la citada inspección y de la documentación técnica facilitada por el Peticionario, se emite el *PLAN DE APERTURA DE CALAS EN LA ESTRUCTURA DEL ANTIGUO MERCADO DE XXXXX*, en el que se expone la localización y tipología de las calas en la estructura y las calicatas en cimentación previstas en el edificio.

Paralelamente al estudio de las calas, un equipo se encargó de la extracción y ensayo a compresión de treinta y ocho probetas testigo de hormigón endurecido y el reconocimiento esclerométrico y ultrasónico del hormigón de setenta y dos tramos de pilar del edificio.

Seguidamente efectuamos el análisis de los resultados obtenidos en las actividades realizadas y las comprobaciones de gabinete oportunas, concluyendo los trabajos con la redacción del presente Informe.

### II.- OBJETO DEL INFORME

El objeto del presente Informe es exponer los resultados del estudio realizado sobre el estado actual de la estructura del Antiguo Mercado XXXXX, así como establecer recomendaciones sobre las medidas de reparación y/o refuerzo que pudieran ser necesarias como consecuencia del estudio realizado.

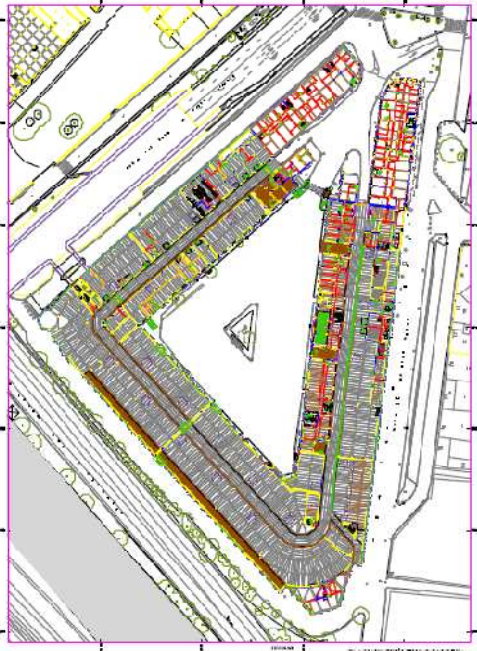
### III.- DATOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

#### DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

El edificio objeto de estudio fue construido de acuerdo con un Proyecto fechado en octubre de 1931, si bien el inmueble ha sido objeto de algunas intervenciones tanto durante su construcción como posteriormente, modificando así en algunos zonas la configuración original que se detalla en los planos descriptivos de la definición geométrica original facilitada por el Peticionario.

El edificio actualmente consta de dos plantas, ocupando una parcela triangular cuyo único vértice abierto es el correspondiente al acceso dispuesto hacia la Plaza XXXXX (véase la figura

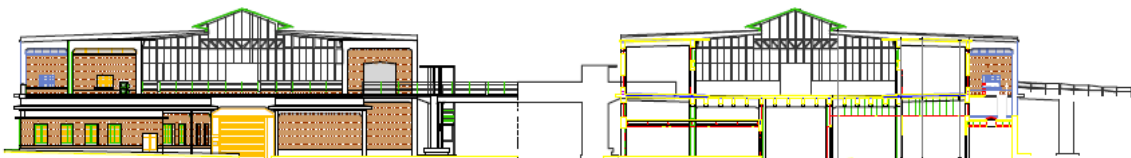
nº 1). La estructura está constituida por losas nervadas de hormigón armado apoyadas sobre pórticos del mismo material. Dos de los vanos de cubierta son sendos voladizos de 6,5 metros de luz, materializados mediante una losa maciza de hormigón armado (véase la figura nº 2). En la figura nº 3 mostramos una sección transversal tipo del Antiguo Mercado en la que se puede observar la distribución de los forjados en cinco crujías de 6,5 metros más una crujía adicional de *ferrovía* de 4,5 metros. Cabe señalar que las dos plantas del inmueble permitían la circulación de vehículos.



Plano planta baja del edificio  
Figura nº 1



Vista de los voladizos de cubierta  
Figura nº 2



Sección transversal del edificio  
Figura nº 3

#### IV.- RESULTADOS DE LAS INSPECCIÓN DE DAÑOS

Como actividad previa a las pruebas de investigación sobre estructura que se señalan más adelante, se realizó una inspección detallada del edificio, con objeto de identificar todas aquellas anomalías que pudieran estar relacionadas con un mal comportamiento de la estructura o cimentación del mismo, o bien con procesos de degradación en los materiales constituyentes de la propia estructura.

En el anejo nº 1 del original se recogen, en croquis y fotografías, las anomalías observadas. A continuación exponemos los aspectos más significativos observados:

a) Se observan algunas fisuras en particiones y cerramientos de trazado inclinado ascendentes hacia cabezas de soportes.



**Fisuras en fachada y particiones interiores en la zona de esquina entre dos fachadas  
Figura nº 4**

b) Se observan en numerosas localizaciones fisuras de diferentes trazados en nudos acartelados pilar-viga de cubierta, principalmente en vigas de fachada, que en general son horizontales (véase la figura nº 5) o inclinadas.

Cabe señalar que, en un caso, se presentan combinadas las fisuras descritas en los puntos a) y b), siendo la fisura en estructura continuación de la fisura en la fábrica (véase la figura nº 6).



**Fisuras en nudo pilar-viga de cubierta  
Figura nº 5**



**Fisura inclinada en cerramiento de planta  
primera, que continúa por el soporte  
Figura nº 6**

c) Existen fisuras y desconchones en jácenas de cubierta en la posición de juntas de dilatación, especialmente cuando la junta se resuelve sin doblar pilares. Obsérvese por ejemplo la figura nº 7.



**Fisuras y desconchones en vigas de cubierta, en zonas de juntas de dilatación  
Figura nº 7**

También se observan daños en el entorno de juntas en jácenas del nivel de techo de planta primera, si bien en este caso las lesiones tienden a concentrarse en el borde del acartelamiento de la jácena. Algunas de estas juntas en estructura presentan reparaciones y refuerzos.

d) Se aprecian fisuras en jácenas de hormigón armado, sensiblemente verticales, y en general próximas a bordes de acartelamientos. Puntualmente se observa también alguna fisura en zona central de vano.

e) Fisuras y desconchones en la estructura horizontal que en muchos casos dejan la armadura a la vista con síntomas de corrosión. Estas anomalías se presentan en zonas con indicios de humedades (pasos de bajantes zonas de escurrimientos de agua en losas y vigas de borde, por ejemplo). En la figura nº 8 mostramos algunas de estas anomalías.

En el arranque de algunos tramos de soporte también se observan daños de este tipo (obsérvese la figura nº 9). También se observa armadura a la vista en cara inferior de losas, en casos en los que dicha armadura tiene reducidos recubrimientos.



**Fisuras y desconchones en elementos de estructura, que dejan armadura a la vista con síntomas de corrosión  
Figura nº 8**



**Fisuras y desconchones que dejan armadura a la vista con síntomas de corrosión en el arranque de un soporte  
Figura nº 9**

f) Se observan en diferentes puntos actuaciones sobre la estructura tales como rozas y desconchones.

Cabe señalar que originalmente debían existir huecos en el forjado de planta primera, que actualmente, se encuentran en su mayoría *cegados* con diferentes tipos de forjados. Según se informó a los técnicos, la remodelación contempla volver a abrir estos huecos, por lo que no se han analizado las soluciones dispuestas para dichos *cegados* ni las anomalías que en ellos se observan.

## V.- RESULTADOS DE LAS INSPECCIÓN DE CALAS

En el anejo nº 2 del documento original, se recoge de forma detallada los resultados obtenidos en la inspección de calas en estructura. La localización definitiva de las calas y calicatas inspeccionadas se recoge en el mismo anejo. A continuación se expone de forma resumida la metodología empleada y los resultados obtenidos en dicha inspección.

### V - I. METODOLOGÍA EMPLEADA

Las medidas fueron tomadas con cinta métrica graduada en milímetros, excepto en los casos en los que era requerida una mayor precisión (diámetros de armaduras, por ejemplo), en cuyo caso las medidas fueron determinadas con *pie de rey* de 0,1 mm de apreciación.

En todas las calas realizadas en elementos de hormigón armado hemos observado que las armaduras empleadas son de *acero liso*.

### V - II. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DEL MERCADO

Como hemos indicado anteriormente, la estructura del mercado está constituida por losas nervadas de hormigón armado apoyadas sobre pórticos, también de hormigón armado. Únicamente existen dos voladizos en la planta cubierta en los que los forjados, en lugar de ser de losas nervadas, son losas macizas.

Cabe señalar además que la geometría y armado de los distintos elementos estructurales, varía de unos a otros en función de la geometría y cargas que solicitan cada elemento. En este sentido, debemos diferenciar las características de los distintos elementos que configuran la crujía central de las del resto de crujías, al existir sobre la primera una calzada que servía de paso a los vehículos de carga.

En términos generales, tal y como detallamos a continuación, hemos observado que la configuración de la estructura se repite de forma sistemática en todo el inmueble. A continuación resumimos los principales aspectos observados.

### V - III. CALAS EN NERVIOS DE FORJADO

Los forjados del inmueble son losas nervadas ejecutadas *in situ* que apoyan sobre pórticos de hormigón armado.

En las calas realizadas tanto por cara inferior como por cara superior de los nervios, hemos comprobado las características de la armadura, los espesores de recubrimiento y la profundidad del frente carbonatado.

El recubrimiento de hormigón carbonatado medido en los nervios de forjado ha alcanzado en muchas ocasiones la posición de las armaduras. En este sentido cabe señalar que algunas de éstas presentaban indicios de corrosión, si bien en ningún caso hemos medido pérdidas de la sección nominal de la armadura significativas.

La carga muerta detectada en los distintos vanos de forjado varía en función de su localización. En las figuras 21 y 22 mostramos vistas de algunas de las calas realizadas en nervios de forjados.



Calas realizadas para descubrir la armadura *de positivos* de los forjados  
Figura nº 10



Calas realizadas para descubrir la armadura *de negativos* de los forjados  
Figura nº 11

#### V - IV. CALAS EN VOLADIZOS DE LA PLANTA CUBIERTA

Los voladizos de planta cubierta tienen una longitud de 6,5 m de luz. Dichos voladizos son sendas losas macizas de hormigón armado, con un canto que varía de 11 cm en punta a unos 20 cm en la sección de arranque.

El recubrimiento geométrico de la *armadura interior* es en promedio de 2 cm; y en el caso de la *armadura de negativos*, el recubrimiento geométrico es en promedio de 5 cm.

La armadura principal de estos voladizos consta de barras de acero liso de diámetro  $\varnothing 28$  separada aproximadamente 5 cm que ancla en patilla en las vigas situadas en arranque; y otras barras de diámetros comprendidos entre 10 y 28 mm que tienen continuidad con los nervios de forjado del vano adyacente.

Apoyando sobre estos voladizos y cerrando el hueco entre ellos existe en la actualidad una cubierta de estructura metálica, que según la documentación del Proyecto de Rehabilitación va a ser eliminada. En las figuras nº 12 y nº 13 mostramos vistas de algunas de las calas realizadas en voladizos.





**Detalle configuración voladizo y estructura de cubierta de la vía central**  
**Figura nº 12**



**Detalle calas efectuadas en voladizos**  
**Figura nº 13**

#### V - V. CALAS EN VIGAS

En las calas realizadas en vigas de hormigón armado también hemos comprobado correspondencia entre la geometría y esquemas de armado entre vanos con luces y condiciones de carga semejantes pero situadas en diferentes localizaciones.

El recubrimiento de hormigón carbonatado medido en dichas vigas alcanza en algunas ocasiones la posición de las armaduras, presentando las barras indicios de corrosión en zonas donde existen humedades. Esta corrosión no ha producido mermas significativas de la sección nominal de las armaduras.

En las figuras nº 14 y 15 mostramos vistas de las calas realizadas en vigas.



**Cala realizada en una viga para descubrir la armadura de positivos**  
**Figura nº 14**



**Calas realizadas en viga para descubrir la armadura de negativos**  
**Figura nº 15**

#### V - VI. CALAS EN PILARES

Los pilares son en la mayoría de los casos de 50x50 cm, si bien en planta baja, bajo la calzada central, son de 50x60 cm. Asimismo la armadura medida es de diámetro  $\varnothing 28$  en la planta primera, y diámetro  $\varnothing 20$  en la planta baja.

El recubrimiento geométrico medido en pilares varía entre los 2,0 y los 13,5 cm de unas zonas a otras. En la figura nº 16 mostramos una de las calas realizadas en pilares.



**Calas realizadas en pilares de hormigón**  
**Figura nº 16**

#### **VI.- RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DE HORMIGONES**

Con objeto de caracterizar mecánicamente el hormigón de los pilares, y teniendo en cuenta la extensión del inmueble, se ha ensayado a compresión 38 probetas de hormigón endurecido extraídas de los pilares de las dos plantas del inmueble.

En los puntos de extracción de probetas testigo se han realizado además medidas de propagación del impulso ultrasónico ( $V_p$ ) y del rebote esclerométrico ( $I_r$ ), con objeto de realizar la triple correlación *resistencia a compresión simple en probeta - velocidad de propagación del impulso ultrasónico - rebote esclerométrico*. Cabe señalar que el coeficiente de correlación obtenido ha sido de 0,903. Dado que la correlación entre los resultados del reconocimiento esclerométrico y los del ensayo a compresión es *muy buena*, esta correlación ha sido empleada para asignar resistencias a los tramos de pilar objeto del estudio.

En el anejo nº 3 del documento original se recogen los resultados de los ensayos y la correlación establecida, junto con una descripción detallada de la metodología empleada y de los resultados obtenidos.

#### **VII.- COMPROBACIONES DE CÁLCULO**

En el anejo nº 4 del informe original, se recogen las comprobaciones de cálculo realizadas con objeto de analizar el estado actual de los elementos estructurales muestreados según el plan de investigación anteriormente descrito, frente a las cargas que las solicitarán tras la rehabilitación prevista.

A continuación se exponen algunas características de las hipótesis adoptadas, la metodología empleada y los resultados obtenidos en estas comprobaciones.

## VII - I. HIPÓTESIS ADOPTADAS

### VII.I.I. SOBRE LAS ACCIONES Y SUS COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD

De acuerdo con los resultados de las inspecciones realizadas y los usos a los que será destinado el inmueble, se han determinado los valores de las acciones a considerar. Como coeficientes parciales de seguridad se adoptan  $g_g = 1,50$  frente a cargas permanentes y  $g_q = 1,60$  frente a sobrecargas.

Sobre estos coeficientes se admiten las bajas de resistencia, que han sido deducidas siguiendo los criterios de *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*, del Prof. J. Calavera Ruiz.

### VII.I.II. SOBRE LOS MATERIALES Y SUS COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD

#### - Acero en armaduras

De acuerdo con las características del acero detectadas en la inspección y definidas en Proyecto, adoptamos como límite elástico del acero *liso* de las armaduras:

$f_{yk} = 2400 \text{ kp/cm}^2$  (240 MPa) para armaduras con diámetro  $\varnothing = 12 \text{ mm}$

$f_{yk} = 2200 \text{ kp/cm}^2$  (240 MPa) para armaduras con diámetro  $\varnothing > 12 \text{ mm}$

Como coeficiente parcial de seguridad adoptamos  $g_s = 1,15$ .

#### - Hormigón

La comprobación de los soportes se ha realizado con la resistencia característica (asociada al 95% de nivel de confianza) deducida de los resultados obtenidos en los ensayos de rotura a compresión simple sobre probetas testigo, siendo la resistencia característica:  $8,92 \text{ N/mm}^2$ .

Analizando los resultados de resistencia más probable asignados con la correlación a la amplia muestra de puntos de ensayo no destructivos, se deduce que el valor de resistencia a compresión considerado a partir de los resultados de las probetas testigo es coherente.

A efectos de comprobación de la estructura horizontal tomamos del lado de la seguridad el mismo valor que el adoptado en pilares.

Como coeficiente parcial de seguridad adoptamos  $g_c = 1,50$ .

## VII - II. METODOLOGÍA EMPLEADA Y RESULTADOS OBTENIDOS

### VII.II.I. COMPROBACIONES DE SEGURIDAD A FLEXIÓN

Las comprobaciones de seguridad a flexión han sido realizadas en las vigas y forjados muestreados en el plan de investigación en estructura, comparando por cociente la capacidad global a flexión del vano considerado y el momento isostático de cálculo, tomando como luz de cálculo la distancia a caras de vigas para la comprobación de forjados y la distancia a caras de soportes para la comprobación de vigas.

En los cálculos realizados se ha despreciado la capacidad a flexión frente a momentos negativos de las secciones en apoyos extremos, y en todos aquellos apoyos en los que no existe continuidad del elemento en el vano adyacente.

Para la comprobación a flexión hemos tomado el valor medio de los recubrimientos detectados en las calas realizadas.

En todas las comprobaciones realizadas hemos obtenido resultados correctos o técnicamente admisibles.

#### VII.II.II. COMPROBACIONES DE SEGURIDAD A CORTE

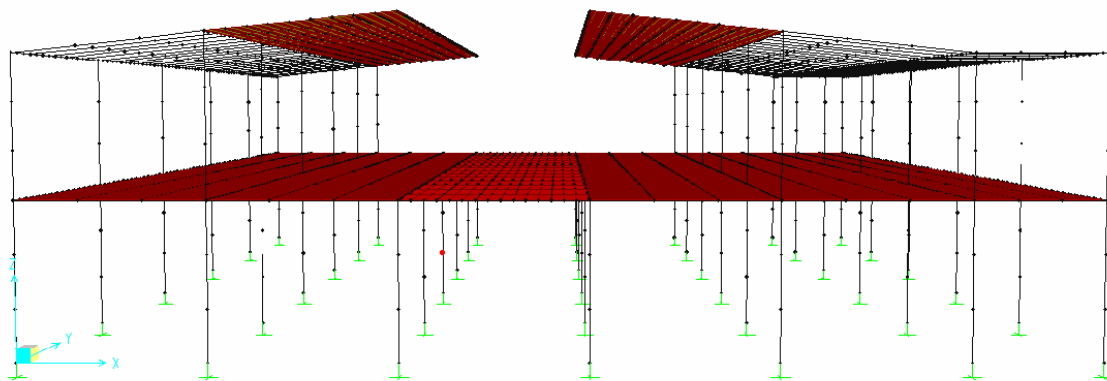
Hemos comprobado en las vigas y forjados de hormigón armado la seguridad a cortante comparando por cociente la capacidad última a corte de la sección situada a un canto útil del apoyo, de acuerdo con la formulación recogida en la Instrucción EH-91, con el esfuerzo de corte de servicio.

Hemos realizado la comprobación en las mismas vigas y forjados en los que se ha realizado la comprobación a flexión.

En el anejo nº 4 del informe original se recogen los resultados obtenidos, que son correctos en todos los casos analizados.

#### VII.II.III. COMPROBACIONES EN PILARES

Se ha realizado una modelización del mercado mediante un modelo tridimensional de elementos finitos, que ha sido resuelto con el programa informático SAP2000. En la figura adjunta mostramos una vista del modelo.



**Vista del modelo del mercado en SAP2000®  
Figura nº 17**

A partir de los esfuerzos de cálculo obtenidos en dicho modelo, hemos comprobado su situación de seguridad como elementos sometidos a flexocompresión, considerando en todo caso la excentricidad mínima reglamentaria de acuerdo con la vigente Instrucción EHE.

En estas comprobaciones a flexocompresión hemos obtenido en todos los casos, resultados correctos técnicamente admisibles.

#### VII.II.IV. COMPROBACIONES DE LOS VOLADIZOS

Hemos realizado comprobaciones de cálculo a los voladizos de cubierta, comprobando tanto la capacidad frente a esfuerzos de flexión del propio voladizo como la capacidad de la viga de arranque y de los pilares frente a los esfuerzos de torsión y flexión inducidos en los mismos.

De estos cálculos se deduce que los recursos resistentes de la estructura son suficientes para garantizar una seguridad suficiente de los voladizos de cubierta. Es muy importante que en estos voladizos las cargas no superen aquellas con las que se han realizado las comprobaciones.

#### VIII.- COMENTARIOS

Con base en los aspectos expuestos en los apartados anteriores, formulamos los siguientes comentarios:

##### *A) SOBRE EL ORIGEN DE LAS ANOMALÍAS OBSERVADAS*

A.1.) En las inspecciones realizadas hemos observado anomalías que presentan una sintomatología coincidente con la que se produce como consecuencia de asientos diferenciales en la cimentación (anomalías descritas en el punto a) apartado 4).

A.2.) Respecto a los daños observados en nudos (daños descritos en los puntos b), c) y d) del apartado 4), cabe indicar que su origen reside en detalles no del todo satisfactorios en la ejecución de dichos nudos. La repercusión en la seguridad de estas anomalías de armado fue analizada anteriormente, y se indicaba lo siguiente:

- Los nudos interiores se encuentran en una situación admisible desde el punto de vista de la seguridad.
- Los nudos extremos requieren de un refuerzo que garantice la seguridad a cortante y flexión además de la transmisión de esfuerzos a pilares, dado que no cuentan con anclaje de la armadura superior de las vigas ni de la armadura longitudinal del pilar.

Por otro lado, cabe señalar que, de acuerdo con la información transmitida a los técnicos, el Proyecto de Rehabilitación contempla la eliminación de las juntas donde no se doblan pilares, por lo que éstas no han sido analizadas.

A.3.) En cuanto a las fisuras observadas en algunas vigas en las proximidades de los acartelamientos, y, en otros casos, en zonas centrales de vano (fisuras descritas en el punto d) del apartado 4), aparte de posibles deficiencias de los esquemas de armado ya comentadas, en algunos casos las fisuras están manifestando el comportamiento a flexión de estos elementos, el cual, como detallaremos en el siguiente apartado, es correcto en los casos analizados.

En algunos ocasiones se ha podido sumar, además, esfuerzos inducidos a las vigas por el comportamiento reológico de las mismas.

A.4.) Hemos detectado puntualmente en Planta Baja zonas con humedades y daños por corrosión de armadura asociados generalmente a humedades originadas por deficiencias en las bajantes. Estos daños, con el alcance observado, no tienen en ningún caso trascendencia desde un punto de vista de la seguridad global de la estructura, si bien deberán ser reparados por la grave afección que representan desde el punto de vista de la durabilidad.

*B) SOBRE LA INVESTIGACIÓN LLEVADA A CABO EN LA ESTRUCTURA.*

B.1.) Hemos realizado una investigación sobre la estructura del edificio mediante calas en elementos estructurales. Cabe señalar que las calas inspeccionadas han permitido detectar una correspondencia prácticamente absoluta entre elementos de la estructura con luces, condiciones de carga, etc. análogas, situadas en zonas diferentes.

B.2.) Hemos observado localmente anomalías asociadas con problemas de durabilidad de la estructura, como los mencionados en el punto A.4 anterior.

B.3.) Hemos obtenido un buen ajuste en la triple correlación *resistencia a compresión - esclerómetro - ultrasonido*, que ha permitido asignar resistencias a 72 tramos de soporte. Se deduce que como resistencia característica podrían considerarse para el hormigón 9,0 MPa, a efectos de comprobaciones de seguridad, si bien debe tenerse en cuenta que se han detectado aisladamente valores inferiores (de hasta 7,0 Mpa).

B.4.) El acero en todos los casos es liso, al que puede asignarse un límite elástico no inferior a 220 Mpa para diámetros gruesos y medios (diámetros iguales y superiores a 12 mm), y 240 Mpa para diámetros finos (diámetros inferiores a 12 mm).

*C) SOBRE LOS RESULTADOS DE LAS COMPROBACIONES DE CÁLCULO.*

Hemos realizado unas comprobaciones de seguridad y servicio sobre los elementos muestreados en el plan de investigación, teniendo en cuenta las sobrecargas exigibles por la Normativa actualmente en vigor para los usos existentes en el edificio en estudio, así como las cargas muertas previsibles tras la remodelación. Sobre los resultados obtenidos en estas comprobaciones cabe establecer las siguientes consideraciones:

C.1.) Los márgenes de seguridad obtenidos en las comprobaciones realizadas en las vigas y forjados son en todos los casos técnicamente admisibles de acuerdo con los criterios de seguridad de la Normativa vigente.

C.2.) En las comprobaciones realizadas sobre pilares hemos obtenido valores que en nuestra opinión serían en todos los casos técnicamente admisibles para las hipótesis sobre las acciones exigibles por la actual Normativa, y con la resistencia característica del hormigón deducida de los ensayos llevados a cabo.

Esto no obstante, la dispersión de resultados obtenida en los ensayos de calidad del hormigón realizadas, hace que exista la posibilidad de que algunos tramos de pilar se encuentren en condiciones técnicamente no admisibles, por presentar resistencias anormalmente bajas, tal y como hemos expuesto anteriormente. Por ello recomendamos realizar un estudio determinista de todos los pilares, del que se deducirá muy probablemente que la mayoría de estos se encuentran en condiciones de seguridad correctas, y que por lo tanto sólo son necesarias actuaciones puntuales de refuerzo en algunos de ellos.

Independientemente de dicho estudio determinista, todos aquellos pilares que presenten una resistencia a compresión del hormigón inferior a 8,0 MPA deberán ser reforzados por otros condicionantes (fundamentalmente por las incertidumbres en cuanto a la durabilidad y riesgo de regresión de resistencias que presentan hormigones de estas bajas resistencias a compresión).

C.3.) De las investigaciones estructurales llevadas a cabo en los voladizos de cubierta se deduce que éstos presentan unos márgenes de seguridad técnicamente admisibles.

C.4.) En cuanto a la situación frente a fuego de los distintos elementos estructurales, cabe señalar que, a falta de estudios específicos, deberá preverse la protección frente a fuego de todos los pilares, vanos de forjado y voladizos de cubierta (no es necesaria esta actuación en las vigas).

Si alguna zona contempla un uso cuyas sobrecargas difieran de las adoptadas en las comprobaciones de cálculo (por ejemplo, en zonas donde puedan preverse aglomeraciones de público), o cargas muerta superiores a las adoptadas, deberá realizarse un estudio particularizando para comprobar si las conclusiones indicadas son extrapolables o, por el contrario, es necesario algún refuerzo.

## IX.- CONCLUSIONES

Con base en los aspectos expuestos en los apartados anteriores, se formulan las siguientes conclusiones:

a) En las inspecciones realizadas hemos detectado anomalías relacionadas con un anómalo comportamiento de la cimentación del inmueble. El origen de estas anomalías ha sido analizado en el *INFORME SOBRE EL RECONOCIMIENTO DEL TERRENO, ESTUDIO GEOTÉCNICO Y ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN DEL ANTIGUO MERCADO DE XXXXX*. Una vez sean corregidas estas anómalas condiciones de cimentación del inmueble, podrán llevarse a cabo las reparaciones de las anomalías puntuales detectadas en el inmueble por esta causa, tal y como describimos en el siguiente apartado.

b) No hemos observado en general anomalías que pudieran estar relacionadas con un anómalo comportamiento significativo de la estructura del inmueble. Sí hemos hallado anomalías puntuales, que serán analizadas en los siguientes apartados.

c) Hemos realizado una investigación sobre la estructura del edificio mediante calas en elementos estructurales. A partir de dicha investigación hemos podido realizar las comprobaciones de seguridad oportunas sobre los diferentes elementos estructurales que constituyen la estructura, considerando las sobrecargas exigibles por la Normativa actualmente en vigor para los usos que existirán en el inmueble (ver apartado VII.I.I.). De los análisis realizados cabe realizar las siguientes consideraciones:

- Los márgenes de seguridad obtenidos en las comprobaciones realizadas en las vigas y forjados y voladizo de cubierta son en todos los casos correctos o técnicamente admisibles de acuerdo con los criterios de seguridad de la Normativa vigente.

- En las comprobaciones realizadas sobre pilares hemos obtenido valores que serían en todos los casos técnicamente admisibles. Esto no obstante, la dispersión de resultados obtenida en los ensayos de calidad del hormigón realizadas, hace que algunos tramos de pilar se encuentren en condiciones técnicamente no admisibles, por presentar resistencias anormalmente bajas tal y como hemos expuesto anteriormente (de hecho, en alguno de los soportes muestreados se da tal circunstancia y debe ser por ello reforzado).

Por ello recomendamos ampliar la investigación mediante ensayos no destructivos a la totalidad de los pilares, con objeto de detectar aquellos con resistencias a compresión anormalmente bajas. Aquellos pilares con hormigones de resistencia a compresión inferior en

principio a 8,0 MPA deberán ser reforzados en cualquier caso por condicionantes de durabilidad y por el riesgo de regresión de resistencia con el tiempo.

- En cuanto a la situación frente a fuego de los distintos elementos estructurales, cabe señalar que, a falta de un estudio específico de cada elemento, todos los pilares como los forjados (nervios y losa superior) deberán ser protegidos.

## **X.- RECOMENDACIONES**

Con base en los aspectos expuestos en los apartados anteriores, son necesarias llevar a cabo las siguientes reparaciones o refuerzos:

- Reparaciones de los daños por asientos diferenciales de la cimentación en cerramientos y particiones interiores.
- Reparación o refuerzo de los nudos con anómalas configuraciones de armado.
- Daños por corrosión de armaduras.
- Protección frente a la carbonatación y frente a la acción del fuego de los distintos elementos estructurales.

### *A) REPARACIONES DE FISURAS EN CERRAMIENTOS Y PARTICIONES INTERIORES*

Una vez se lleven a cabo las actuaciones necesarias en la cimentación del inmueble para garantizar unas adecuadas condiciones de cimentación, se podrá llevar a cabo la reparación de las fisuras existentes en los cerramientos y particiones interiores.

Estas reparaciones deberán llevarse a cabo de manera que se minimice el riesgo de reaparición de los daños.

Para ello deben tener en cuenta que las condiciones reológicas del material hacen que, una vez que hayan aparecido fisuras o grietas en los tabiques y cerramientos, éstas permanezcan vivas a lo largo de la vida útil del edificio incluso aunque no se produzcan movimientos apreciables en los forjados. Ello es debido a que se concentran en las fisuras todos los movimientos de origen termohigrométrico de la fábrica, esto es, las deformaciones de la tabiquería debidas a las variaciones de temperatura y humedad del ambiente.

En todo caso, la reparación podrá llevarse a cabo levantando los acabados hasta dejar al descubierto la base en una franja de unos 20 cm de ancho centrada con la fisura a reparar, y disponiendo a continuación en esa franja bandas elásticas, de un material de tipo geotextil o similar, y teniendo la precaución de que queden sin adherir a la base al menos 10 cm de banda centrados con la fisura a reparar.

En aquellos casos en los que, eventualmente, se reprodujeran las fisuras, deberá procederse nuevamente con este tipo de reparación.

### *B) REPARACIÓN O REFUERZO DE LOS DAÑOS EN NUDOS*

En el anejo nº 5 del original, definimos una posible solución de refuerzo de los nudos con anómalas configuraciones de armado.



En cuanto a las juntas en las que no se doblan pilares, de acuerdo con la información transmitida a los técnicos del Instituto, van a ser sustituidas en la remodelación prevista.

### *C) DAÑOS POR CORROSIÓN DE ARMADURAS*

Recomendamos realizar reparaciones puntuales de los daños asociados a procesos de corrosión de armadura pasiva que presentan los distintos elementos estructurales.

Para ello, podrán seguirse las siguientes indicaciones:

- Se procederá al saneamiento de las zonas con daños por picado manual muy cuidadoso hasta descubrir una superficie sana de hormigón (eliminando lechadas superficiales o materiales mal adheridos). Dicho picado manual se realizará mediante un martillo eléctrico de bajo poder de demolición finalizando, en torno a la armadura pasiva, con puntero y maceta. Deberá prestarse especial cuidado en no disminuir durante las operaciones de saneamiento la sección resistente de la armadura pasiva en más de un 10 % de la sección inicial sin aprobación previa de un técnico competente en la materia. En el caso de que esto ocurriera, o que eventualmente se detectaran barras corroídas con una pérdida de la sección nominal superior a dicho 10 %, deberá analizarse la necesidad de reparar la armadura afectada.
- Previamente a la aplicación del mortero de regeneración se llevará a cabo una limpieza esmerada de las zonas saneadas. Se procederá al desprendimiento por medios mecánicos de los fragmentos de hormigón no firmemente adheridos al elemento a recomponer, tratando de conseguir que la superficie sea de árido fracturado y no de árido desprendido.
- A continuación se dispondrá un producto para el pasivado de las barras que deberá extenderse en la zona de hormigón próxima a la barra en su entrada a la zona sana.
- Sobre la superficie de hormigón deberá disponerse una resina epoxídica que garantice la correcta adherencia entre el hormigón existente y el material de relleno a emplear. El grado de sequedad de la superficie a tratar será el adecuado dependiendo del tratamiento a aplicar.
- Para la reconstrucción de la zona reparada se utilizará un mortero de expansión controlada (sin retracción).

### *D) PROTECCIÓN FRENTE A LA CARBONATACIÓN Y FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES*

Dado que el frente carbonatado ya ha alcanzado la posición de la armadura en la mayoría de los elementos estructurales, deberá preverse una imprimación superficial protectora (no anticarbonatación, sino hidrófuga) de la estructura en todos aquellos elementos que vayan a quedar expuestos.

Adicionalmente, a falta de estudios específicos, deberá preverse la protección frente a fuego de todos los pilares, vanos de forjado y voladizos de cubierta (no es necesaria esta actuación en las vigas).

1. **Análisis de tipologías estructurales. Bóveda, lámina, cúpula y paraboloides.** Arquitecto Ignacio Requena Ruiz.
2. **Apuntes “Cimentaciones”.** Fernando Gutiérrez Blanco. *Ingeniería de la Edificación – UEM.*
3. **Apuntes “Conservación y Rehabilitación de Estructuras Históricas”.** Dr. Ing. Caminos Javier León. *Máster en Ingeniería de las Estructuras, Cimentaciones y Materiales – UPM.*
4. **Apuntes “Materiales 2”.** Varios autores. *E. U. Arquitectura Técnica de Madrid – UPM.*
5. **Apuntes “Prefabricación”.** Varios autores. *Máster en Ingeniería de las Estructuras, Cimentaciones y Materiales – UPM.*
6. **Arquitectura de tierra en Soria.** Varios autores. *E. U. Arquitectura Técnica de Madrid – UPM.*
7. **Arte de proyectar en arquitectura.** Ernst Neufert. *GG México.*
8. **Cálculo de estructuras de cimentación.** Dr. Ing. Caminos José Calavera Ruiz. *Instituto Técnico de Materiales y Construcciones INTEMAC.*
9. **Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural.** Tesis doctoral de Guillermo Íñiguez González. *E. T. S. Ingenieros de Montes – UPM.*
10. **Código Técnico de la Edificación (CTE-08).**
11. **El informe de patología. Ensayos en obra. La frontera del refuerzo.** Dr. Ing. Caminos Jorge Ley Urzaiz. *Máster en Ingeniería de las Estructuras, Cimentaciones y Materiales – UPM.*
12. **El nuevo CTE. Anejo D, Evaluación estructural de edificios existentes.** José Antonio Tenorio Ríos. *Ponente CSIC – UEM.*
13. **Enciclopedia Broto de patologías de la construcción.** Carles Broto i Comerma. *Editorial Gustavo Gili, S.A.*
14. **Esquemas de fisuración estructurales. Fisuración de particiones y cerramientos.** Dr. Ing. Caminos Jorge Ley Urzaiz. *Máster en Ingeniería de las Estructuras, Cimentaciones y Materiales – UPM.*
15. **Estructuras tipo: formas generales de las estructuras.** Enrique Nieto García. *Universidad de Sevilla.*
16. **Guideline for structural condition assessment of existing buildings.** SEI/ASCE. *American Society of Civil Engineers ASCE.*
17. **Informe de resultados del estudio realizado sobre el estado actual de una estructura.** Varios autores. *Instituto Técnico de Materiales y Construcciones INTEMAC.*
18. **Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08).**
19. **La madera, procesos patológicos. Técnicas de caracterización, diagnóstico, evaluación y criterios de intervención.** Arquitecto Rafael Piñeiro Martínez de Lecea. *Ponente CSIC – UEM.*
20. **Mecanismo de transmisión de cargas perpendiculares al plano del muro en muros de mampostería no reforzada.** Juan Diego Jaramillo. *Universidad EAFIT.*
21. **Metodología de inspección técnica de edificios.** Manuel G. Romana y José Carlos Cortés. *E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos – UPM.*
22. **Norma UNIT 472-75 Inspección por atributos.** Ing. Ignacio Vieitez. *IIMPI- Facultad de Ingeniería.*
23. **Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado.** Dr. Ing. Caminos José Calavera Ruiz. *Instituto Técnico de Materiales y Construcciones INTEMAC.*

24. **Patología y Terapéutica del Hormigón Armado.** Dr. Ing. Caminos Manuel Fernández Cánovas. *E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos – UPM.*
25. **Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón.** Dr. Ing. Caminos José Calavera Ruiz. *Instituto Técnico de Materiales y Construcciones INTEMAC.*
26. **Técnica de inspección de edificios antiguos con estructura de madera.** Manuel C. Touza Vázquez. *CIS – Madeira.*
27. **Tecnología de la rehabilitación y la gestión del patrimonio construido (REHABEND).** Varios autores. *E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos – Universidad de Cantabria.*
28. **Tipología estructural en acero.** Varios autores. *Arquitectura Técnica – Universidad Politécnica de Cuenca.*
29. **Tipos estructurales II. Edificios de hormigón armado.** Enrique Vázquez Vicente. *Universidad de Sevilla.*
30. **Vigas en celosía.** Varios autores. *Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real – Universidad de Ciudad Real.*
31. <http://help.sap.com/>
32. <http://www.estrucplan.com.ar/contenidos-shml-test.asp>
33. <http://es.wikipedia.org/>