

# CONSTRUCCIÓN I. Apuntes de la asignatura.



## GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

Departamento de Construcciones arquitectónicas.  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



V-02. sep. 24

## **AUTORES.**

**Alfredo Lorente Álvarez.**

**Javier Arias Madero.**

El presente texto tiene un fin exclusivamente académico y no comercial.

© Del texto, Alfredo Lorente y Javier Arias

© De las imágenes, sus autores.

No se permite la reproducción total o parcial de este texto sin permiso de los autores.

## ÍNDICE DE LECCIONES



1. CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA.	Pag 5
2. SOLICITACIONES Y REACCIONES.	Pag 33
3. SUELO Y CIMENTACIÓN.	Pag 49
4. MUROS DE CARGA.	Pag 67
5. PÓRTICOS.	Pag 89
6. ARCOS, BÓVEDAS, CÚPULAS.	Pag 105
7. OTRAS ESTRUCTURAS.	Pag 137

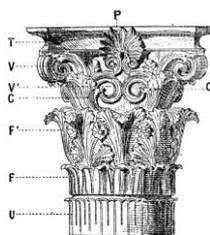


## LECCION 1. CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA



- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 LA ARQUITECTURA COMO ARTE (VENUSTAS)
- 3 ARQUITECTURA PARA SER VIVIDA (UTILITAS)
- 4 CONSTRUIR LA ARQUITECTURA (FIRMITAS)
- 5 ESTRUCTURACIÓN DE LOS ESPACIOS HABITABLES: EL EDIFICIO
- 6 EL PROCESO CONSTRUCTIVO
- 7 AGENTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO
- 8 SECUENCIA DE CONCRECIÓN MATERIAL DEL EDIFICIO
- 9 MATERIALES, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS
- 10 CASO DE ESTUDIO

Universidad Politécnica, Otaniemi. Alvar Aalto



### Notas

## 1 INTRODUCCIÓN

Definir el concepto de arquitectura es un primer paso para empezar a entenderla.

Así pues, ante la pregunta:

### **¿QUÉ ES LA ARQUITECTURA?**

Debemos reflexionar...

La RAE define arquitectura con las siguientes acepciones:

Del lat. *architectūra*.

1. f. Arte de proyectar y construir edificios.
2. f. Diseño de una construcción. *Un edificio de arquitectura moderna.*
3. f. Conjunto de construcciones y edificios. *La arquitectura del centro histórico de Quito.*
4. f. *Inform.* Estructura lógica y física de los componentes de una computadora.



Notas

## ¿QUÉ ES LA ARQUITECTURA?



Notas

Otra definición que podemos encontrar es esta:

La **arquitectura** es el **arte y la técnica de proyectar y diseñar edificios, otras estructuras y espacios que forman el entorno humano**. El término «arquitectura» proviene del griego *αρχ* (*arch*, cuyo significado es ‘jefe’, ‘quien tiene el mando’), y *τεκτων* (*tekton*, es decir, ‘constructor’ o ‘carpintero’). Así, para los antiguos griegos el arquitecto es el jefe o el director de la construcción y la arquitectura es la técnica o el arte de quien realiza el proyecto y dirige la construcción de los edificios y estructuras, ya que la palabra *Τεχνη* (*techne*) significa ‘saber hacer alguna cosa’.



Otro acercamiento al concepto de arquitectura es este,

*“Un sitio no es un lugar”, solía decir Peña Ganchegui y “una de las misiones de la arquitectura consiste en transformar una cosa en la otra, los espacios naturales en espacios humanos, sin agresiones ni prepotencia”.*



**Notas**

Una vez hemos reflexionado sobre lo que es la arquitectura surgen otras preguntas a las que debemos dar respuesta y sobre las que debemos ir posicionándonos:

¿Cuál es la labor del arquitecto?

¿Qué demanda la sociedad de la arquitectura?

¿Dónde están los límites de la arquitectura?

¿Qué es la buena arquitectura? .....

Como toda rama del saber y del conocimiento la arquitectura tiene unos fundamentos, al igual que la música, la religión, la pintura, etc.

### TRES PILARES DE LA ARQUITECTURA

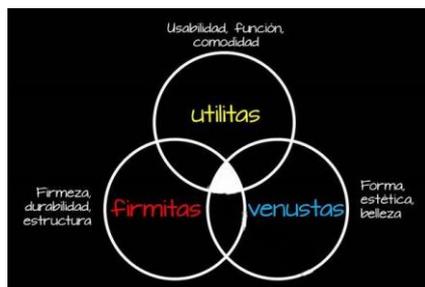
Uno de los arquitectos más famosos de la antigüedad, Marco **Vitruvio** Polión (siglo I a. C.), que fue además de arquitecto, escritor e ingeniero, escribió el libro **De Architectura**, también conocido hoy en día como Los Diez Libros de Arquitectura, un tratado escrito en latín y griego antiguo acerca de la arquitectura, dedicado al emperador Augusto, su protector. Esta gran obra es el único tratado de su género que la antigüedad nos ha transmitido y que recoge un amplio elenco de conocimiento en el campo de la edificación, el urbanismo y otros.

En esta obra, Vitruvio manifiesta que, toda obra arquitectónica, toda edificación, debe exhibir tres cualidades:

**FIRMITAS**

**UTILITAS**

**VENUSTAS**



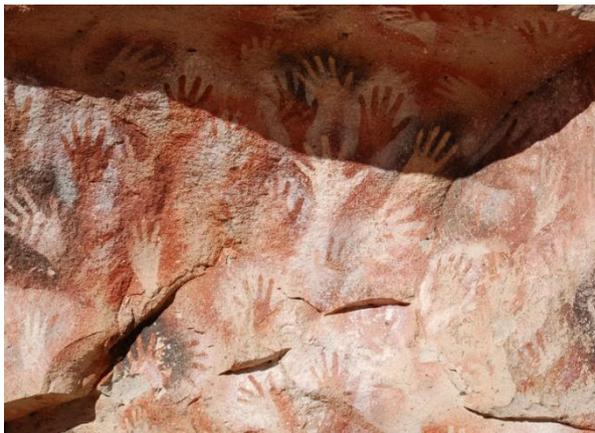
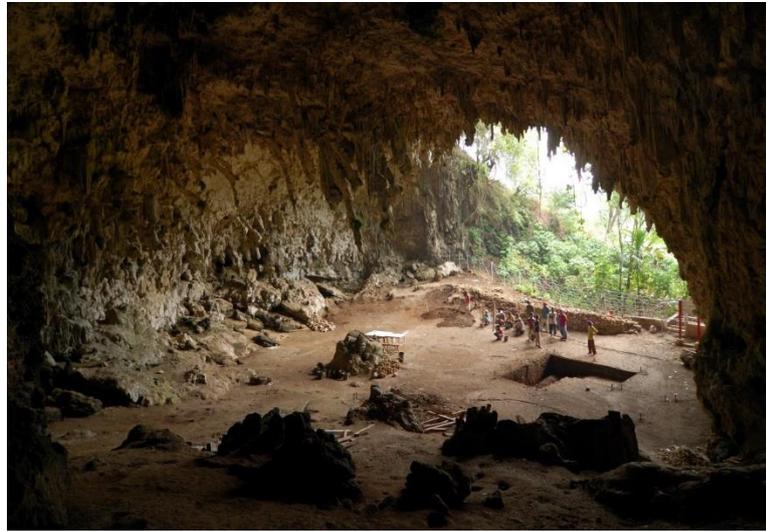
Términos que vienen a significar en esencia que la arquitectura debe ser: **SÓLIDA, ÚTIL Y HERMOSA O BELLA**

### 2 LA ARQUITECTURA COMO ARTE: VENUSTAS

La arquitectura, en un primer momento, es básicamente una respuesta de protección del ser humano al entorno hostil que le rodea, al clima, a los animales, a los enemigos. Es un hecho biológico de búsqueda de refugio y seguridad. Es por ello que, en un primer momento, se refugia en cuevas o recintos naturales, para luego comenzar a crear sus propias construcciones con materiales de la naturaleza. Primero con elementos sin elaborar, para posteriormente ir dándoles formas que le permitan optimizar dichos materiales, que, como es obvio, eran los del entorno: madera, piedra, tierra y elementos vegetales (lianas y fibras) y animales (pieles).

**Notas**

Ya en los inicios de la arquitectura, a estos espacios o recintos se les intenta dotar de una **dimensión estética y trascendente**, y se busca que toda obra y espacio participe del concepto de **belleza y composición**. Empiezan a decorarse los paramentos con signos, señales, dibujos, muescas, tallas, etc.



Como ocurre con otras muchas actividades humanas, una vez que la función principal se ha resuelto, comienzan a aparecer otras funciones secundarias que trascienden a dicha función principal y que responden a muchos condicionantes:

- Estéticos
- Sociales
- Religiosos
- De poder ....
- Estatus social
- De grupo
- Iconográficos

**Notas**

Son estos condicionantes los que van a dotar a la arquitectura de configuraciones que tienen un marcado componente estético.



Esto ha hecho que, desde siempre y hasta nuestros días, la arquitectura sea una maravillosa mezcla de **Arte** (creación) y **Técnica** (fundamentos científicos). Es la búsqueda por construir y materializar ideas, bocetos y proyectos, en espacios y edificios que van a acoger las más variadas actividades (deportivas, religiosas, económicas, culturales, etc.) que el ser humano demanda. Pero buscando además que estas construcciones participen de un gusto por lo estético, por la armonía, por la composición.

### **3 ARQUITECTURA PARA SER VIVIDA: UTILITAS**

Todo edificio o espacio se diseña y se construye para cumplir una **función**: albergar eventos deportivos, escuchar un concierto, desarrollar labores de oficina, elaborar y fabricar productos, etc. Un proyecto se encarga para un **fin** concreto. Para desarrollar estas actividades la arquitectura concibe espacios y “contenedores” que las albergan y que deben cumplir unos requisitos que consigan que dichas actividades se

#### **Notas**

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



puedan desarrollar óptimamente. Así pues, la arquitectura se construye para ser **usada** y debería funcionar perfectamente para el fin para el cual se concibe y construye. Si bien lo funcional no lo es todo, porque no sería justificable hacer edificios útiles, pero “feos”. La arquitectura es, esencialmente **funcional**. Sería un fracaso diseñar un teatro con mala visibilidad, unas aulas con mala acústica, un edificio de oficinas mal iluminado o un polideportivo donde la luz solar deslumbra a los jugadores de un equipo. En algunos casos las funcionalidades son muy específicas, como las que ya se han enumerado, pero en otros casos son más genéricas y afectan a todos los edificios, como es el caso de la accesibilidad o de la protección contra el fuego que han de ser cumplidas por todos los edificios, si bien con matices en función del uso de cada construcción. Podríamos preguntarnos incluso si la arquitectura es o no arte en función de si funciona o no.



### 4 CONSTRUIR LA ARQUITECTURA: FIRMITAS

La arquitectura es una manifestación del saber que se diseña y se concibe para **ser construida**. Es un arte “**material**”. Las sensaciones que genera la arquitectura se perciben una vez que ésta se ha materializado y es, la espacialidad y la materia que la conforma, las que, aunadas, consiguen esta percepción. Hay corrientes que también defienden como arquitectura, la arquitectura no construida, la que se quedó en el papel, en el proyecto, en los bocetos y en las ideas. Es una discusión abierta en la que todas las opciones han de ser tenidas en cuenta.

Un edificio es la suma de **llenos** y **vacíos**, de **materia** y **espacio**. Imaginemos una catedral gótica, no es comparable observar sus planos, con sus plantas y secciones, que, mientras se recorre, recrearse en el juego de masas y sensaciones espaciales, de luminosidad y espiritualidad, de juegos de nervaduras, bóvedas, rosetones y vidrieras que cambian su percepción a cada paso.

Al ser una manifestación humana que se construye, que se edifica, la arquitectura es también **resistencia**, **seguridad**, **durabilidad**. Salvo que la arquitectura diseñada este destinada a eventos breves, las edificaciones se levantan con vocación de permanencia, con capacidad para resistir los envites del uso, de la naturaleza y del paso del tiempo. Las pirámides de Egipto, las construcciones romanas como el acueducto de Segovia o la Gran Muralla son buen ejemplo de ello.

#### Notas



Todo esto hace de la arquitectura un campo de conocimiento de una **gran complejidad técnica y creativa**. La evolución lógica del saber ha hecho que, a lo largo del tiempo se haya ido pasando de una arquitectura que en sus inicios se fundamentaba, muchas veces, en el binomio **prueba-error**, a una arquitectura basada en el desarrollo de **proyectos** con **técnicas** contrastadas que garantizan la fiabilidad y la seguridad de lo construido.

Como suele ocurrir en los avances que el conocimiento humano ha ido generando, se presenta una interesante **dualidad**,

*El dominio de la TÉCNICA CONSTRUCTIVA      IMPULSA      NUEVAS SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS*

Y a su vez,

*La búsqueda de NUEVAS FORMAS      IMPULSA      la TÉCNICA y la INNOVACIÓN*



Por ello es fundamental que el arquitecto domine la técnica y el conocimiento de los materiales y los sistemas constructivos para crear nuevas formas y nuevos diseños, y a su vez esta búsqueda deberá servir para impulsar nuevas técnicas y soluciones constructivas y estructurales que permitan resolver los nuevos retos planteados.

Hemos hecho una reflexión sobre la arquitectura desde una vertiente teórica, pero, como ya se ha comentado, nos movemos en un campo del saber, que, por una parte tiene una faceta material y constructiva fundamental, y por otra, como es común al resto de saberes, tiene que satisfacer unos procedimientos y unos requisitos normativos, y legales que permitan implementar los *productos arquitectónicos* en la sociedad. En los siguientes apartados iremos acercándonos a esta faceta menos teórica de la arquitectura.

## Notas

## 5 ESTRUCTURACIÓN DE LOS ESPACIOS HABITABLES: EL EDIFICIO

Toda obra arquitectónica, no sólo edificios, sino también espacios urbanos, plazas, itinerarios, etc. o cualquier otra manifestación arquitectónica, se basa en la generación de espacios, más o menos abiertos y delimitados. Espacios que se van a concatenar unos con otros de un modo lógico. Así podemos decir que diseñar y proyectar arquitectura es, **concebir, organizar y vincular espacios**.

La suma de todos los espacios o “contenedores” da lugar a un todo, a la obra final, pero ellos, en sí mismos se personalizan para tener entidad propia, de esta manera un vestíbulo de acceso puede ser diferente en su tratamiento a una sala de audición, o a las zonas administrativas. Si bien lo mejor es que el conjunto sea lo más coherente posible. Pero ¿cómo se pueden **personalizar** estos recintos o contenedores? Pues interviniendo en aspectos como:

- La geometría del recinto
- La forma de los paramentos
- Su escala
- Los colores de los paramentos
- Las texturas
- La iluminación
- El acceso
- Los recorridos
- Los materiales
- La orientación
- El mobiliario .....



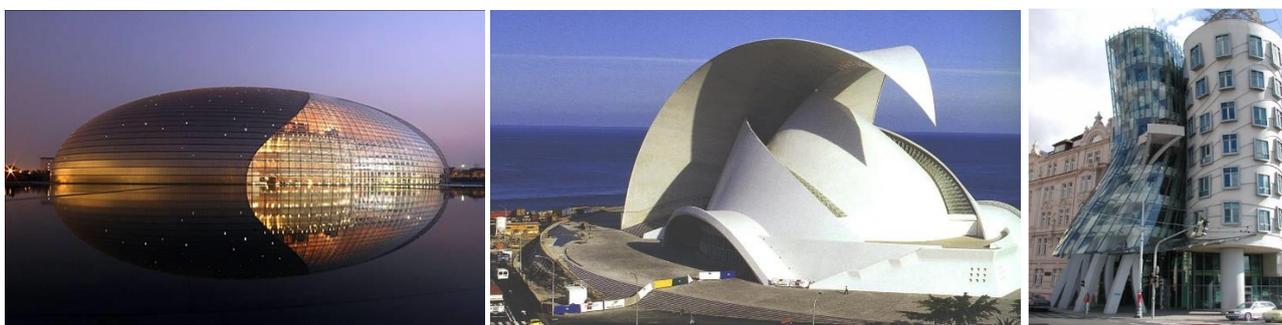
Si entendemos el proyecto arquitectónico como un **contenedor de contenedores**, entonces, el proyecto debe: **concebir y ordenar** ámbitos, **cerrarlos y protegerlos** y hacerlos a la vez **resistentes y permeables**. La obra será más perfecta en la medida en que la suma de todos ellos dé lugar a un conjunto coherente. Coherencia que abarcará todos los aspectos del edificio, imagen exterior e interior, estructura, recorridos, sostenibilidad y mantenimiento, confort interior, etc.

### Notas

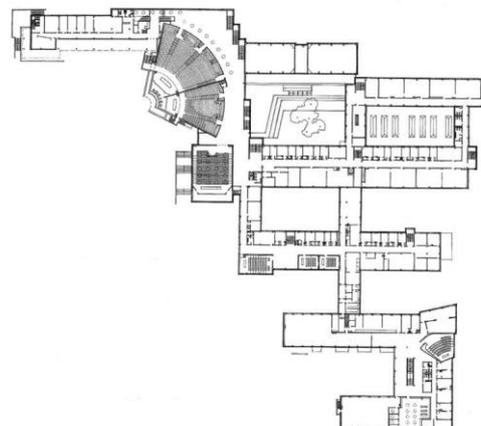
En este proceso proyectual se pueden diferenciar dos respuestas diferentes para la génesis del diseño, que no han de ser excluyentes, ya que la buena arquitectura es la que es capaz de unir ambas:

- Arquitectura **ESCULTÓRICISTA**: del exterior (Venustas) al interior (Utilitas).
- Arquitectura **ORGÁNICA**: del interior (Utilitas) al exterior (Venustas).

En la primera lo que prima es la imagen exterior del edificio, posteriormente se distribuyen los espacios interiores. En la segunda se da prioridad al diseño del interior, los recorridos, la distribución por usos, la buena organización de los espacios, y será, la configuración interior la responsable, en buena parte, de la imagen exterior. La buena arquitectura es la que es capaz de aunar ambas facetas, pero es frecuente que prime una tendencia sobre la otra a la hora del diseño.



EJEMPLO DE ARQUITECTURAS ESCULTORICISTAS



EJEMPLO DE ARQUITECTURAS ORGANICISTAS (Imagen de la derecha. Universidad Técnica de Otaniemi, Finlandia. Alvar Aalto)

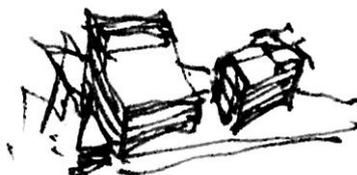
Estas dos concepciones sobre la génesis del proyecto están relacionadas con dos formas de entender el edificio. El edificio como **envolvente general**, o el edificio como **yuxtaposición de espacios interiores**.

### Notas

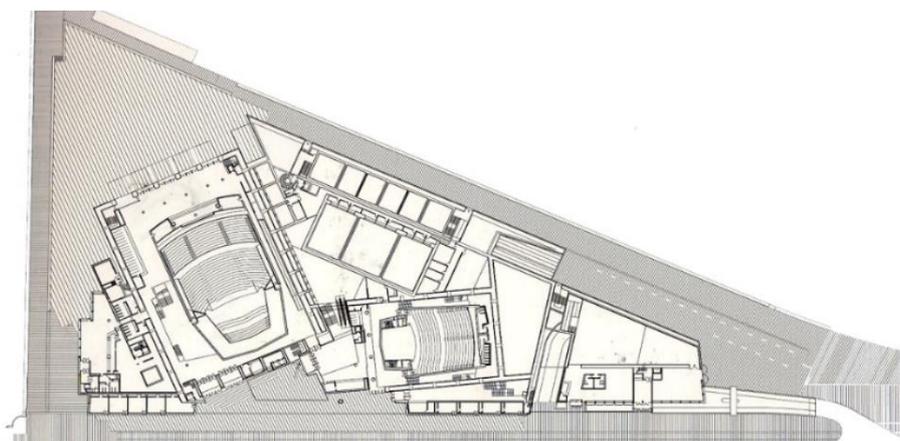
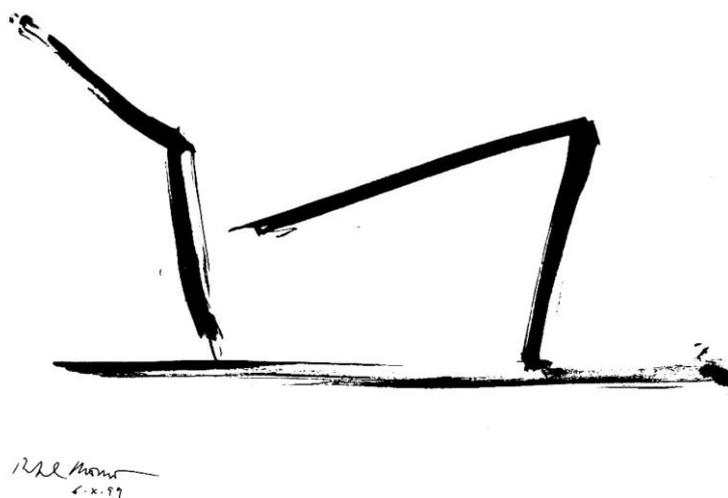
## 6 EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Hasta ahora nos hemos centrado en la fase de concepción del proyecto, pero ¿cómo es el recorrido una vez concebido la idea hasta que ésta se materializa? El paso de la **idea al hecho arquitectónico**.

- IDEA (fundamental)
- BOCETO
- ANTEPROYECTO
- PROYECTO
- OBRA



*El autor de esta singular obra, Rafael Moneo, diseñó dos enormes cubos de vidrio translúcido que el mismo describe como "...dos rocas varadas en un intento por perpetuar la geografía y, en la medida de lo posible, subrayar la armonía entre lo natural y lo artificial... Dos gigantescas rocas que quedaron varadas en la desembocadura del Urumea, no pertenecen a la ciudad, son parte del paisaje..."*



Notas



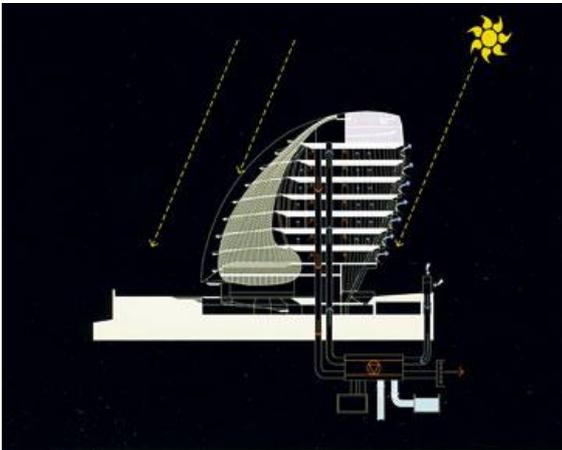
AUDITORIO KURSAAL. SAN SEBASTIÁN. RAFAEL MONEO

La génesis de un proyecto debería de partir de una **idea**. Una buena idea tiene muchas posibilidades de tener como resultado un buen proyecto. Es luego, la mano del arquitecto, la que a base de **bocetos** va dando vida a trazos que plasman en líneas esa idea, son dibujos sencillos, cambiantes, expresivos. Una vez que esos trazos van definiendo volúmenes, espacios, recorridos, se **delinean** los primeros dibujos que encajan y pasan a escala esas ideas iniciales. Tras esos dibujos delineados va el desarrollo de un **proyecto técnico** donde se definen perfectamente todas las dimensiones del edificio y se calculan y resuelven todos los sistemas constructivos que van a permitir la ejecución de la obra: cimentaciones, estructura, instalaciones, acabados, etc. Posteriormente, y siguiendo las instrucciones del proyecto se ejecutan las **obras** que van a tener como resultado final la obra arquitectónica.

El buen arquitecto es el que, teniendo en la cabeza los conocimientos técnicos, es capaz de pensar desde los primeros bocetos, en todas las fases que vienen con posterioridad. Los primeros trazos ya deben intuir materiales, imagen, sistemas constructivos, distribución...

## Notas

Si nos preguntamos entonces cuál es el recorrido que conduce a la materialización del edificio, podemos decir que es la transición de la **idea**, a la **realidad** material. Proyectar es tener conciencia de la **corporeidad** de la obra ya que la obra arquitectónica es su **materialización**.



AYUNTAMIENTO DE LONDRES. NORMAN FOSTER. 2002

Una vez desarrollado el proyecto técnico se ha de poner en marcha una secuencia que conduce a la ejecución material del edificio y a su posterior mantenimiento. Es una serie de procedimientos que, en ocasiones se solapan en el tiempo, y que dan como resultado la **obra arquitectónica**. La secuencia es la siguiente:

- Desarrollo de un Proyecto Técnico
- Fabricación de componentes
- Transporte a obra
- Puesta en obra – ejecución
- Puesta en uso
- Operaciones de mantenimiento



## Notas

En la mayoría de los casos en el proyecto técnico se han de tener en cuenta las fases posteriores. Por ejemplo, es importante saber dónde y cómo se fabrican determinados componentes de la obra, conocer su coste, si su fabricación es en lugares muy distantes de la obra, si son reciclables (sostenibilidad); o por ejemplo valorar determinadas estructuras en función de su complejidad al ser transportadas; o decidir el sistema de limpieza de las fachadas y de los recintos interiores.

Debemos plantearnos cuál es la manera de abordar actualmente la materialización del edificio en una actividad que mantiene, o mantenía, un gran componente artesanal y una gran inercia, reticente en muchos casos, a avances en nuevos materiales y sistemas constructivos.

La arquitectura, como el resto de las actividades humanas, avanza hacia productos cada vez más complejos donde es prácticamente imposible asumir el conocimiento global. Asumir esta complejidad impulsa la tendencia actual de trabajar desde la **especialización y distribución** de tareas, tanto a nivel de **proyecto** como a nivel de **puesta en obra**.

Esta distribución y diversificación de tareas acarrea:

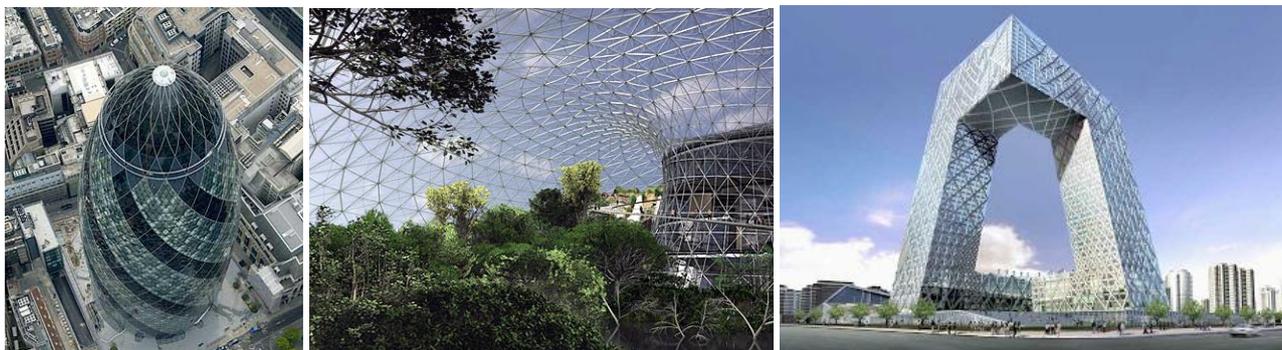
#### **VENTAJAS**

- Mejor control de materiales y procesos
- Personal más especializado
- Mejores proyectos
- Prefabricación
- Investigación en nuevos materiales y soluciones ...

#### **INCONVENIENTES**

- Subcontratación agresiva
- Descoordinación en la obra
- Fragmentación del saber
- Costes de gestión elevados
- Pérdida de conocimientos constructivos ...

Es necesario, como técnicos, asumir dentro del campo de la arquitectura nuevos retos, cambios y avances en nuevos materiales y sistemas constructivos, en nuevas tendencias, todo ello dentro de una corriente de globalización e internacionalización de la arquitectura, pero sin perder el conocimiento de la tradición, del buen saber constructivo, de la sabiduría de la arquitectura ligada al lugar, al entorno, a la sociedad, de la arquitectura al servicio de las personas.



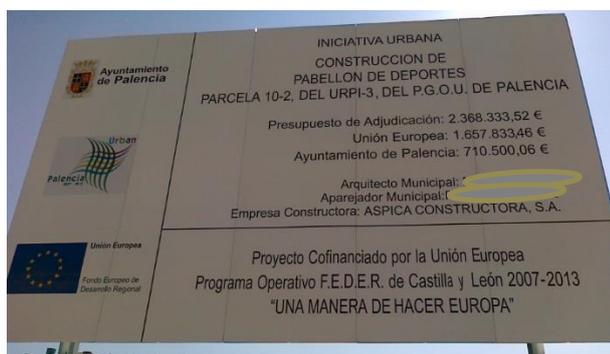
#### **Notas**

## 7 AGENTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Para hacer posible la actividad arquitectónica es necesaria la intervención de numerosos agentes que van a aportar su conocimiento en diferentes fases y en diferentes facetas. Unos se dedicarán más a la parte del proyecto, otros a la fabricación y transporte de los materiales, otros a la ejecución de la obra, otros al mantenimiento posterior de la obra construida y así en muy diversos campos. A continuación, se enumeran algunos de ellos, si bien cada vez se amplía más el número de agentes que intervienen. Pensemos por ejemplo en la construcción de una iglesia románica y en la construcción de un rascacielos. Dependiendo del tipo de obra unos pueden ser más importantes y otros más secundarios:

Los principales son los siguientes:

- **Técnicos:** arquitectos, arquitectos técnicos, ingenieros, urbanistas, paisajistas... Son aquellos que principalmente van a desarrollar los proyectos técnicos y a dirigir la ejecución de las obras.
- **Promotora:** Es la persona física o la entidad que toma la iniciativa de llevar a cabo una obra. Puede ser de iniciativa pública o privada. Se dedica a promover la obra y la costea con fondos propios o se encarga de buscar la financiación.
- **Empresas Productoras:** Son aquellas empresas en cuyas instalaciones se fabrican los materiales o los sistemas constructivos que van a colocarse en la obra con el fin de materializar una construcción. Normalmente se encargan también del transporte a obra del material, aunque no siempre es así.
- **Empresa Constructora:** Es aquella empresa que realiza todas las operaciones necesarias para el montaje y puesta en obra de todos los materiales suministrados y que se encarga de la construcción.
- **Entidades financieras:** Son aquellas entidades como bancos, financieras, cajas, etc. que van a aportar el dinero necesario para ejecutar la obra en el caso de que la promotora no pueda o no quiera financiar su obra con fondos propios.
- **Usuarios:** Son las personas o entidades, privadas o públicas, que van a hacer uso de la obra una vez finalizada.
- **Estado, administraciones locales y regionales y organismos públicos:** Son las entidades públicas que se encargan de redactar normativas que regulan la actividad arquitectónica y que son además los encargados de velar por su cumplimiento.



### Notas

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



Otros agentes que también participan del proceso constructivo son los siguientes:

- **Empresas de control (OCT):** Empresas que se encargan de llevar un control de obra externo al que llevan los directores de obra.
- **Inmobiliarias:** Se dedican a la venta de inmuebles y a las gestiones vinculadas a dichas operaciones.
- **Empresas de tasación:** Son empresas cuyos técnicos valoran económicamente las obras que se van a llevar a cabo o que valoran fases de obra ejecutada. Normalmente sus valoraciones son requeridas por las entidades financieras para que estas vayan posibilitando la disposición de la financiación.
- **Decoración:** Técnicos que se encargan de “vestir” y/o decorar la obra gruesa. Se encargan del tratamiento de los paramentos: suelos, paredes y techos y de los complementos y mobiliario.
- **Empresas de mantenimiento:** Los edificios, cada vez más, necesitan de un mantenimiento, que en muchos casos es obligatorio, como ocurre con las instalaciones contraincendios. Y esto genera la aparición de empresas dedicadas a ello, por ejemplo, limpieza de fachadas tipo muro cortina, mantenimiento de instalaciones de todo tipo: fontanería, climatización, contraincendios, etc.
- **Aseguradoras:** Empresas que valoran los inmuebles y sus instalaciones y las aseguran ante posibles deterioros o incidencias.
- **Marketing y publicidad:** Dedicadas a publicitar el uso de los edificios o a gestionar los paneles instalados sobre ellos o a facilitar la explotación de los inmuebles y de sus recintos.
- **Empresas de jardinería:** Dedicadas a mantener los jardines y zonas verdes de los edificios y sus entornos. Que ya empiezan a ser obligatorias en muchas normativas municipales.

La aparición de nuevas funcionalidades para los edificios, de nuevas normativas y de nuevos avances tecnológicos, hacen que los agentes vinculados a la arquitectura no paren de crecer. Y es importante saber que en todos estos campos los arquitectos tienen posibilidad de desarrollar su actividad profesional.



Notas

## 8 SECUENCIA DE CONCRECIÓN MATERIAL DEL EDIFICIO

La secuencia que define la transición desde el elemento más simple hasta el edificio completo hace un recorrido que comienza con la materia que se encuentra sin elaborar en la naturaleza. Las posteriores manipulaciones de dicha materia y la posibilidad de conjuntar diferentes elementos elaborados van a dar como resultado sucesivas agrupaciones de estos, que se van a conformar en sistemas coherentes dando respuestas a las diferentes funciones que requiere una determinada construcción. Esta secuencia es la siguiente:

Materia (arcilla)

Material constructivo (ladrillo)

Elemento constructivo (tabique)

Subsistema constructivo (pared compuesta)

Sistema constructivo (cerramiento)

Edificio (edificio completo)



Se tiende a la **prefabricación**, procurando hacer en taller el mayor número posible de operaciones de obra. Se busca reducir los tiempos de ejecución, minimizar la mano de obra y mejorar el control de la calidad del producto. El caso más extremo, es prefabricar la casa entera, lo que ya se ha logrado, fabricando en taller viviendas enteras, o módulos de grandes dimensiones, que se transportan al terreno en una única pieza que necesita únicamente operaciones de asentamiento en el terreno y conexión con las redes de suministros.



La materia, primer eslabón de la cadena, es el producto en bruto que se encuentra en la naturaleza y que, una vez elaborado, va a formar parte del primer eslabón de la cadena constructiva. Bien es cierto que, en entornos muy poco evolucionados, y en la antigüedad, se han usado materiales como la piedra y la madera, que sin apenas manipulación se han colocado como materiales constructivos.

En algunos casos la diferencia entre material, elemento o sistema constructivo no está del todo claramente definida. Lo importante es entender que la globalidad del edificio o del hecho arquitectónico se basa en la agregación coherente de elementos menores que se van uniendo para dar respuesta a una función concreta.

### Notas

## 9 MATERIALES, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

### A. MATERIALES CONSTRUCTIVOS

Los **materiales constructivos** son aquellos elementos, elaborados o no, que van a formar parte del proceso constructivo, siendo **el primer eslabón de la cadena constructiva**. Su conocimiento es absolutamente imprescindible para que su elección sea acertada. Si un material no se conoce, no se usa, o se usa equivocadamente. El técnico responsable de su elección debe hacerlo teniendo en cuenta:

- ✓ Tradiciones locales
- ✓ Disponibilidad
- ✓ Exigencias funcionales
- ✓ Configuraciones formales
- ✓ Mano de obra
- ✓ Economía / coste
- ✓ Razones sociales
- ✓ Puesta en obra
- ✓ Adecuación al medio ...



Pueden ser desde elementos muy sencillos (un ladrillo, una bovedilla) hasta elementos muy complejos (una caldera, una luz de emergencia). A los materiales constructivos los podemos clasificar en tres grupos:

#### **Materias Primas - Materiales Semielaborados - Materiales Elaborados o Prefabricados**

##### I. MATERIAS PRIMAS

A su vez las podemos subdividir en tres grupos en función del grado de elaboración:

- Productos naturales sin elaborar: piedra, madera, barro...
- Productos naturales transformados: metales en bruto, yeso, cemento...
- Productos provenientes de la síntesis química: plásticos, betunes...



##### II. MATERIALES SEMIELABORADOS

Aquellos que llegan a obra y requieren algún tipo de manipulación para adaptarlos a su posición concreta. Son materiales como: cables, conductos, estucos, ferralla, chapas ...

##### III. MATERIALES ELABORADOS o PREFABRICADOS

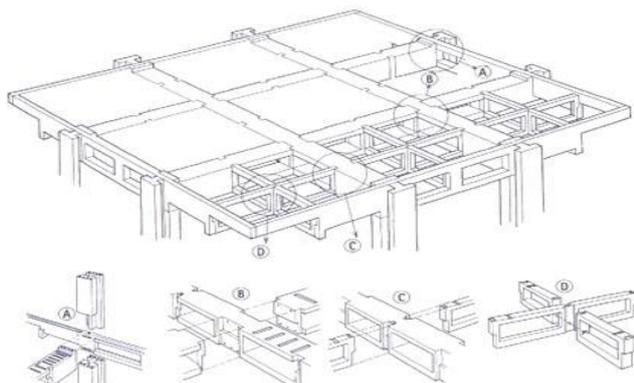
Son aquellos que se terminan totalmente en fábrica o taller y sólo requieren procesos de colocación en obra. Están desde los muy sencillos (ladrillo, vidrio ...) a los muy complejos (caldera, viga de hormigón armado pretensado, interruptor con sensor de presencia ...)



### Notas

## B. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

A la primera agrupación de materiales constructivos lo denominamos **elemento constructivo**, es una asociación de elementos básicos que dan lugar a un elemento de rango superior que da respuesta a una función concreta. Hay mucha variedad en el conjunto de los elementos constructivos, desde los muy simples a los muy complejos (pared de vidrio doble, pared de varias hojas de cerramiento). La tendencia actual es a la prefabricación, de manera que la unión de los materiales se haga en taller y no “in situ”, con el fin de mejorar la calidad y reducir tiempos y mano de obra, como ocurre por ejemplo con una losa alveolar, que solventa en una pieza única el conjunto de vigueta, bovedilla, mallazo y capa de compresión.



## C. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los materiales y elementos se agrupan en **conjuntos coherentes**, cuya suma es el edificio. A estos conjuntos los denominamos **sistemas constructivos**. Esta agrupación responde a las diferentes **funciones** que tienen que resolver determinados grupos de componentes del edificio, como son las funciones de, sustentación, protección, aporte de suministros, acondicionamiento térmico, etc.

Los materiales, elementos o sistemas constructivos han de ser entendidos siempre como parte de un todo, **vinculados** e **interrelacionados** entre sí, y nunca concebidos aisladamente. Esta vinculación debe ser armónica, es decir cada uno de los sistemas ha de funcionar correctamente no sólo en sí mismo, sino también en relación con el resto de los sistemas. De no ser así la aparición de lesiones está garantizada. Es frecuente, por ejemplo, que fachadas o particiones interiores presenten fisuras o grietas al no ser compatible su capacidad de deformación con las deformaciones de la estructura.

### CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Si bien hay más sistemas, los principales sistemas constructivos son los siguientes:

### Notas

## I. SISTEMA ESTRUCTURAL

Es aquel sistema que se encarga de soportar al edificio y a todo su contenido, y transmitir las cargas al terreno. Dentro de este sistema están todas aquellas operaciones encaminadas a la preparación del terreno, las distintas tipologías de cimentación y los sistemas estructurales verticales y horizontales que recogen las cargas y las transmiten, de muy diversos modos, hasta la cimentación.

1. *Preparación del terreno*
2. *Cimentación*
3. *Estructura vertical y horizontal*



## II. SISTEMA DE CERRAMIENTO

Sistema constructivo que conforma la envolvente exterior del edificio. Tiene como función, además de la definición formal del edificio, la protección del propio edificio, del contenido y de los usuarios, de la intrusión y de los agentes climáticos como el calor, el frío, la lluvia, el viento, etc. Entrarían en este sistema todos los sistemas de control de soleamiento, como son, sobre todo en el caso de las fachadas, lamas, celosías, aleros, voladizos, etc. En algunos edificios, como por ejemplo en el Guggenheim de Bilbao, fachada y cubierta se confunden y los límites entre uno y otro sistema no se pueden diferenciar con nitidez.

### 1. *Sistemas de cubierta*

- Planas*
- Inclinadas*
- Transitables*
- No transitables*



### 2. *De fachada*

- Portantes*
- Sustentada*
- Colgada (muro cortina)*



## Notas

### III. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Sistema constructivo que engloba a todos los materiales y elementos que distribuyen y organizan los espacios y los diferentes niveles interiores de los edificios.

#### 1. Particiones

- Tabiquería*
- Mamparas*
- Carpinterías*



#### 2. Escaleras

#### 3. Rampas

### IV. SISTEMA DE ACABADOS

Engloba todos los sistemas que tienen por misión la definición de las superficies de los paramentos del edificio. Estos revestimientos sirven para ocultar la obra gruesa y, como es obvio, para decorar. Nos referimos a los paramentos de paredes, suelos y techos. Cada uno tiene sus peculiaridades, así, por ejemplo, los suelos están sometidos a un desgaste que no tienen los otros.

#### 1. Revestimientos de paredes

#### 2. Revestimientos de suelos

#### 3. Revestimientos de techos



### V. SISTEMA DE INSTALACIONES

Sistemas que dotan al edificio de servicios activos y pasivos. Sobre todo, nos referimos a sistemas que aportan y distribuyen suministros al edificio, evacúan residuos, climatizan el espacio interior y permiten establecer sistemas de control, lo que conocemos como domótica. La aparición de nuevas funcionalidades y la evolución tecnológica hacen que las instalaciones sean cada vez más numerosas y complejas y ocupen cada vez más espacio. Imaginemos las instalaciones que tenía una iglesia románica y las que tiene un hospital de hoy en día. Los sistemas que mostramos a continuación son evidentemente más amplios si nos referimos a actividades específicas como es el caso de, por ejemplo, una central nuclear, o una fábrica de aviones ...

### Notas

1. *Fontanería o abastecimiento*: sistema que se encarga del suministro de agua, que puede ser para consumo humano o para otros, como el sistema contraincendios.

2. *Saneamiento y evacuación*: sistemas que eliminan los residuos generados en los edificios. Aquí entran, por ejemplo, la evacuación de aguas residuales, la eliminación de malos olores por medio de shunts o de ventilación forzada, o la evacuación de basuras y residuos sólidos.

3. *Suministros de energía*: son aquellos que aportan los “combustibles” necesarios para que los sistemas funcionen. La mayoría llegan al edificio por redes externas de abastecimiento.

- Electricidad: De diversa procedencia
  - Suministro de redes externas
  - Producida por placas fotovoltaicas
  - Producida por sistemas eólicos
- Combustibles gaseosos (gas, biogás, oxígeno...)
- Combustibles líquidos (gasóleo, gasolina...)
- Combustibles sólidos (biomasa, carbón...)



4. *Climatización y calefacción*: sistemas que permiten el tratamiento del ambiente interior de los edificios, regulando la temperatura, la calidad del aire e incluso la humedad del ambiente.

- Calefacción por radiadores
- Climatización por agua: suelo radiante
- Climatización por aire: aire acondicionado, fancoil...
- Renovación de aire ...

5. *Sistemas de telecomunicación y audiovisuales*: telefonía, TV, internet, redes, fibra, datos ...

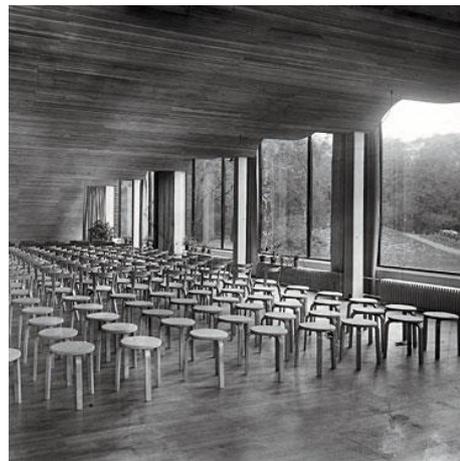
6. *Protección*: instalaciones que dotan al edificio de sistemas que le protegen y protegen a sus ocupantes, como son las instalaciones contraincendios, detección de intrusos, sistemas de alarma y seguridad, domótica.

7. *Mecánicas o de transportes*: sistemas que permiten el movimiento de usuarios y/o materiales por el edificio tales como, ascensores, montacargas, cintas, escaleras...

## VI. SISTEMA DE EQUIPAMIENTO

Sistema que abarca todo el mobiliario y equipamiento que necesita una edificación para poder funcionar y tener un uso concreto. Según el tipo de actividad este equipamiento es muy diferente, así, el de un almacén es distinto, al de un hospital, o al de una vivienda o al de una iglesia, por poner algunos ejemplos.

### Notas



### VII. SISTEMA DE MANTENIMIENTO

Instalaciones destinadas al mantenimiento, limpieza y puesta a punto del edificio. En algunos casos estos sistemas no son necesarios o son muy sencillos, pero en otros, cuando los edificios son muy complejos estos sistemas son imprescindibles y han de tenerse en cuenta en el diseño del edificio. Un caso muy claro son los sistemas de limpieza de las fachadas de cristal, los denominados “muros cortina”, de los edificios en altura.



Estos son los sistemas constructivos más habituales. La evolución tecnológica de la arquitectura y la aparición de nuevas funcionalidades hacen que estos vayan modificándose y ampliándose. Pensemos por ejemplo en las fachadas convertidas en jardines verticales, o en las azoteas y tejados que funcionan como colectores solares o como huertos urbanos; o en fachadas convertidas en paneles publicitarios... La imaginación y la tecnología serán las que impulsarán funcionalidades y sistemas que hoy en día no existen. Tenemos la oportunidad y el deber de ser los artífices de esta revolución.

### Notas

## 10 CASO DE ESTUDIO

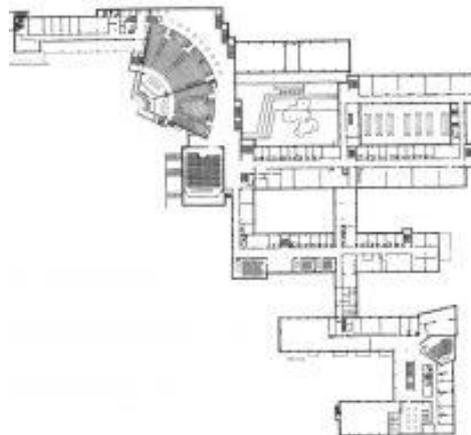
### Universidad Politécnica, Otaniemi. Alvar Aalto

Se trata de un edificio proyectado por el prestigioso **Alvar Aalto** (1898-1976), arquitecto y diseñador finlandés que formó parte del Movimiento Moderno y participó en los CIAM (Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna).

El edificio de la Universidad Politécnica, Otaniemi, está basado en una concepción orgánica de la arquitectura, de manera que el edificio crece y se organiza según las necesidades del funcionamiento y de la génesis de “contenedores” que se vinculan entre si de un modo coherente y funcional. Su aspecto exterior surge de la disposición de dichos espacios generados en el plano.

Los diferentes edificios proyectados son:

- Edificio del Deporte en la Universidad de Politécnica de Helsinki. Año: 1948-1952 (Realizado)
- Edificio principal de Universidad Politécnica de Helsinki. Año: 1949-1955 (Realizado)
- Residencia de Estudiantes de la Universidad Politécnica de Helsinki. Año: 1950-1966 (Realizó parte)
- Edificio de Servicios para la Universidad Politécnica de Helsinki. Año: 1953/1956 (Realizado)
- Biblioteca de la Universidad Politécnica de Helsinki. Año: 1964-1969 (Realizado)
- Estacionamientos para la Universidad Politécnica de Helsinki. Año: 1967-1969 (No Realizado)



Notas

**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
MATERIAL CONSTRUCTIVO	
MATERIA PRIMA	
MATERIAL SEMIELABORADO	
MATERIAL PREFABRICADO	
ELEMENTO CONSTRUCTIVO	
SISTEMA CONSTRUCTIVO	
BOCETO	
PROYECTO	
ANTEPROYECTO	

**Notas**

EMPRESA PROMOTORA	
CERRAMIENTO	
CIMENTACIÓN	
ESTRUCTURA	
FACHADA	
EDIFICIO	
ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA	
ARQUITECTURA	
ARQUITECTURA ORGÁNICA	
ARQUITECTURA ESCULTÓRICA	

**Notas**

**Notas**

## LECCION 2. SOLICITACIONES Y DEFORMACIONES

### 1 INTRODUCCIÓN

### 2 ACCIONES SOBRE LOS EDIFICIOS

CTE DB - SE

### 3 SOLICITACIONES

Compresión

Flexión

Cortante

Tracción

Cortante

### 4 DEFORMACIONES

Elásticas

Plásticas

Viscosas

Reológicas

Fracturas

### 5 CASOS DE ESTUDIO

Puente Tacoma Narrow (L.S. Moisseiff 1940)

Puente del Milenium (N. Foster 2000)



Notas

## 1 INTRODUCCIÓN

Sobre cualquier edificación se ejercen acciones de muy diversos tipos: gravitatorias, climáticas, de uso, etc. Como atestigua la física a toda ACCIÓN le corresponde una REACCIÓN que a su vez genera una DEFORMACIÓN. Si nos referimos a las obras arquitectónicas el esquema sería este:

<b>ACCIÓN</b>	-----	<b>DEFORMACIÓN</b>	-----	<b>REACCIÓN</b>
Cargas propias		Ha de ser compatible		Con el <b>USO</b> (tránsito de personas...)
Fenómenos climáticos				Con el <b>EDIFICIO</b> (cerramientos, acabados...)
Actividades y usos ....				



PUENTE DEL MILENIUM. LONDRES (NORMAN FOSTER 2000)

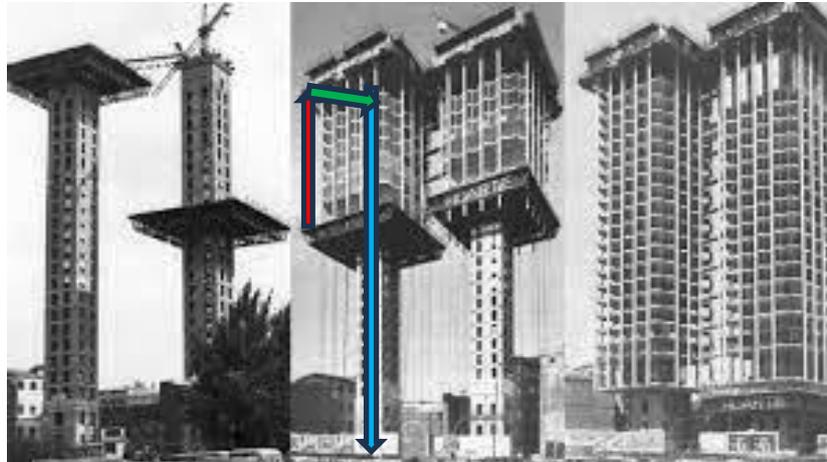
Todo edificio sufre deformaciones, es por ello por lo que se disponen sistemas, como por ejemplo las juntas de dilatación, que permiten asumir esas variaciones dimensionales. El problema surge cuando las deformaciones no se controlan y no son compatibles con los sistemas constructivos del edificio o con su utilización. La imagen de la izquierda nos muestra una deformación estructural que no es compatible con la rigidez del paño de la fachada y este se agrieta. El Puente del Milenio el día de su inauguración tuvo que cerrarse porque, aunque resistió el paso de la multitud, comenzó a sufrir unas vibraciones y movimientos que no eran compatibles con el tránsito de personas. Hubo que introducir unos cambios posteriores que solucionaron el problema.

La ESTRUCTURA del edificio es el sistema constructivo encargado de recoger las CARGAS PROPIAS del edificio y las ACCIONES que sobre él se ejercen y, deformándose, conducir las hasta el terreno.

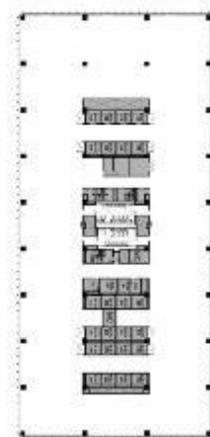


### Notas

Los sistemas de transmisión de cargas a veces son complejos.



La estructura es uno de sistemas constructivos más importantes. Esta importancia puede llegar incluso a que el DISEÑO ESTRUCTURAL sea el que determine la imagen del edificio. En la mayoría de las ocasiones la estructura es un sistema que se adapta a la imagen del edificio proyectado, es un SISTEMA ESTRUCTURAL ADAPTADO. Es decir, una vez diseñado el edificio tanto en planta, como en sección y con la imagen exterior decidida, se diseña una estructura que soporta dicho proyecto. Bien es cierto que un buen proyecto es aquel que a la vez que diseña una buena distribución interior y un buen diseño exterior tiene en cuenta la estructura que lo va a soportar. De no ser así el resultado suelen ser estructuras complejas, que incluso llegan a distorsionar aspectos del proyecto al introducirse en la resolución final del proyecto.



EDIFICIOS CON SISTEMA ESTRUCTURAL ADAPTADO: HOTEL RIU (MADRID) / LUDWIG MIES VAN DER ROHE. 330 NORTH WABASH. CHICAGO. 1973

## Notas



TERMINAL T4. R. ROGERS / ESTADIO OLIMPICO DE BEIJING. HERZOG-MEURON/ L'OCEANOGRÁFIC, VALENCIA, 2002. S. CALATRAVA-F. CANDELA  
EDIFICIOS CUYA ESTRUCTURA ES LA IDEA IMPULSORA DEL PROYECTO

## 2 ACCIONES SOBRE LOS EDIFICIOS

Las acciones que se ejercen sobre los edificios son de muchos tipos: de valor constante, variables en el tiempo y en el espacio, climáticas, de usos del edificio, propias del material, etc. Para poder trabajar con ellas y poder analizar su influencia sobre un edificio mediante cálculos estructurales se han de clasificar. El modo de clasificarlas y agruparlas ha ido variando a lo largo del tiempo en la normativa española. A continuación, se desarrolla la clasificación de las acciones según lo dispuesto en el CTE DB SE.

- CTE DB SE (Código Técnico de la Edificación-Documento Básico-Seguridad Estructural)



Notas

La normativa que regula los aspectos relacionados con el comportamiento estructural de los edificios, y que actualmente está en vigor, es el Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta norma se subdivide en varios Documentos Básicos (DB), uno de los cuales regula las condiciones de las estructuras y todos los aspectos con ellas relacionadas. Este documento es el **CTE-DB-SE** (Código Técnico de la Edificación–Documento Básico–Seguridad Estructural), y la clasificación de las acciones que se ejercen sobre los edificios los organiza según los siguientes epígrafes:

### 1. ACCIONES **PERMANENTES**

- Peso propio: Estructura, cerramientos...
- Pretensado: Esfuerzos generados por los procesos de tensado
- Acciones del terreno: Empujes del terreno

### 2. ACCIONES **VARIABLES**

- Sobrecarga de uso: peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por su uso
- Acciones sobre barandillas y elementos divisorios: petos, barandillas, miradores, etc., han de soportar esfuerzos horizontales.
- Acciones térmicas: variaciones dimensionales por la temperatura
- Viento
- Nieve

### 3. ACCIONES **ACCIDENTALES**

- Sismo: Acciones derivadas del sismo. En España se aplica en pocas zonas.
- Incendio: Agresión térmica por el fuego y acceso de vehículos contra incendios.
- Impacto: Solo impactos accidentales, están excluidos los premeditados.
- Otras acciones accidentales.



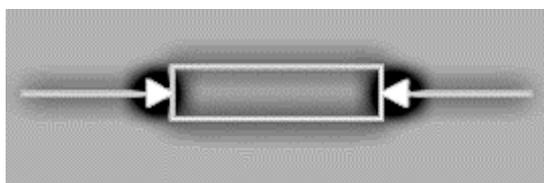
### Notas

### 3 SOLICITACIONES

Las acciones que se ejercen sobre las estructuras provocan en los elementos estructurales determinados **ESFUERZOS** o **SOLICITACIONES**. Estos comportamientos estructurales básicos son los siguientes:

- COMPRESIÓN
- TRACCIÓN
- FLEXIÓN
- CORTANTE
- TORSIÓN

#### A) COMPRESIÓN



Solicitud a la que se ve sometido un elemento estructural cuando se aplican, en la dirección del eje de la pieza, **dos fuerzas de sentido opuesto que tienden a acortar la pieza**. Produce acortamiento longitudinal y se compensa con el ensanchamiento de la región central.

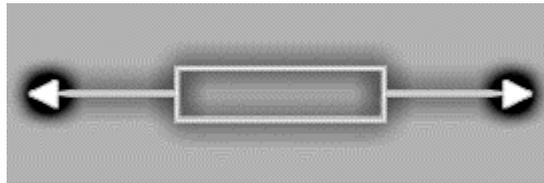
Los elementos donde se producen habitualmente este tipo de esfuerzos son, entre otros: pilar, arco, bóveda, cúpula, muro.

Materiales que trabajan bien a compresión: piedra, tierra seca (adobe), ladrillo, madera, acero, hormigón.



Notas

**B) TRACCIÓN**



Solicitud a la que se ve sometido un elemento estructural cuando se aplican, en la dirección del eje de la pieza, **dos fuerzas de sentido opuesto que tienden a alargar la pieza**. Produce alargamiento longitudinal y disminuye la sección central.

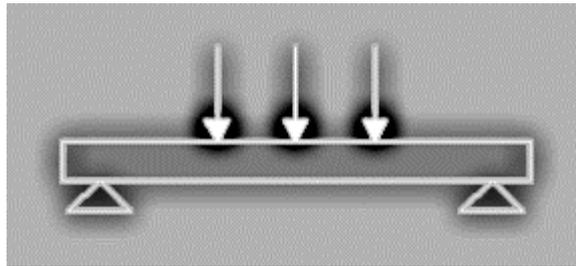
Los elementos donde se producen habitualmente este tipo de esfuerzos son, entre otros: Tirantes, cables, telas, tensores, cascarones...

Materiales que trabajan bien a tracción: madera, acero, telas.



Notas

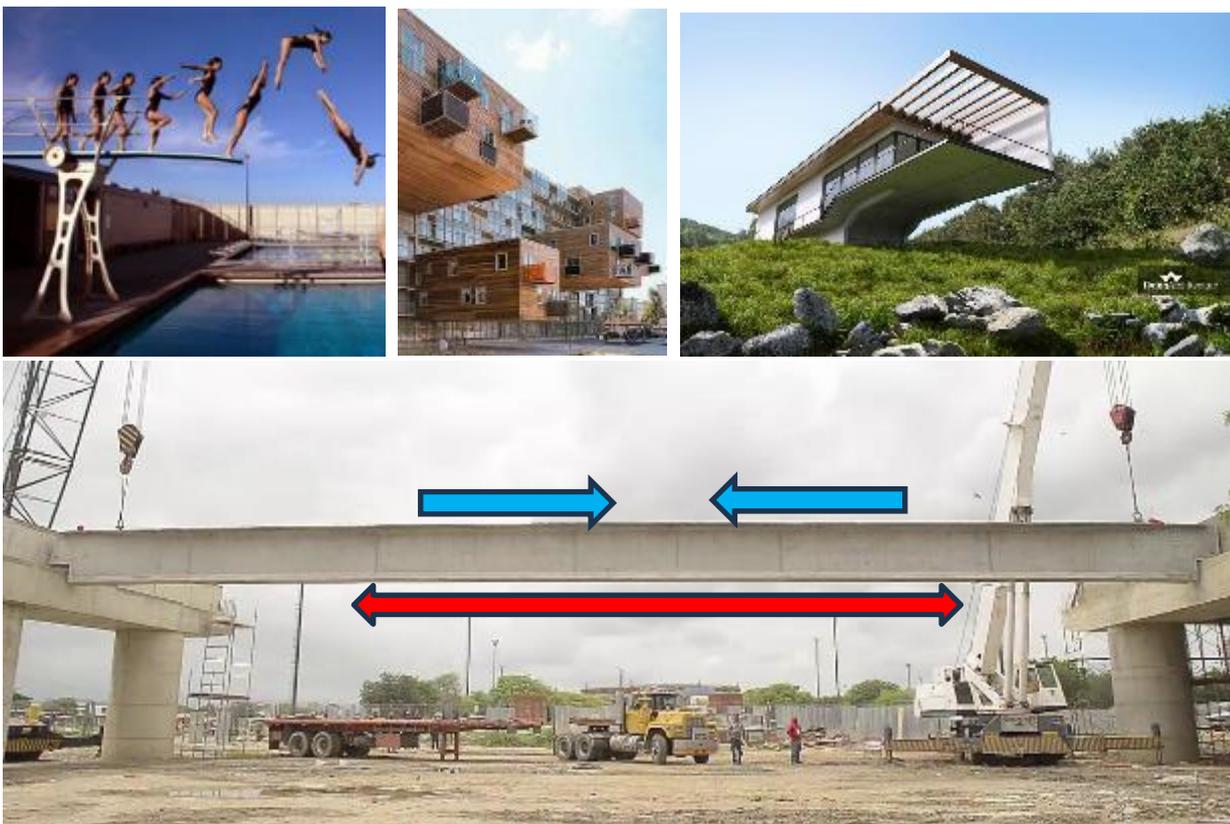
### C) FLEXIÓN



Solicitud a la que se ve sometido un elemento estructural cuando se aplica sobre él una fuerza que **forma un cierto ángulo respecto al eje de la pieza** y que tiende a **combar** la pieza. Produce zonas comprimidas (azul) y zonas traccionadas (rojo).

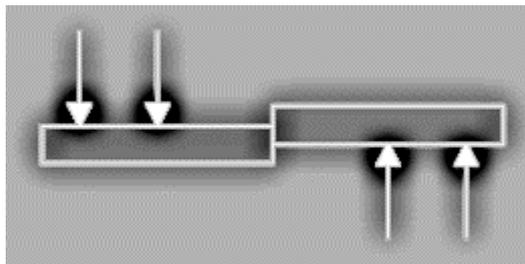
Los elementos donde se producen habitualmente este tipo de esfuerzos son, entre otros: Vigas, voladizos, forjados, losas, placas...

Materiales que trabajan bien a flexión: madera, acero, hormigón armado.



Notas

**D) CORTANTE**

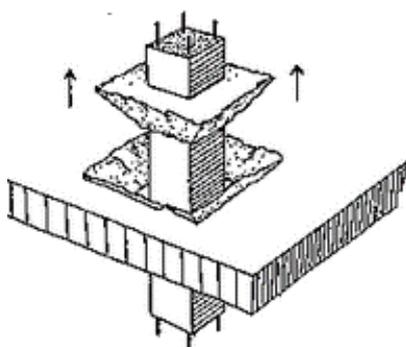
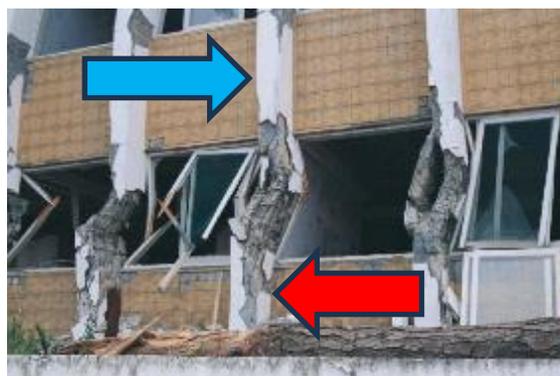
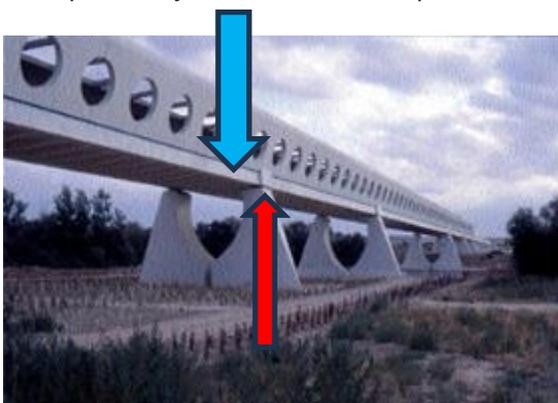


Solicitud a la que se ve sometido un elemento estructural cuando se aplica sobre él **fuerzas opuestas y perpendiculares al eje de la pieza**, que tienden a “**cizallarla**”. Produce el seccionamiento de la pieza.

Los elementos donde se producen habitualmente este tipo de esfuerzos son, entre otros: apoyos de vigas, forjados, losas; pilares en el caso de terremotos

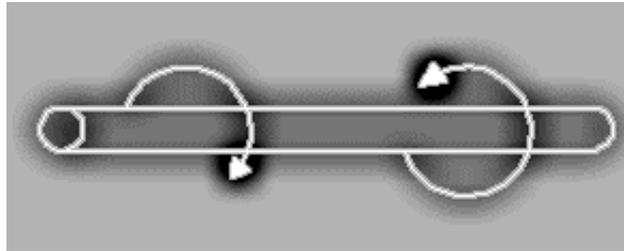
Los sismos provocan estos esfuerzos cortantes, normalmente en los pilares de planta baja.

Materiales que trabajan bien a cortante: piedra, madera, acero, hormigón armado.



Notas

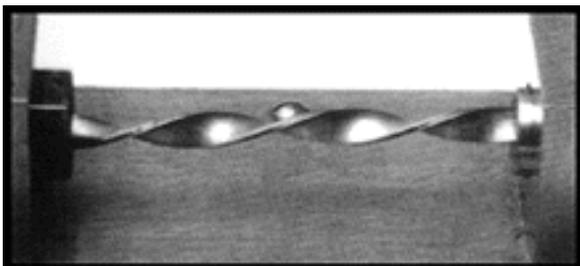
### E) TORSIÓN



Solicitación a la que se ve sometido un elemento estructural cuando se aplican en sus extremos **dos fuerzas opuestas que tienden a hacerlos girar en sentidos opuestos**. Produce la torsión de la pieza.

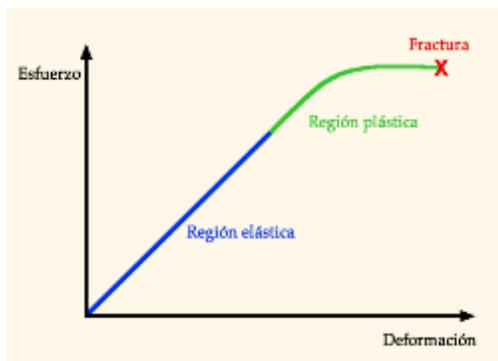
Los elementos donde se producen habitualmente este tipo de esfuerzos son, entre otros: Vigas o pilares con elementos en voladizo, piezas con alabeos...

Materiales que trabajan bien a torsión: madera, acero, hormigón armado.



Notas

#### 4 DEFORMACIONES



Las sollicitaciones van a provocar en los elementos estructurales una serie de **DEFORMACIONES**. Son estas deformaciones las que hacen que los elementos estructurales cumplan con su función al entrar en tensión. Estas deformaciones son las siguientes:

- **ELÁSTICA**
- **PLÁSTICA**
- **FRACTURA**
- **DEFORACION REOLÓGICA**
- **DEFORMACIÓN VISCOSA**

##### A) ELÁSTICA

Aquella deformación en la cual el elemento **recupera totalmente la forma inicial** una vez ha cesado el esfuerzo que la provocó. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, en el forjado de un aula, cuando los alumnos entran el forjado flexa y desciende muy ligeramente, pero cuando esos alumnos abandonan el aula el forjado recupera su posición original. Esta es la deformación más habitual.



Notas

### **B) PLÁSTICA**

Aquella deformación en la cual el elemento **NO recupera totalmente la forma inicial** una vez ha cesado el esfuerzo que la provocó. Queda una deformación remanente. En arquitectura es una deformación poco frecuente. Determinados apoyos en rótulas se calculan a veces en este régimen plástico.



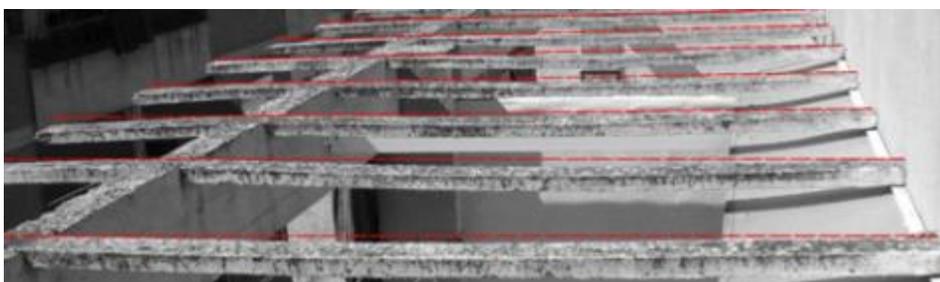
### **C) FRACTURA**

Aquella deformación incompatible con material que produce la **rotura** y/o **colapso** del elemento.



### **D) DEFORMACIÓN REOLÓGICA**

Aquella deformación que sufre un elemento estructural cuando se encuentra sometido a **un esfuerzo prolongado en el tiempo (fluencia)**.



Notas

### E) DEFORMACIÓN VISCOSA

Aquella tendencia que tiene un elemento estructural o un material a **deformarse de forma permanente bajo la influencia de la presión**. Ocurre cuando los materiales no pueden asumir esfuerzos cortantes “prolongados” en el tiempo.



### 6 CASO DE ESTUDIO



PUENTE TACOMA NARROW (L.S. MOISSEIFF 1940)



PUENTE DEL MILENIUM (N. FOSTER 2000)

El puente de Tacoma, debido a los vientos, fue afectado por un fenómeno, similar a la resonancia, que originó un desplazamiento lateral alternativo que acabó con su colapso y caída. El puente del Milenio, también entró en resonancia debido al tránsito de personas lo que provocó que las vibraciones y movimientos fuesen incompatible con una utilización segura. Son casos de deformaciones en edificios que las hacen incompatibles con su uso.

### Notas

**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
COMPRESIÓN	
CORTANTE	
CTE	
DEFORMACIÓN ELÁSTICA	
DEFORMACIÓN PLÁSTICA	
DEFORMACIÓN REOLÓGICA	
DEFORMACIÓN VISCOSA	
FLECHA	
FLEXIÓN	
FRACTURA	

**Notas**

JUNTA DE DILATACIÓN	
LUZ	
MOMENTO	
POSTESADO	
PRETENSADO	
LUZ	
RETRACCIÓN	
SOBRECARGA DE USO	
SOLICITACIÓN	
TORSIÓN	
TRACCIÓN	

**Notas**

**Notas**

## LECCION 3. EL SUELO Y LA CIMENTACIÓN.

### 1 INTRODUCCIÓN

### 2. EL SUELO

### 3. EL ESTUDIO GEOTÉCNICO.

### 4. ELECCION DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN.

### 5. TIPOS DE CIMENTACIÓN

5.1 Superficiales.

5.2 Profundas.

5.3 Contenciones.

### 6. EJECUCION DE LA CIMENTACIÓN.

6.1 Labores previas

6.2 Replanteo.

6.3 Excavación.

6.4 Montaje armadura y hormigonado.

### 7. CASO DE ESTUDIO.

Casa Kaufmann. (Casa de la Cascada)

Frank Lloyd Wright. 1936

### 8. VOCABULARIO DE LA LECCION.



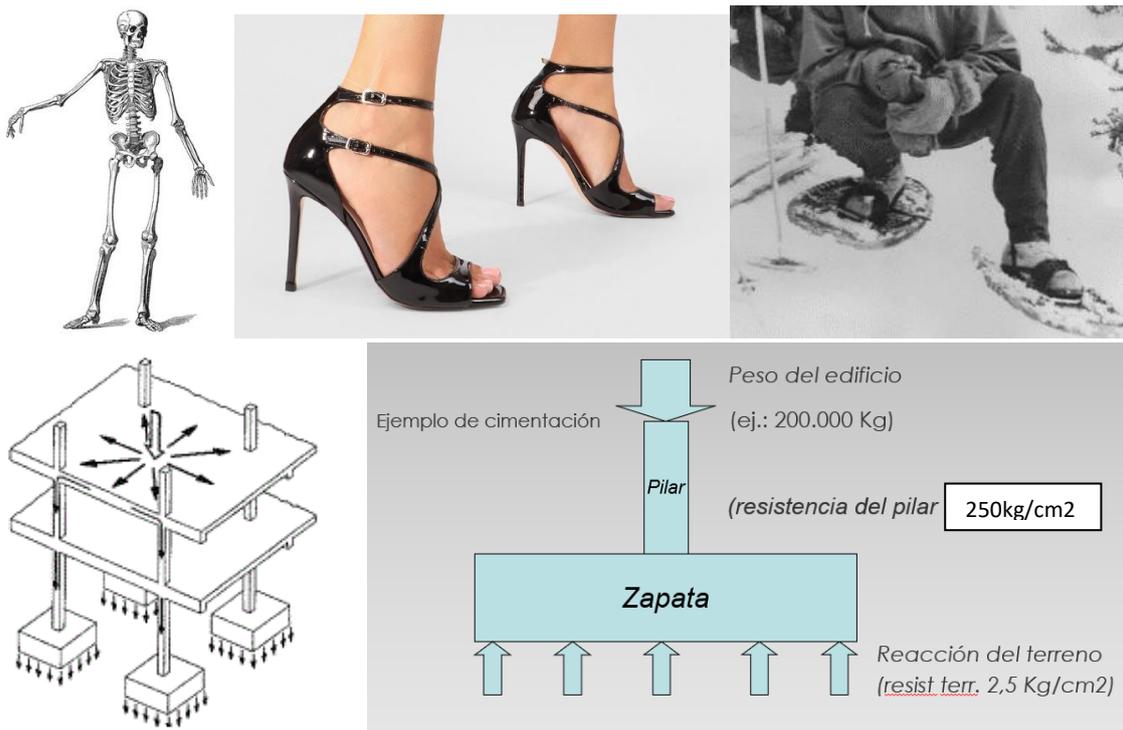
### 1. INTRODUCCIÓN

#### Notas

Todos los edificios necesitan apoyarse en el suelo que ocupan, de modo que éste contrarreste la acción ejercida sobre él y ambos formen un **sistema en equilibrio**. El edificio transmite a través de su estructura algunas fuerzas verticales como su peso propio y su posible sobrecarga: mobiliario, personas, nieve, etc. y algunas horizontales como la fuerza del viento o la acción de un sismo. La **reacción del terreno** frente a estas fuerzas tiene que ser del mismo valor, pero de sentido contrario.

La parte del sistema estructural del edificio encargada de transmitir las cargas al terreno es la cimentación. Es la parte final de la estructura, la que se encuentra más abajo y en contacto con este. Podríamos decir que la cimentación son los pies del edificio. Tenemos muchos tipos de edificios distintos y muchos tipos también de suelos distintos. En función de las características de ambos tendremos que diseñar un tipo de cimentación u otro.

La capacidad portante del suelo es muy inferior a la de los elementos estructurales por lo que la cimentación aumenta considerable de tamaño para no sobrepasar dicha capacidad. Indefectiblemente el suelo se comprime levemente bajo el peso del edificio, es lo que se denomina **asiento**, al igual que se comprime bajo nuestros pies y por eso dejamos una huella en la tierra. Cuando todos los elementos de cimentación de un edificio asientan homogéneamente no hay ningún problema, el problema es cuando por diversos motivos existe un asiento diferencial entre elementos, en ese caso pueden producirse serios problemas en el edificio. (fig 2).



## 2. EL SUELO

### Notas

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

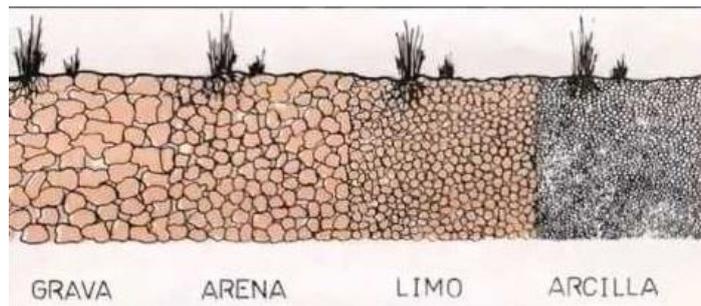
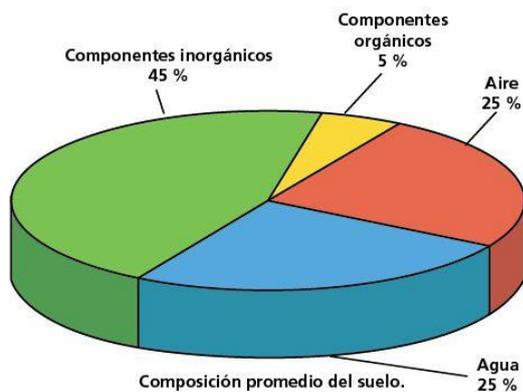
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



Existen muchos tipos de suelos, desde el punto de su **capacidad resistente**, desde el punto de vista de su **composición física y química**, y desde el punto de vista del **contenido de humedad**. Esta variedad va a condicionar el tipo y la dimensión de la cimentación a utilizar. Existen suelos muy duros y de gran capacidad resistente como los rocosos y algunos menos resistentes pero muy habituales como las arenas o arcillas. Existen, por otro lado, suelos secos y suelos húmedos, suelos con humedad cambiante e incluso algunos que se encuentran por debajo del nivel freático y por tanto cuentan con un alto grado de humedad.

Los tipos principales de suelos que podemos encontrarnos están compuestos por: **grava, arena, limo y arcilla**; y en ocasiones también vetas de **roca**. La mayor parte de los suelos naturales se componen de la mezcla de dos o más de estos elementos y pueden contener por añadidura material orgánico parcial o completamente descompuesto. A las gravas y las arenas se les llama suelos de grano grueso, y a los limos y a las arcillas suelos de grano fino. La distinción radica en que puedan diferenciarse las partículas a simple vista. Por regla general el suelo se compone de estratos horizontales de distinta naturaleza y por tanto con cualidades distintas. Podemos encontrarnos un suelo que de arriba hacia abajo este formado por ejemplo por tierra vegetal, gravas, arcillas, rocas, etc. a medida que profundizamos.



### 3. EL ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Del mismo modo que no utilizamos el mismo calzado para dar un paseo, senderismo por la montaña, o esquiar, la cimentación de nuestro edificio será distinta dependiendo del terreno el que situé. Eso quiere decir que para diseñar esta cimentación tendremos que conocer previamente algunos datos del terreno en el que se va a ubicar. Para esto, previamente al proyecto de ejecución del edificio se redacta el Estudio Geotécnico, **obligatorio** según nuestro vigente Código Técnico de la Edificación.

Notas

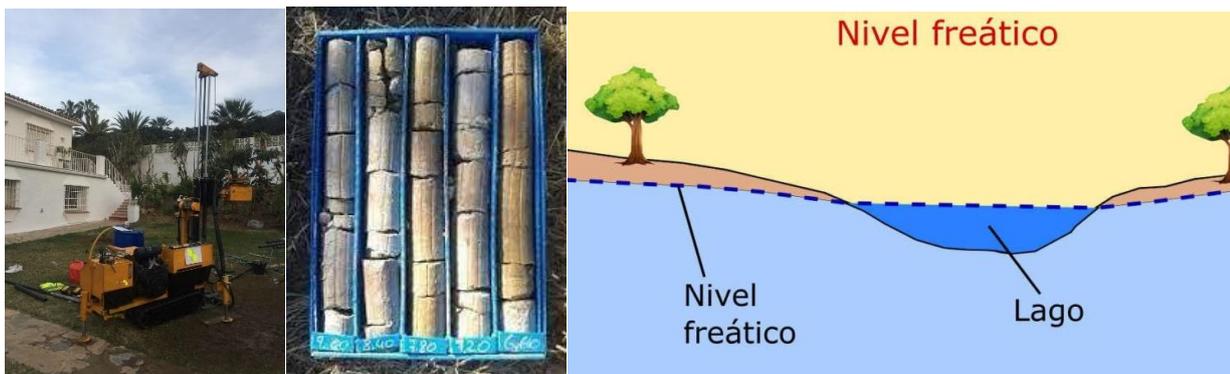
El Estudio geotécnico es un **documento técnico** suscrito habitualmente por geólogos o ingenieros de Caminos que nos permite determinar las siguientes características del suelo:

1. **Capacidad portante** del terreno en cada uno de sus estratos. N/mm<sup>2</sup>
2. **Naturaleza** de los estratos (grava, arena, etc) y características fisicoquímicas de cada uno.
3. **Grado de humedad** del terreno, existencia y nivel freático, características químicas del agua.

Para obtener estos datos, se realizan principalmente dos tipos de ensayos en la parcela objeto del proyecto que se complementan con el trabajo posterior en el laboratorio:

1. **Ensayos de penetración:** se realiza con un instrumento llamado penetrómetro dinámico y nos aporta la capacidad portante del terreno en cada uno de sus estratos.
2. **Calicatas y Sondeos:** Consisten en la extracción por distintos medios de una porción de terreno determinada y nos aporta las características fisicoquímicas del terreno y la naturaleza de los estratos.

Con ambas pruebas se puede determinar el nivel freático.



Penetrómetro dinámico, muestras de un sondeo y esquema del nivel freático en un corte de terreno

#### **4. ELECCION DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN.**

Todos estos datos obtenidos con las pruebas realizadas en la parcela se plasman en el estudio geotécnico, el cual que tiene como conclusión una **recomendación sobre el sistema o sistemas de cimentación** a utilizar, aunque la decisión y la responsabilidad última son del arquitecto que redacta el proyecto. La solución de cimentación a adoptar tendrá que ser la más eficaz, es decir será más económica dentro de las técnicamente viables.

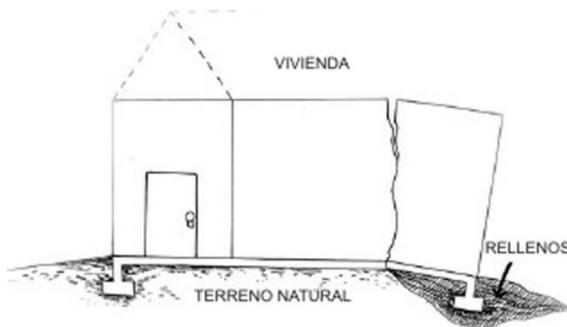
#### **Notas**

La recomendación del geotécnico nos dirá:

- **Tipo/tipos** de cimentación a utilizar.
- Elección del **firme** apropiado: cota del plano interno del terreno sobre el que se cimenta.
- **Medidas complementarias** necesarias: hormigones especiales, aditivos, etc.

La adopción del sistema apropiado y su correcto dimensionamiento permitirá evitar los posibles **problemas** que pueden aparecer en las cimentaciones los cuales en ocasiones son muy complejos y costosos de resolver.

- Asientos diferenciales
- Descalces de la cimentación.
- Daños en la cimentación por componentes agresivos
- Desplazamientos de la cimentación por arcillas expansivas.



## 5. TIPOS DE CIMENTACION

Habitualmente los elementos que forman la estructura de los edificios y de los que hablaremos en las lecciones sucesivas: pilares, muros de carga, etc. soportan importantes tensiones, muy superiores a las que puede soportar el terreno sobre el que se asientan. Es por esto por lo que en la zona de contacto entre ambos tiene que aparecer una parte singular del sistema estructural que sirva de transición. La cimentación se fundamenta en aumentar la superficie del elemento que transporta la carga de modo que esta se reparta en una superficie mayor de terreno y así este no se vea sobrepasado en su tensión máxima admisible. Las cimentaciones pueden ser muy variadas en función de cuatro factores fundamentales.

### Notas

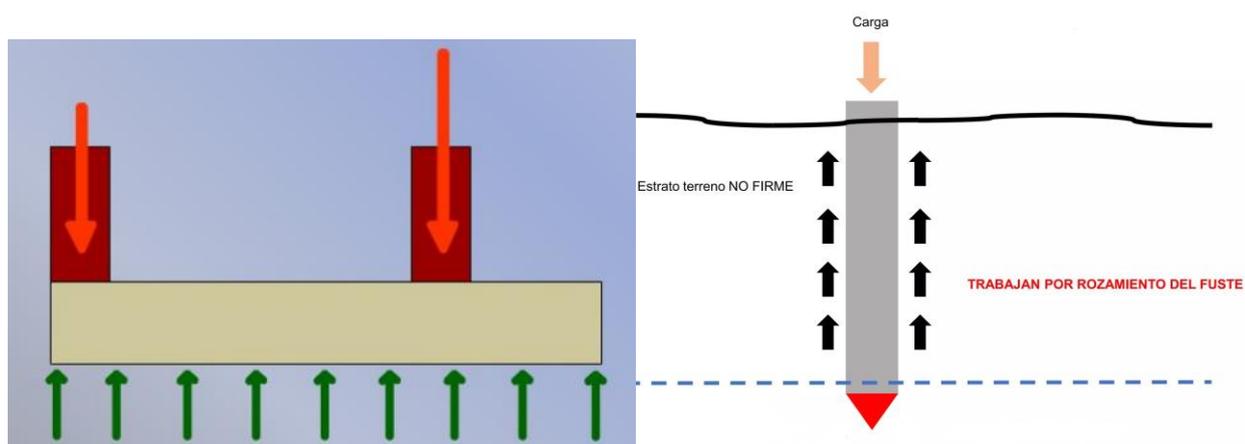
1. El tipo de terreno.
2. El peso del edificio.
3. La existencia o no de sótano/sótanos.
4. Factores ajenos a nuestro proyecto como la posibilidad de sismos, la existencia de edificios colindantes, el paso del metro, la existencia de bodegas, yacimientos arqueológicos, etc.

Previamente al siglo XX las cimentaciones bajo muros y pilares se ejecutaban mediante la construcción de zanjas de piedras de distintos tamaños habitualmente unidas por argamasa. Algunas cimentaciones podían contar también con piezas de madera hincadas en el suelo. En la actualidad la práctica totalidad de las cimentaciones se ejecuta en **hormigón armado**, que es un material que aúna su alta capacidad resistente, con un coste moderado y un buen envejecimiento.

Hemos adelantado en la introducción que la misión de la cimentación es distribuir la carga que descende por el sistema estructural para que sea capaz de ser soportada por el suelo y se forme un sistema en equilibrio. Este equilibrio entre cimentación y suelo se consigue de dos modos fundamentales:

Por **oposición** directa de cargas.

Por **rozamiento**.

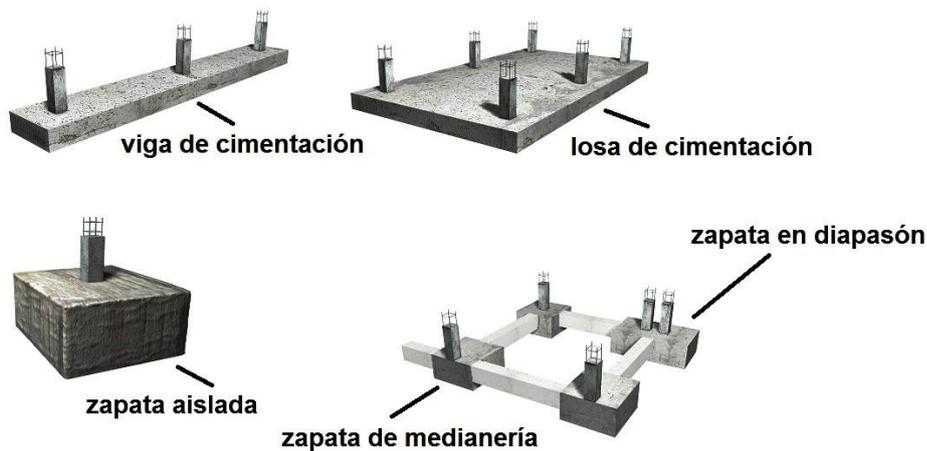


De modo simplificado podemos diferenciar cimentaciones superficiales, profundas y contenciones.

### 5.1 Cimentaciones superficiales

Son cimentaciones que se sitúan sobre el firme, habitualmente a poca profundidad con respecto a la cota superior del suelo. Se fundamentan en aumentar la superficie del elemento estructural para distribuir la carga de modo que sea tolerable por el terreno. Es decir, funcionan por oposición directa de cargas. Su forma y tamaño depende de la tipología del elemento estructural que les llega (muros o pilares) y de la capacidad portante del terreno.

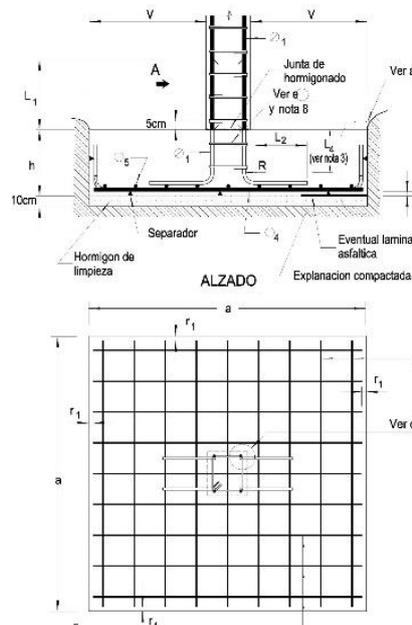
#### Notas



Podemos encontrar los siguientes tipos de cimentaciones superficiales.

**Zapatas aisladas.**

Reciben cargas puntuales de pilares, pueden ser **centradas o descentradas**, dependiendo de la posición del pilar con respecto a la zapata y pueden llevar elementos de unión entre ellas como vigas de atado o vigas centradoras.



**Zapatas Corridas**

Suelen recibir cargas lineales de muros tanto de piedra, como de ladrillo como de hormigón armado, también pueden unir líneas de pilares.

**Notas**

[Empty rounded rectangular box for notes]



**Losas de cimentación:**

Se utilizan cuando la capacidad portante del terreno es muy pequeña, funcionan como si todo el edificio fuese una gran zapata. Puede recibir cargas tanto de pilares como de muros.

- Planas.
- Nervadas.
- Cajones flotantes.



**5.2 Cimentaciones profundas: Pilotes.**

Cuando no es posible tener un firme apropiado para cimentar o este está tan profundo que la cimentación sobre el pudiera ser costosa o técnicamente compleja se puede adoptar la cimentación por pilotes. Cada pilote o grupos encepados de pilotes se sitúan bajo los pilares o muros de carga y el equilibrio de cargas con el terreno se consigue fundamentalmente mediante el **rozamiento** entre la superficie del pilote y el terreno,

**Notas**

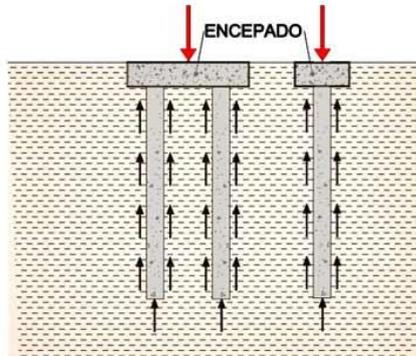
## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

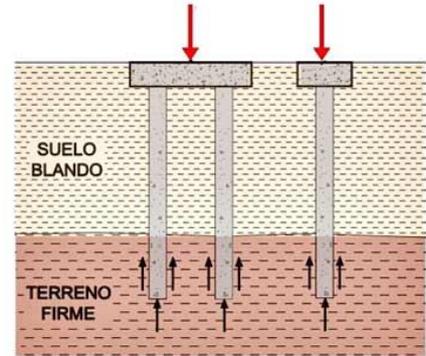
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



y también trabajando **en punta** cuando los pilotes pueden llegar a estratos muy resistentes. Pueden ser de hormigón armado o de acero.



PILOTES POR FUSTE



PILOTES POR PUNTA

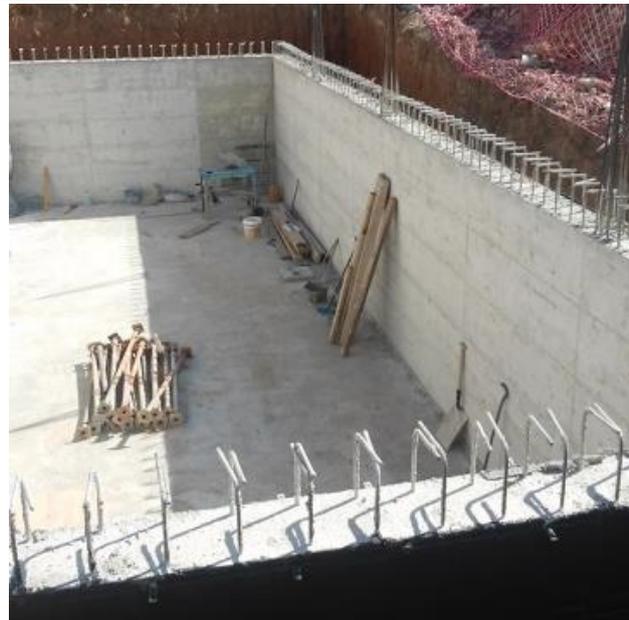
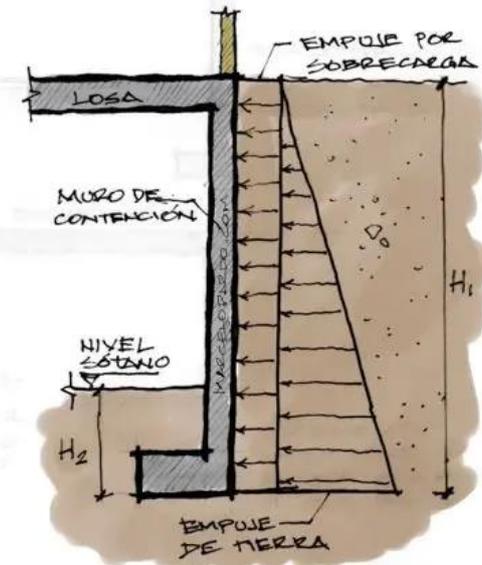
### 5.3 Contenciones:

Si el edificio tiene uno o varios sótanos además es necesario disponer elementos de contención de las tierras perimetrales al vaciado. Estos también forman parte del sistema de cimentación y se pueden combinar con los sistemas vistos de cimentación. Los más importantes son.

#### Muro de Sótano.

Se trata sistema de contención más sencillo de ejecutar. Se realizan muros de hormigón **armado encofrado a dos caras o a una cara** dependiendo de su situación y se utiliza cuando tenemos poca profundidad de excavación, uno o dos sótanos como máximo. Precisa bajo sí de una zapata corrida que suele estar descentrada para contrarrestar el vuelco del empuje provocado por las tierras a contener. Es importante señalar que al contrario que el sistema de muro pantalla que se verá a continuación es preciso excavar el sótano previamente a ejecutar el muro, lo que puede ser problemático cuando tenemos edificaciones colindantes. Cuando se ejecuta contra el terreno suele hacerse por tramos alternos para evitar desprendimientos: **ejecución por bataches**.

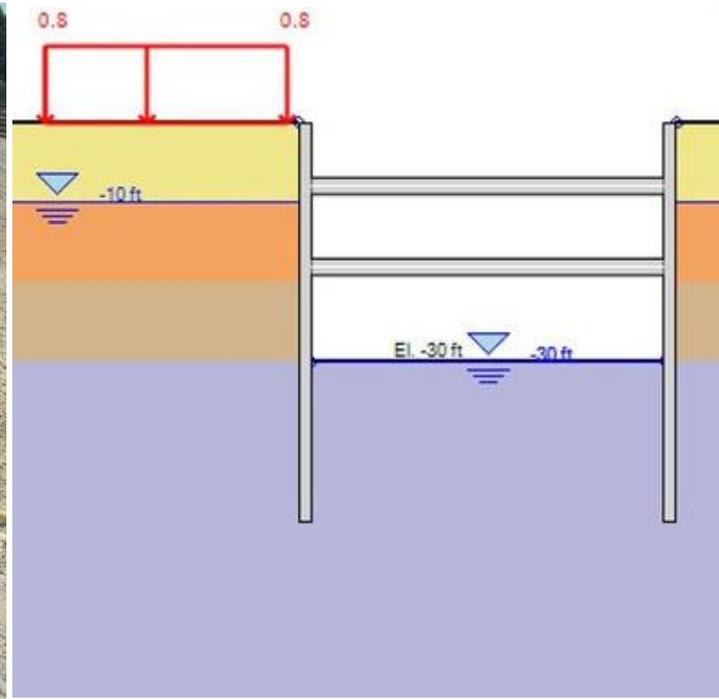
### Notas



Notas

**Muro Pantalla.**

Se utiliza para vaciados más profundos o en perímetros problemáticos y se realiza **previamente al vaciado** de los sótanos. No tiene zapata corrida bajo el muro. Este se hinca en el terreno (por lo que tiene más altura que la del vaciado). Trabaja a flexión conteniendo el terreno y por rozamiento lo que le permite soportar cargas verticales añadidas. Al no tener encofrados (es el propio terreno) la cara vista en la zona del vaciado es irregular y necesita tratarse. Puede realizarse un muro continuo de hormigón armado o pantallas de pilotes de hormigón



**Notas**

## 6. EJECUCION DE LA CIMENTACIÓN.

Una vez conocidas las características del suelo donde se va a asentar la cimentación y redactado el proyecto de ejecución donde entre otras cosas se ha definido el tipo de cimentación, se está en disposición de comenzar la obra. La primera tarea en el solar es la **preparación del terreno** (si es necesaria) para proceder al posterior **replanteo** de la cimentación.

Dependiendo del terreno que tengamos es posible que tengamos que llevar a cabo alguna o varias de las siguientes intervenciones para conseguir un plano limpio y horizontal donde replantear la posición de los distintos elementos de cimentación.

### 6.1 Labores previas.

**Catas arqueológicas.** catalogación de lo encontrado y decisión sobre intervención: volver a enterrar o preservar el espacio sobre el elemento arqueológico.

**Demolición de preexistencias:** viviendas a demoler, arboles, grandes piedras, etc

**Desbroce.** Eliminación de la capa superficial vegetal que suele haber en los solares.

**Nivelación (desmante o terraplén).** movimiento de tierras en planos inclinados para conseguir un plano horizontal.

**Saneado de zonas no aptas.** Eliminación de bolsas de escombros y rellenos no compactados.

**Apeos de elementos cercanos:** viviendas colindantes, viales anexos, elementos protegidos (fachadas).

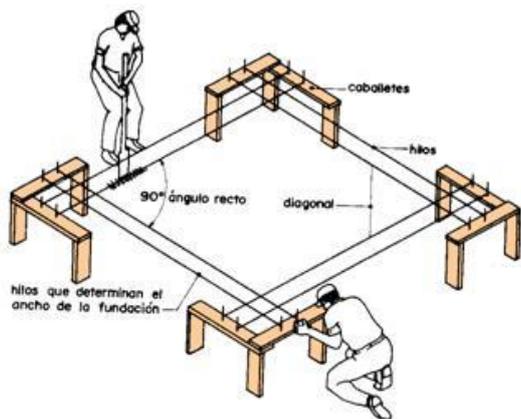
**Relleno y Compactación:** aporte de terreno y compactado para aumentar su capacidad portante



Notas

### 6.2 Replanteo de la cimentación

Traslado de la geometría del sistema de cimentación planteado en proyecto del plano al terreno, mediante camillas o caballetes, hilos de referencia, y pintado con cal. Para lo cual se utiliza diversos instrumentos de medición: escuadras, Cintas métricas, plomadas, niveles, laser, GPS, etc.



### 6.3 Excavación.

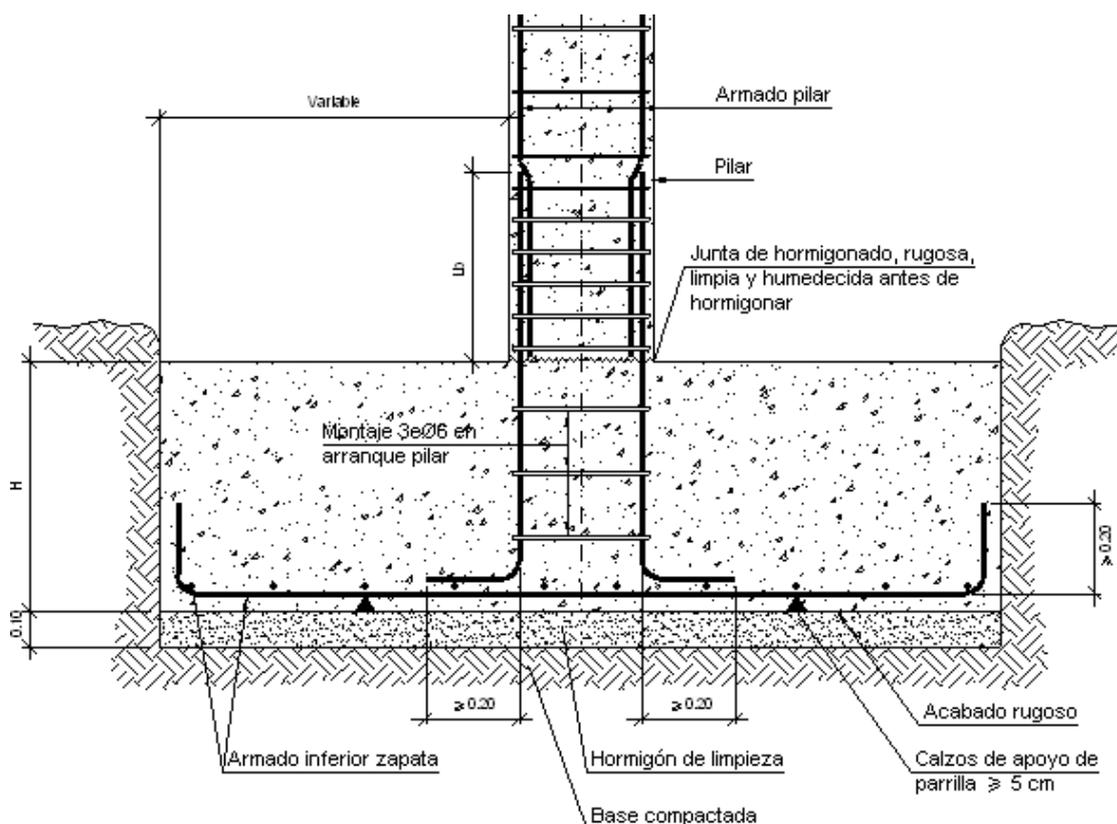
Consiste en la eliminación del terreno necesario para posteriormente hormigonar la cimentación. Dependiendo del tipo de terreno y de cimentación se puede excavar directamente y utilizar el propio terreno como encofrado o pueden precisarse encofrar en terrenos disgregados, además pueden ser necesario llevar a cabo otras operaciones especiales como inyecciones de conglomerantes o congelación del terreno.



### Notas

### 6.4 Montaje de la armadura y hormigonado

Una vez obtenido el vaciado del espacio que va a ocupar la cimentación, se vierte una pequeña capa de hormigón de limpieza de unos 10 cm que permite asentar “limpiamente” la armadura, se colocan unos separadores con respecto a este hormigón (pobre en cemento) y después se vierte el hormigón estructural en la totalidad del hueco del elemento vibrando la mezcla para eliminar bolsas de aire.



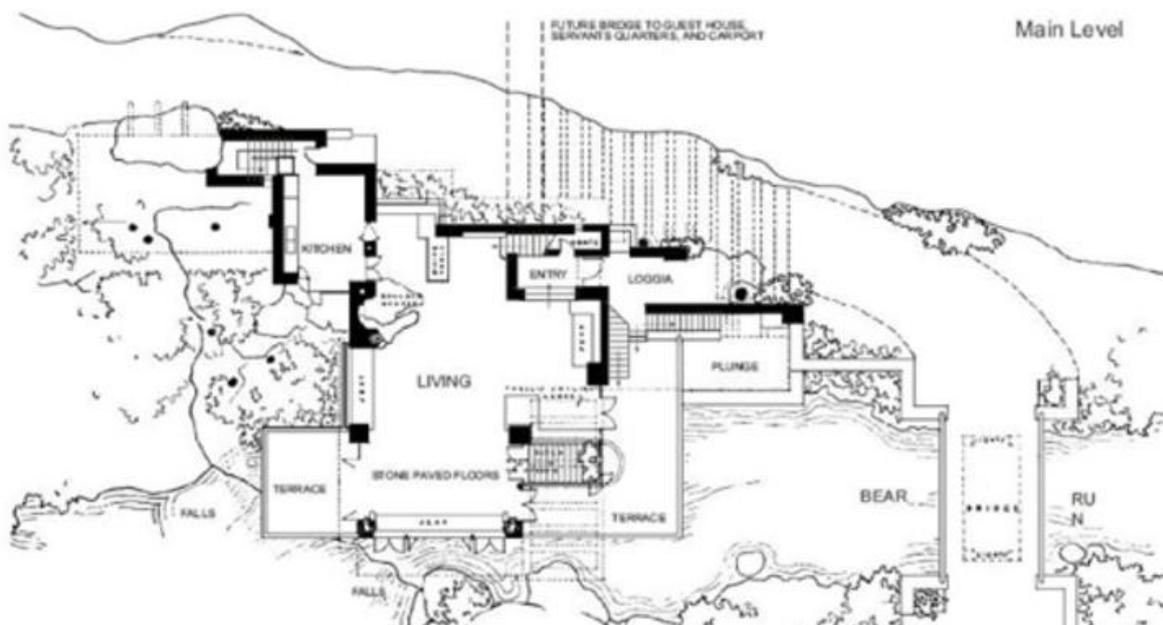
### Notas

## 7. CASO DE ESTUDIO.

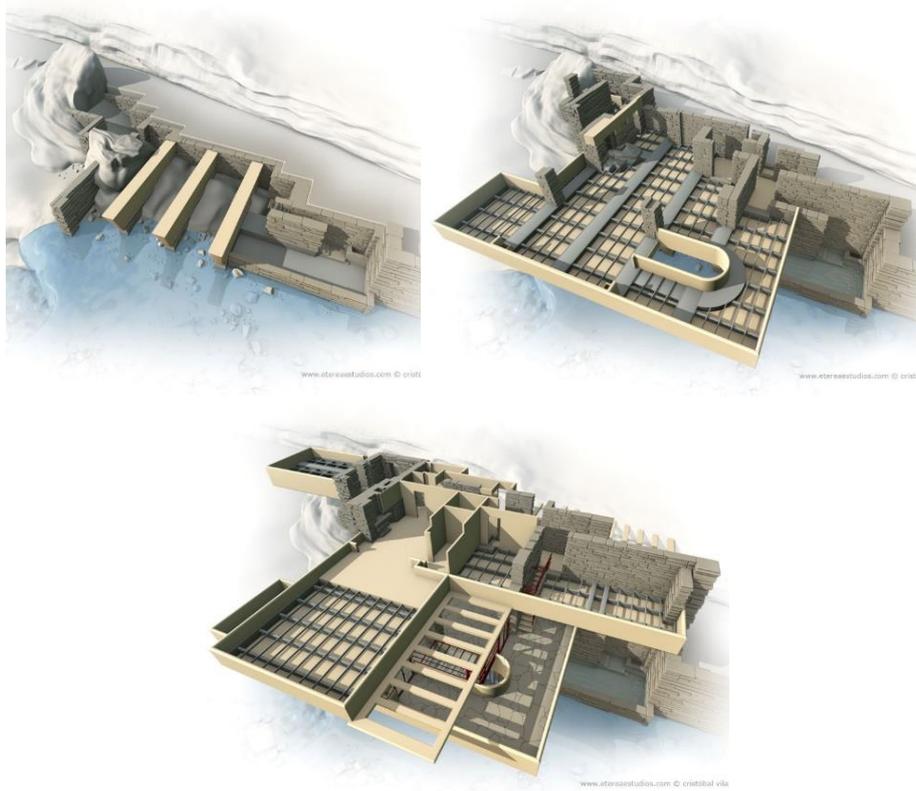
### Casa Kaufmann. (Casa de la Cascada) Frank Lloyd Wright. 1936

En ocasiones los arquitectos ponen en crisis la habitual búsqueda del terreno más apropiado para construir. Para conseguir un efecto espectacular, como en esta Vivienda de Wright, una de las más importantes del siglo XX. El arquitecto norteamericano elige para la ubicación de la vivienda la orilla del río (uno de los peores sitios desde un punto de vista de la cimentación): agua constante, terreno con poca capacidad portante, dificultad para ejecutar la obra, etc.

La cimentación de la vivienda se resuelve mediante zapatas corridas. Está formada por muros de contención del terreno construidos en piedra y muros de carga perpendiculares a estos de hormigón en los que descansa la estructura de la vivienda también de hormigón armado. El gran peso de la parte de la estructura que Wright coloca sobre el terreno, le permite construir enormes voladizos sobre el río, como una canasta de baloncesto que tiene mucho peso en su parte inferior y eso le permite volar la parte del aro sobre la pista.



### Notas



**Notas**

**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
ÁRIDO	
ASIENTO	
BANCADA	
BATACHE	
CAMILLA	
CALICATA	
COTA	
DESCALCE	
DESMONTE	
DRENAJE	
ENCACHADO	

**Notas**

ENTIBACIÓN	
FIRME	
LECHO	
LEVANTAMIENTO	
LOSA	
MURO PANTALLA	
NIVEL	
NIVEL FREÁTICO	
PILOTE	
RECALCE	
REPLANTEO	
TERRAPLÉN	

**Notas**

## LECCION 4. MUROS DE CARGA.

### 1 INTRODUCCIÓN

### 2. MUROS DE PIEDRA

2.1 Muros de mampostería

2.2 Muros de sillería

### 3. MUROS DE TIERRA CRUDA

3.1 El tapial

3.2 El adobe

3.3 Nuevos productos en tierra cruda

### 4. MUROS DE ARCILLA COCIDA (EL LADRILLO).

### 5. MUROS MIXTOS

### 6. MUROS ENTRAMADOS

### 7. MUROS DE HORMIGÓN.

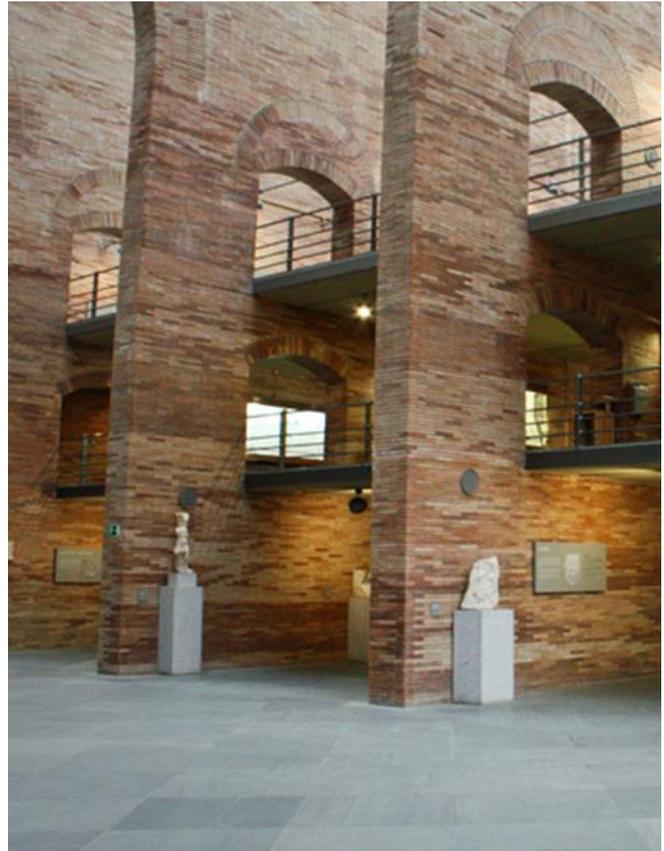
7.1 Hormigón in situ.

7.2 Bloques de hormigón.

### 8. CASO DE ESTUDIO.

Museo Romano de Mérida

Rafael Moneo. 1986



### Notas

## 1 INTRODUCCIÓN

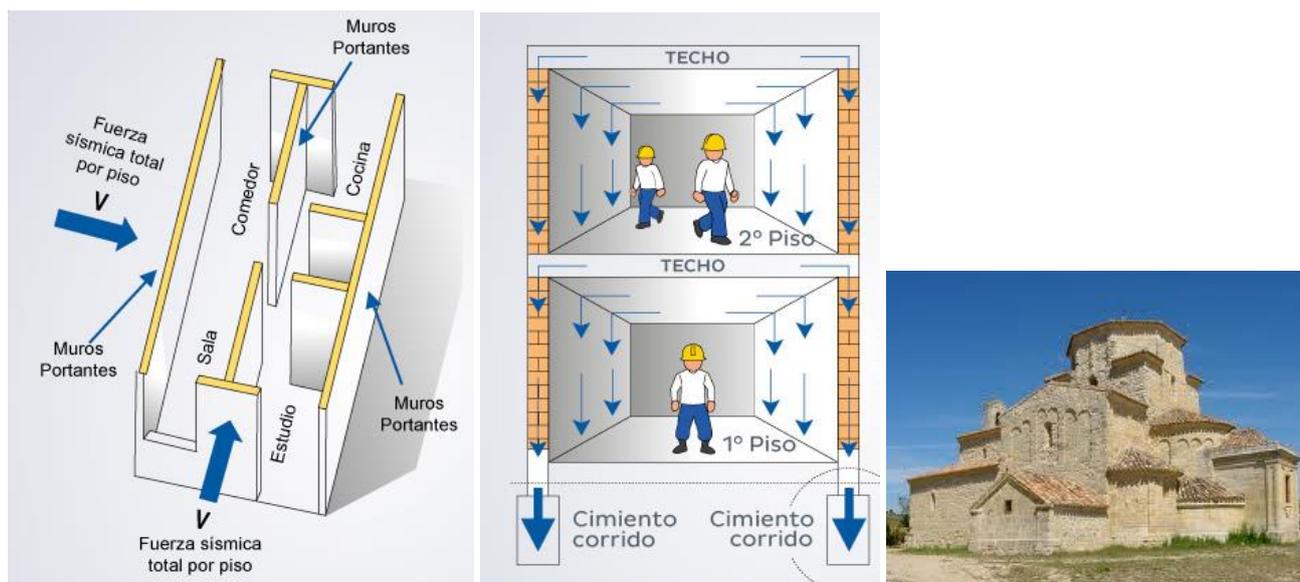
El sistema estructural de muros de carga, muros portantes o muros estructurales ha sido uno de los primeros utilizados en arquitectura. Se trata de un sistema de sustentación superficial vertical que se apoya habitualmente sobre zapatas corridas.

Hasta la llegada del hormigón armado, han podido soportar exclusivamente tensiones a compresión y eso ha implicado un habitual **sobredimensionamiento** con respecto a su capacidad máxima de carga para poder vencer empujes laterales de viento o sismo. Por eso la arquitectura construida con muros de carga ha sido fundamentalmente pesada, de no mucha altura y con huecos pequeños. La arquitectura románica es un claro ejemplo de ello.

Pueden ser continuos o formados por la adición piezas más pequeñas en lo que se denomina fábrica o aparejo. Pueden ser también homogéneos en su composición o heterogéneos si están contruidos con distintos materiales.

En la arquitectura construida con muros de carga estos muros cumplen dos funciones a la vez:

- Cerramiento
- Sustentación



El diseño y la construcción de los muros **evolucionan** a lo largo de la historia hacia soluciones que optimizan el uso del material, sin comprometer la seguridad estructural, en un camino que llega hasta los muros entramados como elemento precursor del sistema porticado, que veremos en la siguiente lección, donde las tensiones estructurales viajan por elementos lineales en vez de por elementos superficiales. (este es uno de los fundamentos del paso del Románico al Gótico). Esta **optimización del material** nos permite hacer esta

### Notas

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



clasificación que tiene también una correspondencia más o menos cronológica con la evolución histórica de la arquitectura desde sus primeros tiempos.

Muros de sección rectangular

Muros de sección decreciente

- Ataluzados

- Escalonados

Muros con contrafuertes o estribos

- Contrafuertes rectos

- Contrafuertes escalonados

- Arbotantes

Muros entramados

(evolución hacia el Pórtico)



Notas

## 2. MUROS DE PIEDRA

El muro de carga de piedra ha sido uno de los más utilizados históricamente por la gran capacidad mecánica del material y una gran durabilidad. Podemos encontrar muros de apariencia muy diversa según el tipo de construcción, del tipo de piedra existente en la zona donde se ubica la edificación, tamaño y forma de las piedras, tipos de tallado, etc. Se trata de **muros de fábrica** al construirse el muro por la agregación de elementos más pequeños. Las piedras más comunes utilizadas son las **calizas, areniscas, granitos, mármol, pizarra, cuarcita**, etc. estas pueden colocarse más o menos trabajadas, y pueden ir directamente unas sobre otras (obra seca) o bien unidas con algún tipo de material auxiliar, fundamentalmente distintos tipos de morteros de cal (argamasa) o bien morteros de cemento.



### 2.1 Muros de mampostería

El muro de mampostería se fundamenta en la utilización de piedras mampuestas, que quiere decir “puestas con la mano” el nombre de esta variante de muros de piedra ya nos dice mucho de sus características:

Se utilizan piedras de **pequeño tamaño**

Se colocan **sin trabajar**, directamente como se encuentran o se extraen de la cantera

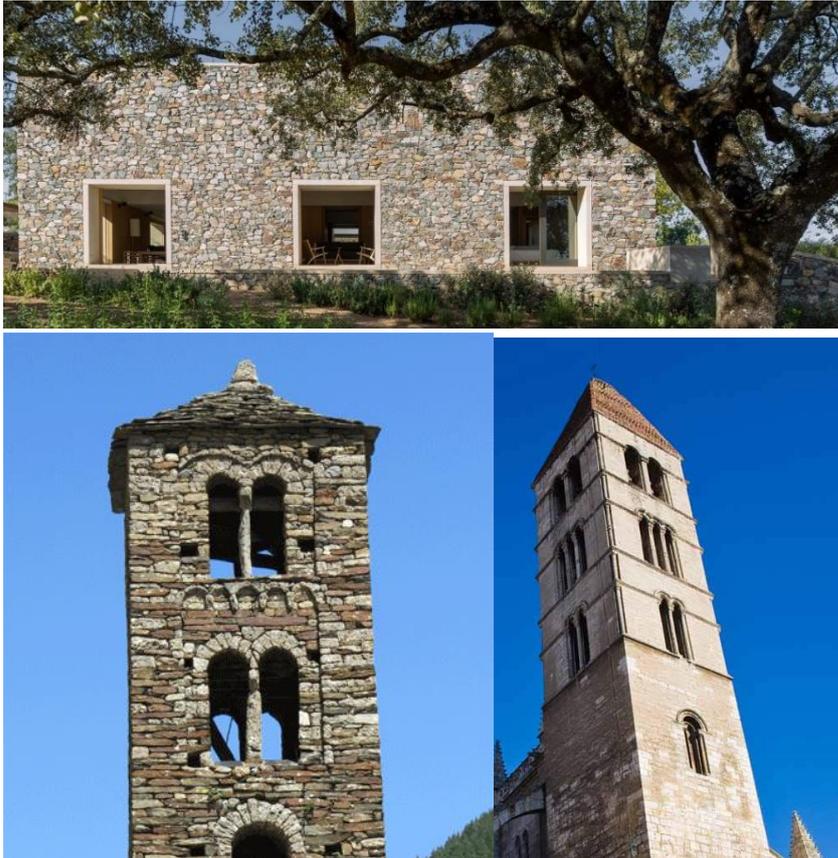
Al ser irregulares suelen precisar de elementos **aglomerantes**, argamasas.

Pueden ser **homogéneos o contar con relleno** de peor calidad en el interior

Pueden contar también con **piedras de mayor entidad** en zonas mas penalizadas como zócalos o esquinas.

Ha sido uno de los sistemas más económicos y sencillos de ejecutar muros de piedra por lo que se ha utilizado fundamentalmente en arquitectura más humilde como viviendas o cercados, aunque también existen ejemplos de edificios relevantes como templos, murallas o palacios, contruidos con mampostería.

### Notas



Variantes de muros de mampostería.

**Mampostería Ordinaria:** se ejecuta con un mortero de cal o de cemento. Las piedras deben adaptarse unas a otras lo más posible para dejar el menor porcentaje de huecos rellenos de mortero.

**Mampostería seca:** aquella en la que no se utiliza ningún mortero de unión entre las piedras, hay que escoger los mampuestos uno a uno para que el conjunto tenga estabilidad. Se emplean piedras pequeñas, llamados ripios, para acuar los mampuestos y rellenar los huecos entre estos.

**Mampostería careada:** es la fábrica de mampostería cuyos mampuestos se han labrado únicamente en la cara destinada a formar el paramento exterior. Los mampuestos no tienen formas ni dimensiones determinadas. En el interior de los muros pueden emplearse ripios, pero no en el paramento visto.

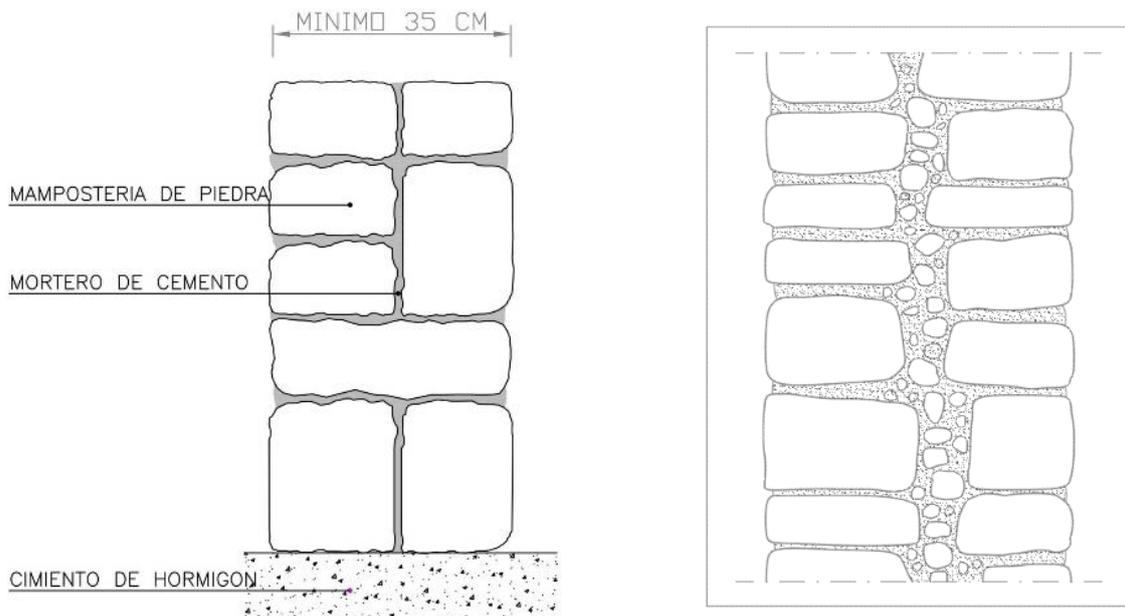
**Mampostería concertada:** es la fábrica de mampostería, cuyos mampuestos tienen sus caras de junta y de parámetro labradas en formas poligonales, más o menos regulares, para que el asiento de los mampuestos se realice sobre caras sensiblemente planas. No se admite el empleo de ripios y los mampuestos del paramento exterior deben prepararse de modo que las caras visibles tengan forma poligonal y rellenan el hueco que dejan los mampuestos contiguos.

**Notas**



Disposiciones constructivas

Los muros de mampostería pueden ser homogéneos en su sección o contener relleno de material de peor calidad.



Notas

## 2.2 Muros de sillería

Su nombre, “sillería”, también nos dice mucho de las características de las piedras que se utilizan para construir estos muros: los sillares. Se trata de piedras **labradas finamente** por varias de sus caras en forma de paralelepípedo cuya regularidad le permite “asentarse” perfectamente sobre otros sillares.

Por regla general se utilizan bloques de piedra de gran tamaño por lo que no pueden colocarse “a mano” como la mampostería y precisan **sistemas auxiliares** de elevación y puesta en obra.

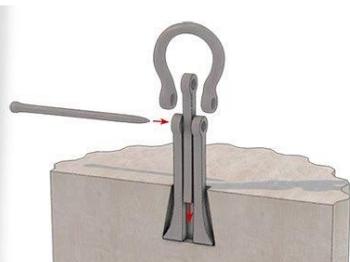
La fábrica de sillería se coloca por hiladas horizontales consecutivas de piedras de la misma altura, desplazando las piezas de la hilada superior de modo que juntas verticales sean discontinuas formando lo que se denomina **aparejo**. Las juntas entre piedras al estar perfectamente trabajadas son líneas. Las horizontales son continuas y se denominan **tendeles**, y las verticales, como hemos dicho, son discontinuas y se denominan **llagas**. Al ser piezas muy regulares pueden carecer de morteros de unión, aunque en ocasiones también se asientan sobre una capa fina de mortero.



Notas

**1. La castañuela romana**

Es un artilugio de hierro cuya función era el agarrar de los bloques de piedra para elevarlos y colocarlos en su lugar de destino dentro de la obra. Los romanos llamaban a este artilugio "holivela" o "lupa (loba)". La castañuela está compuesta de por tres piezas de hierro, una central y dos laterales en forma de cuña. Las tres piezas están unidas por un pasador y forman una especie de cola de milano. Al bloque de piedra se le hace una caja interna en la cara en la que se va a dejar la castañuela. Se introducen las dos piezas laterales y luego la central, se unen con el pasador y ya está listo para ser elevado con la grúa.



**Castañuelas**



**2. Espigas de elevación**



**2. Espigas de elevación**

A la hora de labrar la piedra, dejaban dos pretuberancias en cada extremo del bloque de piedra... Una vez colocado en su sitio, estos salientes se eliminaban cincelandos hasta igualar el lateral.

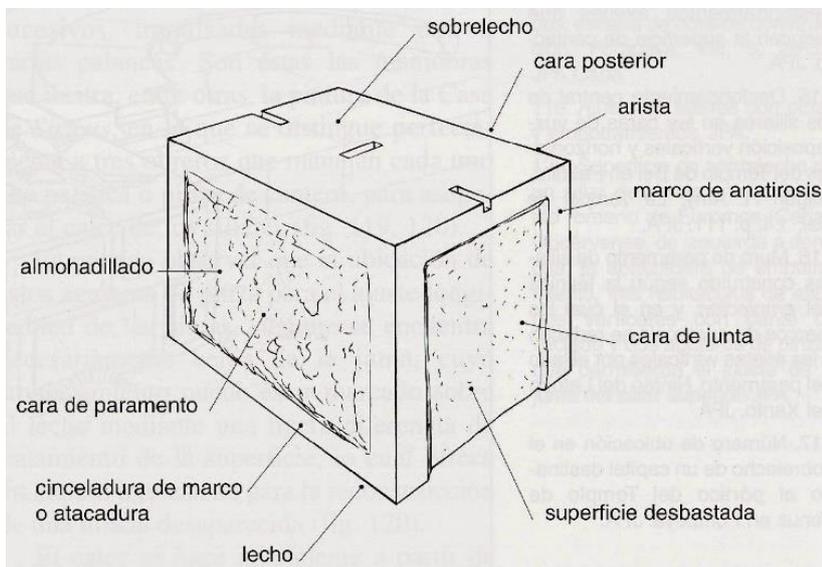
**3. La Zarpa**



**Zarpa**  
Cuanto más pesa, más aprieta

**3. La Zarpa**

Elevaba los sillares con cuerdas y poleas sujetos con unas tenazas. Este sistema era mucho más rápido y práctico que los anteriores. Se practicaba un pequeño agujero en cada lateral en los que se introducían los extremos de las tenazas evitando que se escurriese el sillar. Físicamente, el diseño se basa en que cuanto mayor es el peso, o sea el empuje hacia abajo, mayor es también la fuerza con que la garras aprieta lateralmente el bloque de piedra.



**Notas**

### 3. MUROS DE TIERRA CRUDA

En zonas donde no existe la piedra de calidad y traerlas de lejos resultaba muy costoso, nuestros antepasados tuvieron que aprender a construir con el único el material del que disponían de modo económico: la tierra que pisaban. Manipulada y mezclada de cierta manera fue suficiente para construir no solo humildes chozas y establos, sino importantes edificios civiles y religiosos o grandes murallas: la Alhambra, La ciudad yemení de Shibam, etc.... En la meseta castellana, sobre todo en la zona denominada “Tierra de Campos” entre las provincias de León, Valladolid y Palencia, la ausencia de piedra de calidad obligó a la utilización masiva de la tierra para sus construcciones, llegando muchas de ellas hasta nuestros días.

Sus cualidades más reseñables son.

1 Excelente comportamiento **térmico** debido a un bajo índice de conductividad térmica y gran inercia.

2 Excelente aislamiento **acústico**. Un acabado rugoso mejora aún la absorción acústica.

3 Incombustibilidad contra el **Fuego**.

4 **Económica y ecológica**. Generalmente se extrae la tierra cruda del lugar, minimizando el coste de adquisición y transporte de materiales. Al no precisar transformación, no requiere gasto de energía.

5 Excelente equilibrio de intercambio de **humedad interior - exterior**, proporcionando un interior saludable y beneficiosa para el ser humano.



Notas

### 3.1 El tapial

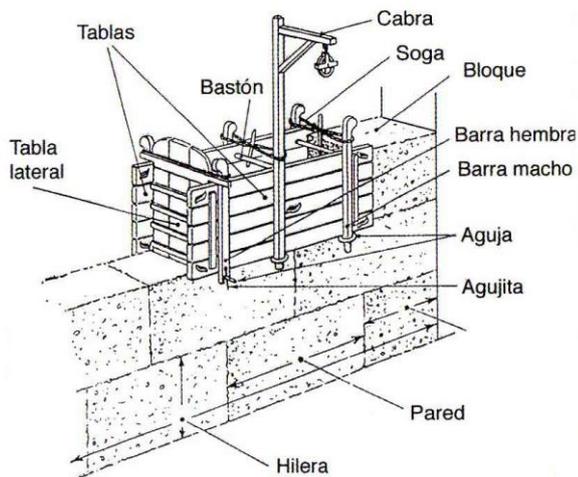
El tapial es una técnica de construcción con **tierra cruda seca** (aunque a veces se humedece ligeramente) mediante la ejecución in situ de bloques, denominados tapias de este material que se ejecutan con un **encofrado** de madera que se va montando y desmontando. Los distintos bloques de tapial se ejecutan como los aparejos desplazando los bloques de las “hiladas” superiores con respecto a las inferiores, pero el resultado es un muro de material continuo.

La tierra se va aportando en el interior de cajón por capas de 15-20 cm denominadas tongadas, que se van comprimiendo mediante el golpeo de un peso colocado en el extremo de un palo y que se denomina **pisón**. El pisado es imprescindible para dar compacidad al bloque que se está ejecutando y que este quede íntegro al retirar el encofrado. Se trata de un sistema muy sencillo que se puede ejecutar por solo dos personas, el que aporta y “pisa” la tierra en el interior del cajón, y el que le va suministrando la tierra desde abajo. No se precisa andamio ya que se puede subir por el propio muro como si fuese una escalera (ahora no está permitido hacer sin andamio por la normativa de seguridad vigentes). Las dos tablas del encofrado se sujetan en su parte inferior por dos agujas de hierro, por eso es muy común en esta fabricas terminadas ver estos orificios que se denominan **agujales** (dos por bloque) en todo el muro.

La muro de tapia o tapial es muy duradero si no le afecta el agua (existen tapias que tienen miles de años) por lo que en su ejecución se toman ciertas medidas para evitar que entre en contacto con esta en la medida de lo posible

- El **arranque** del muro o zócalo se suele realizar en piedra u otro material más resistente al agua para evitar el contacto de la tierra del muro con la humedad del suelo
- Las **superficies** verticales del muro, sobre todo la exterior, se protegen aplicando capas de barro (embarrados), o de cal (encalados) o de mortero (enfoscados).
- Los encuentros de **coronación** del muro se resuelven con elementos que cubran la parte superior del muro y que vuelen con respecto a la superficie vertical exterior, como albardillas, cornisas, etc.

### Notas



### 3.2 El adobe

El adobe es un **ladrillo de tierra sin cocer**. Se realiza con una masa de tierra arcillosa y agua, y suele contener **paja** para darle ligereza, evitar su fisuración al secarse y aportarle cierta flexibilidad. Se realiza en moldes de madera denominados **adoberas** donde se mezcla la masa, dejándose secar al sol y a la intemperie para su posterior puesta en obra. Sus dimensiones varían según las zonas, pero suelen aproximadamente de 40x20x10cm. Su uso es universal habiéndose utilizado desde hace milenios tanto en Asia como en África, Europa o América. Al igual que en el caso del tapial, su uso ha sido muy importante en la Tierra de Campos castellana.

Se deteriora fácilmente con el contacto con el agua, por lo que hay que tomar las mismas medidas de protección descritas para el tapial. Su técnica de construcción es como la de cualquier muro aparejado, se van ejecutando las distintas hiladas desde abajo hasta arriba, colocando los adobes y aparejándolos con barro o mortero.

#### Notas



### 3.3 Nuevos productos en tierra cruda

#### Bloque de Tierra Comprimida, BTC.

Es un ladrillo de tierra cruda comprimida **prefabricada industrialmente**. Cuenta con todas las cualidades vistas para los sistemas anteriores y con unos procesos rigurosos de control en su fabricación que aseguran la calidad del muro construido con esta tecnología. Tiene una amplia posibilidad de aplicación en edificación, ya sea para construir muros de cerramiento, muros de carga o muros que acumulen calor. También se pueden ejecutar arcos, bóvedas y cúpulas con los BTC. Sus dimensiones son variables según el fabricante, pero suelen ser de 15x15x30cm.

#### Notas



**Impresión 3D con tierra cruda.**

Se trata de una tecnología incipiente pero que cuenta cada vez con mas ejemplos y empresas especializadas. El sistema de construcción es el mismo que utilizan las **impresoras 3D** de plástico, pero a gran escala. Una gran impresora va suministrando un cordón de tierra arcillosa amasada que va ejecutando el edificio.



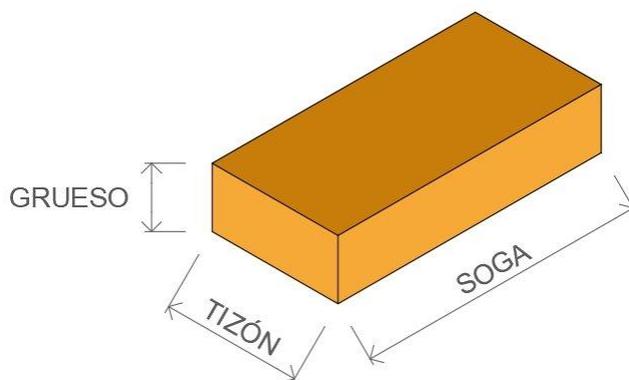
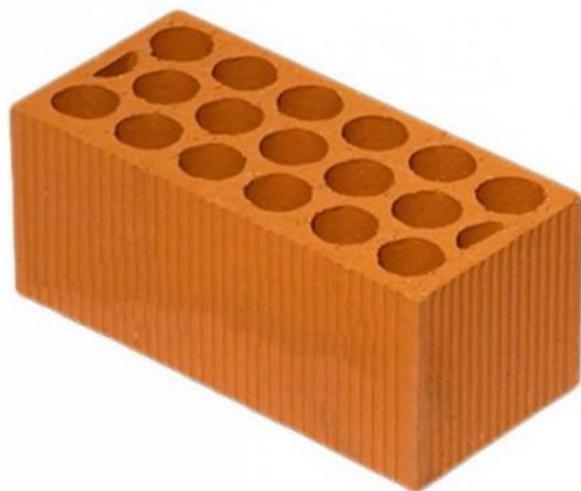
**Notas**

#### 4. MUROS DE ARCILLA COCIDA (EL LADRILLO).

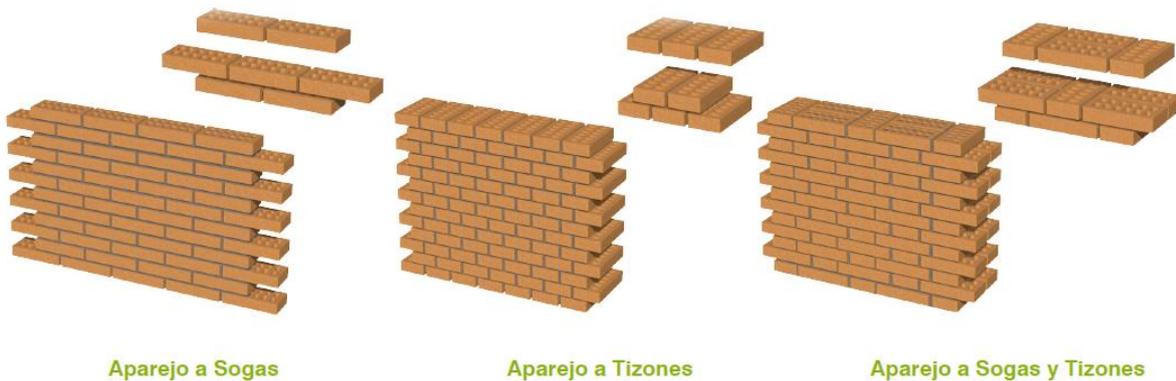
El ladrillo es un paralelepípedo de arcilla seleccionada, moldeada y cocida en un horno. Su proceso de fabricación permite mejorar las cualidades de los muros de tierra cruda, fundamentalmente su capacidad mecánica, su durabilidad y su comportamiento frente al agua. Su uso está constatado desde hace más de 10.000 años y fue el Imperio Romano la civilización que más investigó, utilizó el ladrillo y su gran difusor en todo el mundo occidental. El tipo de arcilla utilizada y algunos aditivos que se le pueden añadir permiten obtener numerosos colores y texturas.

Su tamaño varía también según épocas y zonas, hoy en día están normalizados y sus dimensiones en España en el formato métrico son de 24cm de largo, denominado **soga**, 11,5 cm de ancho, denominado **tizón** y **distintos grosores** (3,5,7,9 cm).

La ejecución de los muros se realiza mediante el aparejado de la fábrica con morteros de cal o de cemento. Cuando los ladrillos se aparejan a sogas se obtiene un muro de 11.5cm de grosor que se denomina de **½ pie o ½ asta**. Y cuando se apareja a tizones se obtiene un muro de 24,5cm de grosor que se denomina de **1 pie o 1 asta**. Puede haber grosores mayores: muros de 2 pies, 3 pies y medio, etc.



Notas



## 5. MUROS MIXTOS.

Los distintos tipos de muros vistos plantean un gran abanico de sistemas con distintas capacidades mecánicas, distintos comportamientos a la intemperie y distintos costes de ejecución. Como venimos insistiendo en estas lecciones, los sistemas adoptados en arquitectura se escogen en base al concepto de **eficacia**, o lo que es lo mismo: es sistema **más apropiado que resulte más económico**. Por este motivo es muy habitual encontrarnos muros mixtos, que utilizan uno o varios de los materiales estudiados en base a un análisis minucioso del comportamiento del muro a ejecutar, utilizando materiales más resistentes, pero más costosos, en zonas más penalizadas mecánicamente como por ejemplo esquinas o zócalos y materiales más modestos otras partes de los paramentos y en zonas interiores de los muros. El símil sería el de un patinador que se protege las partes más susceptibles de golpearse como cabeza, codos o rodillas, pero no utiliza una armadura continua para patinar, porque no sería una protección eficaz desde el punto de vista de la actividad a desarrollar.

De este modo nos encontraremos habitualmente distintas **combinaciones** de estos materiales: muros de tapial con zócalos de piedra, muros de adobe con esquinas de ladrillo, etc. Uno de los ejemplos que mejor expresa esta sabia combinación de materiales lo constituye los **muros verdugados**. Formados por **machones** verticales de ladrillos cada 5 o 6 metros con zonas intermedias de sistemas más modestos como tapiales o mamposterías ejecutadas sobre hiladas alternas de ladrillos denominadas **verdugadas**, que unen los ladrillos

### Notas

conformando un “entramado resistente” global del muro. Se trata casi de un muro entramado el cual explicaremos a continuación.



## 6. MUROS ENTRAMADOS

Este mismo concepto de optimización del material es el fundamento del muro entramado de madera, característico históricamente de la edificación residencial española. En contraste con los muros de fábrica de ladrillo o de mampostería de piedra, más propios en la arquitectura civil y religiosa, el muro entramado constituye una solución de muro portante más ligera y económica, y también de más rápida ejecución, aunque de menor durabilidad y resistencias mecánicas y peor comportamiento ante el fuego.

Este tipo de muro está formado por **una retícula de piezas de madera** que se rellenan posteriormente con mampostería, cascotes de derribo, adobes, tapial, y en ocasiones, fábrica de ladrillo. Dicha retícula se compone de **pies derechos** de madera cada 1,40 – 1,80 m que soportan **vigas o carreras** que sirven de apoyo a los forjados de las distintas plantas.

Notas



## 7. MUROS DE HORMIGÓN.

El último de los materiales que se ha incorporado en la fabricación de muros de carga a partir fundamentalmente del inicio del siglo XX es el hormigón, utilizado de los distintos modos y técnicas constructivas que veremos a continuación.

### 7.1 Hormigón in situ.

Ya se ha explicado su forma de ejecución en la lección anterior, muy similar a la del tapial, por la necesidad de utilizar encofrados. Pueden ejecutarse con **hormigón en masa** o incorporar interiormente armadura de acero, es decir **hormigón armado**, lo que les permite también soportar tracciones internas, lo cual aumenta su efectividad y permite reducir su grosor. Se puede dejar visto al exterior y es la característica de la arquitectura denominada **Brutalista** abanderada por Le Corbusier.

## Notas



### 7.2 Bloques prefabricados de hormigón.

Se fundamenta en la ejecución de muros de fabrica utilizando bloques huecos de hormigón prefabricados trabados con mortero. Suelen incorporar armadura tanto vertical como horizontal para aumentar la capacidad resistente del muro y su flexibilidad. Existen distintos tamaños y colores, suelen medir 39cm de largo por 19 de alto y con distintos grosores 9,14,19 o 29 cm. Pueden dejarse vistos generando una arquitectura con una cualidad singular.

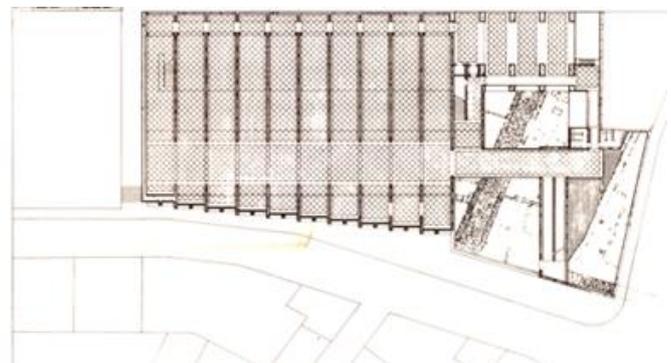
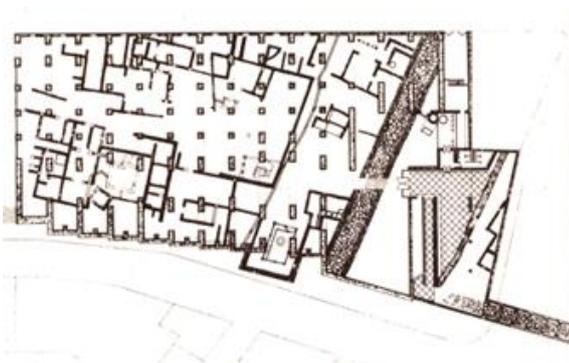
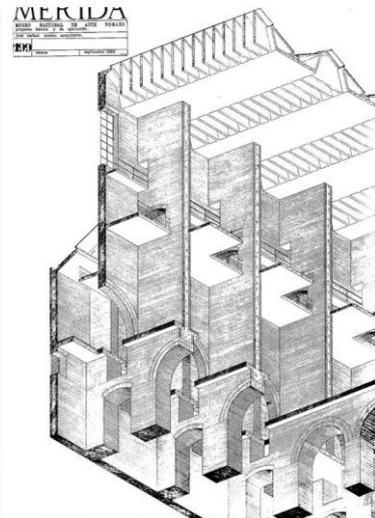
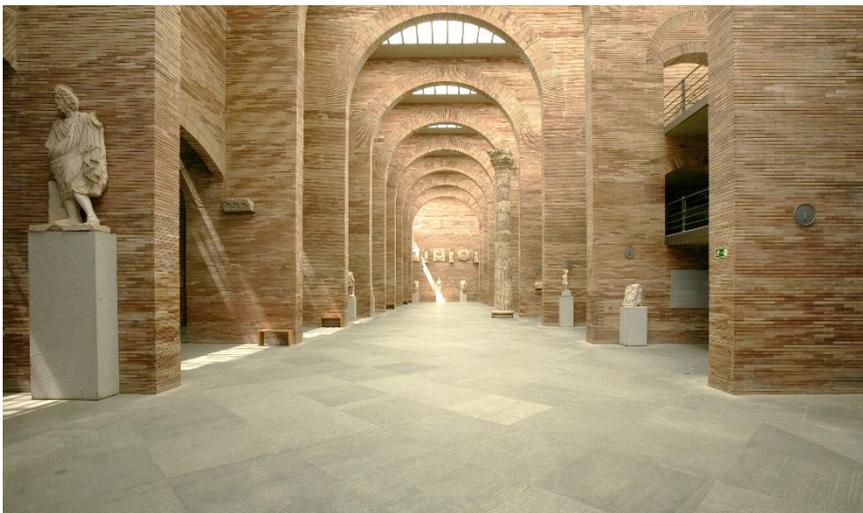


Notas

## 8. CASO DE ESTUDIO.

### Museo Romano de Mérida. Rafael Moneo. 1986

Se trata de uno de los edificios más importantes realizados por el arquitecto navarro, premio Pritzker de arquitectura en 1996. El edificio se estructura en múltiples muros de carga de ladrillo paralelos entre sí, que intentan reproducir las características de la arquitectura muraria romana. En realidad, el ladrillo es solo un revestimiento ya que interiormente son muros de hormigón armado, lo cual facilita también un apoyo singular de los muros ya que la existencia de un nivel inferior de ruinas arqueológicas impedía el habitual apoyo lineal sobre zapata corrida. Para resolver este problema el muro se interrumpe generando arcadas que se van apoyando en tramos donde no hay ruinas.



Notas

**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
<b>APAREJO</b>	
<b>MAMPUESTO</b>	
<b>SILLAR</b>	
<b>SILLAREJO</b>	
<b>CALICANTO</b>	
<b>TAPIAL</b>	
<b>ADOBE</b>	
<b>LADRILLO CARAVISTA</b>	
<b>LADRILLO HUECO DOBLE</b>	
<b>LADRILLO HUECO SENCILLO</b>	
<b>LADRILLO PERFORADO</b>	

**Notas**

<b>MACHÓN</b>	
<b>VERDUGADA</b>	
<b>PIE</b>	
<b>ASTA</b>	
<b>MORTERO</b>	
<b>ARGAMASA</b>	
<b>GRAPA</b>	
<b>LLAGA</b>	
<b>TENDEL</b>	
<b>LLAVE</b>	
<b>CONTRAFUERTE</b>	
<b>ARBOTANTE</b>	

Notas

**Notas**

## LECCION 5. PÓRTICOS.

### 1 INTRODUCCIÓN.

### 2. LOS PILARES.

### 3. LAS VIGAS.

### 4. LOS PÓRTICOS.

### 5. LOS FORJADOS.

5.1 Forjados unidireccionales.

5.2 Forjados bidireccionales.

### 6. CASO DE ESTUDIO

Neue Nationalgalerie, Berlín

Mies van der Rohe, 1968.



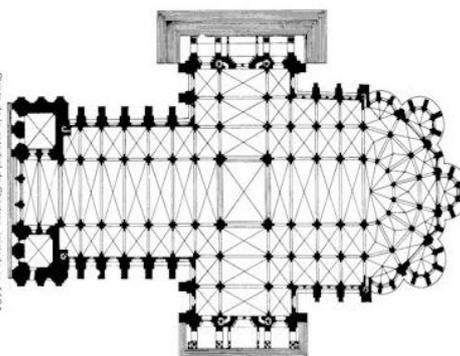
### Notas

## 1 INTRODUCCIÓN.

Como se explicó en la lección anterior, la arquitectura basada en el sistema de muros de carga tiene que ser necesariamente pesada ya que el hecho de tener que soportar esfuerzos horizontales y no solamente gravitatorios, le obliga a un sobredimensionamiento que se traduce en un gran coste de mano de obra y de material, además de una limitación constructiva en altura. A lo largo de la historia de la arquitectura, como hemos visto, el sistema de muros de carga va evolucionando para discriminar zonas mas penalizadas donde se incrementa el grosor de los muros (por ejemplo los contrafuertes) y zonas secundarias de menos capacidad de carga, es decir, se va pasando **de un sistema superficial** que es el muro a sistemas lineales que desembocan en el sistema reticular o porticado, formado por pórticos, donde ya tenemos una estructura l fundamentalmente constituida por líneas (en este sentido, muy similar a nuestro sistema óseo que se fundamenta en líneas resistentes, los huesos, unidos por articulaciones)

Con esta operación el sistema murario donde cerramiento y sustentación son lo mismo, cambia y aparece **una estructura y un cerramiento independiente** que no adquiere misión estructural antigua. El caso mas claro lo tenemos en la aparición del gótico donde tenemos esta separación:

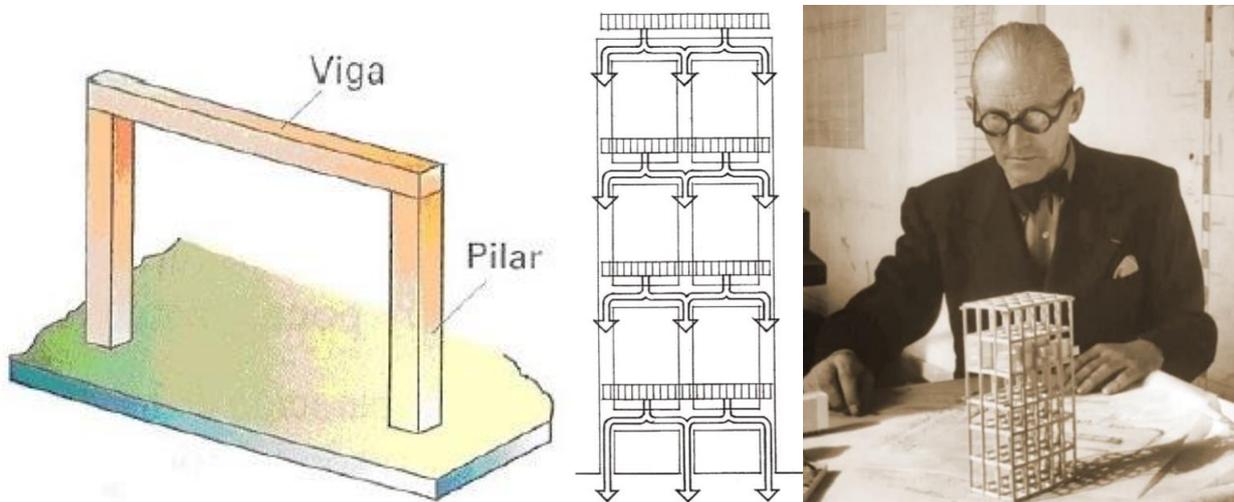
- pilares, arcos apuntados, arbotantes, nervaduras ----- **estructura** (elementos lineales)
- plementerías, vidrieras, paredes ----- **cerramiento** (elementos superficiales)



Este cambio permitió realizar edificios más ligeros y por tanto capaces de ser más altos y con huecos mas grandes en las zonas de cerramiento que ya no tienen misión estructural. A cambio el edificio debía funcionar como un complejo sistema de contrapesos que absorbiese todos los empujes producidos por las altas bóvedas y torres que comenzaron a construirse por toda Europa. Una catedral gótica es una **maquina estructural** donde los elementos no son decorativos, tienen una misión precisa y específica en el transporte de cargas hasta la cimentación del edificio. Antes del Gótico ya existieron arquitecturas basadas en elementos lineales estructurales, como por ejemplo la arquitectura egipcia y la griega, una arquitectura porticada, formada por agregación de pórticos, o lo que es lo mismo el conjunto de dos pilares y una viga, lo cual es el fundamento estructural de gran parte de las arquitecturas actuales. Pero es importante recordar que tanto la arquitectura

### Notas

gótica, como los sistemas porticados antiguos se construyeron fundamentalmente en piedra o fábricas de piedra, **incapaces de soportar tracciones** y con unas posibilidades de unión entre elementos limitadas y por tanto de una ligereza relativa. Sera a partir del siglo XX con **la llegada del acero y el hormigón armado**, muy eficaces frente a tracciones, cuando se produce una verdadera optimización y adelgazamiento del sistema porticado.



## 2. LOS PILARES.

La colocación de una piedra o una madera en vertical es una de las primeras intervenciones arquitectónicas” llevadas a cabo por la humanidad.

Definición de pilar: elemento estructural de carácter lineal, dispuesto verticalmente, con el fin de soportar las cargas que se le transmiten en su zona superior.

Notas



El pilar es por tanto un soporte, y como tal habitualmente está sometido a esfuerzos de compresión (aunque en determinados edificios pueden estar diseñados para soportar también flexiones) A lo largo de la historia el pilar ha ido evolucionando, adaptándose a las distintas técnicas constructivas y los materiales propios de las distintas civilizaciones. Podemos establecer la siguiente clasificación con una ordenación que se corresponde más o menos con una evolución cronológica.

- Pilares de una sola pieza de **materiales naturales**
  - Monolitos y columnas de piedra
  - Troncos o maderos de una pieza
- Pilares formados por **superposición de piezas**
  - Pilares de piedra
  - Pilares de ladrillos y adobes
- Pilares de una pieza de **materiales elaborados** (a partir del siglo XX)
  - Pilares de fundición
  - Pilares de hormigón armado
  - Pilares de acero laminado
  - Pilares de madera laminada
  - Pilares de aleaciones y otros materiales

## Notas

### 3. LAS VIGAS

Podemos imaginar, que casi a la par que colocar un elemento en vertical, el hombre, se dispusiese a colocar otro al lado con otra pieza encima horizontalmente. A esta pieza la llamamos viga.

Definición: elemento estructural de **carácter lineal**, dispuesto **horizontalmente**, con el fin de recibir cargas que le transmiten, otros elementos lineales (viguetas), o superficiales (losas o placas) que conforman los forjados. Cargas que a su vez la viga transmite a muros o pilares.

La viga esta sometida a **flexión**, es decir flexa por el peso de la carga que le llega, esta flexión tiene como consecuencia dos efectos fundamentales.

1. permite **trasladar** la carga hacia los pilares
2. curva levemente la viga descendiendo en su zona central en lo que se denomina **flecha** de la viga. Esta flexión puede ser imperceptible (por ejemplo en un dintel de piedra) o perceptible (una viga de madera antigua)

Podemos establecer una **clasificación** similar a la aportada para los pilares, también se corresponde con una evolución cronológica de uso de materiales.

- Vigas (de una pieza) de **materiales naturales**
  - Dinteles de piedra
  - Tronco o madero de una pieza
- Vigas (de una pieza) de **materiales elaborados**
  - Vigas de fundición
  - Vigas de hormigón armado
  - Vigas de hormigón pretensado
  - Vigas de acero laminado
  - Vigas de madera laminada
  - Vigas de aleaciones y otros materiales

#### Notas



#### 4. PÓRTICOS.

Como adelantábamos en la introducción, un pórtico (desde el punto de su definición en estructuras) es el conjunto formado por dos soportes verticales lineales (pilares) y por un elemento lineal horizontal que los une (viga). Los pilares trabajan fundamentalmente a compresión y la viga trabaja a flexión. Pueden tener uno o más vanos y uno o más niveles. El **tipo de unión** viga-pilar que se haya definido entre los elementos determina su comportamiento estructural.

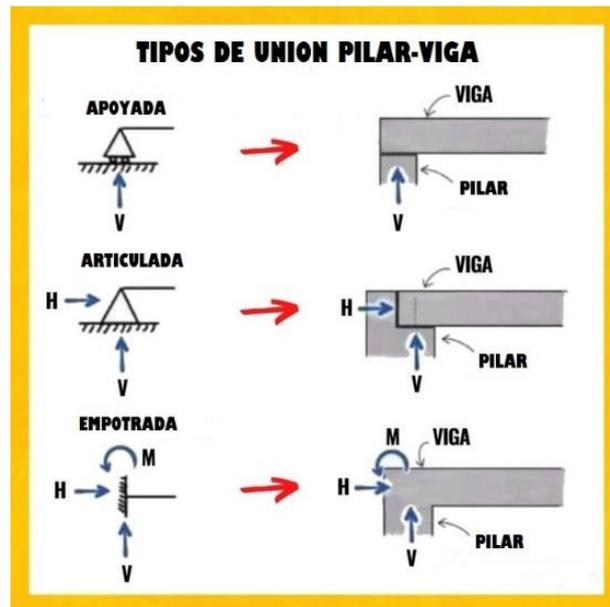
Estas uniones pueden ser:

**Apoyadas:** el extremo de la viga puede desplazarse y girar

**Articuladas:** el extremo de la viga solo puede girar

**Empotradas:** el extremo de la viga no puede ni desplazarse ni girar.

Notas



Estos son los tipos de pórticos más habituales en orden cronológico de su utilización:

**Pórticos de madera.** Conviviendo con el sistema de muros entramados visto en la lección pasada, aparecen en ocasiones zonas donde el relleno desaparece: soportales, crujías interiores, etc, obteniéndose por tanto pórticos auténticos: Son sistemas con uniones sin ningún tipo de empotramiento. (Hasta el siglo XX)

**Pórticos con pilares metálicos de Fundición, y vigas de madera** sin ningún tipo de empotramiento (siglo XIX)

**Pórticos metálicos,** fundamentada en perfiles laminados y con posibilidad de altos grados de empotramiento en sus uniones (primero roblonado, después soldadura, tornillería) (a partir de mediados del siglo XIX)

**Pórticos de hormigón armado,** con posibilidad de altos grados de empotramiento en sus uniones por hormigonado continuo. (a partir de principios del siglo XX)

**Notas**

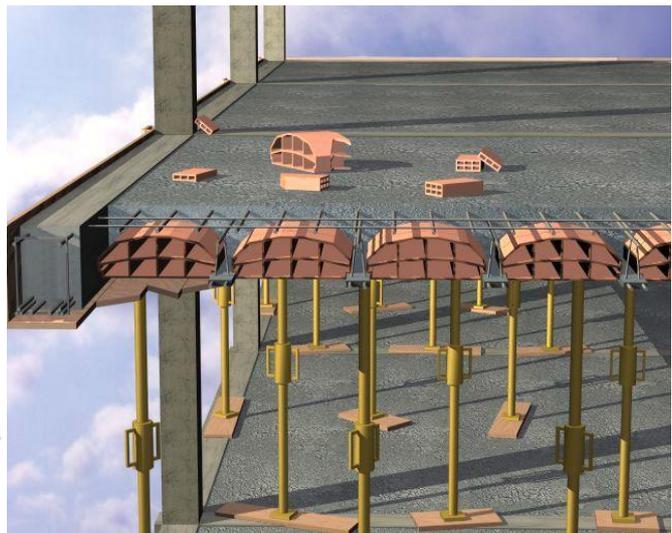
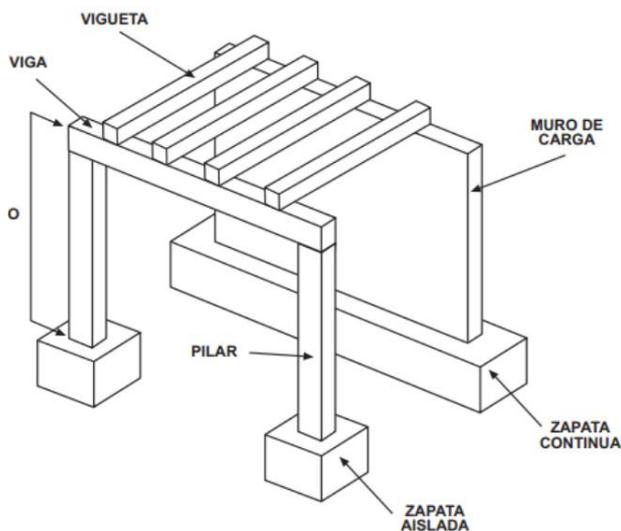
**Pórticos mixtos.** Combinación de elementos metálicos y de hormigón, muy eficientes para edificios altos. (A partir de mediados del siglo XX)

**Pórticos de madera laminada.** Producto prefabricado a partir de madera natural, posibilidad de conseguir empotramientos con elementos auxiliares metálicos. (A partir de mediados del siglo XX)

## 5. FORJADOS.

El sistema porticado de vigas y pilares (lineal) necesita un elemento fundamental complementario y necesario para obtener **superficies horizontales** que podamos pisar y así generar espacios interiores en los edificios, nos estamos refiriendo a los forjados.

En arquitectura se denomina FORJADO, a la superficie plana estructural, dispuesta horizontalmente o con un cierto grado de inclinación, encargada de recibir y soportar, aparte de su propio peso, las cargas verticales adicionales que le corresponden: tabiquería, revestimientos, mobiliario, personas., para transmitir las al resto de la estructura del edificio (vigas y pilares) y que ésta a su vez las traslade hasta el terreno. Al igual que las vigas, **los forjados trabajan a flexión.**

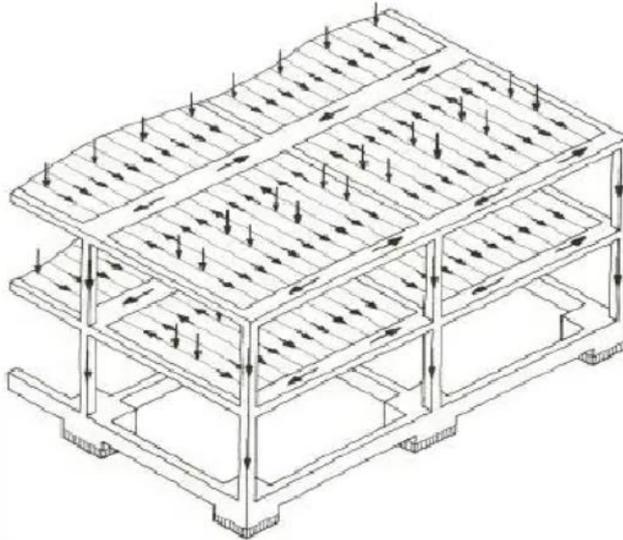


En función de la materialidad constructiva del forjado y de su forma de dirigir las cargas hacia el resto de los elementos estructurales podemos clasificarlos en **unidireccionales** y **bidireccionales**:

## Notas

### 5.1 Forjados Unidireccionales.

Son aquellos que por su naturaleza constructiva solo distribuyen cualquier carga existente en el forjado en una única dirección del espacio que suele ser perpendicular a las vigas. Pueden ser



#### Forjados Unidireccionales de viguetas.

Sistema estructural superficial, basado en la disposición de elementos lineales (viguetas) dispuestos en paralelo y próximos unos a otros, apoyados ortogonalmente sobre otros elementos estructurales como vigas o muros. Precisan de un elemento de entretejado en el espacio existente entre vigueta y vigueta, pueden ser:

- Viguetas de **madera**

- De madera aserrada
- De madera laminada

Con entretejos de:

- Tabla de madera: a tope y machihembrada
- Rasillas.
- Revoltón de cal y arena

- Viguetas de **acero**

- De acero forjado
- De acero laminado (perfiles IPE, HEB...)

Con entretejos de:

- Cerámicos: Bovedillas, rasillones
- Bovedillas de otros materiales: "poliestireno expandido"...

- Viguetas de **hormigón armado** (entretejos similares a las de acero)

#### Notas



### Forjados Unidireccionales de losas.

Son elementos resistentes horizontales superficiales apoyados en dos de sus extremos. No precisan de elementos de entrevigado. Suelen ser prefabricados.

#### Tipos

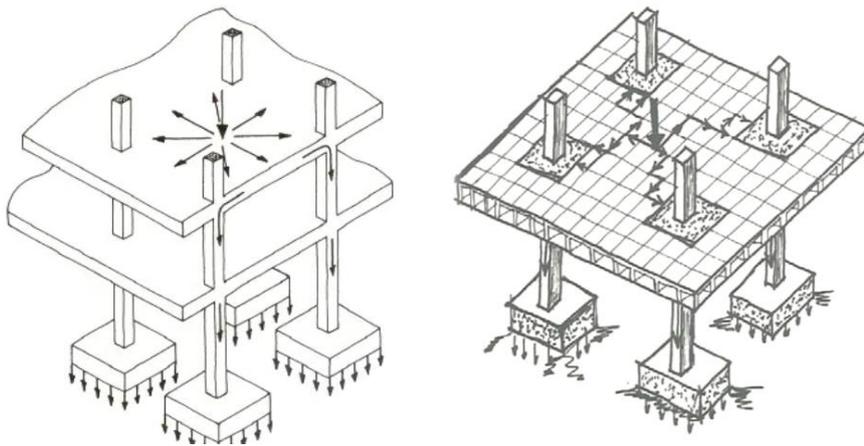
- Losas macizas de hormigón
- Losas nervadas de hormigón
- Losas alveolares pretensadas de hormigón
- Forjados colaborantes hormigón
- Losas de madera contralaminada. CLT



### 5.2 Forjados Bidireccionales.

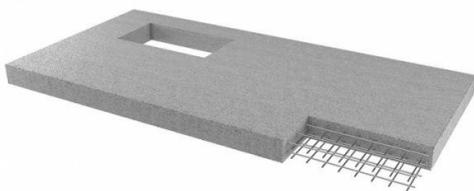
Son aquellos que por su naturaleza constructiva distribuyen las cargas existentes en el forjado en **cualquier dirección del espacio** hacia los soportes por lo que no suelen precisar vigas, aunque llevan refuerzos de diverso tipo en el perímetro. Pueden ser losas de hormigón in situ o reticulares. También se pueden hacer retículas de acero.

#### Notas



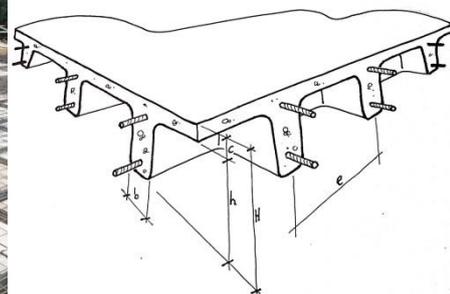
**Losas de hormigón in situ. (También llamadas placas)**

Solución homogénea maciza de hormigón armado que distribuye la carga diagonalmente hasta los soportes.



**Forjados reticulares.**

Son en realidad losas aligeradas distribuyen la carga diagonalmente hasta los soportes por los nervios de hormigón.



**Notas**

## 6. CASO DE ESTUDIO

### Neue Nationalgalerie, Berlín. Mies van der Rohe, 1968.

Se trata del último proyecto del arquitecto alemán que construyó entre 1965 y 1968 el principal museo de arte contemporáneo de la capital alemana. Nos interesa el sistema estructural de la planta superior. un gran pabellón diáfano de grandes dimensiones, soportado exclusivamente por ocho pilares en su perímetro. Toda la cubierta es un gran forjado reticular construido con plancha de acero que apoya en estos pilares. Es muy interesante la unión de los pilares con la cubierta, pues no existen vigas de ningún tipo, simplemente un sistema de encaje de una rótula entre ambas piezas que permite leves desplazamientos y giros de la cubierta con lo que no se transmiten momentos flectores a los pilares.



Notas

**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
VIGA	
PILAR	
PÓRTICO	
CRUJÍA	
HORMIGÓN ARMADO	
ARRIOSTRAMIENTO	
BROCHAL	
FORJADO	

**Notas**

LOSA	
VIGUETA	
BOVEDILLA	
REVOLTÓN	
ENTREVIGADO	
JÁCENA	
MÉNSULA	
ALERO	

**Notas**

ANDAMIO	
FRAGUADO	
ADITIVO	
FERRALLA	
BERENJENO	
FORJADO UNIDIRECCIONAL	

**Notas**

**Notas**

## LECCION 6. SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DIRECTRIZ CURVA ARCOS, BÓVEDAS y CÚPULAS



- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 CLASIFICACIÓN Y GENESIS DE LAS SUPERFICIES CURVAS
- 3 ARCOS
- 4 BÓVEDAS
- 5 CÚPULAS
- 6 CASO DE ESTUDIO

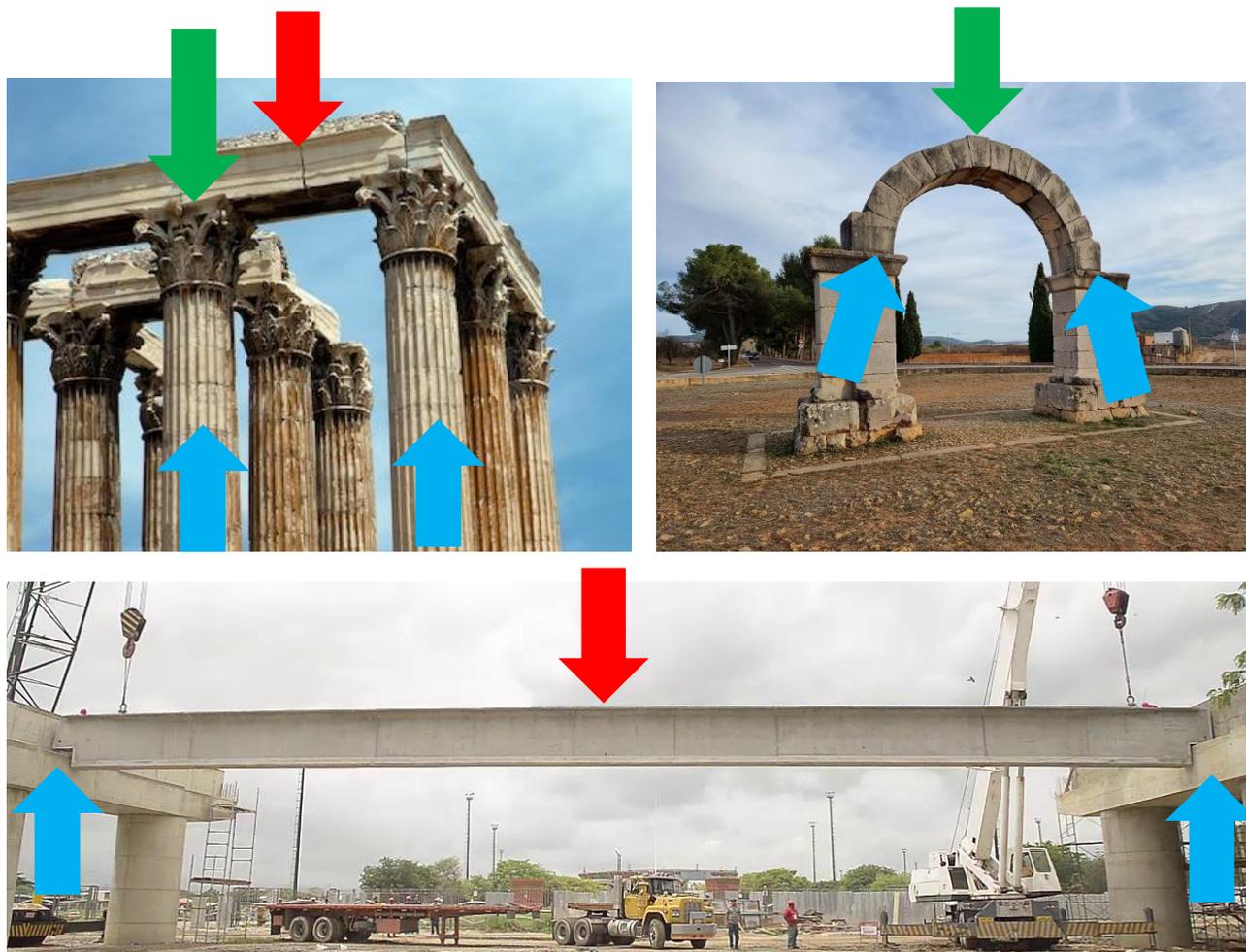


Notas

## 1 INTRODUCCIÓN

La forma de los elementos estructurales, en algunos casos, tiene mucho que ver con la adecuación de dicha forma al mejor comportamiento estructural de dicho elemento, otras veces no. Por poner un ejemplo, un pilar, colocado perfectamente en vertical, es la mejor manera de soportar una carga gravitatoria de compresión, y, sin embargo, una viga apoyada-apoyada, con esa misma carga en su centro, presenta una muy mala adecuación de la forma al comportamiento estructural requerido. Los elementos estructurales de directriz curva participan, por regla general, de ese intento por adaptar la forma al comportamiento estructural más óptimo.

En lecciones anteriores se han analizado los sistemas estructurales de directriz recta, en esta lección se analizarán los sistemas estructurales cuyo eje principal tiene una directriz curva.

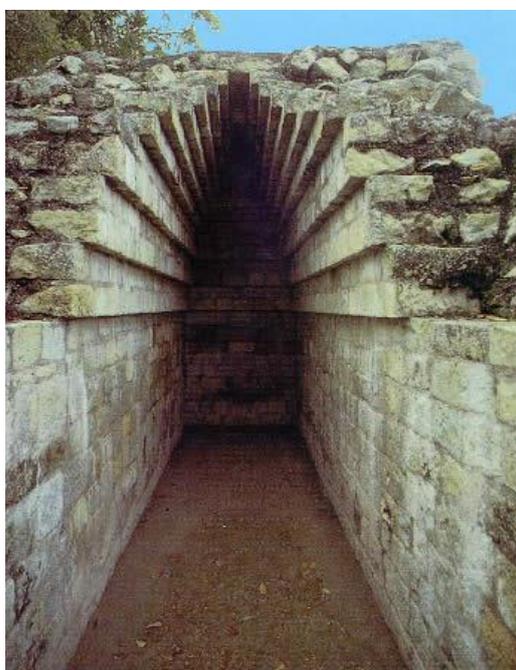


Notas

La aparición de los primeros elementos estructurales de directriz curva podemos situarla, probablemente, en los puentes realizados con elementos a base de fibras vegetales. Bien es cierto que para trabajar únicamente a tracción. Para el esfuerzo a compresión habría que esperar un tiempo.



PUENTES DE LIANAS VEGETALES



ARCO FALSO POR APROXIMACIÓN DE HILADAS



ARCO DE MEDIO PUNTO

Los primeros arcos, bóvedas y cúpulas se ejecutaron por aproximación de hiladas en una intuición estructural que apuntaba al comportamiento del arco. Los incipientes avances tecnológicos y de conocimiento hicieron que la disposición inicial de hiladas horizontales evolucionase a una disposición de dovelas con caras radiales que convergen a un centro, y que suponía un enorme avance, al conseguir el buscado comportamiento en el que la compresión de las dovelas unido al rozamiento de sus caras hace que el arco funcione como tal.

## Notas

Previo a la clasificación y al estudio de arcos, bóvedas y cúpulas, hacemos una aproximación a la clasificación y génesis de las superficies estructurales curvas. Del estudio de las mismas se puede intuir que la forma de las estructuras en muchos casos optimiza el comportamiento estructural de las mismas.

## 2 CLASIFICACIÓN Y GÉNESIS DE LAS SUPERFICIES CURVAS

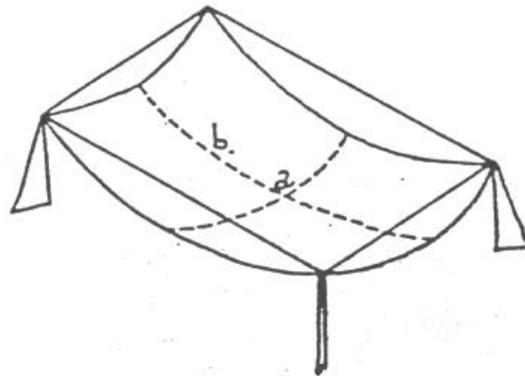
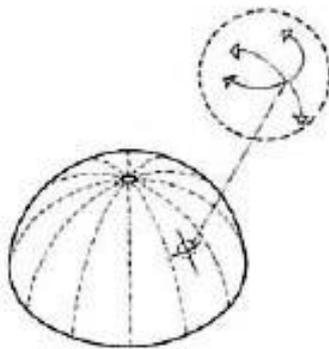
### A) CLASIFICACIÓN SEGÚN EL SENTIDO DE LA CURVATURA

#### A.1 SINCLÁSTICAS

Cuando el sentido de la curvatura siempre es del mismo signo, aunque varíe su valor.

##### *No desarrollables*

- Si siempre tienen la curvatura del mismo signo y nunca de valor nulo.
- Son más rígidas y resistentes que las desarrollables
- Todas las cúpulas lo son



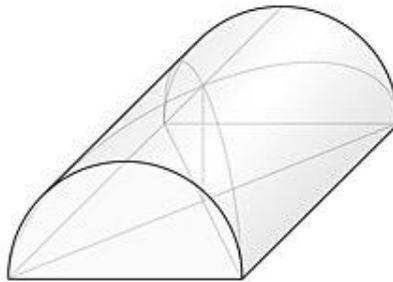
#### Notas

### Desarrollables

- Si en una dirección dada la curvatura es nula (radio de curvatura =  $\infty$ )
- Son menos rígidas y resistentes que las no desarrollables
- Un ejemplo claro es la bóveda de medio cañón



HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA. (13 m / 65-5 cm) EDUARDO TORROJA. 1941

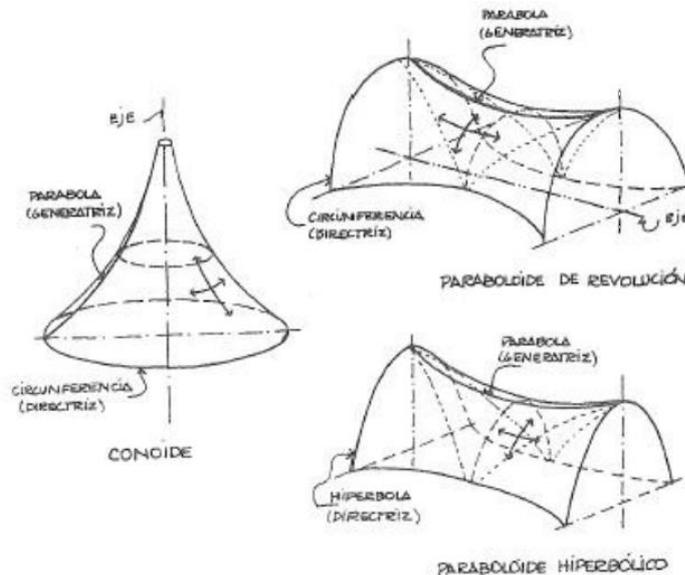


FRONTÓN DE RECOLETOS. 1935 (55 m / 8 cm)

### A.2 ANTICLÁSTICAS

Superficies en las cuales la curvatura cambia de signo, de positivo a negativo o viceversa

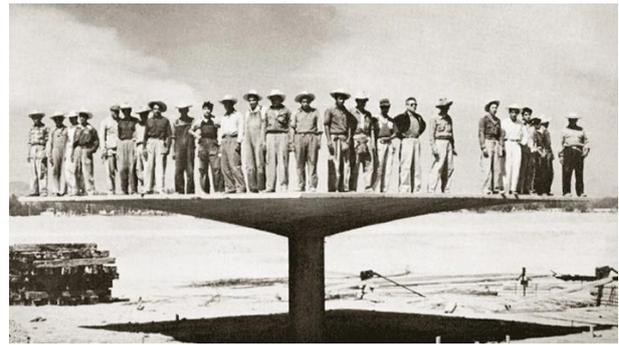
- Son sistemas muy resistentes.
- Paraboloides hiperbólicos, toroides, conoides, paraboloides de revolución...



### Notas



OCEANOGRAFIC. FELIX CANDELA. 2003

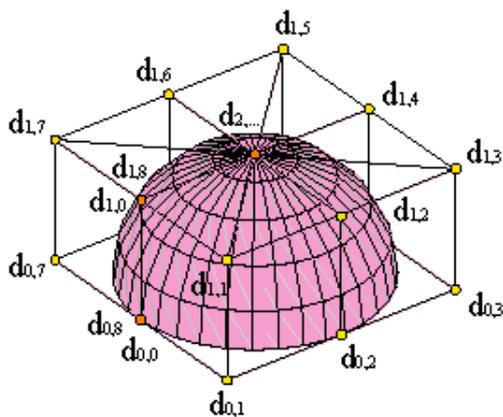


Antes y por encima de todo cálculo está la idea, moldeadora del material en forma resistente, para cumplir su misión.  
(Eduardo Torroja Miret)

## B) GENESIS DE LAS FORMAS SUPERFICIALES CURVA

### B.1 Por revolución

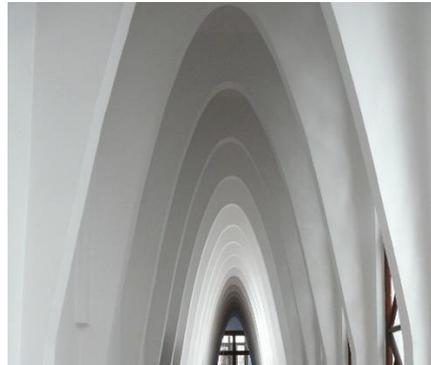
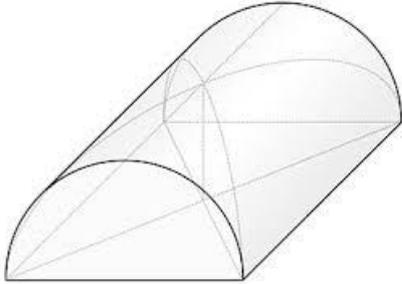
Son superficies generadas al hacer girar una recta o una curva alrededor de un eje. Las cúpulas y los conoides, por ejemplo.



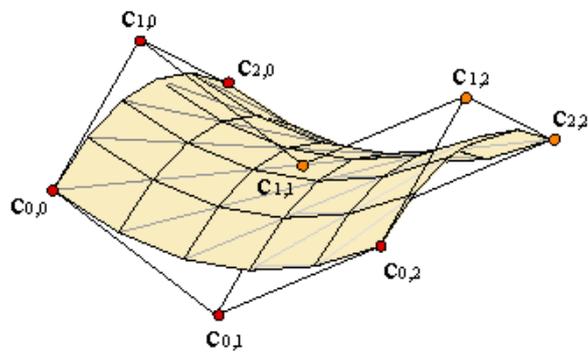
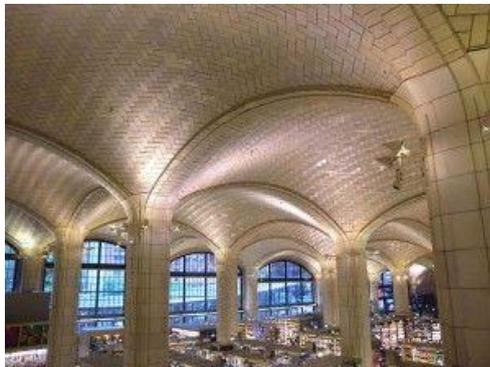
Notas

### B.2 Por traslación

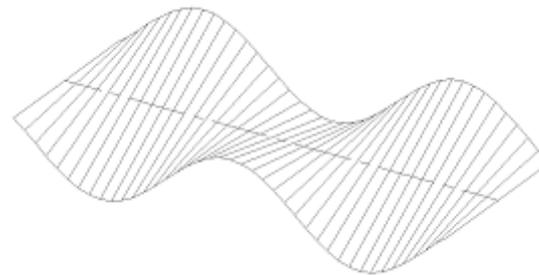
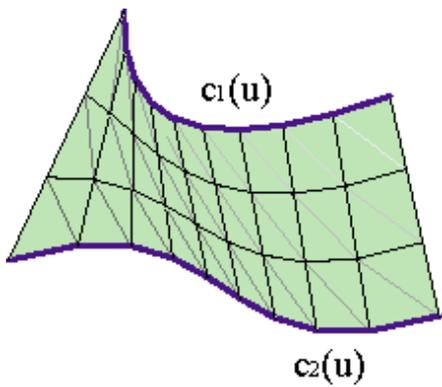
- curvas sobre rectas



- curvas sobre curvas

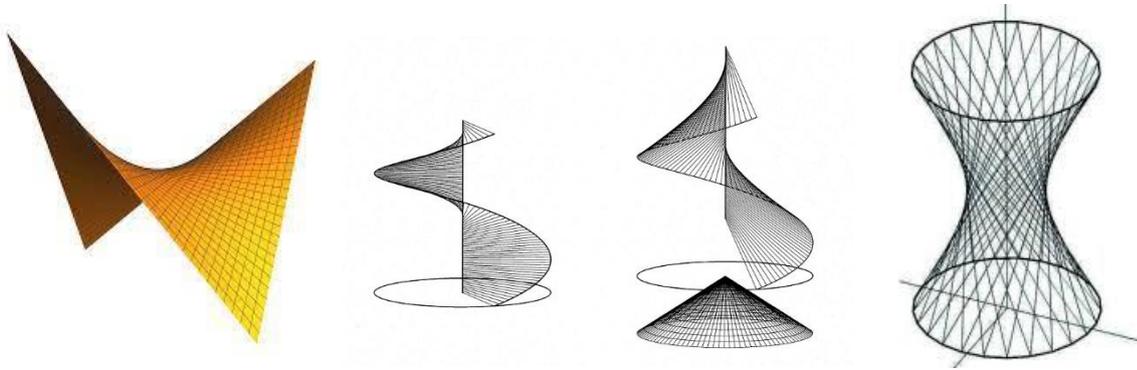


- rectas sobre curvas



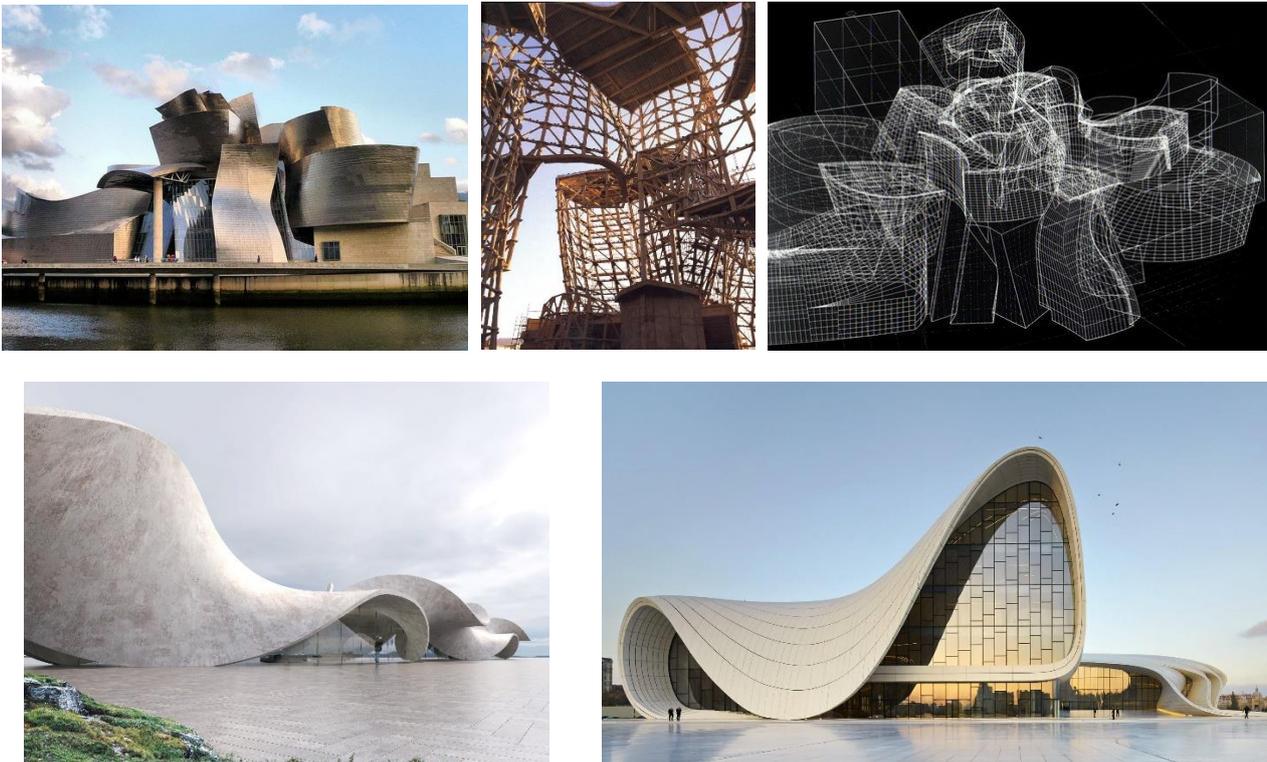
Notas

▪ **rectas sobre rectas**



**C.1 Superficies complejas**

Son superficies generadas sin un orden normalizado



**Notas**

### 3 ARCOS

Una definición de arco podría ser: “el arco, cuando la materia vence a la gravedad”. Otras definiciones más técnicas definen arco como: “Pieza prismática de directriz curva, destinada a salvar un vano, y que por efecto de su forma y de la disposición de sus apoyos, trabaja en un régimen compuesto de flexión y compresión”; o bien, “Fábrica en forma de arco, que cubre un vano entre dos pilares o puntos fijos y que trabaja exclusivamente a compresión”.



El arco nace de una intuición estructural para solventar uno de los grandes problemas de la arquitectura: ¿Cómo salvar un vano? Evidentemente la manera más inmediata y sencilla de salvar un vano es colocar horizontalmente un elemento lineal apoyado en ambos extremos del vano o del hueco. El problema surge cuando hay que soportar un gran peso, o cuando la separación entre apoyos es muy grande. Inicialmente esto se pudo resolver con piedras de gran sección cuando la separación entre apoyos era reducida; o con troncos de madera, con el problema de la longitud máxima que puede llegar a tener un tronco o el problema de la durabilidad. Con lianas vegetales se pudieron salvar vanos más grandes, pero con soluciones muy inestables que además soportaban pesos no muy elevados.



Las soluciones que se muestran en las imágenes, estructuralmente funcionan a flexión, y las de puentes de lianas vegetales, a tracción. Evidentemente una piedra trabajando a flexión no es una solución muy eficaz, y las soluciones de troncos, como se ha comentado, tienen limitaciones de longitud, de resistencia a grandes pesos y de durabilidad. Podemos entonces plantear la pregunta: ¿Por qué surge el arco?, ¿Por qué se ha mantenido su uso generalizado durante tantos siglos? ¿Por qué ha surgido en civilizaciones tan dispares y distantes?.....

#### Notas

El arco surge, sobre todo, para salvar la distancia entre los dos extremos de un vano, con, entre otras, estas funcionalidades:

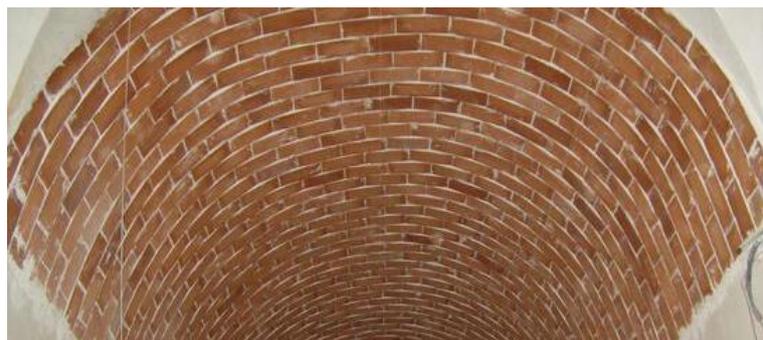
- Abrir un hueco (para luz y tránsito)



- Salvar un vano (puente)

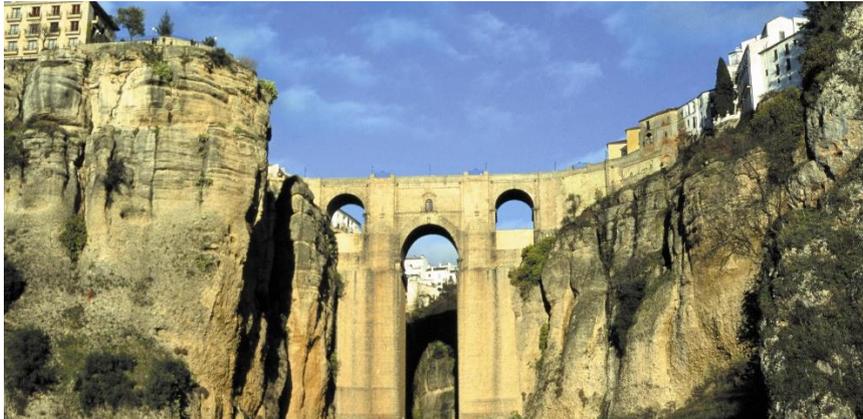


- Cubrir un espacio (techumbre)



Notas

- Crear una vía transitable (puente)



- Por estética (arco del triunfo, edificio.)



A la pregunta de por qué aparece el arco y por qué su uso ha permanecido generalizado durante muchos siglos, la respuesta puede ser, por sus características y ventajas, que son las siguientes:

- ✓ **Resistencia:** Es una solución estructural que soporta grandes esfuerzos. Pensemos que los puentes romanos siguen soportando el tránsito sobre ellos de vehículos muy pesados.
- ✓ **Durabilidad:** Los materiales con los que se construyen los arcos son muy duraderos: piedra, cerámica cocida (ladrillos), tierra seca. Hay arcos que permanecen en pie después de más de 3000 años.
- ✓ **Comportamiento estructural:** El arco trabaja a compresión. Y este comportamiento estructural es muy sencillo de soportar y los materiales que lo resisten lo hacen muy eficazmente. Se aprovecha muy bien el material y permite soportar cargas muy elevadas.
- ✓ **Materiales asociados:** Los materiales con los que se pueden hacer son muy abundantes:
  - tierra seca: adobes
  - tierra cocida: ladrillo
  - piedra: labrada y sin labrar

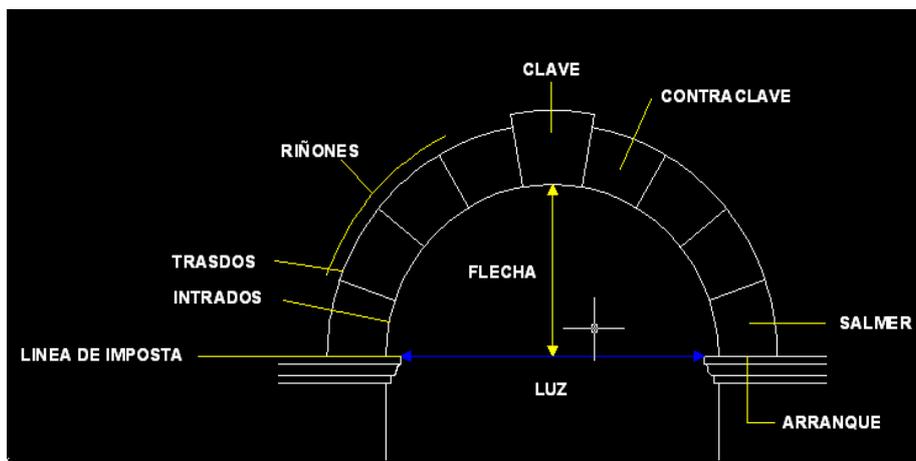
**Notas**

- ✓ La suma de **pequeños elementos** consigue un **conjunto resistente muy grande**, lo que permite solventar la limitación de longitud, que es el problema que tiene la madera. Así con dovelas de pequeño tamaño podemos salvar luces de hasta 40 metros.



### **PARTES DE UN ARCO**

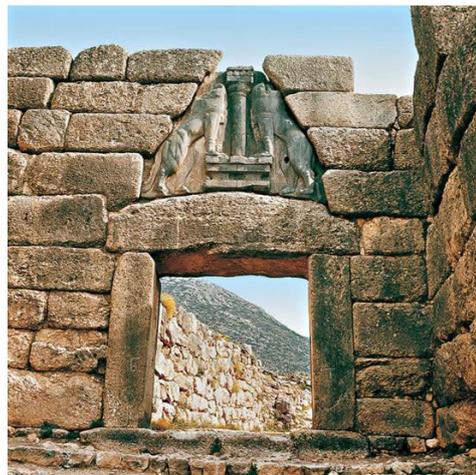
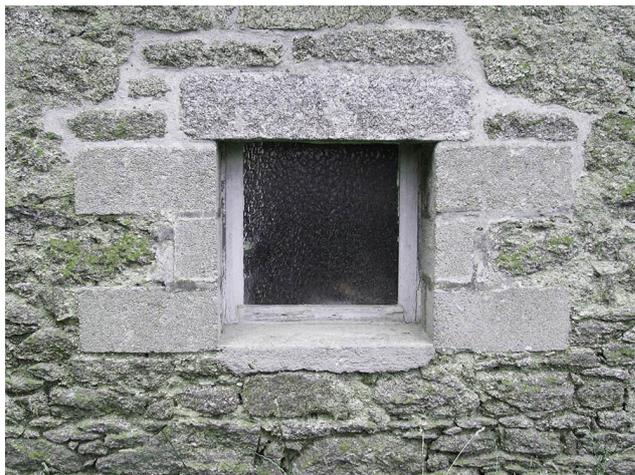
La imagen muestra las partes de un arco ejecutado con dovelas, y el nombre de las que son singulares. Las dovelas son todas y cada una de las piezas que componen un arco, que inicialmente eran irregulares, prácticamente sin labra alguna, y que van evolucionando hasta ser perfectas piezas prismáticas labradas con las técnicas más avanzadas de la cantería.



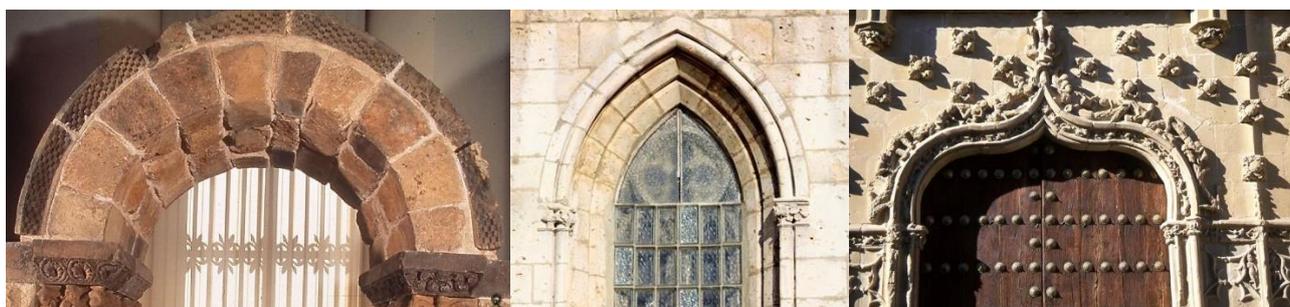
### **EVOLUCIÓN**

Los primeros arcos no tienen la forma de arco como tal, pero intentan acercarse a su comportamiento estructural. Así pues, la colocación de piezas de gran grosor sobre dos apoyos (arco adintelado), o la disposición de dos piezas sobre los apoyos laterales colocadas inclinadas juntándose en la zona superior, o la colocación de dovelas horizontales con sucesivos vuelos hasta unirse en el punto más alto, son todos ellos ejemplos de estos primeros intentos de crear el arco.

### **Notas**



Así hasta llegar al arco de medio punto, que es el arco más sencillo de todos. Posteriormente, la intrépida idea de usar dos centros en vez de uno dio lugar al arco apuntado, típico del arte gótico. Una vez agotado el uso de esta tipología aparecieron innumerables variaciones del arco, donde la decoración de la línea del intradós ha sido una constante en la evolución de este elemento.



### CLASIFICACION DE LOS ARCOS POR COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

- **Rígidos:** Su funcionamiento es más parecido al de una viga. Sería una viga de directriz curva
- **Empotrados:** Los apoyos están empotrados rígidamente en los estribos
- **Biarticulados:** Los apoyos en los estribos son articulaciones
- **Triarticulados:** Además de las articulaciones en los apoyos, hay otra en la clave

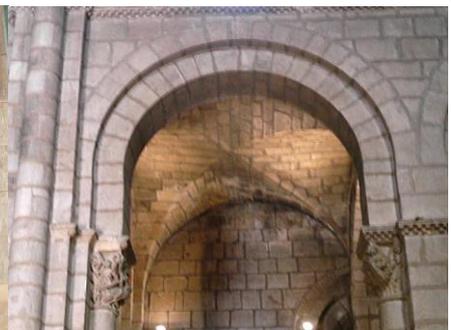
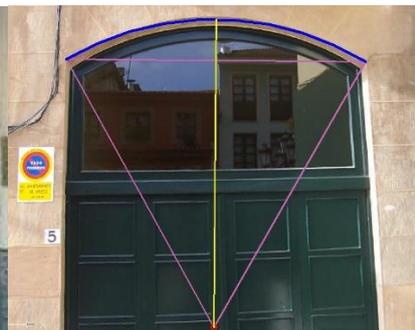


Notas

## CLASIFICACION DE LOS ARCOS POR SU FORMA O DIRECTRIZ

### SIMPLES

- Adintelados
- Rectilíneo agudo
- Circulares
  - De medio punto
  - Rebajado
    - Simplemente rebajado
    - Escarzano
  - Peraltado
    - Simplemente peraltado
    - De herradura
- De 2º grado
  - Elíptico
    - Peraltado
    - Rebajado
  - Hiperbólico
  - Parabólico
  - Catenario



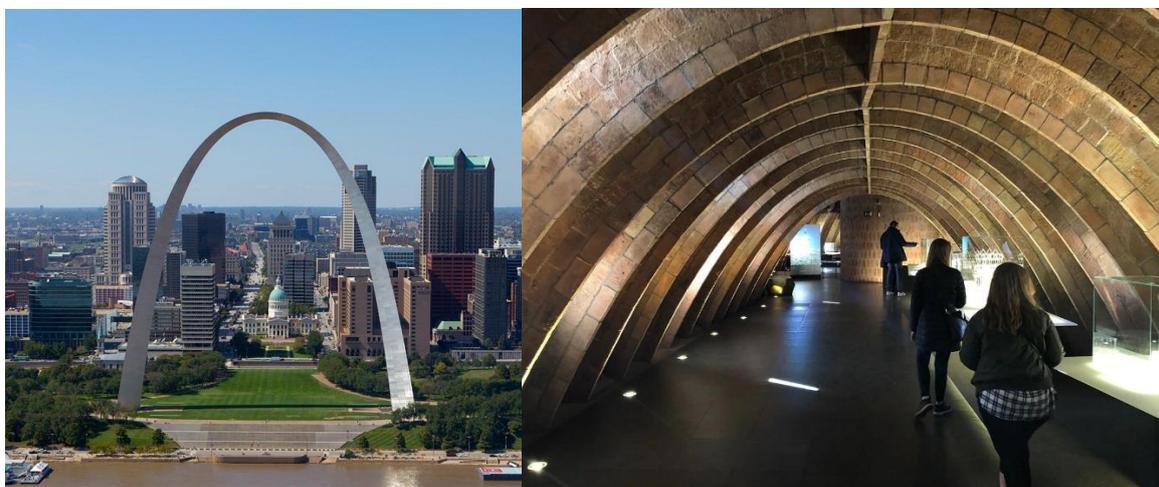
### Notas



De segundo grado:



ARCOS ELIPTICOS. PERALTADO / REBAJADO

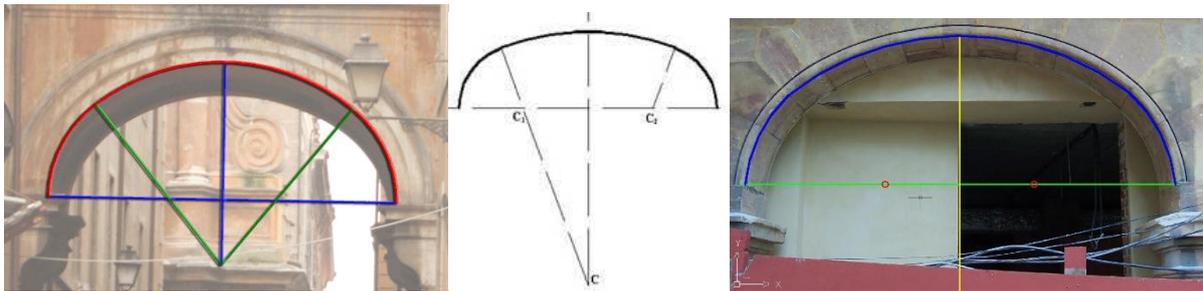


ARCO HIPERBÓLICO / PARABÓLICO

Notas

**COMPUESTOS**

- Carpanel (de 3,5,7, ...  $2n+1$  centros)
- Apuntados
  - Apuntado cumplido o equilátero
  - Apuntado rebajado
  - Apuntado peraltado
  - Tumido
  - Tumido de 4 centros
- Deprimido
- Tudor

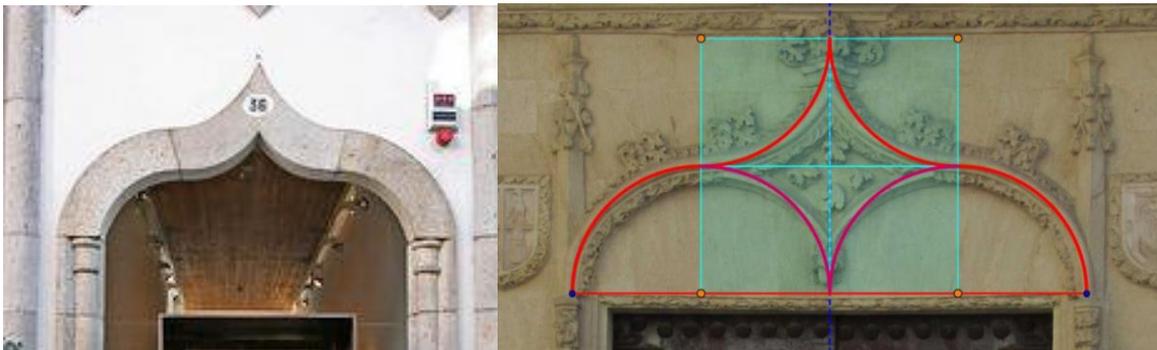


**Apuntados**



**Notas**

- Conopial
  - Conopial
  - De talón
- Angrelado
  - Trebolado
  - Multilobulado
  - Festoneado
    - Cóncavo
    - Convexo
- Por tranquil o rampante



Notas

#### 4 BÓVEDAS

Si colocamos un arco al lado de otro convertimos un elemento de carácter lineal en otro de carácter superficial, con esta operación generamos la bóveda más sencilla, la bóveda de cañón. A esta superficie que cubre un espacio y cuya sección siempre es una curva la llamamos bóveda.

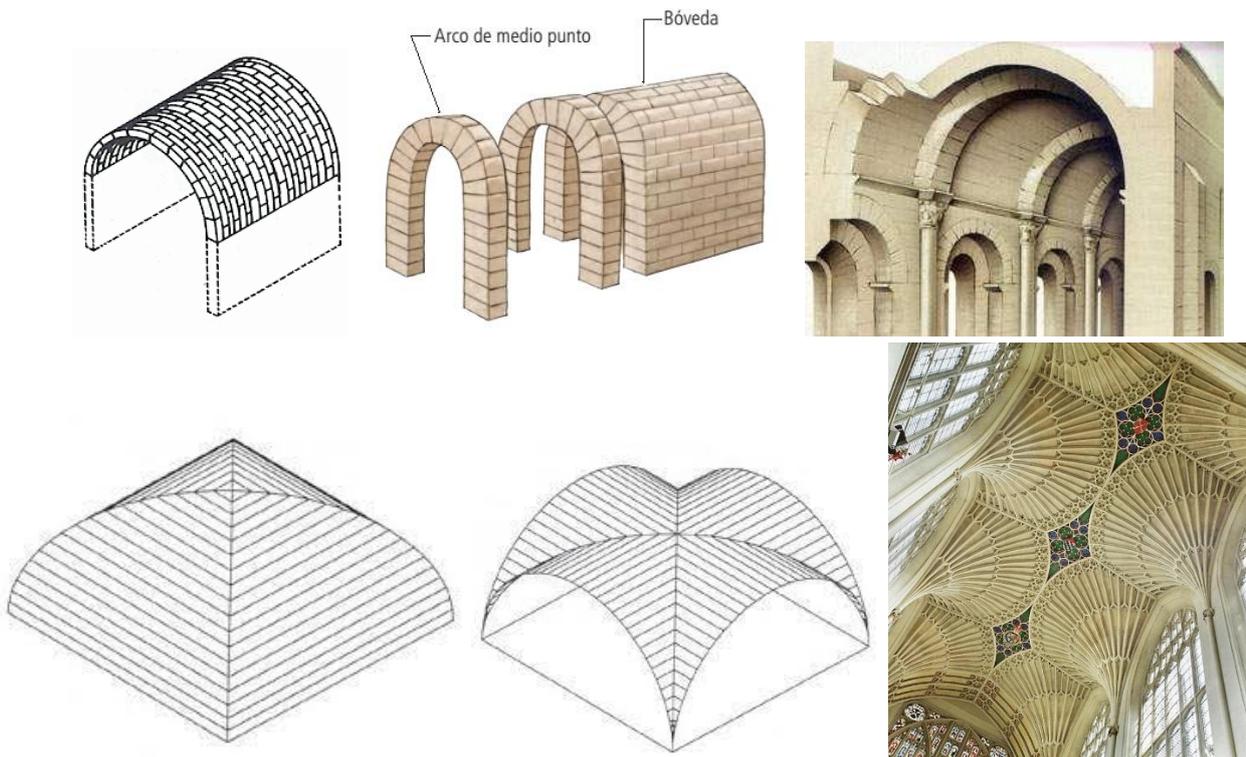


Las bóvedas son una buena respuesta técnica a la cubrición de espacios (bóvedas de iglesias y catedrales) y creación de superficies transitables (puentes). Las primeras únicamente tienen una función estética, y las segundas una función estructural. Las primeras bóvedas fueron una sucesión de arcos sin trabazón que evolucionaron a bóvedas con hiladas trabadas que permitían el comportamiento de estas asemejándolas a cascarones continuos.

#### Notas

## EVOLUCIÓN

- En un principio la bóveda fue una sucesión de arcos sin trabazón colocados unos a continuación de otros dando lugar a lo que denominamos bóveda de cañón. Eran bóvedas de gran espesor.
- Posteriormente, estas hiladas que originalmente estaban colocadas en paralelo y perpendicularmente a la dirección del eje, pasan a estar dispuestas horizontalmente y en la dirección del eje, consiguiendo la trabazón de las mismas de manera que la bóveda funciona como una superficie. Esta forma permite asumir esfuerzos de flexión en la dirección de las generatrices. Siguen siendo bóvedas de cañón, ligeramente apuntadas o semicirculares, de gran espesor y de sección constante, apoyadas sobre muros de gran espesor para soportar los grandes esfuerzos horizontales generados. Estos muros se fueron haciendo cada vez más delgados pero reforzados con contrafuertes.
- Con el fin de optimizar el material y de no hacer soluciones tan pesadas, las bóvedas reducen su espesor y se colocan a una cierta distancia arcos de refuerzo, los llamados arcos fajones o perpiaños, que solían estar alineados con estribos o contrafuertes.
- El siguiente paso es la aparición de soluciones a base de intersecciones de bóvedas de medio cañón dando lugar a las bóvedas en rincón de claustro y de crucería.
- Una vez superadas estas soluciones y conseguido un conocimiento técnico cada vez más elevado, las soluciones de bóvedas con formas y decoraciones cada vez más complejas se abren camino.



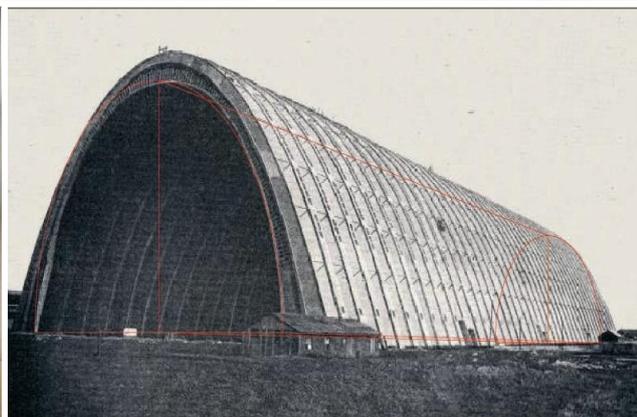
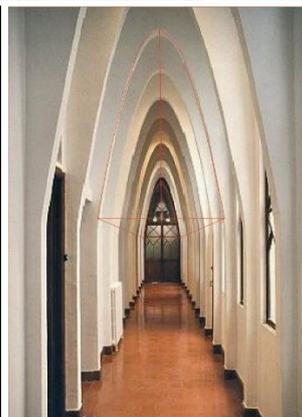
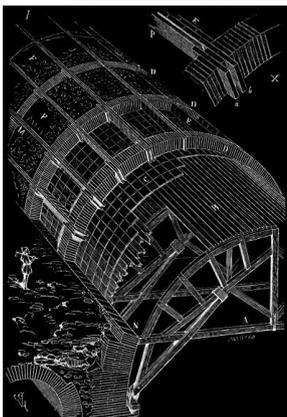
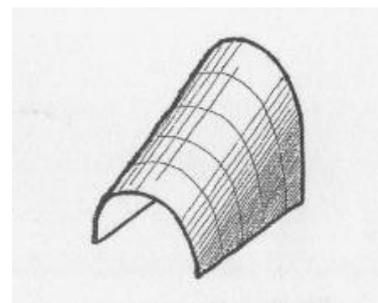
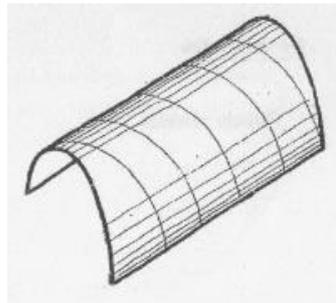
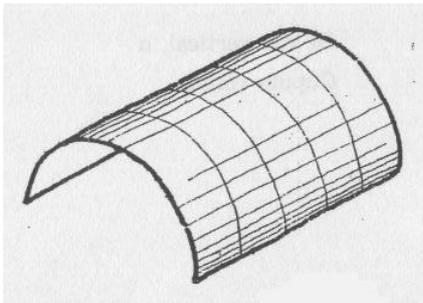
## Notas

## CLASIFICACION DE LAS BÓVEDAS POR SU FORMA O DIRECTRIZ

Clasificamos las bóvedas en simples y compuestas, siendo las compuestas las generadas por intersección de bóvedas.

### SIMPLES

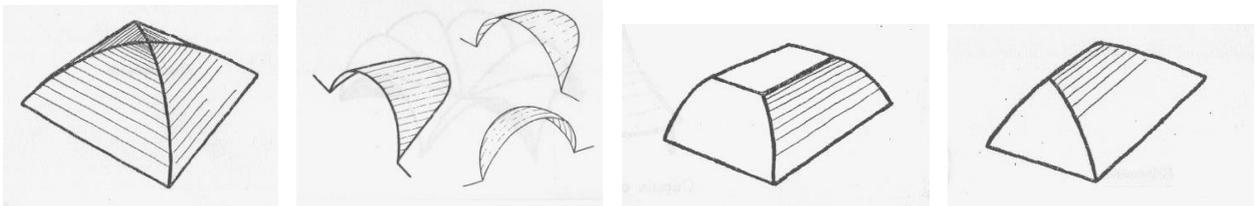
- De cañón
  - Según el eje
    - Recto
    - Oblicuo
    - En bajada
  - Según la sección
    - Semicircular o de cañón
    - Elipsoide
    - Parabólica
    - Hiperbólica
    - Catenaria



### Notas



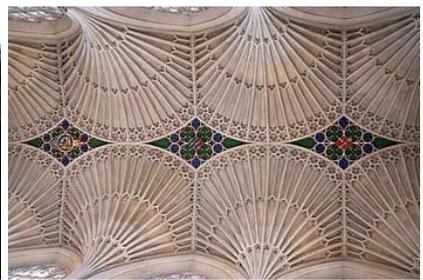
- Claustral o en rincón de claustro
- De lunetos
- De artesa o de espejo
- Esquifada
- De abanico
- De ligaduras
- Nervadas
  - Tripartitas
  - Cuatripartitas
  - Pentapartitas...
  - Estrelladas
  - Reticuladas
  - ....



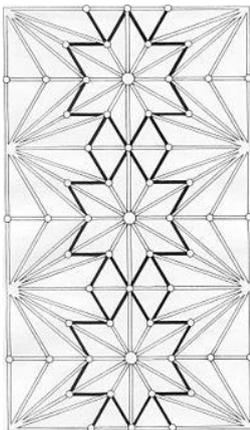
BÓVEDA DE ESPEJO



BÓVEDA DE LUNETOS



BÓVEDA DE ABANICO



BÓVEDA DE LIGADURAS

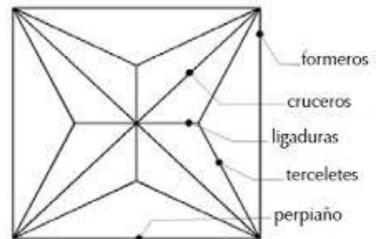


Figura 3.  
 Nervaduras de una bóveda estrellada  
 Imagen: N. García.

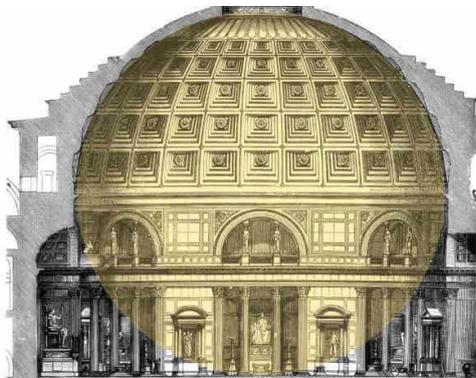
**Notas**



## 5. CÚPULAS

Podemos definir cúpula como aquella bóveda cuyo intradós está definido por una superficie de revolución. Es decir, la superficie generada cuando una curva gira alrededor de un eje, el cual, puede o no cortar dicha curva. Lo que da lugar a dos tipos:

- Cúpulas: si el Eje de Revolución corta a la generatriz.
- Bóvedas tóricas: si el Eje de Revolución NO corta a la generatriz



PANTEÓN DE AGRIPA (43,44 m)



PALACIO CARLOS V. GRANADA

## Notas

Las cúpulas presentan una peculiaridad propia, los dos tipos de línea que aparecen sobre su superficie:

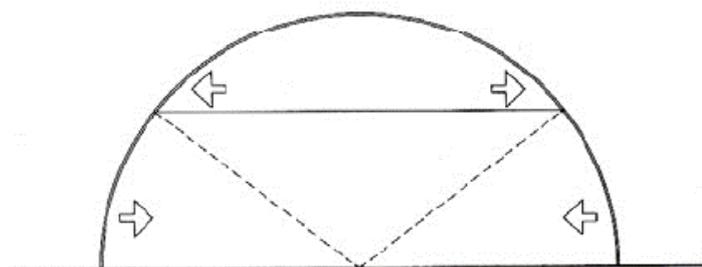
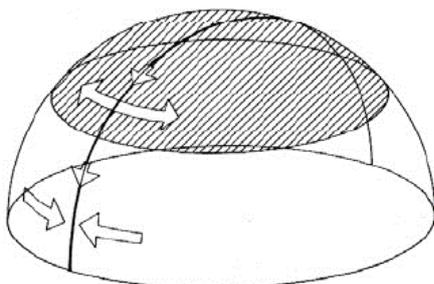
- Meridianos: Arcos coplanarios con el eje de revolución.
- Paralelos: Circunferencias situadas en planos perpendiculares al eje de revolución.



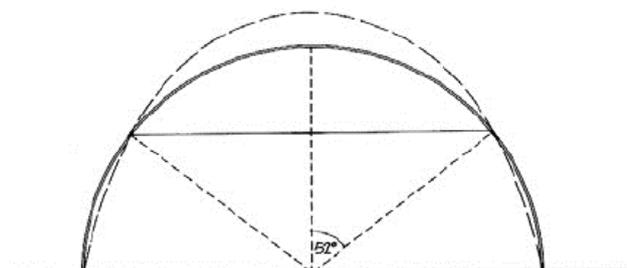
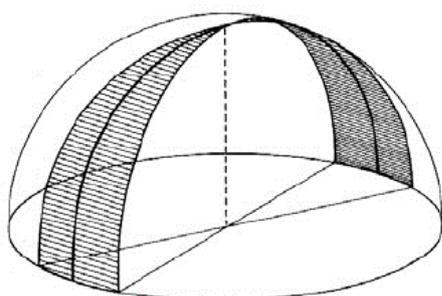
Las cúpulas pasan de tener **paralelos** comprimidos en la zona superior a tener paralelos traccionados en los paralelos de los riñones.

Los **arcos meridianos** son como arcos o “gajos” que tienden a:

- Cerrarse en la zona superior y son soportados por paralelos de compresión.
- Abrirse en las zonas inferiores y que son “atados” por paralelos de tracción.



La transición de las compresiones a las tracciones se produce entre los 45º y los 60º



Notas

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

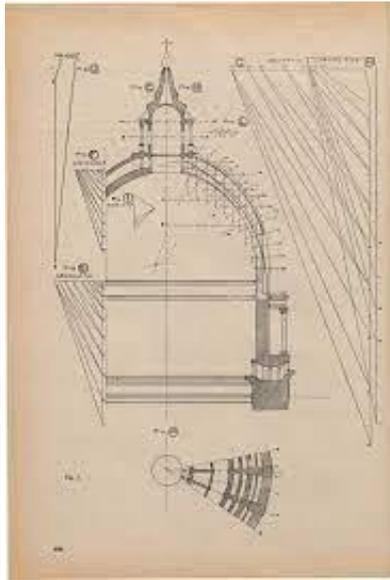
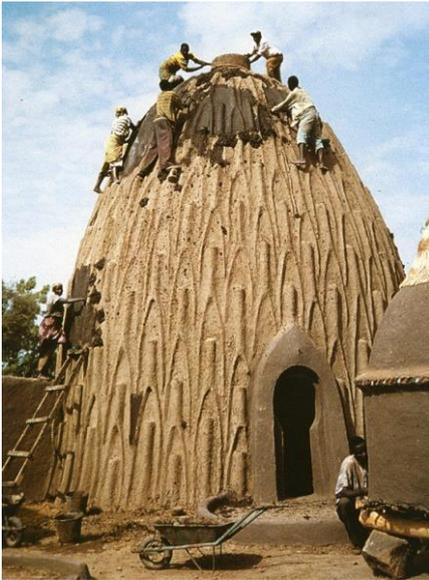
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



Los esfuerzos más peligrosos, sobre todo para las cúpulas clásicas de piedra, son las tracciones ya que, al estar ejecutada con piezas sin uniones, solo con el mero rozamiento, no puede trabajar bajo esa sollicitación. La solución a las tracciones se resuelve:

- Apuntando las cúpulas
- Colocando zunchos o anillos perimetrales
- Ejecutando diseños con estribos o contrafuertes
- Doblando con dos hojas para verticalizar los empujes laterales (grandes cúpulas)



SAN PEDRO. ROMA (Diámetro cúpula: 41,50 m. Altura: 136,50 m.)

(PIRAMIDE DE KEOPS: 139 m. EDIFICIO DUQUE DE LERMA. VALLADOLID: 87 m)

## EVOLUCIÓN

Las primeras cúpulas se hacían con sección apuntada, el motivo, evitar las sollicitaciones de tracción, siempre difíciles de controlar. El uso de materiales como tierra o piedras hace muy inestables soluciones en las que aparezcan tracciones. Posteriormente, haciendo uso de secciones muy gruesas y, en muchos casos, con el apoyo de contrafuertes, aparecieron las cúpulas semiesféricas. Cuando estas llegaron a dimensiones interiores muy grandes surgieron las cúpulas de doble hoja. La razón, contrarrestar los empujes horizontales generados por la cúpula interior, que se verticalizaban debido al peso de la hoja exterior y de la linterna. Posteriormente aparecieron cúpulas con secciones basadas en curvas cónicas.

## Notas



### CLASIFICACIÓN

Esféricas

Rebajadas

Cumplidas

Peraltadas

Elípticas (según los ejes)

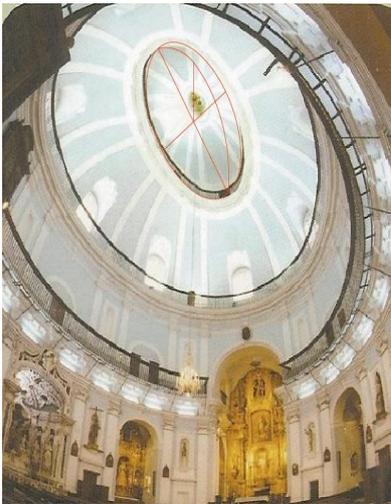
Parabólicas

Hiperbólicas

Catenarias



Notas



Notas

## 6 CASO DE ESTUDIO

Cúpula de Santa María del Fiore o cúpula de Santa María de la Flor. Brunelleschi. Florencia



Fue ideada, proyectada y construida por Filippo Brunelleschi, quien inició con esta obra el Renacimiento italiano y florentino en arquitectura. Está considerada como una de las construcciones más importantes edificada en Europa desde la época romana, debido a la relevancia fundamental que ha desempeñado para el desarrollo posterior de la arquitectura y de la concepción moderna de la construcción.

La cúpula tiene una forma apuntada y está formada por ocho caras o paños ojivales, cubiertos con teja de barro rojo y bordeados por ocho nervios de piedra blanca. Toda la estructura descansa sobre un tambor también octogonal, perforado por ocho óculos para la iluminación del interior. Los nervios convergen en un anillo octogonal superior, coronado por una linterna, elemento que también colabora en la entrada de luz. El interior está constituido por dos casquetes o domos, uno interior y otro exterior, contruidos con ladrillo dispuesto en forma de espina de pez. Están conectados entre sí por medio de una retícula interior formada por costillas y nervaduras, que sostiene la cúpula y colabora en su estabilidad. El hueco que queda entre ambos casquetes forma un espacio por el que se asciende hasta la linterna. El exterior del tambor está revestido con mármoles polícromos y con una balaustrada incompleta que solo se construyó en una de sus caras. La cara interna de la cúpula está decorada con pinturas al fresco y al temple que representan el Juicio Final.

### Notas

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



Las proporciones del conjunto son monumentales. La altura máxima de la cúpula es de 116,50 metros, el diámetro máximo del casquete interior es de 45,5 metros y el del exterior, de 54,8 metros. La base de las impostas se encuentra a 55 metros del suelo. El tambor, de 13 metros de altura y 43 de anchura, se sitúa a 54 metros del suelo. El casquete interior tiene un espesor en su base de 2,20 metros, que disminuye hasta los 2 metros en la cúspide, mientras que el casquete exterior tiene un espesor que pasa de un metro a 0,40 metros. El anillo superior de cierre de la cúpula se encuentra a 86,70 metros del suelo. La linterna tiene 6 metros de diámetro y 21 de altura. Los paños trapezoidales miden 17,50 metros de longitud y tienen una altura de 32,65 metros. El peso estimado total de la cúpula es de unas 30.000 toneladas y se calcula que se necesitaron para su construcción más de 4 millones de ladrillos.

Sus enormes dimensiones hicieron inviable el empleo de los métodos constructivos tradicionales mediante cimbras, lo cual ha favorecido la especulación de diversas teorías sobre la técnica constructiva empleada. Brunelleschi no dejó registro de ningún dibujo, maqueta o esbozo que indicara el procedimiento utilizado en la edificación de la cúpula.

Notas

**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
ARBOTANTE	
ARCO FAJÓN	
ARCO FORMERO	
ARQUITRABADO	
BÓVEDA	
BÓVEDA DE CRUCERÍA	
BÓVEDA RINCÓN DE CLAUSTRO	
CIMBRA	
CLAVE	
CONTRACLAVE	
CÚPULA	
DOVELA	

**Notas**

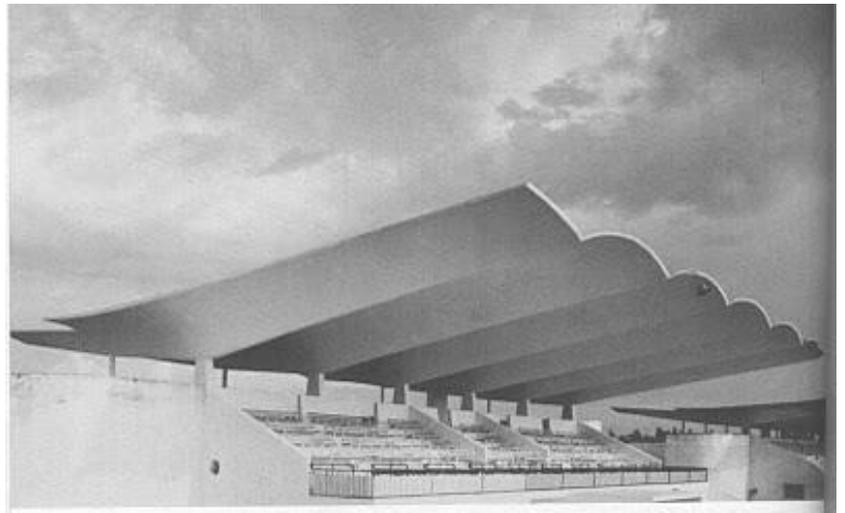
FLECHA	
IMPOSTA	
INTRADÓS	
LUZ	
PINÁCULO	
PLEMENERÍA	
RIÑÓN	
SALMER	
SILLAR	
SUPERFICIE SINCLÁSTICA	
SUPERFICIE ANTICLÁSTICA	
TRASDÓS	

**Notas**

**Notas**

## LECCION 7. OTRAS ESTRUCTURAS.

- 1 INTRODUCCIÓN
2. SISTEMAS TRIANGULADOS
3. LÁMINAS DE HORMIGÓN
4. ESTRUCTURAS TEXTILES
5. EDIFICIOS ALTOS
6. CASO DE ESTUDIO



**Notas**

## 1 INTRODUCCIÓN.

Con los sistemas estructurales superficiales: muros de carga, bóvedas y cúpulas; y los sistemas basados en pórticos, se han resuelto la inmensa mayoría de las estructuras arquitectónicas a lo largo de la historia. Sin embargo, existen **otras tipologías** estructurales que por si solas o en combinación con las anteriores han permitido solucionar, sobre todo a partir del siglo XX, nuevas tipologías de edificios: Rascacielos, estadios, puentes, instalaciones efímeras, etc.



## 2. SISTEMAS TRIANGULADOS.

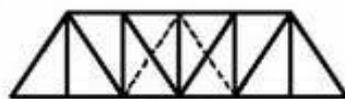
Se fundamenta en la agregación de elementos de gran esbeltez (barras) y poca sección, generalmente de acero o madera, que crean superficies estructurales planas o tridimensionales mediante la **agregación de formas triangulares**. Sus elementos trabajan exclusivamente a tracción y a compresión (no a flexión) y sus uniones son (o se pueden considerar) como **articulaciones**, por lo que no son rígidas y no transmiten momentos flectores. Los elementos traccionados en ocasiones se sustituyen por cables y los elementos comprimidos tienen una limitación en su posible pandeo, el cual aumenta exponencialmente con la longitud de la barra a considerar.

Son estructuras muy ligeras que permiten resolver estructuras que salvan importantes luces. Este tipo de estructuras se utiliza en grandes edificios e infraestructuras, como puentes y estadios. Entre las muchas posibilidades tipológicas que podemos encontrar podemos destacar tres tipologías fundamentales.

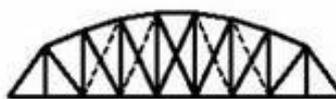
### Celosías.

Estructura plana de barras formando triángulos cuyo comportamiento global es como el de una viga (es como una **“viga vaciada”**). Es decir, globalmente trabajan a flexión, aunque sus componentes, (barras) trabajan exclusivamente a tracción y a compresión. Su forma exterior puede ser rectangular, curvada, incluso triangular (pero no debe confundirse con una cercha).

### Notas



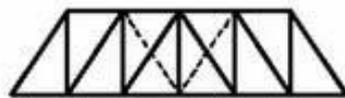
**Pratt**



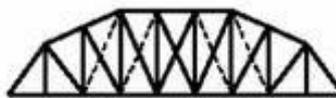
**Parker**



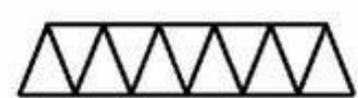
**K-Truss**



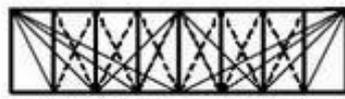
**Howe**



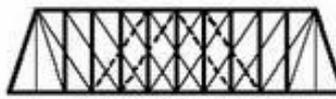
**Camelback**



**Warren**



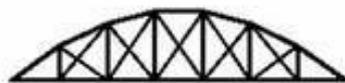
**Fink**



**Double Intersection Pratt**



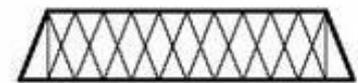
**Warren (with Verticals)**



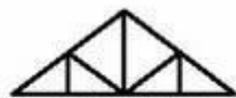
**Bowstring**



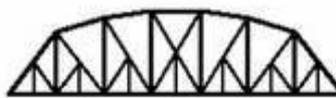
**Baltimore**



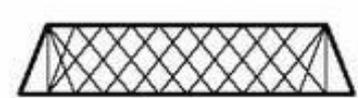
**Double Intersection Warren**



**Waddell "A" Truss**



**Pennsylvania**

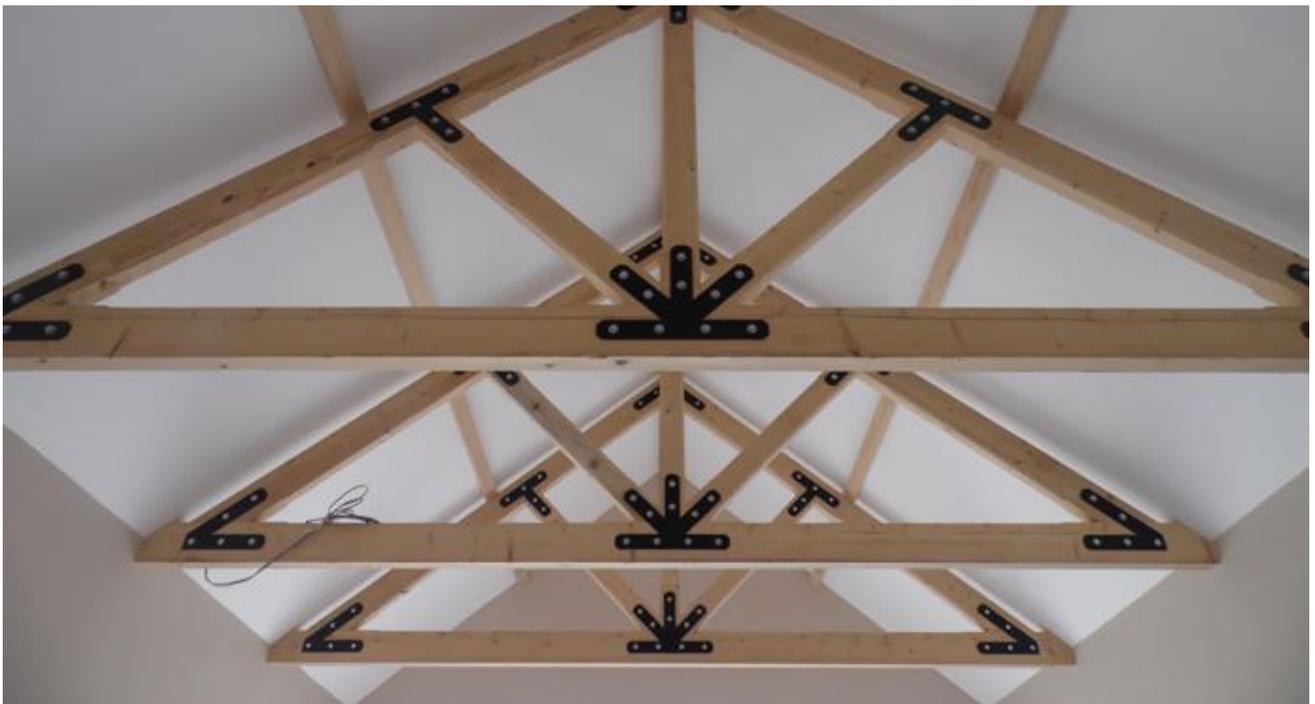


**Lattice**

**Cerchas.**

La cercha es un tipo particular de celosía, de forma exterior triangular, concebida para recibir la carga de un **tejado a dos aguas**, denominándose también armaduras de cubierta. Se han utilizado históricamente, construidas con madera, para resolver los tejados de muchas edificaciones: viviendas, iglesias, palacios, etc.

**Notas**



### Sistemas espaciales.

Estructuras de barras generando triángulos dispuestas en las **tres dimensiones del espacio** que se utilizan generalmente para resolver grandes cubiertas. Podemos encontrar multitud de variantes, estructuras monocapa para cubiertas, estructuras de formas complejas, estructuras verticales de fachada, etc.

### Notas



Notas

### **3. LAMINAS DE HORMIGÓN.**

Estructuras **superficiales** realizadas en **hormigón armado** en las que la resistencia se basa en la **continuidad** superficial y la **forma** específica.

Dicha forma permite que no exista flexiones, sino solo tracciones y compresiones por lo que son estructuras muy delgadas (entre 5 y 10 cm de grosor), pero con gran capacidad de alcanzar grandes luces. Su forma de trabajo les impide recibir cargas puntuales sobre ellas por lo que son estructuras que **solo se soportan a sí mismas**, siendo el ámbito de las grandes cubiertas donde más se utilizan.

Se denominan también **cascaras de hormigón** y tenemos grandes ejemplos de estructuras in situ realizadas por españoles como el arquitecto Félix Candela o el ingeniero Eduardo Torroja y de elementos prefabricados como los diseñados por el arquitecto Miguel Fisac.

**Clasificación.** (por su forma).

#### **Plegadas.**

Formada por la agregación de distintos planos intersecados entre sí.

#### **Regladas.**

Generadas por una recta denominada generatriz al desplazarse por una curvas o rectas llamadas directrices. En el caso particular de las cascaras de hormigón son muy utilizadas ya que permite obtener superficies curvas a partir de encofrados planos (listones de madera). Las formas más utilizadas son cilindros, conos, paraboloides hiperbólicos, hiperboloides, etc.

#### **Curvadas**

El resto de superficies curvas que no pueden obtenerse mediante la translación de rectas. Utilizadas en las últimas décadas, pueden fabricarse mediante la utilización de encofrados paramétricos plásticos.

#### **Notas**



#### 4. ESTRUCTURAS TEXTILES.

Notas

## CONSTRUCCION I. Apuntes de la asignatura.

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

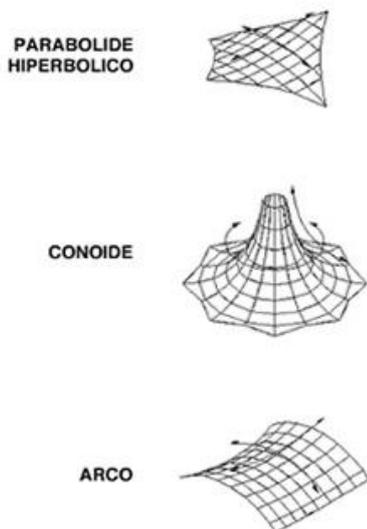


Utilizadas desde hace milenios por las sociedades nómadas (tipis indios, jaimas árabes), y en campamentos provisionales (Romanos, Edad Media), su utilización resurge con fuerza en el siglo XX sobre todo a partir del descubrimiento de las láminas plásticas reforzadas con fibra de vidrio, que presenta frente a los materiales textiles antiguos, mayor resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

Solamente pueden trabajar tensionadas, por lo que **trabajan exclusivamente a tracción**. Son también estructuras que solo pueden soportarse a si mismas. El modo de conseguir esta tracción en todos sus puntos determina la siguiente clasificación:

### Estructuras tensadas:

Precisan siempre de elementos complementarios, cables, mástiles, celosías, etc. que tiren de ellas y las tensen para formar estructuras estables. Al igual que en las cascaras de hormigón la forma es fundamental, funcionando mal las superficies planas y muy bien las superficies regladas anticlásticas.



### Estructuras neumáticas:

La tensión de la superficie se consigue mediante la diferencia de presión entre sus dos caras. En este caso se puede prescindir de elementos complementarios. Las superficies suelen ser sinclásticas.

### Notas



## 5. ESTRUCTURAS PARA EDIFICIOS ALTOS.

En la mayor parte de los edificios, las cargas gravitacionales: peso propio y sobrecargas, son las determinantes en la planificación y el dimensionamiento estructural, aunque por supuesto, también deben considerarse las acciones horizontales como el viento y el sismo.

En los edificios altos, a partir de 15 o 20 plantas, sin embargo, estas consideraciones se invierten, siendo el **viento y el sismo** los factores fundamentales en el dimensionamiento estructural. Esta circunstancia hace que las tipologías estructurales de estos edificios sean singulares, para conseguir que el edificio se comporte óptimamente y tenga cierta **flexibilidad** frente a estos empujes (como si fuese un junco) que permita trasladarlos hasta la cimentación. En general son estructuras mixtas que utilizan acero o/y hormigón armado y que se valen de distintas estrategias como las siguientes:

**Sistema de retícula** (Torre Madrid, estructura de pilares y vigas de hormigón o de acero)

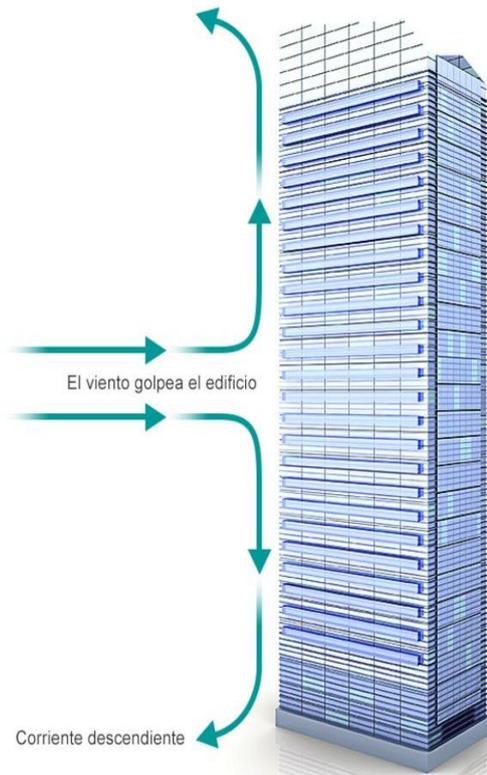
**Sistema de voladizo** (Banco de Bilbao Madrid)

**Sistema de fachadas portantes** (Torres gemelas, Hotel Arts)

**Sistemas compuestos** Combinación de los anteriores (Torre Mapfre)

**Sistema de transmisión indirecta** (Torres de Colón, torre Castelar, Torre Cepsa de Foster)

Notas



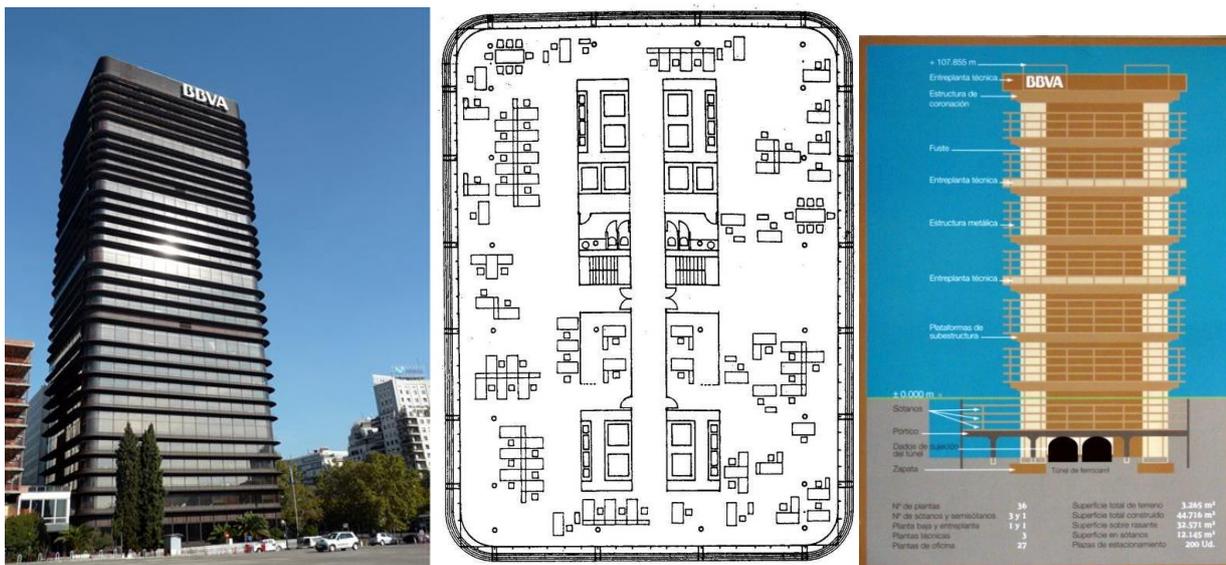
Notas

A large, empty rounded rectangular box intended for taking notes.

**6. CASO DE ESTUDIO.**

**Torre del banco de Bilbao. Francisco Javier Sáenz de Oíza 1971-81**

Se trata de un edificio de 30 pisos de altura que debía resolver la dificultad técnica de encontrarse sobre los túneles del tren de cercanías. La opción estructural se fundamenta en dos grandes machones de hormigón armado que incluyen los ascensores, en los que se apoyan estructuras independientes metálicas de cinco plantas. Eso permite además que la estructura de cada tramo sea moderada, pudiendo conseguir, por ejemplo, fachadas completamente acristaladas.



**Vocabulario de la lección. A completar por el alumno.**

**Notas**

<b>TÉRMINO</b>	<b>Definición + Dibujo (si corresponde)</b>
CELOSÍA	
CERCHA	
SISTEMA TRIANGULADO	
LAMINA PLEGADA	
LAMINA CURVADA	
LAMINA REGLADA	
ESTRUCTURA NEUMÁTICA	
ESTRUCTURA TENSADA	

**Notas**

TIRANTE	
PENDOLÓN	
PAR	
MONTANTE	
CORREA	
TORNAPUNTA	
JABALCÓN	
CABIO	

**Notas**

**Notas**





**CONSTRUCCIÓN I. Apuntes de la asignatura.  
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.**

Departamento de Construcciones arquitectónicas.  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

