

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Arquitectura
Taller "Jorge González Reyna"
mayo de 2002

Sistemas estructurales para arquitectos

Tesis teórica que para obtener el título de arquitecto presenta:

Jimena Torre Rojas

Sinodales:

Dr. en Arq. Álvaro Sánchez González
M. en Arq. Jorge Quijano Valdéz
Arq. Luis Fernando Solís Ávila

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

293



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este documento está dedicado con amor y admiración a Diego Benlliure,
mi esposo y compañero en todos aspectos de la vida, sin cuya invaluable
ayuda no podría haberse concretado.

agradecimientos

Agradezco profundamente la ayuda, guía y motivación de mi maestro y amigo Luis Fernando Solís, quien dio forma a las ideas y modeló el cauce de la investigación, proporcionando sus conocimientos, su experiencia, su biblioteca y su visión conciliadora.

Al doctor Alvaro Sánchez, agradezco toda la sabia dirección brindada y su paciencia.

En su mayoría, el documento está enriquecido con imágenes obtenidas de libros y revistas, sin embargo tuve la fortuna de obtener valiosas imágenes que complementaron enormemente el trabajo. A las personas que brindaron esta importante colaboración, gracias: Santiago Torre, Alejandra Quintanar y Flor Marín.

Finalmente quiero agradecer a mis padres por su paciencia, motivación y amor todos estos años. Al igual que a mi hermano sin cuya ayuda la elaboración digital de esta tesis no hubiera sido posible.

Contenido

Introducción

I. Primera parte. Conceptos básicos sobre las estructuras *

1. Definición de estructura diapositiva 9
2. Sistemas estructurales en la naturaleza diapositiva 11
3. Demandas o solicitudes sobre las estructuras diapositiva 16
4. Estados básicos de los esfuerzos de trabajo diapositiva 20
5. Requerimientos estructurales básicos diapositiva 22
6. Materiales para las estructuras diapositiva 23

II. Segunda parte. Arquitectura es estructura *

- Desarrollo histórico y evolución de las estructuras
 1. Introducción diapositiva 30
 2. La prehistoria diapositiva 37
 3. Mesopotamia diapositiva 46
 4. Egipto diapositiva 50
 5. Grecia diapositiva 58
 6. Roma diapositiva 65
 7. Lejano y medio Oriente diapositiva 75
 8. América precolombina diapositiva 91
 9. Imperio bizantino diapositiva 94
 10. Edad media: Románico y Gótico diapositiva 100
 11. Renacimiento y Barroco diapositiva 111
 12. Los comienzos de la era industrial diapositiva 120
 13. El siglo XX diapositiva 129

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Clasificación de las estructuras.
- 14. Clasificación de los tipos estructurales diapositiva 151
- 15. Sistemas que trabajan a compresión: sistemas de arcos diapositiva 153
- 16. Sistemas que trabajan a tracción: Sistemas en forma de tienda, sistemas de redes de cables y membranas, sistemas colgados de cables y sistemas neumáticos diapositiva 160
- 17. Sistemas que trabajan a flexión: Sistemas de vigas y losas, sistemas de vigas en celosía, sistemas de armaduras o cerchas, sistemas de pórticos, sistemas reticulados espaciales, sistemas de doble y simple curvatura y sistemas laminares plegados diapositiva 165

- Bibliografía diapositiva 201
- Tabla ordenadora de ejemplos estructurales y su contexto histórico (liga a documento anexo) diapositiva 209

Introducción

El diseño de las estructuras y de los espacios arquitectónicos son dos aspectos inseparables de una sola entidad. No existe arquitectura sin estructura. Sin embargo, la estructura por sí sola no es arquitectura. De esta misma manera, no debe separarse en la preparación profesional de un arquitecto la enseñanza de ambos, debe integrarse el diseño estructural al arquitectónico en las aulas de clase.

Es común que los alumnos de la facultad no desarrollen una "cultura estructural" hasta muy adelante en su carrera, esto se refleja en los resultados que arrojan los trabajos y proyectos que realizan a lo largo de su educación, es clara la escasez de recursos para resolver diferentes problemas arquitectónicos que se les presentan, sobre todo en lo que se refiere al lenguaje formal estructural y al enorme cúmulo de posibilidades que este representa. Debemos comprender que no están acostumbrados a analizar y apreciar la arquitectura y sus elementos, pues no vivimos en un país en donde la cultura arquitectónica sea suficientemente promovida, la intuición que han desarrollado de la concepción de un espacio es aquella que les brinda lo que tienen más cercanamente la gran mayoría del tiempo, es decir, su casa, su escuela, etc.

A lo largo de dos años he colaborado como maestra adjunta en la cátedra de Sistemas Estructurales del primer semestre de la carrera, bajo la tutela del arquitecto Luis Fernando Sollis. Este espacio ha conformado un laboratorio de investigación y experimentación para encontrar mejores instrumentos y métodos que coadyuven a la enseñanza de las bases del diseño estructural intuitivo integrado al diseño arquitectónico. Y es precisamente de esta experiencia, de donde surge la idea de elaborar este documento de apoyo para introducir a los alumnos de los primeros semestres de la carrera a la comprensión de los conceptos que conforman el diseño estructural, un documento que habla de estructuras sin dejar de lado la concepción del espacio arquitectónico.

A través de la relación con los estudiantes y a partir de mi propia experiencia en la facultad, he aprendido que los conceptos físicos básicos que aquejan a las estructuras deben ser comprendidos conceptual y gráficamente antes de proceder a su cálculo. Para este fin he utilizado diagramas y croquis conceptuales para ilustrar las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre las estructuras sin abundar en valores numéricos, a la vez que mediante un amplio acervo de imágenes se propone un recorrido visual por la historia de la arquitectura y sus más importantes hitos estructurales para comprender los tipos de estructuras que ha desarrollado la humanidad

y a qué tipo de necesidades espaciales responden, ubicando los diferentes materiales que para construirlas se utilizan.

Para posteriormente ejemplificar con edificios contemporáneos los diferentes tipos de estructuras que arroja una clara y concisa clasificación de ellas.

El objetivo de esto, es que los alumnos comprendan de manera conceptual cómo funcionan las estructuras e intuitivamente aprendan a aplicarlas al diseño arquitectónico. Asimismo, se pretende generar la inquietud en ellos de formarse una "cultura estructural", un amplio acervo de posibilidades formales para generar estructuras en base a la realidad histórica y contemporánea, como un pintor posee una paleta de colores y texturas, los jóvenes estudiantes pueden hacerse de una "paleta estructural". Así, este estudio conformaría un preámbulo al estudio concreto de su cálculo que realizarán en semestres posteriores.

La organización de capítulos del presente documento está basada en el temario de clase que actualmente se imparte en el primer semestre de la facultad. Desde un principio se pretendió que fuera un instrumento de apoyo para el estudio, es por esto que está realizado en formato digital, de esta manera es posible proyectarlo en el salón de clase y también es posible consultarlo desde una computadora personal en casa.

El trabajo previo a la elaboración del documento, precisó una clasificación de la bibliografía a utilizar y de aquella que está relacionada con estos tópicos. Así al final del documento se anexa una lista de bibliografía utilizada y de bibliografía recomendada, ambas con comentarios para ubicar su contenido.

Asimismo, se anexa una extensa tabla del contexto histórico de los hitos estructurales que aquí se tratan y muchos otros más, abundando en los materiales que se utilizaron para su construcción, sus autores y la aportación estructural que representan.

Objetivos generales:

- Definir e ilustrar la diversidad de sistemas estructurales y sus aplicaciones, de manera gráfica, sencilla y que facilite la comprensión de la lógica física sin abundar en fórmulas o cálculos.
- Proporcionar ejemplos de hitos en la historia de la arquitectura de formas estructurales que han trascendido a través del tiempo y los que actualmente existen.
- Lograr que el lector tenga un conocimiento básico de los tipos de estructuras que existen y los materiales utilizados en los sistemas estructurales. De manera que el aparente miedo y apatía que existen hacia este tema se desvanezcan, y motivemos cada vez más su estudio.

De esta manera el estudiante o lector:

- Conocerá las características de las acciones (cargas) estáticas y dinámicas que influyen en las estructuras y los efectos que ellas producen.
- Conocerá las formas estructurales empleadas eficientemente en la solución de problemas y necesidades arquitectónicas particulares, así como los materiales más adecuados para su construcción, sus características y aplicaciones formales.
- Comprenderá la importancia que tienen las estructuras en la composición integral arquitectónica.

Todo esto con el afán de que los alumnos, desde los primeros años, desarrollen un criterio intuitivo en la solución estructural de un edificio.

..."Si el diseño de estructuras consiste en suministrar soluciones eficaces a los nuevos problemas que cada día plantea la creciente actividad en el campo de la construcción, debe llegarse a una combinación armoniosa de nuestra intuición personal y de una impersonal, realista, objetiva y vigorosa ciencia estructural.

Los futuros arquitectos, aun cuando tengan la oportunidad de confiar en el cálculo final de un especialista, deben ser capaces de establecer sus trazas y darle proporciones correctas. Sólo entonces una estructura podrá nacer saludable, viva y, posiblemente, hermosa."

Pier Luigi Nervi, 1965.

Primera parte

Conceptos básicos sobre las estructuras

Definición de Estructura

1.1

Estructura: "Orden y unión de las partes de un organismo que se forma con arreglo a un fin unitario."

Immanuel Kant

Estructura- Amazón y entramado de madera, plástico, metal, u otro material sólido que constituye el esqueleto de una construcción. Debe poseer estabilidad y soportar cualquier tipo de carga.

Arq. Rafael Farías Arca

Léxico básico mecánico estructural

Apuntes, Fac. Arquitectura 1990

"La 'estructura' debería de entenderse como una red de relaciones de elementos o de procesos elementales. La estructura aparece dondequiera que los elementos se combinan en un todo significativo, cuya disposición sigue leyes definidas. La totalidad en la que descubrimos y examinamos es lo que llamamos un 'sistema'. Así, hay sistemas inorgánicos, orgánicos, sociológicos, técnicos y estéticos".

Wolfgang Wieser

De todos los elementos que componen una forma material rígida —una casa, una máquina, un árbol o cualquier ser animado, la estructura es la más esencial. Todos los objetos físicos tienen estructuras. Sin la estructura, la forma material no puede ser preservada, y sin preservar la forma, al organismo interior no le es posible funcionar. De aquí se infiere la imposibilidad de existencia de ningún organismo, animado o inanimado, al no haber estructura. En consecuencia el diseño de estructuras es una parte del problema general del diseño para todos los objetos físicos.

Hablemos ahora de conceptos de estructura que van más allá de la forma rígida tangible para tener una comprensión del mundo que nos rodea y de definiciones universales de la estructura.

Hasta ahora la ciencia nos ha abierto nuevos e inmensos horizontes, pero no hemos logrado utilizar plenamente nuestra nueva tecnología ni administrarla sabiamente para el bien desde nuestro planeta.

La mayoría de quienes trabajan en los campos de las humanidades y las ciencias reconocen que los últimos ciento cincuenta años han desembocado en una fragmentación de la experiencia, una explosión del conocimiento en muy variadas y circunscritas disciplinas, cada una de ellas con un lenguaje en crecimiento desenfrenado y cada vez más específico. La acelerada espiral del conocimiento, con su coincidente fuerza centrífuga, nos va separando unos de otros. Nuestro sentido de un mundo coherente está en peligro por la crisis de la comunicación. Necesitamos, por tanto, hallar nuevas fuerzas centrípetas que puedan mantener coherente nuestra comprensión del mundo y de la vida, y que nos brinden una idea del todo y no sólo de sus partes.

Ahora en nuestro tiempo hablamos dialectos diferentes, pero dialectos al fin de un idioma fundamental. Podemos comunicarnos — es decir, combinar y reforzar nuestro conocimiento con el de otros seres humanos — estimulando la circulación de ideas, encontrando canales de comunicación que interconecten nuestras disciplinas y nos capaciten para ver el mundo como un todo coherente.

Debe haber una reorientación en nuestra escala central de valores, a partir de las nuevas perspectivas a las que nos enfrentamos en los dominios científico y tecnológico.

En cada campo del esfuerzo humano debemos avanzar hasta las más alejadas fronteras del conocimiento posible hoy en día, y combinar e intercomunicar todo ese conocimiento a fin de alcanzar el sentido de la *estructura*, en palabras de Gyogy Kepes: "la capacidad de ver nuestro mundo como un todo indivisible".

La estructura, en su sentido fundamental, es la unidad creada por las partes y las articulaciones de las entidades. Un patrón de cohesión dinámica en el que el nombre y el verbo, *forma* y *formar*, coexisten y son intercambiables.

El concepto de estructura está estrechamente relacionado a los conceptos de orden, forma, complejidad organizada, totalidad o sistema. Este concepto hoy en día se revela "(...) como el nuevo principio ordenador en todos los ámbitos del pensamiento creativo y su aplicación práctica en nuestro tiempo" (Kepes, G., 1965)

Cada época histórica busca y necesita un cartabón central de entendimiento. La estructura parece ser el de nuestro tiempo; la única base de nuestra visión.

La visión imaginativa más patente está orientada hacia la estructura. Cuando las viejas relaciones se derrumban, inevitablemente nuestros esfuerzos creativos buscan nuevos principios ordenadores que puedan reemplazar a los antiguos. En diferentes campos, y por razones distintas, estos nuevos principios ordenadores son adoptados como fundamentales. Los científicos por ejemplo, han llegado a reconocer que las propiedades clave de los diferentes materiales están determinadas por la manera en que están dispuestos los átomos, y por la manera en que están unidos; y no, como se suponía antes, con arreglo a los componentes elementales del material. La diferencia entre los estados sólido, líquido y gaseoso se explica por la disposición de los átomos y la proximidad relativa de las moléculas, es decir por cómo se conforma su estructura atómica.

De las estructuras inorgánicas a las plantas y animales; de los movimientos de éstos a sus normas de comportamiento, y hasta en las relaciones humanas, la estructura tiene una importancia fundamental. Así como ahora entendemos que la estructura molecular rige los mecanismos genéticos de las formas vivas a través de la estructura del DNA; podemos observar también que los procesos psíquicos no son el resultado de la acumulación de datos aislados que proporcionan nuestros sentidos, sino el funcionamiento coordinado de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

claramente diseñadas redes de sensaciones, determinadas por leyes estructurales.

La experimentación creadora en el campo de las artes ha sacado a la luz paralelismos significativos con la investigación científica. La manifestación más impresionante de este interés puede advertirse en la arquitectura y en la ingeniería contemporáneas. Pier Luigi Nervi, cuya obra tuvo en el siglo pasado una significación casi simbólica en tal contexto, señaló desde entonces que con las proporciones siempre crecientes de los edificios modernos el problema de la estructura pasaba a primer plano. La estructura ha asumido tal importancia formal, que se ha convertido en el rasgo determinante de los proyectos arquitectónicos. En el diseño estructural, las fuerzas de compresión, tensión, momento y resistencia se convierten en un modelo claramente legible de fuerzas y, al mismo tiempo, en un esquema, tan tangible como éste, de neutralización de fuerzas: visible y comprensible, demostrativo de las propiedades de los materiales con los que se plasman las formas.

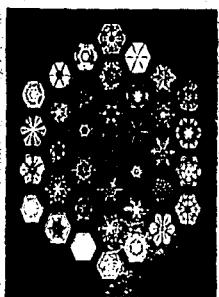
En cuanto arquitectura se refiere existen, desde luego, muchos elementos que integran un edificio; pero su presencia no es vital para su existencia. Un edificio, en efecto, puede existir sin pintura o sin calefacción, pero no puede existir sin estructura. Y aunque la mera estructura no supone todavía arquitectura, la hace, sin embargo, posible. Y esto tanto en lo que se refiere a una primitiva choza como a un moderno edificio de gran altura.

Por consiguiente, el conocimiento del origen estructural de la arquitectura es básico para la formación de un arquitecto, tanto en su contexto del área de las humanidades y las artes, como en el científico y tecnológico. Sin este conocimiento los proyectistas no pueden tomar decisiones de manera inteligente sobre la forma y construcción de un edificio.

Sistemas estructurales en la naturaleza

1.2

En nuestro entorno natural es posible encontrar un vasto número de sustancias formadas por las diferentes combinaciones y permutaciones de una relativa pequeña cantidad de elementos químicos (104 elementos en la tabla química hasta 1990). Esto es tan sólo uno de los innumerables ejemplos que encontramos en la naturaleza de formas y estructuras que se generan de combinaciones de componentes físicos y químicos.



El copo de nieve es un ejemplo muy gráfico de cómo la naturaleza con un mínimo de elementos de composición logra el máximo de diversidad en la forma. Todos los cristales planos desarrollan su forma a partir de estrellas de seis picos. Dicho de otra forma, tienen la simetría de un hexágono regular. Sin embargo, dentro de los límites de esta forma hexagonal, jamás se ha encontrado un copo de nieve exactamente igual a otro. A pesar de generarse a partir de un patrón básico de existencia, las formas de estos cristales varían entre estructuras simples de estrella y sencillas placas hexagonales masivas, hasta complicadas configuraciones en una intrincada filigrana.

La estructura que forman las moléculas del copo de nieve es el sistema constructivo mediante el cual se genera esta indefinida diversidad formal. Este sistema consiste en ciertas condicionantes físicas, geométricas y químicas que gobiernan las opciones formales.

La naturaleza crea formas y estructuras de acuerdo a requerimientos de mínimo consumo de energía. Como una respuesta a la acción de fuerzas, crea una gran diversidad de formas obtenidas de un inventario de principios básicos, es decir, de patrones.

La forma de un objeto es un diagrama de fuerzas, pues a partir de ella podemos deducir cómo éstas actúan o han actuado sobre él. Y podemos, asimismo, observar que las respuestas de la naturaleza a la acción de esas fuerzas tienden a satisfacer condiciones de consumo de mínima energía.

En la naturaleza los conceptos de forma y función, no sólo van de la mano, sino que no puede existir uno sin el otro y ocurren simultáneamente. No hay forma sin función y no hay función sin forma. Se mantiene un proceso evolutivo, en el que los sistemas poco eficaces desaparecen, dando lugar al perfeccionamiento de los que mejor se adaptan a las condiciones que prevalecen en el medio natural.

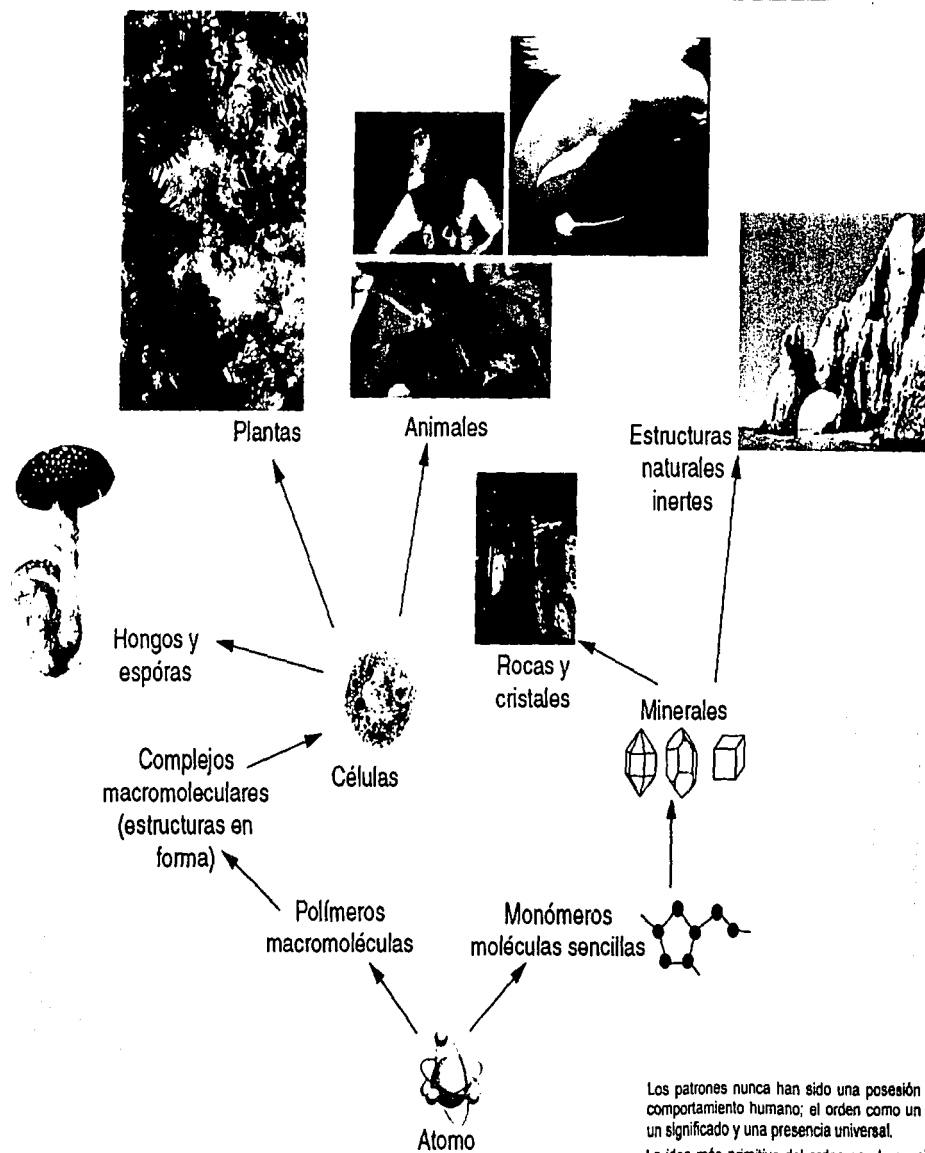
La acción de fuerzas puede ser considerada como cualquier factor que pueda actuar interior o exteriormente para determinar alguna forma. La forma de cualquier estructura está determinada por dos tipos de fuerzas fundamentalmente: (1) fuerzas intrínsecas, y (2) fuerzas extrínsecas. Fuerzas intrínsecas son aquellas que gobiernan los factores que son inherentes en un sistema estructural, es decir, las propiedades internas del sistema que gobiernan sus posibles arreglos y su potencial desempeño. Volviendo al ejemplo del copo de nieve, la estructura molecular en éste constituiría las fuerzas intrínsecas, gobernando su naturaleza o característica de poder desarrollar una infinita variedad de patrones dentro de su simetría hexagonal.

Las fuerzas extrínsecas son aquellas que gobernando ciertas influencias sobre él son externas a dicho sistema estructural. Son ese inventario de factores, en su mayoría resultado de las condiciones ambientales, que dan dirección a las opciones de forma, permitidas a su vez por la combinación inherente de propiedades generadoras de forma en un sistema estructural. En nuestro copo de nieve estaríamos hablando de factores específicos del ambiente, como son, temperatura, humedad, velocidad del viento, presión atmosférica, que al interactuar con la estructura molecular de la nieve sintetizan su forma precisa.

Todas las formas en la naturaleza son determinadas por la interacción de fuerzas intrínsecas y extrínsecas.

Los sistemas estructurales orgánicos e inorgánicos, desde los minerales y los microscópicos protozoarios hasta las masivas formaciones volcánicas y los grandes mamíferos, conjugan armoniosamente belleza, función, sencillez y economía.

Este es el tema de interés en este capítulo, analizaremos como se constituyen algunos de los sistemas estructurales que encontramos en la naturaleza partiendo de las partículas atómicas y como se agrupan en estructuras moleculares, formando minerales y células hasta conformar plantas, animales y rocas con la ayuda de los agentes externos del ambiente.



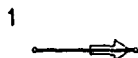
Los patrones nunca han sido una posesión exclusiva del comportamiento humano; el orden como un 'patrón' tiene un significado y una presencia universal. La idea más primitiva del orden en el espacio es la base para la comprensión de nuestro universo.

Para poder entender estas ideas es adecuado seguir el método experimental en el que podamos visualizar nuestras ideas.

Tomemos un punto como una entidad físicamente real y démosle tamaño relativo, según la experiencia humana propia. De esta manera podemos hacer de éste un objeto manejable, visualizado y ubicado para ocupar un lugar en el espacio. Así manipulándolo podemos estudiar su comportamiento singular o colectivamente. Es posible, entonces, observar qué volúmenes describe trazándolo sistemáticamente a través del espacio. Si un punto se mueve sin cambiar su dirección desde una posición inicial, el trazo de este trayecto describe una línea – la llamada primera dimensión, 1. Al mover la línea en cualquier otra dirección diferente de la primera, se describe un trazo plano – la llamada segunda dimensión, 2. El trazo de un tercer cambio de dirección describe un sólido – la llamada tercera dimensión, 3.

A
MOVIMIENTO MINIMO

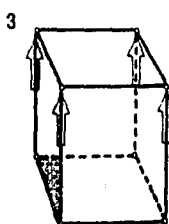
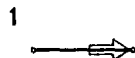
•
Posición inicial



TETRAEDRO

B
MOVIMIENTO INTERMEDIO

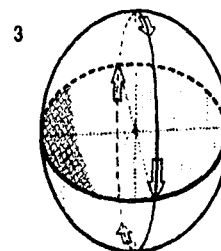
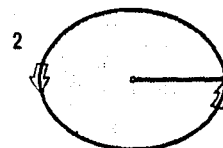
•
Posición inicial



CUBO

C
MAXIMO MOVIMIENTO

•
Posición inicial



ESFERA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Existen tres formas fundamentales en las que el tercer movimiento puede realizarse: la primera y la más económica provee el primer sólido, el **tetraedro** – la pirámide de cuatro lados; la segunda y más comúnmente usada resulta en el **cubeo**; la tercera, a partir de un movimiento cíclico o una rotación por cada dimensión, resulta en la **esfera**.

El tetraedro, mínimamente estructurado, es el más fuerte, pues es el que más capacidad tiene de resistir fuerzas externas de todas direcciones. Tiene la mayor cantidad de área de superficie para volumen de todos los poliedros.

La esfera tiene la menor área de superficie y es más adecuada para contener fuerzas internas (obsérvese una burbuja).

El cubo representa la fase transitoria de estos dos, y es una unidad 'sociable' o de empaque estrecho.

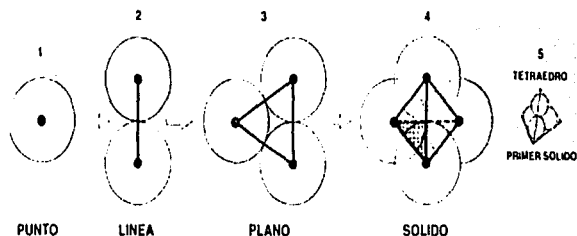
El criterio de economía estructural y espacial – mínimo consumo de energía (o movimiento) para alcanzar un fin – se aplica naturalmente en nuestro entorno, y es ejemplo inequívocamente funcional para el diseño de estructuras.

Echemos una mirada ahora al despliegue o desdoblamiento de las dimensiones.

Considerando que una línea tiene un punto-esfera al final de ésta, entonces la línea representa a un mínimo, un desplazamiento igual al diámetro de un punto-esfera, 1-2. Esta línea puede traducirse como el trayecto de un punto-esfera que ha sido movido por lo menos la distancia de su propio diámetro. Los puntos-esfera no pueden estar más cerca que esta distancia. Aquí se muestran dos punto-esfera, 2, con una línea entre sus centros, representando su relación fundamental.

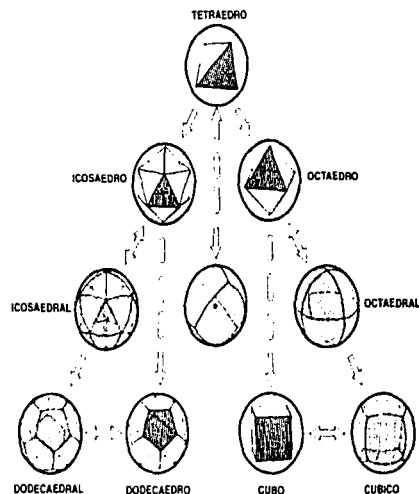
La condición mínima para representar un plano es que tres puntos-esfera deben situarse en cualquier otra posición distinta de una línea recta, 3. Si se aplican igualmente las condiciones más económicas, con cada punto-esfera separado por tan sólo su distancia corporal de su vecino, describiremos un plano – resultando un triángulo equilátero entre los centros de los puntos-esfera. Adoptando el mismo criterio y siguiendo este mismo procedimiento, podemos describir un espacio sólido con el cuarto y final punto-esfera, 4; el resultado es una pirámide de cuatro lados, el **tetraedro**. Hay seis posibles conexiones entre los cuatro centros de los punto-esfera, estos dan lugar a las aristas del tetraedro.

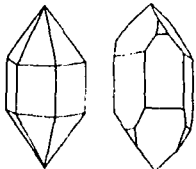
Este último patrón de puntos-esfera representa el mayor número de esferas idénticas que pueden atraerse en contacto simultáneo. Cada una toca a las demás. El dibujo final, 5, muestra una vista en perspectiva con las líneas envolventes del tetraedro por fuera de los cuatro puntos-esfera.



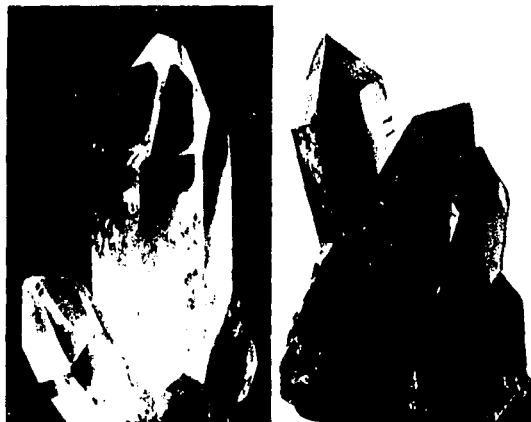
A partir del tetraedro y en una progresión de polígonos regulares compuestos por uniones de puntos-esfera, obtenemos los sólidos platónicos, base geométrica a partir de la cual obtenemos todas las demás formas geométricas que son la base, también, para una relación de proporciones que encontramos en los seres vivos e inertes.

En la composición estructural de las moléculas formadas por átomos, nos encontraremos una y otra vez con figuras geométricas. Estas moléculas conforman los compuestos químicos que integran sales, minerales, cristales, líquidos y gases. En muchos de éstos la estructura más grande y final que da forma a un objeto finito es igual ala de la estructura de la forma molecular generadora.





Un claro ejemplo de esto son los cuarzos; el cuarzo es un mineral óxido que se presenta en cristales prismáticos trapezoédricos y prismáticos bipiramidales pseudohexagonales, esto quiere decir que, ya sea en fragmentos microscópicos o en un gran agregado de cuarzos como los que se encuentran en Brasil, siempre encontraremos que su aspecto es en forma de prisma.



Asimismo podemos referirnos a los prismas basálticos; el basalto es una roca volcánica muy abundante en nuestro planeta compuesta de varios minerales y cristales. Las extensiones de basalto se han originado por erupciones volcánicas, éstas, en numerosas ocasiones, reciben esfuerzos que provocan fisuración columnar, la masa resulta entonces subdividida en prismas columnares de sección hexagonal o pentagonal, y esto se debe principalmente a la presencia de feldespatos y otros minerales de estructura prismática.

Sin embargo, los anteriores ejemplos nos remiten a condiciones moldeadoras de la estructura a partir de fuerzas primordialmente intrínsecas. Pero, los agentes moldeadores del ambiente, las fuerzas extrínsecas, intervienen en las formaciones del paisaje inerte en forma constante. Al observar la forma de una montaña y preguntarnos qué condiciones determinan la inclinación de sus laderas y su altura, podemos pensar en conceptos como el ángulo de reposo de un material o la cantidad de energía que liberan las placas tectónicas al chocar deformando la superficie terrestre. El viento y el agua son factores que han moldeado también gran parte del paisaje de nuestro planeta, el resultado formal último ha dependido también del peso, la resistencia, la dureza, las propiedades isotrópicas del material pétreo y la condición de equilibrio que alcance.

Para los seres vivos el principio es el mismo. La unidad anatómica primordial es la célula. Las estructuras que presentan las células son muy variadas y se dividen en dos clases: eucariontes, células con núcleo y organelos que pueden vivir aisladas (organismos unicelulares) o en conjunción con otras formando los tejidos orgánicos (células animales y células vegetales); y procariontes, células sin núcleo y organelos consistentes en una masa protoplásmica provista de otros elementos y procesos químicos que permiten que funcione como un ser vivo unicelular (como algunas bacterias).

La forma estructural de una célula responde completamente a la función que desempeña. Podemos observar que algunos organismos unicelulares tienen formas que obedecen a la manera en la que se desplazan o se alimentan.

En las siguientes ilustraciones mostramos algunos tipos de protozoarios en los que podemos distinguir ciertas estructuras desarrolladas especialmente para un propósito.

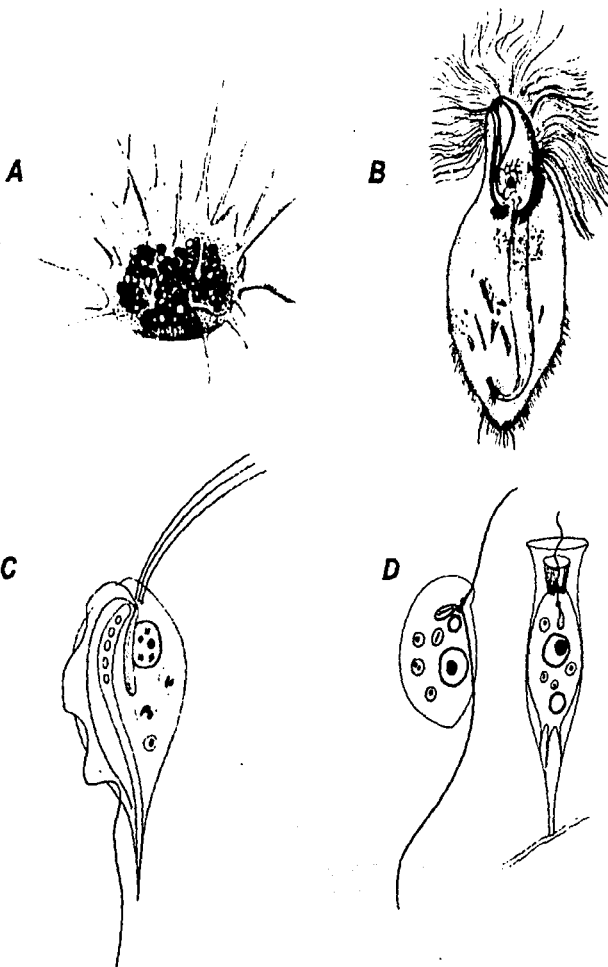
•En la figura A observamos la estructura externa de una *Amoeba Dactylosphaerium*, este tipo de amiba extiende pseudopodia de todos los puntos de su cuerpo para desplazarse de un lado a otro.

•En la figura B tenemos una *Joenia annectens*, un parásito de la madera que desarrolló cilios a su alrededor como medio para nadar entre un medio líquido y para empujar comida a su interior.

•En la figura C se muestra una *Trichomona* con 3 flagelos anteriores que le proporcionan un medio tanto para moverse como para acercarse comida, y un flagelo posterior con una membrana ondulante que le permite desplazarse con rapidez.

•En la figura D observamos primero un *Bodo saltans* con flagelos anterior y posterior que le proporcionan un movimiento brusco, parecido a un salto, para desplazarse, posteriormente se observa una *Selpingoeca gracilis* que porta una membrana o cutícula exterior por la que desplaza agua entre el cuerpo y ésta y le proporciona una continua fuente de alimento a la vez que le permite desplazarse grácilmente.

•Las células vegetales poseen además de una membrana plásmatica que contiene al núcleo y los organelos una membrana rígida producto de complejos macromoleculares secretados por las mismas células. Esta membrana conforma la estructura de las plantas, lo que les da la forma que poseen, lo que hace que sus tallos, a pesar de su esbeltez, se mantengan rígidos y erectos, y lo que les provee de una red de riego de alimento y células que permiten su posterior crecimiento.

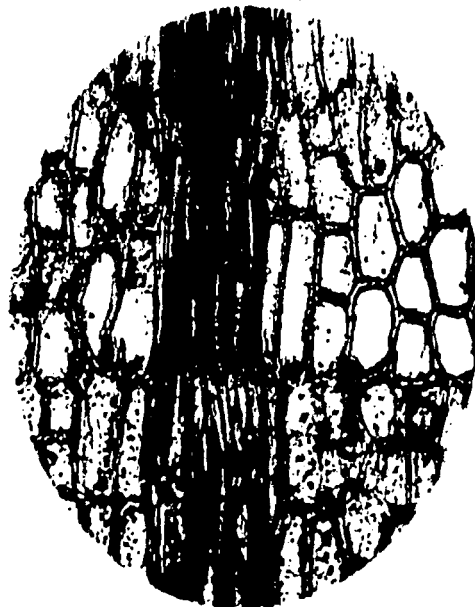


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

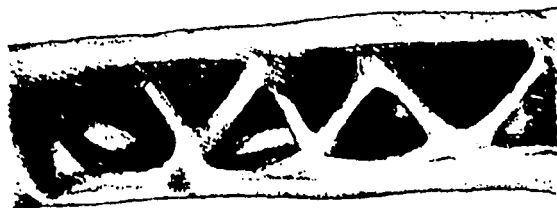
Las células animales son desnudas y se protegen sólo por una membrana plasmática, esto se debe a que construyen tejidos conformados por sus propias secreciones y elementos externos proporcionando una estructura protectora y una vía por la cual desplazarse en ocasiones, o construir otro tipo de tejidos a su alrededor.

Ahora bien, las formas últimas que van adquiriendo las estructuras que construyen las células obedecen a la función que tiene esa estructura. La naturaleza proporciona un infinito inventario de soluciones formales a la estructura dependiendo de si esta ha de ser diseñada para soportar peso, para proporcionar comida, para digerirla, para soportar un peso y desplazarlo de un lado a otro, para desplazar ese peso a través de medios más densos que el aire o que ofrezcan resistencia, etc.

Podemos maravillarnos de lo sabia y magnífica que es la naturaleza para diseñar sus estructuras en cualquier ser inerte o vivo, simplemente echando un vistazo al lente de un microscopio: así como las células de un árbol tienen que diseñar toda una red de canales para transportar la savia de la raíz a la copa y construir una estructura de infinidad de 'pisos' para sostener erguidos esos canales, las células osneas de un ave tienen que construir una estructura adecuada en su esqueleto para resistir no sólo su propio peso, sino además la fuerza que tendrá que resistir al vencer la resistencia que opone el viento al volar y tomar las diferentes corrientes para planear, despegar o aterrizar. Todo ello logrado con una perfecta armonía entre forma adecuada y economía de medios.



Estructuras creadas por las células de un árbol para transportar nutrientes.



Hueso metacarpal del ala de un buitre rigidizada en forma de una armadura warren.

Demandas o solicitaciones sobre las estructuras

1.3

las cargas

Las estructuras se construyen siempre para cumplir una finalidad definida. Las estructuras arquitectónicas, en particular, cierran y delimitan un espacio a fin de tomarlo útil para una función determinada. Se las construye también para unir dos puntos, como en el caso de los puentes y ascensores, o para resistir la acción de fuerzas naturales, en las presas de embalse o en los muros de contención.

Finalidades diferentes, servidas por espacios diferentes, exigen estructuras diferentes; pero todas las estructuras por el simple hecho de su existencia, están sometidas a la acción de diversas cargas, y deben resistirlas.

La determinación de las cargas que actúan sobre una estructura es un problema complejo. La naturaleza de las cargas varía fundamentalmente con el proyecto, con los materiales y con el emplazamiento de la misma. Las condiciones de carga de una sola estructura pueden modificarse de tiempo en tiempo, o bien cambiar rápidamente de un instante a otro.

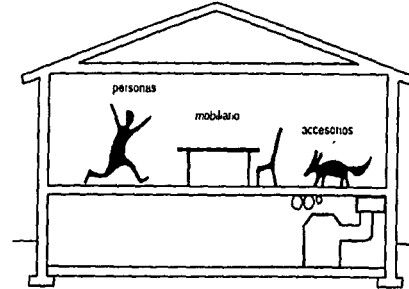
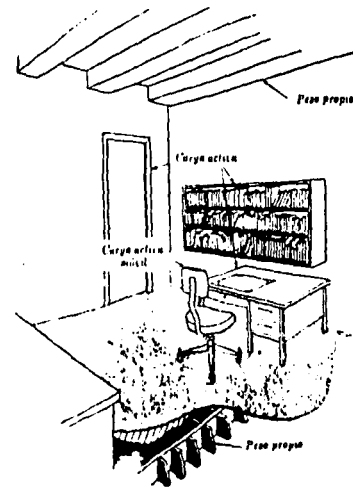
En el proceso de materialización de un proyecto estructural, se investigan primeramente las características e intensidad de las cargas, mediante un análisis de las mismas. Esto representa las solicitaciones que afectan a una estructura. Es importante mencionar que, según el criterio del autor o su nacionalidad, las solicitaciones se han clasificado de diversas maneras, las principales son las siguientes:

Cargas permanentes, estáticas o muertas.

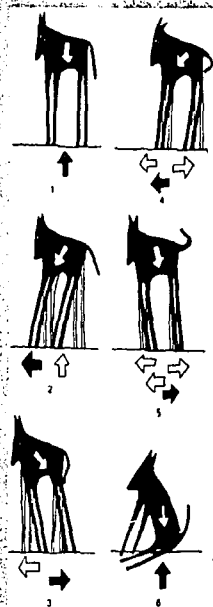
Estas cargas no sufren cambios bruscos. Se conforman por el peso propio de la estructura y los elementos permanentes que existan en ella, y constituyen la base para el proyecto estructural, pues es, en muchos casos, la carga más importante aplicada a una estructura. Puede superar varias veces a las demás cargas. El peso propio de una estructura produce un efecto estático sobre ella. La carga permanente se calcula con facilidad, una vez determinadas las dimensiones de la estructura, se calcula su peso con las tablas de pesos unitarios de materiales estructurales.

Cargas vivas o variables.

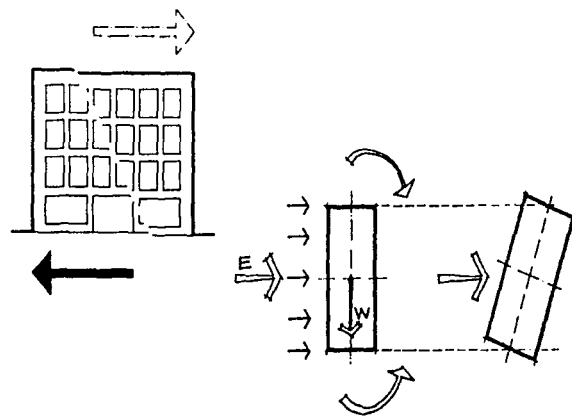
Denominadas también cargas útiles, esta categoría incluye todos los pesos móviles que debe soportar una estructura: seres humanos y animales, máquinas y accesorios, mamparas y otros elementos no estructurales. Una carga viva es, técnicamente, cualquier cosa que no se aplique permanentemente, como una fuerza sobre la estructura. Sin embargo, el término específico "carga viva" se usa generalmente, en reglamentos de construcción para referirse a las cargas de diseño supuestas en la forma de cargas gravitacionales distribuidas sobre superficies de techo y piso, debidas a la ubicación y al uso particular del edificio.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



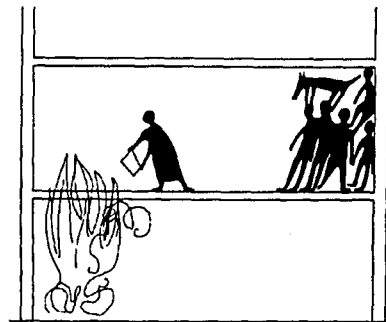
sismo



Cargas dinámicas o accidentales.

Los efectos de las fuerzas o cargas dinámicas son muy diferentes a los producidos por las estáticas. Por ejemplo, un edificio con una estructura de acero ligera puede ser muy fuerte para resistir fuerzas estáticas, pero una carga dinámica puede causar grandes deformaciones y vibraciones que produzcan agrietamientos.

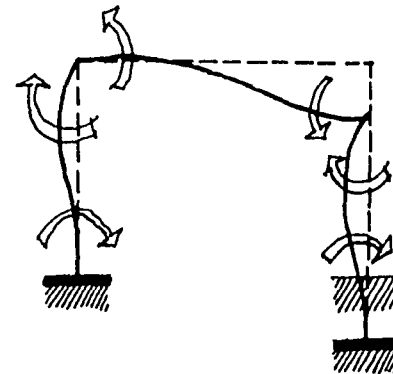
Dentro de esta categoría encontramos la acción la lluvia, el hielo y la nieve, al igual que la presión o succión del viento, la presión del agua, el empuje de la tierra y el sismo. Muchas de estas cargas son de índole tan incierta que requieren la fijación de valores promedio en los códigos y reglamentos de edificación, pues a veces resulta imposible su análisis caso por caso.



Cargas térmicas y de asentamiento.

Todas las estructuras están expuestas a cambios de temperatura, y varían de forma y dimensiones durante el ciclo de temperaturas diurnas y nocturnas, como también durante el ciclo de invierno y verano. Los efectos de la variación de dimensiones debida a la dilatación y contracción térmicas, equivalen a menudo a grandes cargas, las cuales pueden resultar muy peligrosas por ser invisibles.

Otra condición cuyos efectos equivalen a los de cargas pesadas puede obedecer al asentamiento irregular de los cimientos de un edificio. Cuando las características del terreno de desplante de cimentación, no sean uniformes o por la alta compresibilidad del mismo, se pueden presentar hundimientos diferenciales que se traducen en grandes esfuerzos e incluso en la falla de la estructura.



Estados básicos de los esfuerzos de trabajo

1.4

El propósito de una estructura es canalizar las cargas que recibe el edificio al suelo. Esta acción podría semejar a aquella del agua corriendo a través de una red de tubería; las columnas, vigas, cables, arcos, y otros elementos estructurales actúan como tuberías para el flujo de las cargas. Naturalmente, esto se vuelve más complejo cuando la estructura es grande y las cargas son numerosas.

La notoria e inherente simplicidad de la naturaleza permite a la estructura desarrollar su cometido a través de básicamente dos acciones elementales: jalar y empujar. No importa cuan variadas sean las cargas y que tan compleja geoméricamente sea la estructura, sus elementos siempre experimentarán este tipo de acciones. Éstos son jalados por las cargas, y en consecuencia se estiran; o son empujados, y en consecuencia se aplastan. En lenguaje estructural, se dice que las cargas provocan *esfuerzos* sobre la estructura y ésta se *deforma* bajo los esfuerzos.

Cuando un material es jalado, se dice que está bajo *tensión*. La tensión es fácil de reconocer pues alarga el material, esto es muy evidente en materiales sumamente elásticos como una liga de hule.

Cuando un material es aplastado, se dice que está bajo *compresión*. La compresión, en cierto sentido, es lo opuesto a la tensión, debido a que comprime o aplasta dicho material. Esto es fácilmente apreciable al momento de aplastar una esponja rectangular y observar cómo se comprime.

Los materiales estructurales son mucho más rígidos que el hule y la esponja, su alargamiento bajo tensión o aplastamiento bajo compresión puede no ser notado a simple vista, pero siempre ocurre, ya que no existen materiales perfectamente rígidos. Todos los materiales deben tener resistencia a la tensión y a la compresión. Estos valores de resistencia son diferentes en madera, concreto armado, y acero, pero los tres tienen la capacidad de resistir antes de colapsarse.

Aunque los esfuerzos y deformaciones se originan por las acciones de fuerzas externas, se representan como los resultados directos de las acciones de fuerzas internas. Así, las acciones individuales de tensión, compresión, cortante, flexión y torsión son la manifestación de una condición de deformaciones y esfuerzos internos en el material de la estructura.

En cualquier lugar, dentro de una estructura bajo carga, por lo general no hay sólo una acción de fuerza interna, sino una combinación de acciones. En las figuras 1 y 2 las acciones de fuerzas internas pueden concebirse en la forma de efectos simples de compresión o tensión.

Es verdad que en ocasiones se utilizan esos elementos simples, pero en general en el cálculo de estructuras se requiere considerar acciones más complejas. Por ejemplo, en el apoyo vertical del anuncio mostrado en la figura 3, las acciones internas producidas por una combinación de carga gravitacional y viento, incluyen compresión, cortante, torsión y flexión en dos direcciones. Éstas ocurren al mismo tiempo, de modo que un análisis preciso debe combinar de alguna manera, todos los efectos netos de esfuerzo y deformación en cierta condición.

La *torsión* como efecto secundario. Generalmente, la torsión es un efecto secundario en las construcciones de concreto reforzado o preforzado. En consecuencia pocos libros la incluyen y muchos reglamentos de construcción no la mencionan. La torsión es el resultado, principalmente, del carácter monolítico de las construcciones de concreto coladas en el lugar. Así como vemos en la figura (torsión.tif) una viga de piso adicional produce torsión en las vigas de borde, efecto que puede ser primario si los muros ofrecen poca resistencia a la deformación por torsión de la viga.. Un muro colocado excéntricamente produce torsión en las vigas de borde, las que deben sujetarse en sus extremos para que resistan la acción ejercida por la torsión. Cualquier asimetría en la carga de una losa de piso produce torsión en las vigas que la soportan. En columnas, cuando sea posible la inestabilidad torsional deben usarse estribos cerrados, debidamente anclados, para evitar la falla por torsión, pues protege al miembro de una falla en espiral.

La inestabilidad torsional puede ser ocasionada por la rotación de miembros sujetos a compresión o bien por inestabilidad lateral en el caso de vigas en balcón. Si se empleara en posición vertical el marco mostrado quedaría sujeto a flexión y compresión combinadas, empleado horizontalmente, como una viga en balcón, queda sujeto a flexión y torsión combinadas. El mismo problema ocurre cuando las vigas de borde se unen en una esquina sin columna, o bien cuando son curvas

En este capítulo trataremos de definir de manera sencilla y gráfica como son producidos estos esfuerzos.

**estados básicos
de los
esfuerzos**

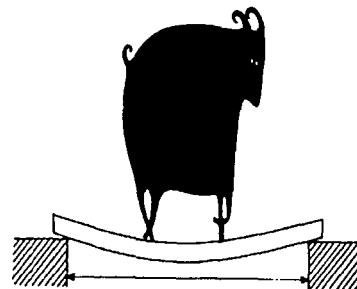
Tensión: Estado de un cuerpo físico que solicitado por fuerzas externas lo mantienen, ya sea comprimido o bien alargado. En el primer caso se trata de una TENSIÓN de COMPRESIÓN y en el segundo de una TENSIÓN de TRACCIÓN.



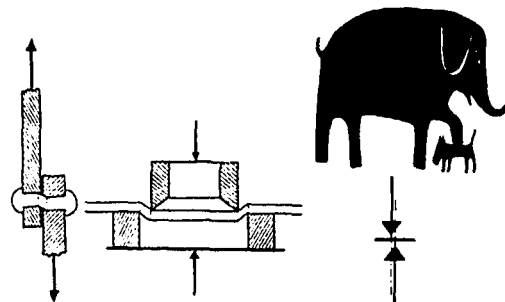
Compresión: Acción mecánica que tiene por efecto reducir el volumen de un cuerpo al apretarlo o presionarlo, produciendo en él una disminución de las distancias que separan a las partículas que lo componen.



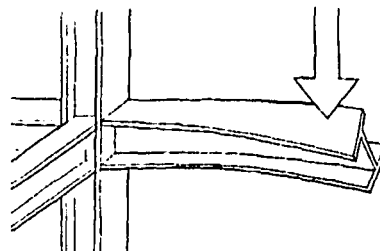
Tracción: Acción de dos fuerzas contrarias en sentido, que obrando axialmente sobre un cuerpo físico sólido, tienden a alargarlo o estirarlo en la dirección del eje en que se aplican.



Flexión: Acción y efecto de doblarse las barras estructurales bajo la acción de cargas y momentos.



Cortante: Es cada una de las fuerzas iguales, paralelas de sentidos contrarios e infinitamente próximas, que actuando casi tangencialmente en una sección de un cuerpo sólido, tratan de dividirlo en dos partes, cortándolo.



Torsión: Deformación de un cuerpo material sólido sometido a dos pares de fuerzas que actúan en sentidos opuestos y en planos paralelos, de modo que cada sección del mismo, paralela a los planos de los pares, experimenta una rotación respecto a otra sección inmediata.

Requerimientos esenciales de las estructuras

1.5

Los adelantos modernos en producción de materiales, técnicas constructivas y métodos de análisis han introducido nueva flexibilidad en el proyecto arquitectónico, ampliando considerablemente su alcance. Estas nuevas libertades no eximen a las estructuras modernas de satisfacer ciertos requerimientos básicos que han constituido siempre los fundamentos de la buena arquitectura y que pueden dividirse en las siguientes categorías: equilibrio, estabilidad, resistencia, funcionalidad, economía y estética (ver definiciones).

La ciencia de las estructuras es esencialmente física y no matemática; se refiere al equilibrio, resistencia, deformaciones, etc., de cuerpos físicos tangibles. El lenguaje matemático que usa la física es una forma de expresión de la realidad física. Lamentablemente, el énfasis que se ha puesto en el cálculo estructural ha hecho perder a veces el sentido físico del problema.

En este capítulo veremos a través de algunos ejemplos cómo funcionan las relaciones entre intuición, razonamiento físico y experimentación.

Estáticamente la estructura es un conjunto de cuerpos vinculados entre sí; como vimos anteriormente, recibe acciones o cargas que deben poder ser equilibradas por las reacciones y por eso impedir cualquier movimiento de traslación o giro. Este equilibrio debe ser estable, es decir que pequeñas acciones pueden producir pequeños cambios pero no grandes transformaciones en la geometría original. Una estructura resistente está destinada a permanecer siempre en una situación de reposo que llamamos de equilibrio estático.

El conjunto de fuerzas (cargas y reacciones) produce cambios a la geometría inicial (corrimientos y giros) que dependen de la rigidez y que deben ser compatibles con el correcto funcionamiento de la estructura. Además, las fuerzas exteriores solicitan a las secciones del material constituyente produciéndole deformaciones que pueden llegar a romperlo o agotarlo de tal manera que sobrevenga el colapso.

El diseñador debe buscar combinar todas estas variables para lograr mecanismos eficientes, es decir, que sean capaces de lograr los objetivos propuestos en el menor trabajo posible y de la mejor manera, utilizando la más adecuada de toda la amplia gama de formas estructurales que existen en un problema estructural específico. Esto redundará en economía y funcionalidad.

No puede negarse la influencia de la estética sobre la estructura. El arquitecto debe sugerir el sistema que cree más adecuado para expresar su concepto de edificio, de alguna manera esto provoca a veces la imposición de sus postulados estéticos al ingeniero, fijando a menudo limitaciones al sistema estructural. Rara vez el ingeniero se halla en situación de modificar radicalmente la propuesta de aquel.

En algunos casos el arquitecto consulta al ingeniero desde el comienzo mismo de su proyecto y éste participa en la concepción de la obra, haciendo de la estructura una parte integral de la expresión arquitectónica. El equilibrio de objetivos y medios así alcanzado ha de producir, sin duda, una mejor estructura y una arquitectura más satisfactoria.

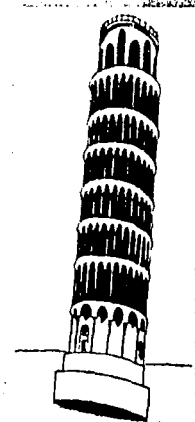
Definiciones:

Equilibrio: Estado de reposo de un cuerpo físico que se presenta cuando las fuerzas y momentos que actúan sobre él se anulan mutuamente, es decir la suma de éstos es igual a cero.

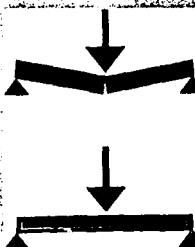
Estabilidad: Capacidad de las estructuras de conservar su posición y resistir las fuerzas y momentos que actúen sobre ellas, sin sufrir daños ni movimientos, hundimientos, desplomes o deformaciones permanentes.

Resistencia: Propiedad que tiene los cuerpos materiales sólidos de soportar las acciones de agentes mecánicos físicos o químicos sin romperse, deformarse definitivamente, cortarse, o ser atacado por ellos.

Equilibrio de fuerzas horizontales y verticales



La torre de Pisa, pese a que ha sufrido hundimientos diferenciales es un buen ejemplo de estabilidad.



Las estructuras deben ser resistentes al colapso.

TESIS CON
FALTA DE ORDEN

Materiales para las estructuras

1.6

Trabajando a tensión y compresión

propiedades de los materiales

El propósito de las estructuras es canalizar las cargas del edificio a la tierra. La acción es similar a la del agua que corre por la tubería; columnas, traveses, cables, arcos y otros elementos estructurales actúan como tubería para el flujo de las cargas. Obviamente esta función se vuelve compleja cuando la estructura es grande y las cargas numerosas.

La simpleza de la naturaleza (que Einstein llamaba elegancia), permite que la estructura haga su trabajo a través de dos acciones elementales: jalar y empujar; esfuerzo o trabajo de tensión y esfuerzo o trabajo de compresión. Aún cuando las cargas sean muchas y de gran variedad, y que la estructura sea muy complicada geoméricamente; sus elementos nunca llegan a desarrollar otro tipo de acción. Las estructuras al ser jaladas por las cargas, se alargan; o al ser empujadas, se acortan. En lenguaje estructural, las cargas **fatigan** la estructura, que a su vez se **deforma** bajo el **trabajo o esfuerzo**.

Otra ley básica de la naturaleza rige la respuesta de las estructuras a las cargas. Con un juicioso sentido de la economía, o "pereza inteligente", una estructura siempre escoge el camino más fácil de todos los posibles para bajar las cargas al suelo. Este camino requiere el mínimo de trabajo por parte de los materiales estructurales y es una consecuencia de lo que en física se llama "la ley del mínimo trabajo".

Cuando un material es jalado, se llama **tracción**; la cual es muy fácil de reconocer ya que alarga el material. La tensión se puede detectar fácilmente en elementos fabricados de materiales muy elásticos, como una liga.

Cuando un material es presionado, se llama **compresión**. En cierto sentido es lo opuesto de la tracción, acorta el material; si se empuja una esponja, se acorta.

Los materiales estructurales son más rígidos que las ligas o esponjas. Su alargamiento bajo tensión o acortamiento bajo compresión no se puede apreciar a simple vista, pero siempre ocurre ya que no existe ningún material perfectamente rígido. Los pequeños cambios en la longitud causados por la tensión o compresión cuando se dividen por la longitud del elemento se llaman deformación. La **fuerza** con que se empuja o jala un elemento, dividida por el área a la que se aplica, se llama **esfuerzo**.

Ya que todas las acciones estructurales consisten en tracción y/o compresión, todos los materiales estructurales deben ser resistentes en uno o ambos sentidos. La **resistencia** tiene diferentes valores en la madera, concreto armado y acero; pero los tres materiales tienen la capacidad de resistir tensión y compresión, es decir, a ser jalado o empujado por grandes o pequeñas fuerzas antes de romperse bajo la fuerza de una carga.

Elasticidad y plasticidad

La resistencia no es la única propiedad requerida por todos los materiales estructurales. Si las cargas actúan sobre la estructura permanentemente, intermitentemente o por un período corto de tiempo; el alargamiento o acortamiento de sus elementos no deben incrementarse indefinidamente y deben desaparecer cuando la acción de las cargas termina. Lo primero garantiza que el material no se alargue o acorte tanto que eventualmente se rompa bajo el trabajo de las cargas. Lo segundo asegura que el material, y por lo tanto la estructura, regresen a su forma original cuando se descarga.

Un material cuyo cambio en la forma desaparece rápidamente cuando se quitan las cargas se comporta de manera **elástica**. Todos los materiales estructurales deben ser elásticos hasta cierto punto, aunque ninguno lo es perfectamente bajo grandes cargas.

La mayoría de los materiales estructurales no sólo se comportan de manera elástica, pero dentro de un límite muestran deformaciones que se incrementan proporcionalmente a las cargas, es decir son linealmente elásticos.

El descubrimiento del comportamiento lineal elástico, llamado **elasticidad** de una manera corta, fue hecho hacia el final del siglo diecisiete por un inglés, Robert Hooke, quien era físico, agrimensor y arquitecto. Su ley se resume en lo siguiente: "Las deformaciones de los cuerpos físicos elásticos son proporcionales a los esfuerzos aplicados a ellos".

Todos los materiales estructurales se comportan de manera elástica si las cargas se encuentran dentro de un determinado límite. Cuando las cargas están por arriba de estos límites, los materiales desarrollan grandes deformaciones que ya no son proporcionales a las cargas. Estas deformaciones, que ya no desaparecen al quitar las cargas, se llaman **permanentes o residuales**. Cuando esto ocurre, el material tiene un comportamiento **plástico** o inelástico. Si las cargas siguen aumentando después del comportamiento plástico, los materiales fallan pronto.

Ya se enfatizó que se debe evitar el comportamiento plástico y por lo tanto las deformaciones permanentes, esto para no arruinar la función de la estructura. No debe pensarse que la plasticidad es completamente desventajosa en los materiales estructurales, ya que también puede ser muy útil. Si progresivamente se aumenta la carga en una estructura y se mide el aumento en la deformación, y las deformaciones son mayores que las cargas, entonces es un aviso de peligro, la estructura está por colapsarse. En otras palabras, los materiales que se comportan de manera elástica bajo cargas relativamente pequeñas y plásticamente bajo cargas mayores no alcanzan de repente su punto de quiebra.

Una vez que terminan de comportarse de manera elástica, continúan acortándose bajo cargas que se incrementan hasta que continúan haciendo lo mismo aún sin que se aumenten las cargas. Sólo entonces fallan. Si un cable de acero es suficientemente cargado, se seguirá estrechando o deformando bajo una *carga constante*. De tal manera que es un aviso de una falla inminente.

Los materiales que no se deforman son *frágiles* y no pueden ser usados para estructuras, esto porque se comportan de forma elástica hasta su punto de quiebra y fallan repentinamente sin previo aviso. Esta es la razón por la que el vidrio no se usa como material estructural, aunque su resistencia es mayor que la del acero a la tracción y compresión. Por lo tanto, la *resistencia, elasticidad y plasticidad* son necesarias todas para un buen comportamiento estructural.

El valor de las cargas bajo las cuales la estructura se empieza a comportar plásticamente depende de un número de condiciones, siendo la más importante la temperatura. El acero, uno de los materiales más resistentes y accesibles para el hombre, se vuelve plástico a altas temperaturas. El concreto, por otra parte, es particularmente un buen material aislante y previene por un largo tiempo el calentamiento y la deformación del acero de refuerzo. De manera contraria, el acero se vuelve frágil y se rompe a bajas temperaturas, particularmente con un impacto o una alza repentina en las cargas, a esto se le llama la *temperatura de transición*.

Factores de seguridad

La resistencia de un material estructural se mide por la cantidad de libras por pulgada cuadrada que resiste antes de romperse. Este valor se llama *resistencia a la rotura o fatiga de ruptura*; y varía de material a material; siendo en ocasiones que en el mismo material depende del esfuerzo o trabajo ejercido.

El acero, aluminio y otros metales tienen la misma resistencia así sean jalados o empujados. Las columnas y cables de aluminio se deforman tres veces más que los de acero; esta alta deformabilidad junto con los altos costos hacen de las aleaciones de aluminio menos populares que el acero, aunque el mineral del que se extrae es común en todas partes. El acero también tiene una propiedad valuable de cambiar su comportamiento elástico a plástico en un valor bien definido de trabajo, llamado *esfuerzo de deformación*. Para evitar las deflexiones plásticas permanentes, se puede cargar el acero a una fracción de su esfuerzo. Esta reducción asegura la seguridad, y se usa como base para los estimados conservadores del código de cargas. Debido a todas estas causas, los *factores de seguridad*, que honestamente deben ser considerados como "factores de ignorancia", tan altos como 5 deben ser usados en el diseño de las estructuras.

Esto significa que las estructuras pueden ser sobre cargadas 5 veces antes de que se colapsen. Desgraciadamente las piedras y el concreto resisten poco la tracción. Por lo tanto sólo pueden ser usados en elementos que nunca vayan a desarrollar este tipo de esfuerzo, como las columnas o arcos; pero no es el caso de trabes, que, desarrollan tensión y compresión.

La resistencia de la madera no sólo difiere en la tensión y compresión, sino también depende de la dirección del esfuerzo que se ejerza en ella, tiene que ir en dirección de la veta o perpendicular a ella. Para sobreponerse a esta peculiaridad, se pegan láminas de madera con las vetas en diferentes direcciones con pegamentos plásticos—madera laminada. Esto tiene aproximadamente la misma resistencia en todas las direcciones. La madera es uno de los pocos materiales naturales que tienen una alta resistencia a la tensión y se ha usado a lo largo de la historia en vigas y otros elementos que desarrollan tensión. Pero tiene una desventaja se quema a bajas temperaturas y debe tener un tratamiento que retarde el fuego, aunque con esto disminuye su resistencia y fuerza.

Acero

Los materiales hechos por el hombre han permitido la realización de estructuras que rompen récords en los tiempos modernos. Los edificios más altos en el mundo (Torre Sears en Chicago) son soportados por columnas y vigas de acero, y los puentes más largos que se encuentran en suspensión (Puente Humber en Gran Bretaña) están sostenidos por cables de acero. El acero es el material con la mayor resistencia que se puede obtener a un costo bajo.

El acero es una aleación de hierro y carbón, con pequeñas cantidades de otros metales que le dan sus propiedades particulares. El hierro con una menor cantidad de carbón se llama *hierro forjado* y es moldeable a bajas temperaturas. El hierro con un alto contenido de carbón se llama *hierro fundido o colado* y es fácilmente derretido, pero es un material frágil, que puede ser moldeado en formas complicadas.

El mineral de hierro, que se encuentra prácticamente en toda la superficie de la tierra, se derrite en hornos a temperaturas altas y se hace la aleación con el carbón para obtener el acero. El acero moderno se produce con dos tipos de resistencia: acero estructural regular y acero de alta resistencia. El primero es usado en la mayoría de las estructuras de acero, pero el segundo se ha vuelto hoy en día casi tan barato como el primero y lo está suplantando, particularmente en edificios altos.

Por otra parte, los metalúrgicos recientemente le han dado al acero nuevas propiedades de gran valor práctico. Aunque el acero inoxidable no tiene un proceso de oxidación, su producción tiene un costo muy elevado para permitir su uso en las grandes cantidades necesarias para la construcción. En los últimos diez años se ha hecho un nuevo tipo de acero que se puede exponer a la intemperie y que resiste las condiciones ambientales. Estos aceros tienen un proceso de oxidación que penetra unas centésimas de pulgadas desde la superficie y luego se detiene, dándole al acero un color óxido. La economía lograda por la eliminación de las continuas capas de pintura han hecho del acero un material muy popular para estructuras expuestas y para grandes piezas de escultura llamadas esculturas ambientales.

Algunas propiedades presentan dificultades para el uso en las estructuras: su punto de fusión (1,200°F) y su temperatura de transición (-30°F) donde se vuelve frágil. Otra se encuentra en el acero de dos o tres pulgadas de espesor usado en vigas de puentes muy largos o columnas altas en edificios. A menos que lleven un tratamiento por temperatura, estos elementos gruesos tienden a fragmentarse en pequeñas capas. A este peligroso fenómeno se le llama *laminación*.

Las *fatigas por laminación* no son causadas por cargas aparentes. Las fatigas acumuladas de valores similares, pueden ser causadas por las soldaduras entre los elementos. En estas, el acero de las dos partes a conectar es derretido a temperaturas altas y un material de soldadura se deposita en la junta. Cuando un trabajo bien ejecutado se enfría, la junta se vuelve tan fuerte como el acero de las piezas que se unieron. Si se alcanzan muy rápido las altas temperaturas usadas para soldar o se enfrían las juntas demasiado rápido y se concentra en un área muy pequeña cercana a la junta, puede producir fatiga entrelazada por temperatura, que el acero no resiste. Para evitar lo anterior, por una soldadura mal hecha, los soldadores son cuidadosamente entrenados y certificados por ley. Además, las soldaduras son frecuentemente inspeccionadas por medio de rayos x y otras técnicas más refinadas para detectar fallas en la ejecución.

Finalmente, se debe recordar que el acero se "fatiga" cuando el ciclo de tensión y compresión se repite muchas veces (esfuerzo de tensión a compresión y viceversa).

Concreto armado

Posiblemente el material estructural más interesante hecho por el hombre es el *concreto armado*.

Combinando la resistencia a la compresión del concreto con la resistencia a la tensión del acero, puede ser colado en distintas formas y se le puede dar cualquier figura de tal manera que sea la mejor para distribuir las cargas. Puede ser esculpido al gusto del arquitecto más que ensamblado en figuras prefabricadas. Es económico, fácil de obtener casi en todas partes, resistente al fuego y puede ser diseñado para ser ligero de tal manera que las cargas muertas se reduzcan o para tener una gama completa de resistencias para satisfacer las necesidades estructurales.

El concreto es una mezcla de cemento, arena, piedras trituradas o pequeñas, y agua. El agua y la pasta de cemento rellenan los espacios entre los granos de arena y estos rellenan los espacios entre las piedras. Después de unos días la pasta de cemento se empieza a endurecer o *fraguar*, y al final de cuatro semanas el concreto tiene su resistencia final nominal, que es similar a la de las piedras más resistentes. Las mezclas de concreto son "diseñadas" por laboratorios especializados y se mezcla en proporciones estrictamente controladas en plantas de concreto, y son transportadas al sitio en grandes revolvedoras de gran capacidad, que siguen mezclándola durante el trayecto. Se sacan muestras de concreto en forma de cilindros o cubos de cada carga de camión y probadas para ver su resistencia a la compresión después de 7 y 28 días. La resistencia del concreto depende de la proporción agua: cemento y cemento: arena: piedra. Entre más finos y duros sean los *agregados* (arena y piedra), más resistente será el concreto. Una gran cantidad de agua debilita al concreto.

El *cemento Portland*, como se le llama al cemento moderno, es una mezcla de piedra caliza y arcilla, cocida en hornos y luego pulverizada. Impermeable al agua, se vuelve más resistente si se le sumerge después de que fraguo.

Desafortunadamente, hasta el mejor concreto tiene una resistencia a la tensión que apenas alcanza una décima parte de su resistencia a la compresión, una propiedad que tiene en común con las piedras. La invención del concreto armado puso fin a esta deficiencia y produjo un material estructural que es el más económico. En el concreto armado, se ahogan las varillas de acero, en las áreas que desarrollan esfuerzos de tensión bajo cargas, esto para que el acero tome la tensión y el concreto la compresión.

Ideal como puede ser para la compresión, el concreto también tiene algunas desventajas: si no se moja bien, o cura de manera adecuada cuando está fraguando, se contrae y se resquebraja, de tal manera que permite el paso de la humedad y las varillas de refuerzo se empiezan a oxidar. Más grave aún continúa alargándose o acortándose, deslizándose, bajo constante tracción o compresión bajo las cargas, hasta por tres o más años después de fraguar.

El *prefatigamiento* es uno de los procedimientos más recientes que mejoran el rendimiento del concreto armado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El concreto en el lecho bajo de una viga de concreto armado tiende a desarrollar pequeñas hendiduras o grietas (capilares) debido a la fuerza por tensión causada por la carga de las varillas de acero en su interior. Si este concreto fuera comprimido antes de aplicar una carga a la viga, la tensión causada por la carga puede ser contrarrestada por la compresión inicial y la viga no desarrollará hendiduras capilares. Cuando la tensión inducida en el concreto por las cargas es menor que la compresión prefatigada, el concreto de la viga completa siempre es comprimido y, como el acero o madera, es capaz de resistir ambos tipos de esfuerzo producido por las cargas. En el *pre-tensionamiento*, las varillas de acero son substituidas por cables de acero o *tirantes* hechos de cuerdas de piano excepcionalmente fuertes, y se tensan mediante la fuerza de torniquete contra unas placas de acero. Una vez que el concreto fragua, los tirantes o tensores se aflojan o sueltan de las placas y el concreto se comprime por la tensión en los tirantes o cables de acero. La tensión de los cables y la compresión del concreto se balancean la una a la otra en un esfuerzo entrelazado, invisible al observador externo. En el proceso de *post-tensionamiento* los cables se enroscan o filetean en tubos de plástico colocados en el concreto, para que no se peguen en este último. Después que el concreto ha fraguado, los tensores o tirantes se jalan contra el concreto y su tensión pone al concreto en compresión.

Plásticos

El descubrimiento a principios del siglo veinte, de métodos químicos para la polimerización, es decir la producción de compuestos con cadenas largas de moléculas, abrió una caja de Pandora hacia nuevos materiales. Bajo el nombre de plásticos existe una gran variedad de materiales orgánicos, obtenidos mediante la combinación de temperatura y presión, que son manufacturados con una variedad infinita de propiedades. Los plásticos pueden ser tan resistentes como el acero tanto a la tensión como a la compresión, pueden comportarse de manera elástica o plástica, y prácticamente son indestructibles. Entre los plásticos más funcionales están los reforzados con fibra de vidrio, que no se quiebran; ya que el vidrio, extremadamente resistente a la tensión, tiene su fragilidad amortiguada por la matriz plástica en la que se encuentra ahogado o encastado.

Puede parecer extraño que los plásticos aún no hayan encontrado importantes aplicaciones estructurales. Esto se debe a dos causas: en primer lugar, casi todos los plásticos se deforman más que los materiales estructurales actuales y, por lo tanto, no pueden ser

usados en la manufactura de grandes elementos estructurales. En segundo, tienen un costo muy elevado.

Al día de hoy, las aplicaciones estructurales más emocionantes que tienen los plásticos son en las telas de alta resistencia en grandes techos inflables. Tendrán que pasar años antes de que los plásticos puedan suplantarse materiales tan abundantes, de bajo costo, y bien adaptados a la acción estructural como el concreto armado, acero, mampostería y madera.

Tabla comparativa de las propiedades que poseen los materiales estructurales. (1)

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS	RESISTENCIA AL FUEGO	MANTENIMIENTO	OBTENCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	DEMOLICIÓN
Madera en pequeñas secciones	Fabricación fácil; bajo costo	Atacado por hongos, insectos y fuego	Baja	Requiere capas de pintura regularmente si se usa al exterior	Regenerada indefinidamente por reforestación regular	Fácil
Madera en grandes secciones	Mayores claros y durabilidad que las secciones pequeñas	Se lo se puede obtener de árboles altos, que tienen un crecimiento muy lento (años o hasta siglos)	Se quema inicialmente, pero forma una capa protectora de carbón	Algunas maderas duras no requieren mantenimiento	La reforestación para producir árboles grandes toma mucho tiempo	Fácil
Madera laminada	Grandes secciones se producen de pequeñas piezas de madera	Tiene un costo adicional por la fabricación y el pegamento	La misma que las grandes secciones de madera	Algunos pegamentos y capas protectoras son para exteriores	Regenerada indefinidamente por reforestación regular	Fácil
Acero estructural	Fácilmente fabricado; con la fabricación de estructuras se pueden librar claros muy grandes; costo bajo moderado	Se oxida a menos que se le proteja; no es resistente al fuego sin una protección; esto aumenta el costo	Moderada, si no se le protege; excelente si se le protege con una capa de concreto o vermiculita	Requiere galvanización o pintura regular tanto para uso interno como externo	Depósitos de mineral de hierro y el abastecimiento de chatarra de acero son limitados, pero suficientes como para al menos dos siglos; transformar el mineral de hierro a acero requiere energía	Fácil
Acero Corrosión Resistente	No necesita galvanización o pintura	Tiene un mayor costo que el acero estructural; la estructura tiene que ser detallada para prevenir manchas por el óxido	Moderado; se usa sin capa protectora	Ninguno	Igual que el acero	Fácil
Aluminio	No necesita pintura; muy ligero	Costo más alto que el acero; deflexión alta y mayor tendencia a pandearse que el acero	Baja	Ninguno	Materia prima abundante, aunque no ilimitada; gran gasto de energía para producir el metal mayor que el acero	Fácil

Tabla comparativa de las propiedades que poseen los materiales estructurales (2)

Muros de carga de ladrillo o bloques	Costo bajo; buen aislante termal y alta inercia termal	Resistencia pobre a los terremotos y huracanes, a menos que se encuentre reforzado	Excelente	Ninguno	Ilimitado	Fácil
Concreto simple	Costo bajo; alta inercia termal	Limitado a muros y cimentaciones; resistencia pobre a terremotos y huracanes sin refuerzos; los acabados en las superficies verticales tiene problemas	Excelente	Ninguno	Ilimitado	Más caro que los bloques de concreto
Concreto armado	Costo bajo; alta inercia termal; puede ser colado en cualquier forma; se pueden salvar claros muy largos	La velocidad de la construcción está limitada por la necesidad de que el concreto de los niveles bajos tenga resistencia; más pesado que el acero estructural	Excelente si la capa de protección es adecuada	Ninguno	Al igual que el concreto y el acero (pero usa una pequeña cantidad de acero)	Costo muy alto para las estructuras pequeñas, difícil para las grandes estructuras
Concreto prefabricado	Profundidad más baja que el concreto armado; las cargas muertas pueden compensarse balanceando las cargas; la prefabricación previene la formación de pequeñas fisuras, que no se pueden evitar en los concretos simples y armados	Costo más alto que el concreto armado	Excelente si el concreto prefabricado tiene una capa protectora adecuada	Ninguno	Al igual que el concreto y el acero (pero usa una muy pequeña cantidad de acero)	Puede ser difícil y peligroso por la energía que se encierra al comprimir el concreto

Segunda parte

Arquitectura es estructura

Introducción

II.1

Desarrollo histórico

Comparada con otras actividades humanas, la arquitectura es un arte joven que tuvo sus principios hace tan sólo 10 000 años, cuando hombres y mujeres, habiendo descubierto la agricultura, pudieron dejar de vagar por la superficie de la Tierra en busca de alimento. Hasta entonces habían estado expuestos al clima, precariamente protegidos primero en cuevas y posteriormente por tiendas de pieles animales. Perpetuamente en movimiento y agrupándose en pequeñas tribus.

La historia tradicional de las civilizaciones, nos enseña que todo esto cambió cuando la gente se volvió sedentaria. Las tiendas y chozas fueron reemplazadas por moradas más sustanciales hechas de piedra, lodo, madera y paja, y una permanente hoguera se convirtió en el centro de la vivienda.

Un gran número de chozas construidas con estos nuevos sistemas de edificación se estableció en tierras fértiles, el contacto entre familias se volvió más íntimo y frecuente; las aldeas crecieron. Entre aldea y aldea se tejió una red de caminos; éstos a veces cruzaban ríos y barrancas, lo que dio lugar a la construcción de puentes o pasos hechos de troncos de árboles suspendidos con cuerdas de materiales vegetales.

Los cambios en la arquitectura han sido motivados por la aglomeración de personas. La agrupación de chozas generó la necesidad de chozas más grandes donde los asuntos de la aldea pudieran discutirse. Estas estructuras, mayores en tamaño, sirvieron de casa del pueblo y templos. Ya que las necesidades espirituales han ido siempre de la mano de las necesidades físicas, no sería exagerado afirmar que los más grandes monumentos arqueológicos fueron motivados por necesidades espirituales.

Los progresos iniciales fueron lentos. Los principios fundamentales de la construcción hubieron de aprenderse con ensayos y errores; había que inventar y fabricar herramientas, encontrar y transportar los materiales, adquirir y desarrollar la destreza manual. Algunas civilizaciones consiguieron mantenerse en continuo progreso, resolviendo los problemas según iban surgiendo. Otras quedaron estancadas a veces durante siglos. Sin embargo, la marcha se fue acelerando progresivamente. El hombre descubrió que tenía un talento natural para construir.

Los últimos diez mil años abarcan más de trescientas generaciones, pero aún analizando los increíbles cambios que trajo a nuestras culturas la revolución industrial, podríamos concluir que la arquitectura no ha cambiado mucho, por lo menos en los últimos seis mil años.



La arquitectura es una representación física del pensamiento y la ambición del hombre, una crónica de las creencias y valores de la cultura que la produce. (ROTH, L.M. Entender la arquitectura. 1999)

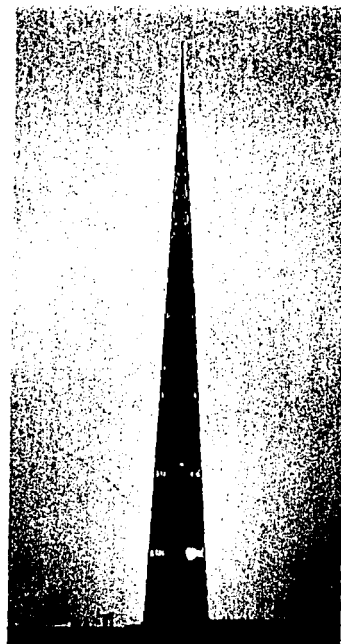
Esta constancia en el ámbito de la construcción podría no sorprendernos, si nos damos cuenta que, en realidad, la arquitectura satisface necesidades fisiológicas que no han cambiado desde que el Homo sapiens pisó la tierra hace tres millones de años. Comemos los mismos tipos de comida que nuestros ancestros prehistóricos, y cocinamos tanto como ellos lo hicieron. Dormimos en posición horizontal y nos protegemos del clima. La arquitectura es la más conservadora de las artes y de las ciencias, porque obedece a estas necesidades inalterables del ser humano. Aún se trate de nuestras necesidades espirituales, que podrán haber cambiado en forma y producido diferentes rituales, pero en esencia son tan básicas hoy como lo fueron en la prehistoria.

Ser capaces de apreciar el desarrollo y los cambios estructurales que tuvo la producción constructiva de la humanidad en los últimos diez mil años, es el propósito de esta parte de la investigación. Sólo así podremos identificar intuitivamente los diferentes sistemas estructurales y los factores que los definen.

Ser capaces de apreciar el desarrollo y los cambios estructurales que tuvo la producción constructiva de la humanidad en los últimos diez mil años, es el propósito de esta parte de la investigación. Sólo así podremos identificar intuitivamente los diferentes sistemas estructurales y los factores que los definen.

Claramente es imposible comprimir toda la historia de la arquitectura del mundo en un único capítulo de tamaño manejable. Con la finalidad de ofrecer un patrón coherente de la diversidad de sistemas estructurales dentro de las épocas y los estilos arquitectónicos y dejar claros sus componentes y evolución, este capítulo se divide en 12 subtemas, cada uno de los cuáles se ocupa de un momento histórico, estilo o autores en particular. Cada subtema cubre los principales elementos que constituyen la arquitectura – sitio, materiales y características estructurales generales – y finaliza con el estudio o disección de uno o dos ejemplos para la producción anterior al siglo XX, y de varios más para este siglo y la producción arquitectónica contemporánea; analizando cerca de 100 edificaciones, cuya selección respondió al gran interés arquitectónico que poseen y a la vasta divulgación de la cual han sido objeto, auxiliándonos así para puntualizar en las características de cada subtema.

La investigación previa a estos temas específicos, arrojó una serie de tablas de acontecimientos, autores, obras y sus métodos constructivos, junto con mapas y gráficas que los sitúan en tiempo, circunstancia y espacio. Este material, útil en la ubicación rápida y concisa de los ejemplos más trascendentes de dicha producción constructiva, se muestra también aquí, a manera introductoria de las grandes etapas históricas, humanísticas y artísticas.



Hitos estructurales arquitectónicos en la línea del tiempo

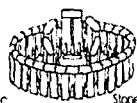
La prehistoria,
el mundo
antiguo y
el mundo previo
al renacimiento

4000 a.C. 3500 a.C. 3000 a.C. 2500 a.C. 2000 a.C. 1500 a.C. 1000 a.C. 500 a.C. AD 0 500 1000 1500 1600

PREHISTORIA

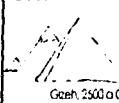


Stonehenge 1900 a.C.

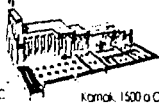


Baalbek 3000 a.C.

EGIPTO



Giza 2500 a.C.



Karnak 1500 a.C.

MESOPOTAMIA



Uruk en Uruk 2111 a.C.

GRECIA



Parthenon 447 a.C.



Panteón 25 a.C.



Coliseo 70 a.C.

PALEOCRISTIANO



Basilica 400

CHINA



Templo del Cielo 634 a.C.



Muro de los Mares 1199



BIZANTINO
S. Sofia 537
S. Marcos 832



S. Basilio 1554

ROMANICO

Bautisterio
Catedral
Isla de Pisa
1063-1250

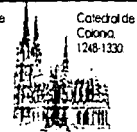


GOTICO

Norte Dame
1163



Catedral de
Salisbury
1220-1258



Catedral de
Coana
1248-1330

ISLAM

Gran Mezquita
de Samarra
847



Domo de
la Roca
685

INDIA

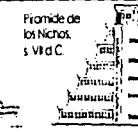
Angkor Wat
1110



Taj Mahal
1632

AMERICA PRECOLOMBINA

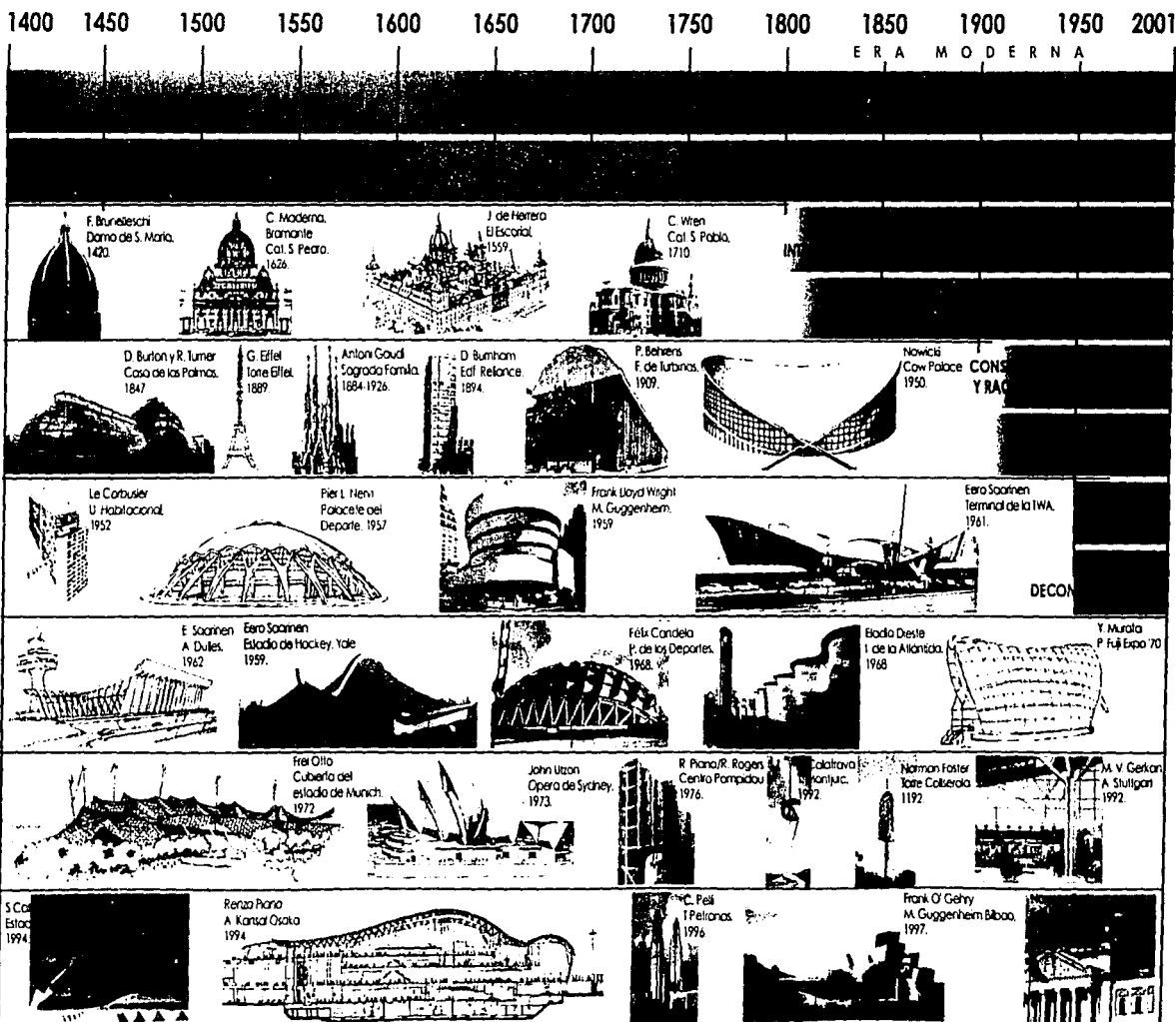
Pirámide
de la Luna
siglo I a.C.



Pirámide de
los Nichos
s. VII a.C.

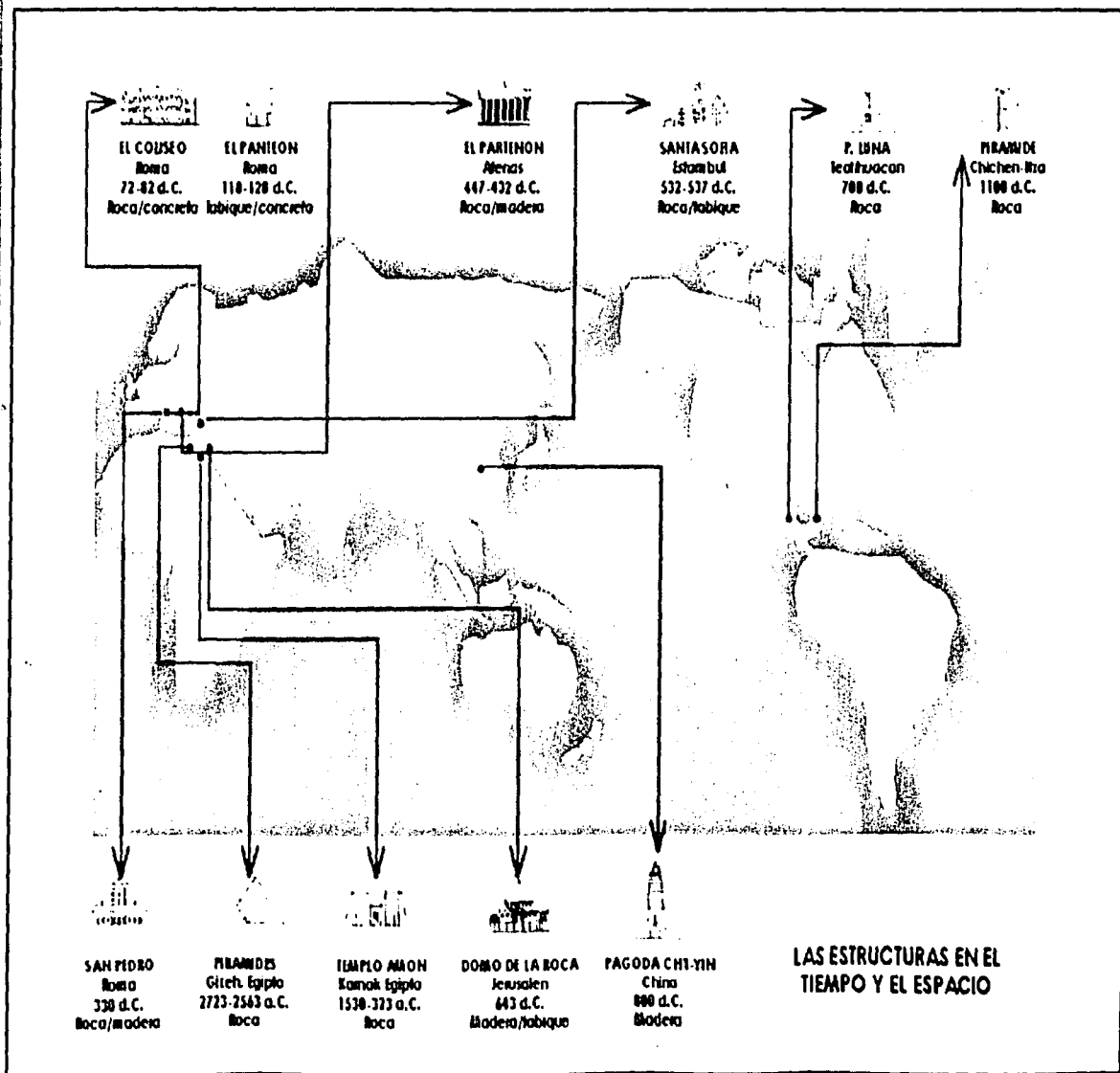
Hitos estructurales arquitectónicos en la línea del tiempo

El renacimiento
y la era
moderna



Las estructuras en el tiempo y el espacio

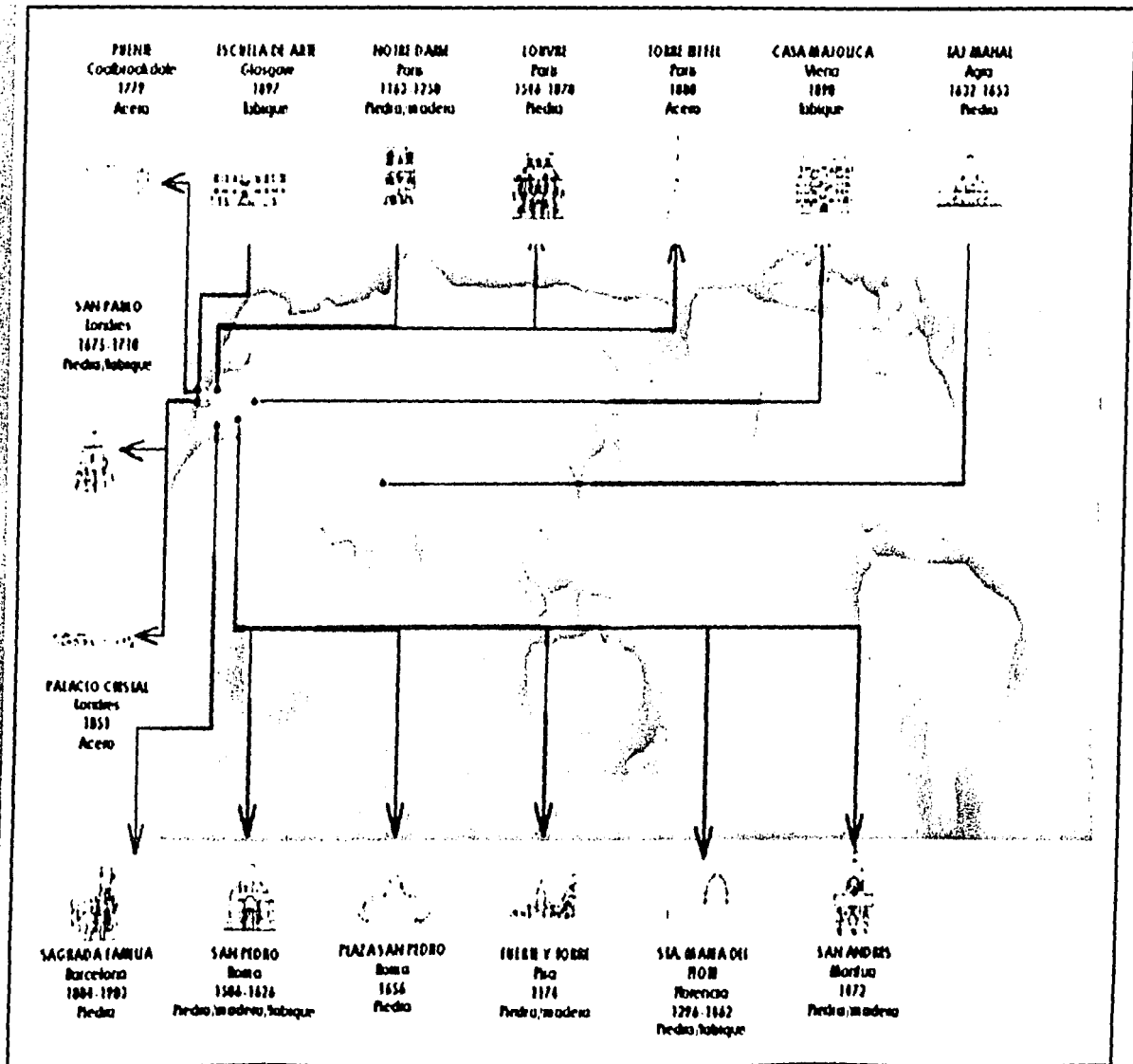
Estructuras arquitectónicas del mundo antiguo



LAS ESTRUCTURAS EN EL
TIEMPO Y EL ESPACIO

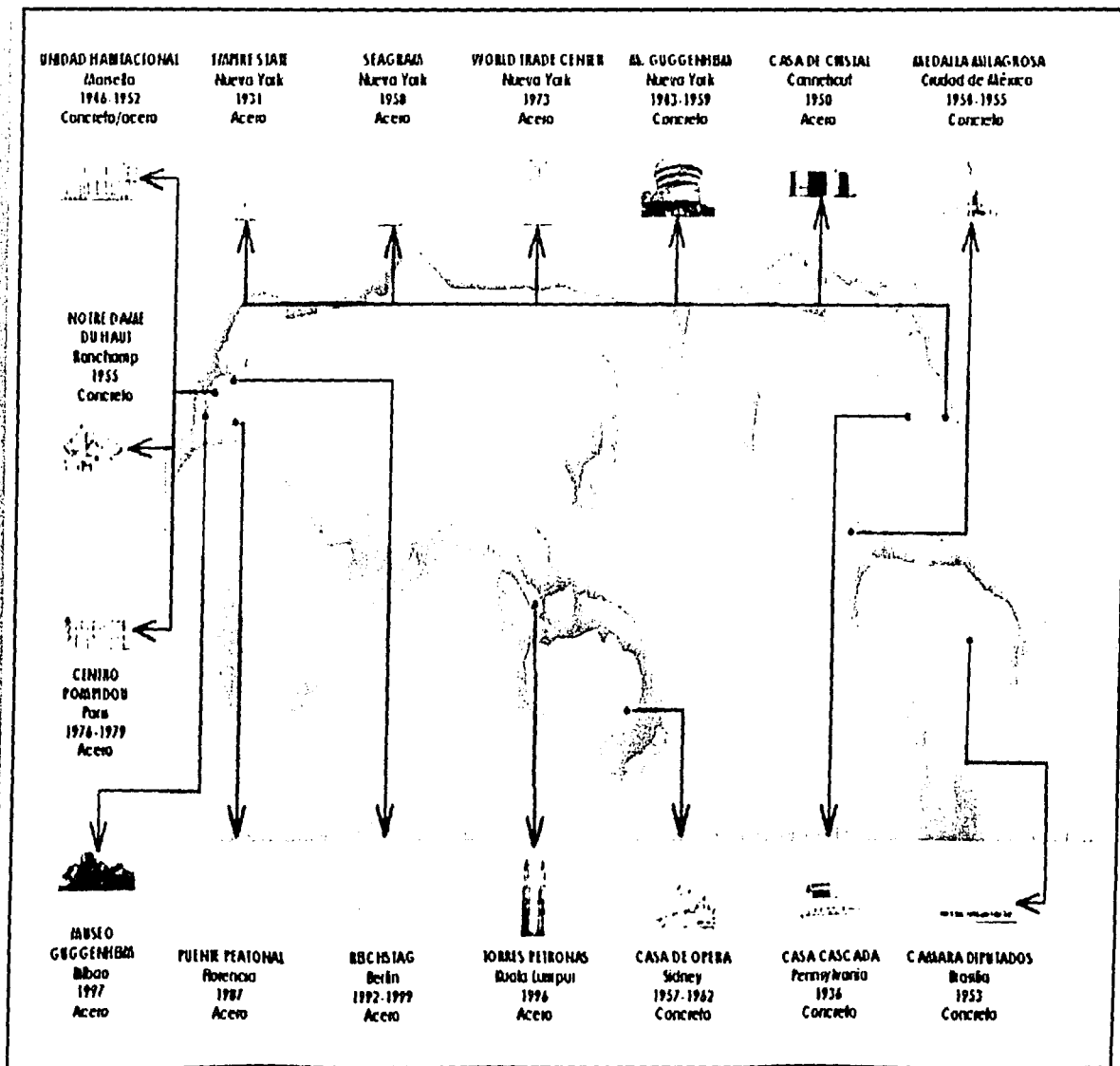
Las estructuras en el tiempo y el espacio

Estructuras arquitectónicas del renacimiento y comienzos de la era Industrial



Las estructuras en el tiempo y el espacio

Estructuras arquitectónicas del siglo XX



La Prehistoria

II.2

la invención de la arquitectura



El temprano respeto que sintió el hombre por los muertos, expresión de fascinación por sí mismo, con sus poderosas imágenes de fantasía diurna y sueño nocturno, tal vez fue lo que le impulsó a buscar, al principio, un lugar de reunión fijo y, más adelante, un asentamiento permanente. En medio del desaseado error del hombre del Paleolítico, los muertos fueron los primeros en tener un alojamiento permanente: una caverna, un túmulo señalado con un montón de piedras, un montículo colectivo... Lewis Mumford, *La ciudad en la historia*, 1961.

prehistoria						
años	Epoca geológica	lpo humano	cultura	hechos		
600 000	PLEISTOCENO ↓ Guriz Mindel Riss Wurm	Paleolítico inferior Homo heidelbergensis Homo neanderthalensis Cro-Magnon Homo sapiens	piecanzopo (eolitas poble culture)	fuego		
450 000			Aufaciense	lascas Clactonense		
240 000			Achelense	Tayacense	caza socializada	
120 000			musteriense	Levalloisense	vivió en cuevas ¿ritos funerarios?	
100 000				Chapelperronense		
50 000				Aurifaciense		
10 000				Gravetiense		
9 000				Magdalenense		
8 000			PLEISTOCENO ↓ MISOCENO	Paleolítico superior MESOLITICO	Aziense	economía recolectora
7 000					Sauveterriense	
7 000	Aburriense					
7 000	Maglemontense					
7 000	Enltheense					
7 000	Tardenoisense					
7 000	Levantine esp	agricultura (cult. de Jemaa)				
7 000	Nauvense					
5 000					torrações. cerámica	
4 000	MESOLITICO ↓ NEOLITICO	Bronce Hierro			el-Obeid	
4 000			Uruk			
3 000			El Argar			
3 000			Tripolce			
3 000			cerámica de bandas	historia (Mesopotamia)		
2 000						
1 000			tumulos	historia (Micenas)		
1 000			campos de urnas			
800				olmecas cultura de Chavin		
500				escalas		
500		La Tène				
500		iberos				

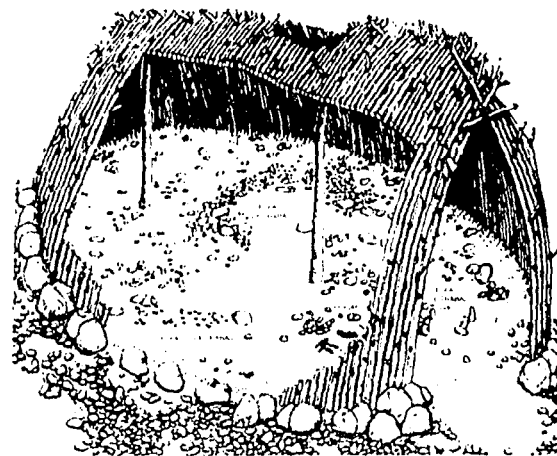
En la dimensión del tiempo nuestra visión está condenada a estar fuera de escala. Durante el primer millón de años después de que nuestros ancestros pre-humanos se convirtieran en humanos, fuimos seres primitivos que dejaron como vestigio tan sólo algunos huesos y una limitada cantidad de herramientas líticas. Por mucho, ésta época, llamada Paleolítico inferior, ha sido la más duradera del hombre hasta ahora, con una duración de aproximadamente medio millón de años, contando desde el momento en que nuestros ancestros llegaron a ser reconociblemente humanos. Comparativamente a este último, el Paleolítico Superior, que comenzó hace unos 50,000 años, fue breve, sin embargo extenso y sumamente importante en los términos de la escala temporal de las civilizaciones y las grandes religiones. Tanto en el viejo mundo como en América, el comienzo de la civilización se desprende cultural y cronológicamente del final del Paleolítico Superior. La agricultura, la domesticación de animales, así como la cerámica y el tejido de telas, aparecieron hace apenas unos 10,000 años. Sin embargo, la más antigua de las grandes religiones data de hace 25,000 años, cinco veces más antigua que la más antigua de las civilizaciones, registrada hace tan sólo 5,000 años. La mayoría de los acontecimientos que conocemos como la historia de la humanidad, se remonta hasta esos tiempos, recientes, comparativamente.

La invención de la arquitectura

Para estudiar esta parte de la existencia humana es necesario retroceder bastante más atrás del período de la historia narrada, a las épocas en que aparecieron nuestros antepasados. Hacer esto nos hace descubrir que lo que construimos está conformado sólo parcialmente por la necesidad de satisfacer un uso funcional; al parecer la arquitectura ha sido concebida siempre como un símbolo de las creencias comunitarias, satisfaciendo necesidades tanto psicológicas como fisiológicas.

Durante el primer millón de años después de que nuestros ancestros pre-humanos se convirtieran en humanos, fuimos seres primitivos que dejaron como vestigio tan sólo algunos huesos y una limitada cantidad de herramientas líticas. Habitando en las cálidas sabanas ecuatoriales no tuvimos necesidades apremiantes de cobijo ni conocimos la manera de hacer fuego. Poco a poco estos pre-humanos fueron desplazándose desde África central hacia el norte, a lo largo de la costa africana mediterránea, hacia Europa, la India y las islas indonesias, debido a los cambios climáticos que provocaron las glaciaciones.

Cuando este ancestro se desplazó hacia los climas europeos, menos benignos, se vio obligado a encontrar o construirse su propio cobijo. Es de esta etapa histórica (400,000 a 300,000), que data la morada más antigua que se ha encontrado hasta ahora: Terra Amata en Niza, conforma lo que parece ser un campamento de primavera de *Homo erectus* cazadores. Se compone de 31 cabañas, once de las cuales se reconstruían año tras año en el mismo lugar sobre una antigua duna de arena por un periodo de varias décadas. De la reconstrucción realizada se deduce que las chozas de planta ovalada de entre unos 8 a 15 m de largo por unos 4 a 6 m de ancho, tenían sus paredes hechas con ramas, hincadas en la arena a modo de empalizada (1); el perímetro inferior de las cabañas estaba rodeado exteriormente por un cordón protector de piedras. Interiormente, postes verticales hincados en el suelo debieron sostener la cubierta, tal vez las ramas laterales se curvaban hacia una viga central sostenida por los postes. Cada choza disponía de un hogar central. En una de las chozas se encontraron restos de lo que se supone debió ser un tallador de herramientas, junto con rípios y esquirlas de piedras. El hecho de que un mismo grupo de cazadores volviera a ese lugar año tras año sugiere que había un ciclo de caza regular, pero aún más importante es que el hogar al centro de la choza, sugiere la congregación del grupo, el establecimiento de una comunidad. Con el empleo del fuego y la construcción de sus moradas artificiales, nuestros primitivos antepasados lograron controlar su entorno y a conformarlo a su propia conveniencia. Los primeros pasos hacia la arquitectura, entendida como la deliberada conformación del entorno vital, estaban dados.



1. Terra Amata en Niza

Esta especie fue reemplazado gradualmente por el hombre de Neanderthal durante la tercera glaciación. De éste no se han encontrado más que restos de herramientas líticas, por lo que se cree habitaron principalmente en cuevas.

Las moradas del 'Homo sapiens'

El hombre de Neanderthal desapareció hacia mediados de la última glaciación. Su sustituto fue el hombre actual, el *Homo sapiens sapiens*. Estos, nuestros abuelos, también denominados hombres de Cro-Magnon, perfeccionaron diversas técnicas en la fabricación de herramientas y utilaje, lo que ha permitido establecer una división en una serie de etapas o culturas que sucedieron rápidamente: chapelperoniense, perigordienense, auriniaciense, gravetiense, solutrense y magdalenienense. Este conjunto de etapas constituye el período llamado Paleolítico Superior o antigua edad de piedra.

En Europa se han descubierto una serie de asentamientos de los primeros *Homo sapiens sapiens*. Los que han sido encontrados en Europa oriental (hallazgos en Moravia y Ucrania) muestran una tipología de morada uniforme: de planta circular y de forma posiblemente abombada o tal vez cónica, con un armazón de madera recubierto presumiblemente con pieles de animales, la base de la choza típica solía estar reforzada perimetralmente por medio de grandes huesos y calaveras de mamut.

El yacimiento cerca del río Dniéster en Ucrania, reveló la existencia de varios asentamientos superpuestos a lo largo de diferentes épocas, desde la más antigua, que data de hace unos 44,000 años, hasta la más reciente, de una antigüedad estimada en unos 12,000 años. Estas moradas debieron alojar grandes grupos familiares, ya que algunas alcanzan diámetros de hasta 9 metros. Las moradas encontradas en Moravia (República Checa), datan de hace 29,000 a 24,000 años y son muy parecidas a las halladas en Ucrania, miden alrededor de 6 m de diámetro en promedio y están rodeadas por un anillo de enormes huesos de animales; sin embargo una de ellas alcanza medidas de 15.20 por 6.10 metros y tiene cinco hogares. A su vez, se encontró un alojamiento empotrado en la falda de una colina, con un hogar mucho mayor y cubierto con una cúpula de barro. Esparcidos por el suelo se han hallado centenares de trocitos de arcilla cocida, algunas de las cuales llevan impresas la huella digital del primitivo alfarero.

Los hombres de Cro-Magnon también celebraban elaborados ritos funerarios, a juzgar por las trabajadas alhajas y abalorios de marfil y los utensilios con los que eran inhumados. Pero la mayor evidencia sobre la capacidad intelectual de aquellos antepasados la encontramos no en sus chozas o en sus tumbas, sino en las pruebas gráficas que nos dejaron, en la pintura y la escultura que crearon. Al parecer debieron ser conscientes de un ciclo vital, de una unidad cósmica en la que las entidades hombre y mujer participaban en la renovación de la vida. A lo largo de Europa se han encontrado figuras labradas de mujeres que se consideran objetos de culto a la fecundidad. Algunas de ellas son pequeñas y portátiles, talladas en piedra o marfil, otras se presentan en forma de arte mural labradas en las rocas de las cavernas.



Venus de Menton.
Procedente de Francia

Venus del cuerno.
Procedente de Laussel
(Dordoña), se fecha en el
perigordienense.

Aún más impresionantes que esas figuras son las pinturas rupestres descubiertas en las cuevas del sur de Francia y el norte de España. La más famosa, la cueva de Altamira, está decorada con figuras policromas de bisontes, ciervos, jabalíes y otros animales con 34,000 a 12,000 años de antigüedad. Los hombres de Cro-Magnon de estas tierras pintaron escenas de caza y centenares de animales, los colores los obtuvieron de pigmentos fabricados con polvo de minerales mezclados con grasa de animal, clara de huevo u otras sustancias líquidas y aplicados a pincel, soplando a través de tubos o embadumando directamente con los dedos. Hay indicios de que algunas partes altas de las cuevas fueron pintadas desde un andamio de madera: la arquitectura al servicio del arte. La cuestión que sigue causando perplejidad entre los antropólogos desde el descubrimiento de esas cuevas es por qué se pintaron esas imágenes, al parecer el hombre de Cro-Magnon no construyó edificios sagrados sino que practicó su religión en profundos santuarios enclavados en el seno de la madre tierra.



La utilización de cuevas o cavernas, como refugio protector durante la prehistoria, representa una fase decisiva en el cambio de los seres humanos que, como es sabido, es contemporánea de las primeras manifestaciones artísticas. En este espacio se modifican las condiciones de su vida, el nuevo ámbito espacial influye y favorece la modificación de ciertas actividades vitales; lo cual desarrolla los sentimientos elementales precedentes acerca del espacio, pero enriqueciéndolos con nuevos y poderosos sentimientos en los que germinan los del espacio arquitectónico. Vicente Martín Jiménez, 1981.

La última de las glaciaciones trajo desconcertantes cambios en la flora y fauna de la región, las nuevas condiciones climáticas volvieron a poblar Europa de bosques. En Europa del Norte, el hombre Magdalenense y algunos de sus contemporáneos en el sur y sur-oriente, disminuyeron parcialmente debido a estos cambios. Algunos se marcharon en dirección al sur siguiendo el flujo de la sabana para quedar a expensas del bosque tropical. Pero otros se arraigaron a su tierra e hicieron historia.

A aquellas culturas de transición entre el Paleolítico Superior y las primeras generaciones de civilizaciones que surgieron en los valles de los ríos Tigris y Eufrates y el Nilo, se les conoce como Neolíticas, en alusión a su característica e innovadora herramienta, el hacha de piedra pulimentada, más potente que cualquiera de los más finos pedernales del hombre del Paleolítico Superior.

La agricultura y, casi en el mismo grado, la cría de animales domésticos, son la esencia de la Cultura Neolítica y su más durable legado a las culturas de épocas subsecuentes.

Al haber logrado la revolución pastoril-agrícola, los seres humanos se convirtieron en miembros activos de la naturaleza. La labranza de la tierra y la cría de animales, son fruto de la visión a futuro, la premeditación, la perseverancia y el auto control, y requieren una infalible práctica de estas virtudes para perpetuar su existencia. El labrador debe pensar no sólo en el mañana, sino en el año que sigue, y no importando que tan hambriento se encuentre, debe abstenerse de comer la reserva de semillas o de matar a los animales que le brindan leche y, por el contrario, estimular el reaprovisionamiento de sus rebaños. La recompensa que trajo la actividad agrícola se conformó en la posibilidad de mantener una población más densa al obtener un superávit en la producción de alimento, con el factor de seguridad que a menudo la caza y la recolección, no podían brindar.

Pero describir esta revolución únicamente en el sentido tecnológico-económico sería inadecuado. En esta época todas las actividades sociales y culturales eran religiosas también; de no haber sido en algunos aspectos una revolución religiosa, la revolución pastoril-agrícola no se hubiera consumado. La plantación deliberada de semillas se inició posiblemente entre los años 15,000 y 10,000, como revelan las piedras de amolar encontradas en Egipto Meridional. Hacia el año 8000 la agricultura ya estaba firmemente establecida en el llamado Creciente Fértil, una región agrícola en forma de cuerno a lo largo del valle del Nilo, hacia la costa del Mediterráneo oriental, y a través de los valles de los ríos Tigris y Eufrates, así como también hacia lo que hoy es el sur de Turquía.

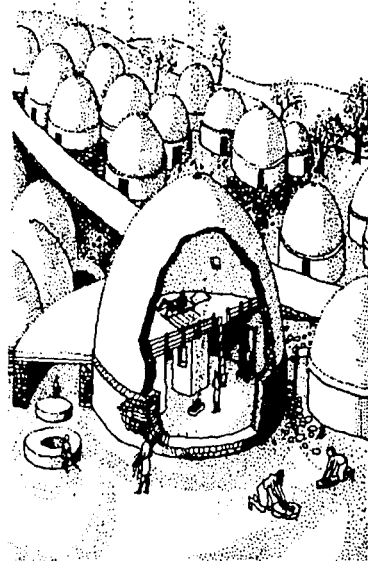
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La agricultura que surgió en los oasis afroasiáticos durante el octavo milenio a. de C., dio origen a la producción de excedentes y también a la posibilidad de intercambiarlos. Los inventos surgidos a la par y desarrollados a perfección para el cuarto milenio (la rueda, el carro tirado por bueyes, la albarda, la metalurgia y los barcos de vela) propiciaron los fundamentos para una nueva organización económica, que le permitiría al hombre prehistórico abocarse a una tarea que aún no contemplaba: la conquista y dominio de la tierra y el entorno en las selvas pantanosas de los valles del Tigris, el Eufrates y el Nilo; tarea que requería una maestría en la construcción de redes de canales, sin la cual Mesopotamia y Egipto no podían haber sobrevivido (Toynbee, A., A study of history. Nueva York, Weatherlane Books. 1972; pp48-52).

La sedentarización, facilitada por la recesión de los glaciares, condujo a la construcción de viviendas permanentes junto a los campos de labor, lo que redundó en edificios más sólidos; además, a medida que los poblados y las ciudades crecían, la organización social se fue haciendo más y más compleja, requiriendo de una tipología edilicia más variada. En realidad, la civilización moderna ha aportado muy pocas novedades a los géneros básicos de edificio que surgieron a raíz de las necesidades generadas durante la era neolítica: casas, edificios gubernamentales y cívicos, y edificios religiosos.

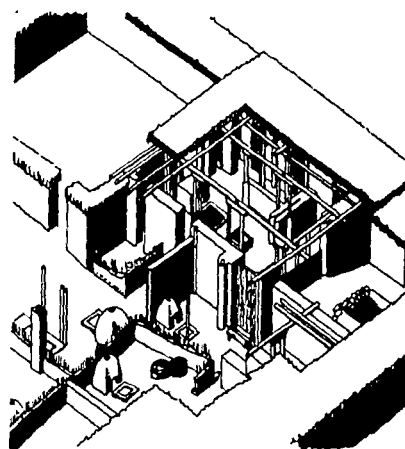
A raíz de las numerosas excavaciones en la antigua ciudad de Jericó (Israel), se sabe que para el año 8000 a. de C. ya existía un asentamiento humano en el lugar. La comprensión más exacta de cómo funcionaba una ciudad neolítica nos viene a través de las excavaciones de la ciudad de Catal Huyuk, en el sur de la Anatolia (actual Turquía). La ciudad ya existía para el 6500 a. de C., y para 5500 a. de C. contaba con unos 10,000 habitantes, ocupando una extensión de casi 13 hectáreas. En realidad no se trataba de una comunidad exclusivamente agrícola, sino de un nudo de vital importancia en la red comercial de la zona. No existían calles propiamente dichas, sino estrechas agrupaciones de casas de planta rectangular a manera de colmena. Las casas tenían un armazón de postes y vigas de madera, cuyos entrepaños se rellenaban de ladrillos de adobe; las paredes se acababan con un recubrimiento y a menudo con pintura, cabe decir que en casi la cuarta parte de las cámaras excavadas se hallaron restos de culto dedicado a una diosa de la maternidad y al toro salvaje (aur'och).

Hacia el año 6500 a. de C., la parte baja del valle del Tigris y el Eufrates estaba salpicada de poblados primitivos y ya para el 3500 a. de C. se fundaron varias ciudades importantes. Ya que este país carecía de piedra y escaseaba la madera, la arquitectura de esas primeras ciudades usó como materiales de construcción el ladrillo de adobe (secado al sol y unido con mortero de arcilla) y el ladrillo cocido (cocido al fuego y asido con alquitrán); así, los espesísimos muros de adobe se revestían de una capa protectora de ladrillo cocido.

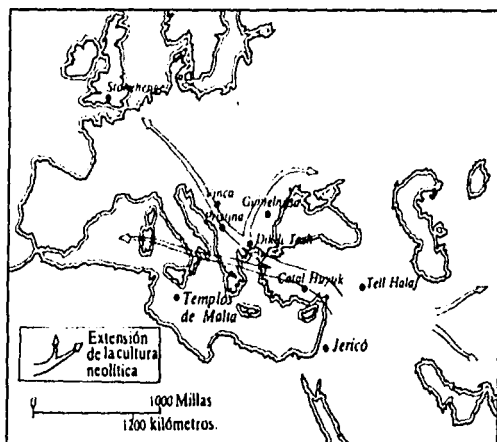


Khirokitia, Chipre. Reconstrucción de un pueblo neolítico. Construcción de bloques de adobe en planta circular con cubierta abovedada, esta forma de construcción se ha conservado hasta nuestros días.

Hacilar II. Reconstrucción de una casa que utiliza muros y cubiertas de junquillos y adobe.



Las moradas megalíticas del neolítico:



Distribución de los principales focos del neolítico.

Las aldeas de adobe de los primeros agricultores se extendieron poco a poco por Irán y Turquía y penetraron en Europa a través de Grecia y los Balcanes. Pequeños grupos de cazadores permanecieron en los bosques o en las costas, pero hacia el 5000 a. de C. empezaron a ser absorbidos o desplazados por la actividad colonizadora de los agricultores, que se extendían con su ganado y sus cereales cultivados desde sus lugares de origen en el Oriente próximo y se establecían en pequeños núcleos sobre los suelos más fértiles. En realidad el Neolítico comenzó entre el 10,000 y el 8000 a. de C. en el Oriente próximo, pero en Europa no se inició sino hasta el 5000-4000 a. de C.

El modo de vida de estos pueblos, y por lo tanto el carácter de su arte, guardaba gran contraste con el de los grupos cazadores a los que sustituyeron. Ejemplo de ellos es que vivían en casas sólidas autoconstruidas en lugar de cuevas y otros refugios provisionales de sus predecesores, frecuentemente nómadas. Desarrollaron y se trajeron consigo a Europa la técnica de la alfarería. Vivían en comunidades más grandes, y de ahí que desarrollaran fórmulas más organizadas de religión y rituales públicos. Y probablemente tenían que trabajar con más ahínco que sus predecesores para ganarse la vida, porque, en contra de la opinión popular, el desarrollo de la agricultura no constituyó "la emancipación de la búsqueda del alimento"; probablemente dejaba menos tiempo libre que la caza.

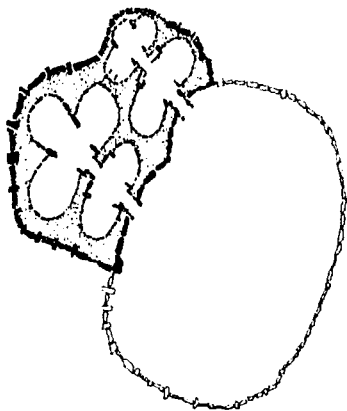
A medida que los grupos del Neolítico se desplazaron más al norte de Europa durante el quinto milenio a. de C., grandes áreas de densos bosques tuvieron que ser talados para el asentamiento humano, y para la construcción de moradas la madera resultó ser más apropiada que el adobe en los climas septentrionales.

En los extremos oeste y norte de Europa, a lo largo de la costa atlántica y en la llanura septentrional europea, la introducción de la agricultura en el cuarto y tercer milenios a. de C. llevó consigo el levantamiento de grandes piedras de los campos dedicados al cultivo. Se construyeron entonces no sólo casas de madera, sino también recintos monumentales de bloques de piedra sin revestir, que sirvieron como centros de culto, así como de hitos territoriales entre las aldeas más dispersas de aquellas regiones. Lo que anteriormente precisaba de uno o dos individuos para levantar una choza de estructura de madera en un día o dos, ahora ocupaba verdaderos equipos de trabajadores que dedicaban todas sus energías a extraer de la tierra grandes *megalitos* (del griego *mega*, 'grande', y *lithos*, 'piedra') y transportarlos al lugar preciso; la construcción propiamente dicha podía durar semanas, meses o años.

Las primeras construcciones megalíticas fueron los *menhires* (del celta y del bretón *men*, 'piedra', *ehir*, 'larga'), que consisten en una piedra larga hincada verticalmente en el suelo; algunas veces aparecen formaciones de menhires dispuestos en círculo o en filas paralelas, haciendo la señalización de un área determinada para fines que hasta ahora desconocemos. Estas formaciones megalíticas, las más abundantes de todas las construcciones prehistóricas en piedra, aparecen con mayor frecuencia en el norte de Europa, aunque las más antiguas parecen ser las de la Bretaña francesa. Allí en Carnac, las formaciones de menhires en hileras paralelas, que datan de alrededor del 4500 a. de C. alcanzan una longitud de 6.4 km. Cerca de ese lugar, en Kerloas, se alza el mayor megalito que sigue en pie, con sus 11.9 m de altura.



Entre el 4000 y el 2770 a. de C., se construyó en varias etapas un grupo de templos en la isla de Malta en el Mediterráneo. Esos templos son especialmente más complejos que cualquier otra construcción del neolítico. Uno de ellos está excavado en la roca caliza de una colina, se trata de una catacumba o *hipogeo* (del griego *hypo*, 'inferior', y *geo*, 'tierra') que aloja alrededor de siete mil muertos. En la isla maltesa de Gozo se encontró el centro religioso megalítico llamado Ggantija (ELA fig. Pág. 156), similares a otros templos malteses, los edificios se disponen en salas de planta redondeada conectadas entre sí; los muros se construyeron a partir de dos paredes paralelas de grandes bloques de piedra caliza, relleno el espacio intermedio con rípios de piedra y tierra. Las paredes interiores están acabadas con piedra caliza de color amarillo intenso, talladas cuidadosamente. No se ha establecido cómo pudo ser la parte superior de los templos, pero es posible que las cubiertas tuvieran estructuras de vigas y travesaños de madera.



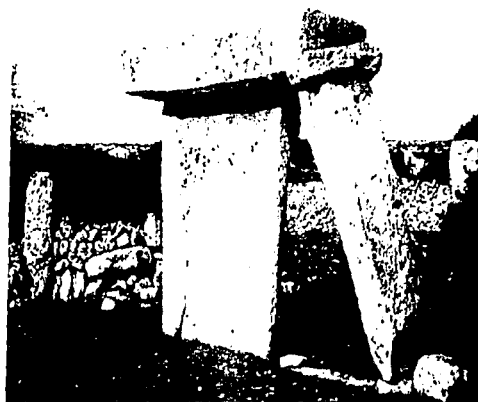
En el norte de Europa también se construyeron edificios techados, el más sencillo de los cuales es el *dolmen* (voz celta que significa 'mesa de piedra'), consiste en una gran losa de piedra por cubierta sostenida por dos o más piedras hincadas verticalmente en el suelo. Teniendo en cuenta los restos hallados en el interior de algunos de ellos, huesos y otros, es de suponer que fueron *construidos con fines funerarios* y recubiertos con montículos de tierra, los cuales, según esta teoría, habrían desaparecido hoy en día como fruto de la erosión. En algunos casos, la base se constituye por cuatro megalitos aproximadamente rectangulares, formando una especie de gigantesca caja de piedra, con una inmensa losa megalítica como techo.



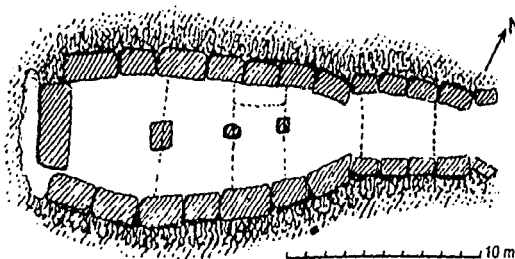
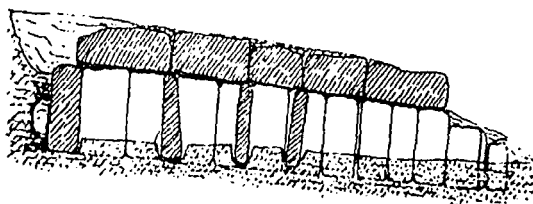
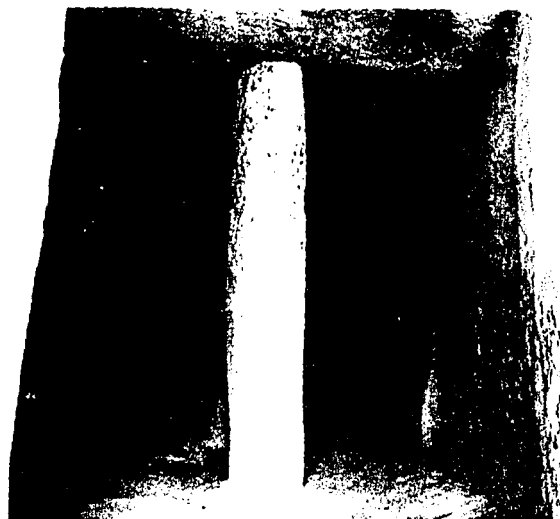
Dolmen de la Piedra Gentil en Vallgorguina, Barcelona.

(HDA pag48)

Taula del santuario de Talatí de Dalt, Menorca. La "taules" son grandes losas de 3 o 4 m que descansan sobre otra formando una T.

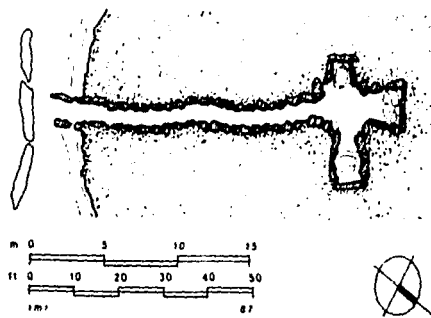


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Cueva de Menga en Antequera, Málaga. La cámara funeraria formada por ocho losas gigantes mide 25 m de largo por 6 m de ancho, siendo su altura de 3.3 m. La losa del fondo mide unos 12 por 7 m y su grosor es de 2 m, pesa 320 toneladas. (Martin H., "Génesis del sentimiento del espacio arquitectónico". Cuadernos de arquitectura. Tomo 1. Fac de Arquitectura, UNAM. México. Septiembre de 1985. Págs 8 a 20.)

Otras veces, los dólmenes adoptan configuraciones más extensas, con una serie de megalitos verticales formando dos paredes paralelas, techadas con numerosas losas y todo ello cubierto de tierra. Estos túmulos alargados eran, al parecer, galerías funerarias que conducían en el interior a cámaras ensanchadas donde se depositaban los cuerpos. En varios lugares, los túmulos terminan en una cámara de planta aproximadamente circular, techada con piedras más pequeñas dispuestas en anillos que se van cerrando a medida que ganan altura; cada una de las piedras se apoya en voladizo sobre la inferior, formando una bóveda en ménsula o falsa bóveda. De esas construcciones, la que se ha conservado prácticamente intacta es la de New Grange en Irlanda, cuya construcción debió comenzar hacia el año 3000 a. de C.



Cámara funeraria de New Grange, cerca de Dublín (Irlanda). Consta de un pasadizo de entrada, con una pendiente ligeramente ascendente y un codo intermedio que conduce a la cámara abovedada. La tumba está orientada al sureste, de tal forma que -en algún año hacia el 3000 a. de C.-, a la salida del sol del solsticio de invierno, el sol debió penetrar durante unos pocos instantes mágicos hasta el mismo fondo de la tumba.

Stonehenge



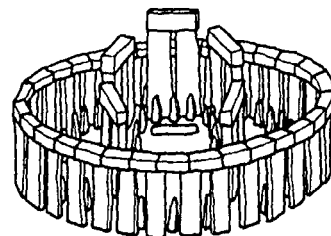
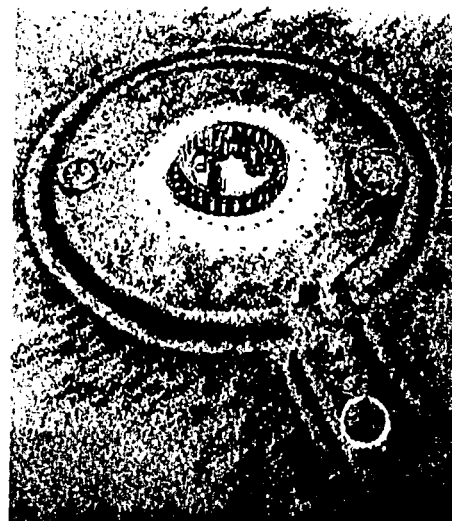
De todas las construcciones megalíticas prehistóricas, Stonehenge ubicada en la planicie cretácea de Salisbury es, sin duda, la más conocida.

Esta construcción neolítica pertenece al grupo de edificios que conocemos por *Cromlech*. Los cromlechs representan una variante notable en la utilización de una serie de megalitos. A diferencia de los alineamientos, que originan una espacialidad longitudinal procesional, los cromlechs, conjuntos de monolitos dispuestos en forma circular o cuadrada, parecen haber sido recintos limitados rodeando lugares de culto o de asamblea, con un espacio estático y centralizado. Al parecer los cromlechs sirven para señalar el emplazamiento de lugares sagrados; es decir, para definir y exaltar la significación de un espacio y su valor mágico religioso.

Stonehenge se construyó en tres fases, que juntas suman un período aproximado de 1,500 años, en las que intervinieron distintos grupos humanos que habitaron esta zona.

Durante la primera fase (entre el 2950 y el 2750 a. de C.) se comenzó por trazar una circunferencia de 96 m de diámetro, posiblemente mediante una tira de cuero o una cuerda de 48 m de longitud atada a una estaca central. Posteriormente, se debió cavar una zanja circular en la creta blanca (roca sedimentaria blanca, muy porosa), apilando los rípios de piedra hacia el interior y creando así un muro interno que originalmente debió alcanzar 1.80 m de altura. Se dejó una abertura en el lado noreste y se erigió un gran menhir, justo al exterior de la entrada.

Más adelante, en la segunda fase de la construcción (entre el 2200 y el 2075 a. de C.) en el interior del círculo trazado se erigió un semicírculo de piedras de malaquita azul hincadas verticalmente, incluyendo una gran piedra erguida alineada con otras dos, afuera de la entrada, cerca del menhir. Las piedras de malaquita seguramente tuvieron una significación especial, pues sólo pueden proceder de una cantera situada en las montañas Prescelly (País de Gales), que a pesar de estar a más de 500 km de Stonehenge es la veta de malaquita más cercana. Por lo tanto, lo más probable es que es que arrastraran las piedras hasta la costa más cercana, para embarcarlas por mar y posteriormente por el río Avon, desde allí podrían arrastrarlas por la planicie de Salisbury hasta su lugar de emplazamiento.



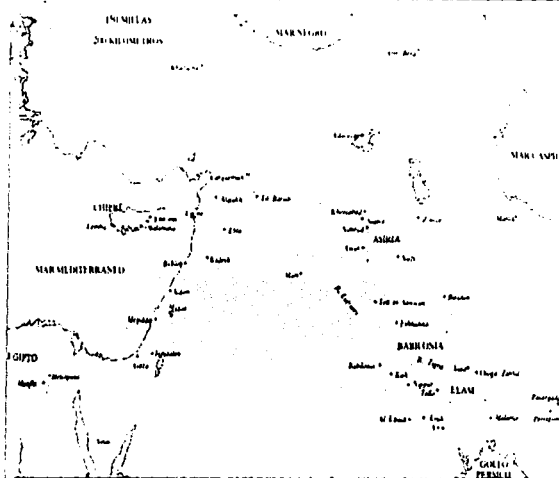
La configuración de la tercera y última fase es muy similar a la que ha llegado a nuestros días; se inició hacia el 2000 a. de C. y terminó hacia el 1500. Se erigieron unos impresionantes pies derechos de piedra arenisca de una cantera ubicada a 32 km del lugar, dispuestos en forma de columnata circular con una altura de 6 m coronada por dinteles curvos. En el interior del recinto, se erigieron cinco grandes trilitos (dos pies derechos que sostienen un dintel horizontal), con alturas hasta de 8 m y con los que se configuró una abertura en forma de herradura, orientada hacia el noreste y al menhir de la entrada. Se ha especulado que la construcción debió significar un enorme esfuerzo; requirió de por lo menos 1,100 hombres durante un período de siete semanas, para desplazar los monolitos desde la cantera al lugar de emplazamiento. A este cálculo sumemos el trabajo de los canteros que los extrajeron y de los que cuidaron darles un acabado final. Para levantar las piedras hasta la posición vertical debieron tener que inclinarlas poco a poco, posiblemente ayudándose de torres de maderos cruzados, hasta que se introdujeran en los hoyos de espera y pudieran ser adecuadamente aplomadas. Los dinteles debieron izarse con la ayuda de torres semejantes y desplazados lenta y cuidadosamente hasta su posición. Todo este esmero supone una organización social y un nivel de cooperación de primer orden. Lo que aún no nos queda claro es ¿para qué se tomaron todo este trabajo? El esfuerzo de tantas generaciones durante tantos siglos deben tener alguna finalidad apremiante. Las investigaciones más recientes le atribuyen un significado de observatorio astronómico, sin embargo se han encontrado restos de una estructura redonda similar construida en madera a sólo tres kilómetros, pudo haberse obtenido el mismo resultado con un esfuerzo infinitamente menor. Sin duda Stonehenge pudo haber servido a una función meramente astronómica, pero dado lo cuidadoso y trabajoso de su construcción, también cabe atribuirle la función de una identidad y alianza tribal, de un símbolo de determinación comunal. Según esta interpretación, Stonehenge pudo haber sido un lugar de congregación donde las tribus reunidas anualmente celebraban los ciclos recurrentes del sol y de la luna (Roth, L. Entender la arquitectura. 1999; pp 160).

Stonehenge se nos presenta como un hito arquitectónico no sólo por su complejidad constructiva y porque es resultado de un completo manejo técnico, sino también, y sobretudo, porque en él podemos apreciar el momento decisivo del paso de las construcciones de carácter netamente práctico (incluida la práctica mágica), a la construcción arquitectónica y a la formación de espacios estéticos, esto dentro del proceso humano de desarrollar los sentimientos espaciales.

Mesopotamia (país entre los ríos)

11.3

una arquitectura de adobe y tabique



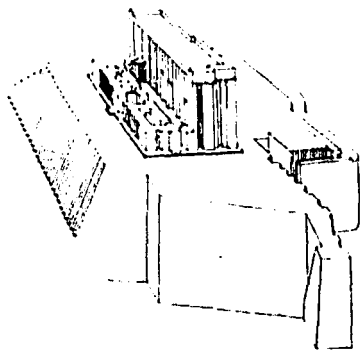
Como hemos visto, el florecimiento de las primeras civilizaciones está estrechamente relacionado con las características físicas del lugar en que se desarrollaron; los valles fluviales establecieron las condiciones óptimas para propiciar el dominio de la agricultura, que a su vez revolucionaría dramáticamente la historia de la humanidad. En oriente hay cinco de estos trascendentales valles rodeados de desiertos y cadenas montañosas: El del Nilo, los del Indo y el Ganges, el del Hoang-ho y el formado por el Tigris y el Eufrates, cuna de la civilización mesopotámica, cuyo origen se puede fechar en el neolítico, unos 5000 a. de C.

Mesopotamia se constituye por una amalgama de varias culturas y pueblos que confluyen en esta región entre dos importantes ríos, y que se establecieron en ciudades-Estado que a menudo se encontraban en guerra y conquistándose unas a otras, de aquí que hablemos de los pobladores mesopotámicos con distintos nombres a través de las diferentes etapas (sumerios, acadios, babilonios, asirios, kasitas, hititas, elamitas, persas y fenicios). Su mayor riqueza fue la arcilla, de la que se fabricaron ladrillos, vasijas y tablillas para escribir. El conocimiento moderno de Mesopotamia tardó en materializarse hasta nuestros días, por la escasez de registros históricos que se conservan y debido a que sus monumentos, construidos con ladrillo crudo o con piedra de baja calidad, desaparecieron hace mucho tiempo como resultado de la erosión.

El zigurat

Durante el cuarto milenio a. de C., se construyeron importantes canales de irrigación para controlar la agricultura, esto definió la sedentarización definitiva de los pueblos mesopotámicos. El excedente de granos produjo la necesidad de construir grandes almacenes resistentes al clima y las plagas, un sistema de administración y registro de las decisiones comunales, y a su vez, lugares en donde se expresaran y reunieran las actividades y atribuciones de las nuevas jerarquías administradoras. Los cambios culturales que esto trajo propiciaron, entre otras cosas, la invención de la escritura y la edificación de grandes templos y edificios gubernamentales, para lo cual utilizaron el material que podían fabricar en cantidad: el adobe (ladrillo de arcilla secado al sol). Este material, junto con el ladrillo cocido al fuego, se utilizó en la arquitectura urbana de las primeras ciudades por carecer el país de piedra resistente de buena calidad y escasear la madera. Los únicos vestigios que nos han llegado de esa arquitectura son los *zigurats*, grandes pirámides escalonadas con rampas laterales ascendentes y un templo en la cúspide.

Para el tercer milenio se construyeron ya varias ciudades-Estado independientes (Uruk, Eridu, Ur, Shuruppak, Umma, Lagash, Kish, Mari, etc.), de población heterogénea. Sin embargo se puede hablar de dos ciudades principales: Sumer, situada al sur, hacia la desembocadura de los ríos, y Akkad, situada al norte, en el punto donde los ríos estaban más próximos. Se estima que la población era de unos 150,000 habitantes y que existían una veintena de templos dedicados a diversas divinidades. En la ciudad de Ur, al sur de Sumer, se han encontrado restos de suntuosas sepulturas reales, construidas de anchos muros de adobe y compuestas de varias cámaras en las que se enterraba al personaje con sus pertenencias y esclavos. En la ciudad de Uruk (actual Warka) se construyó entre el 3500 y 3000 a. de C. el Templo Blanco (llamado así por los arqueólogos, por el color del acabado que recubría su sala interior), y constituye uno de los primeros zigurats en la región (Roth, L. op.cit. pp163)

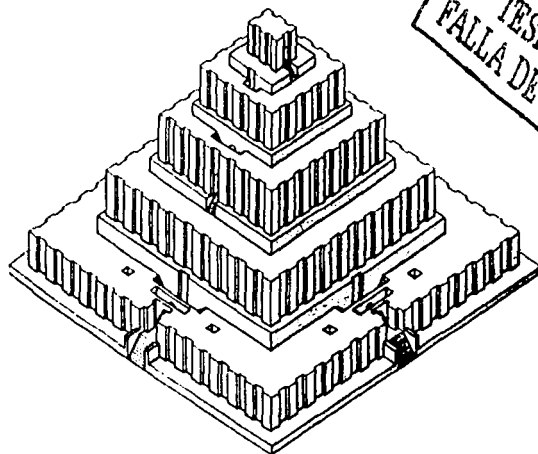


Templo Blanco de Uruk (3500-3000 a. de C.).

Las construcciones religiosas concentraron los esfuerzos arquitectónicos, destacándose como lo más sobresaliente de la arquitectura mesopotámica; para la construcción de casas siguieron utilizándose los sistemas que les heredaron los hombres del neolítico. En la antiqüísima fundación religiosa de Erdu se sustituyó la capilla que no era más que una choza con una mesa de ofrendas, por un edificio de grandes proporciones hecho de adobe, con un santuario central, cámaras laterales y una fachada adornada con contrafuertes verticales y lienzos a nivel inferior.

Los templos elevados o zigurats, con escalinatas ornamentadas y pórticos sobrepuestos, se convirtieron en las características fundamentales de las ciudades sagradas sumerias, construidos de muros sólidos de ladrillos de adobe con capas alternadas de esterilla y alquitrán reforzadas con gruesas cuerdas tejidas de junquillo recubiertas de ladrillo cocido. Generalmente se encontraban dentro de un recinto o *temenos* fortificado donde además se erigían templos más sencillos para cada una de las deidades del panteón sumerio, éstos por lo general, seguían un trazo convencional con entradas, vestíbulos, patio central y santuario, construidos a lo largo de un solo eje que terminaba en el nicho dedicado a la representación de la deidad de cada caso.

Los techos planos y las limitaciones impuestas por el adobe como materia primordial de construcción restringían las posibilidades de diseño, sin embargo las altas fachadas debieron mostrarse imponentes en una tierra de vastas planicies siendo muy visibles desde la lejanía.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Zigurat de Choga Zambil (1275-1240 a. de C.), el templo se alzaba a 52 m del suelo y estaba erigido para adorar a las más importantes deidades elamitas.

Los acadios diferían de los sumerios en ascendencia y en lenguaje emparentados con las tribus de las llanuras del oeste, y no fue sino hacia el 2118 a. C., que los reyes de la Dinastía de Ur lograron unificar al país después de múltiples luchas internas e invasiones de los pueblos vecinos. Es bajo esta poderosa dinastía que se construye el *zigurat* de Ur, el más importante de los grandes templos escalonados que se conserva. Erigido entre 2113 y 2006 a. de C. por el rey Ur Nammu y dedicado al dios Nannar de la luna, es una sólida masa de barro de fachadas recubiertas por una capa de más de dos metros de ladrillos cocidos asentados con una mezcla de alquitrán. Aprovechando los restos de una construcción anterior, su trazado consiste en tres plataformas sucesivas que van disminuyendo su tamaño a medida que ganan altura, se accede a ellas por medio de un sistema de escalinatas rectas, emplazadas en grandes rampas. El conjunto está rematado por un templo en la cúspide, al cual se accedía por un portal que presumiblemente pudo haber estado cubierto por una cúpula de adobe. Nada queda del propio santuario de la cima, excepto unos cuantos fragmentos de la decoración vidriada, por lo tanto sólo podemos hacer hipótesis sobre su forma (Roth, L. op.cit., pp164).

Zigurat de Ur



Zigurat de Ur, 2113-2008 a. de C. Reconstitución hipotética.

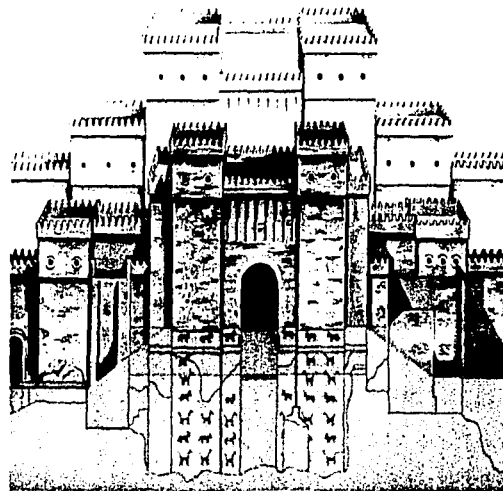


Zigurat de Ur (actual Irak) erigido a Nammu. Restos del edificio.

La unificación definitiva de Mesopotamia se lograría después de la invasión de los amorreos en el siglo XIX a. C. por el recién fundado reino de Babilonia. Durante los trescientos años de Imperio babilonio (1894 – 1595 a. de C.) se alcanzó un alto grado de evolución económica y de influencia política. Se mejoraron los procedimientos de acondicionamiento y construcción de la red de canales y acequias, se perfeccionó el arado y se empezó a utilizar al caballo como animal doméstico, las ciudades se rodearon con dobles murallas y fosos, a las cuales se accedía por puentes. El fin del imperio babilonio llegó después de cuatro invasiones sucesivas, hasta que los asirios instauraron un nuevo dominio.

Salvo los ornamentos y fachadas, los edificios asirios estaban contruidos de ladrillos sólidos de adobe. Sus muros eran inmensamente gruesos y profusamente ornamentados mediante bajorelievos y recubrimientos de cerámica vidriada. Para las grandes obras de ingeniería de las ciudades, como acueductos y puentes, se usaba la piedra.

Puerta de Ishtar en la nueva ciudad de Babilonia, creada por Nabuconodossor (604-562 a. de C.). Hecha de adobes y tabiques homeados, recubierta de policromías vidriadas.

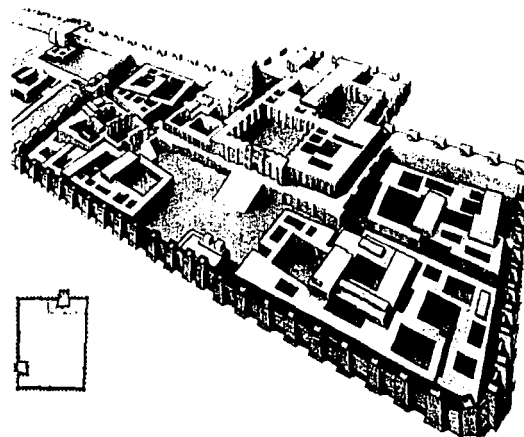


Puerta de Ishtar en la nueva ciudad de Babilonia, creada por Nabuconodossor (604-562 a. de C.). Hecha de adobes y tabiques homeados, recubierta de policromías vidriadas.

La composición geológica del valle superior del Tigris rica en piedra caliza presenta una variación asiria respecto a la arquitectura precedente en mesopotamia: hacia los siglos VIII y VII a. C., los palacios destinados a los reyes cobran mayor importancia y se adoman con grandes esculturas de piedra. En los estados vasallos de Siria septentrional y el Tauro, habitados por grupos rezagados del imperio hitita construían sólidas estructuras con entramados de madera rellenos de arcilla sobre una subestructura de piedras aparejadas de forma irregular. Incluso se construyeron templos totalmente de piedra, como el de Bogaskoi.

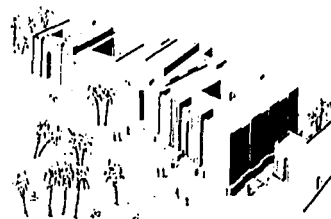
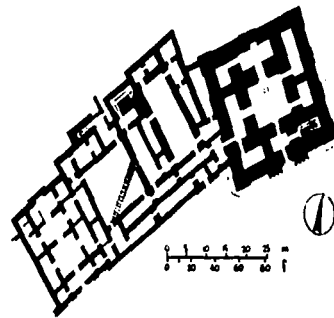


Puerta del Rey, uno de los accesos a la ciudad fortificada de Bogaskoi, civilización hitita siglo XIV a. de C. En la imagen vemos una reconstrucción del arco elíptico hecho de piedras en voladizo (arco falso), las murallas se construían con mampostería ciclópea (aparejo de grandes bloques de piedra sin tallar).



Ciudad asiria de Khorsabad (713-708 a. de C.), un buen ejemplo de ciudad fortificada, reconstitución hipotética.

Planta y elevación hipotética del templo de Gimilsin en Eshnunna (Tell Asmar), ciudad babilónica. Es notable el contraste del espesor de los muros con el espacio libre, estas construcciones dependían de la gran anchura de sus muros de adobe y tabique horneado para no desmoronarse, y para soportar el techo del mismo material.



Egipto

II.4

el triunfo sobre el espacio



La contribución de la arquitectura egipcia al desarrollo de las tradiciones arquitectónicas occidentales puede resultar menos evidente que la de Grecia, sin embargo, es Egipto quien marca el inicio de la arquitectura occidental, enraizada como está en la religión y la ciencia de este antiguo imperio.

Su cultura se nos presenta misteriosa y exótica, porque nos remite a un tiempo remoto y culturalmente diferente; cuando los romanos lo anexaron a su imperio, Egipto era ya una tierra con una cultura de tres mil años de antigüedad.

Contexto geográfico, cultural e histórico

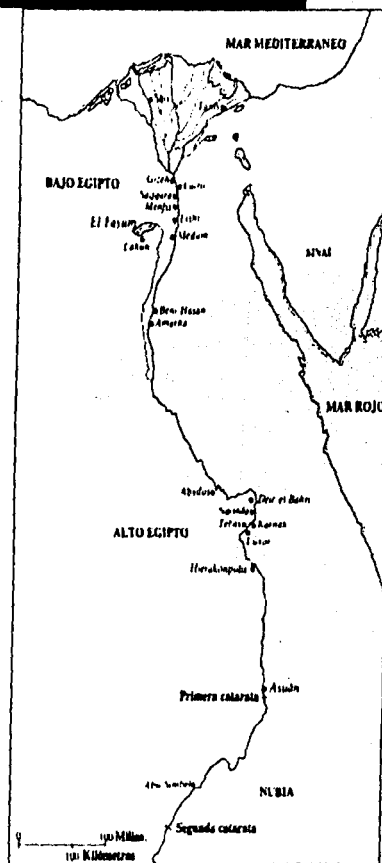
Desde la antigüedad los historiadores se han podido dar cuenta de la estrecha relación de esta cultura con su entorno geográfico. Al visitar Herodoto estas tierras 500 años a. de C. escribió, "Egipto es el regalo del Nilo". Y para comprender su tierra, sus habitantes y su arquitectura es preciso entender este fuerte vínculo con el río.

El Nilo es la mayor fuente de agua en el país. Proporcionó a los antiguos egipcios tres estaciones del año bien marcadas: la de la inundación, de junio a octubre; la estación de la siembra, cuando los campos empezaban a emerger de las aguas de noviembre hasta febrero; y la de la sequía, época en que se recogían las cosechas y se trillaba. El ciclo de anego se repetía inmutable, año tras año, siglo tras siglo. Al retirarse las aguas dejaban tras de sí los limos negros transportados desde las tierras altas abisinias (actual Etiopía), que renovaban las tierras de siembra haciéndolas sumamente fértiles. Egipto es un gran oasis lineal en medio del desierto de 1,200 km de largo por sólo entre 1.6 y 20 km de ancho.

El río y el sol establecieron dos ejes perpendiculares que dominaron la vida y la arquitectura egipcias. Así como el templo egipcio se desarrolla siempre sobre un eje perpendicular al eje del río, este eje y el del sol también marcaron la pauta para la retícula ortogonal de los campos y ciudades.

Egipto estuvo siempre protegido a oriente y poniente por el desierto que se extendía a ambos lados de su territorio, al sur por montañas y cataratas, y al norte por el Mediterráneo. Por esta razón, aunque se mantuviera un activo comercio con el resto del mundo, Egipto estaba geográficamente aislado, protegido para desarrollar una civilización que sobreviviría más de tres mil años.

La vida cotidiana del antiguo Egipto estaba totalmente impregnada de religión, con el culto a Amón Ra, al faraón, encarnación de los dioses en la figura del rey, y las divinidades locales.



Los egipcios no sólo se deleitaban en los placeres de esta vida, sino que trataban de asegurarse de que tales placeres tuvieran una continuidad en la siguiente. Aunque la vida terrenal se viviera con la máxima intensidad, la vida del más allá, que abarcaba toda la eternidad, era definitivamente la más importante. De ahí que el ladrillo de barro prensado, un material de naturaleza efímera, fuese el material comúnmente empleado en la construcción de viviendas de la gente, se tratase de campesinos, nobles o faraones, mientras que el sillar de piedra, un material eterno, se destinara a las moradas de los dioses y de los difuntos. En ocasiones, es frecuente atribuir a los egipcios una obsesión morbosa por la muerte. La realidad fue exactamente la contraria: la obsesión de los egipcios era la vida.

Pirámides y templos egipcios

Hacia el año 5500 a. de C. aparecen los primeros poblados a lo largo del Nilo, y gradualmente se van desarrollando dos culturas. Una de ellas se establece en las terrazas altas del valle fluvial meridional del Alto Egipto; la otra, en la región climática más moderada de las tierras llanas septentrionales del delta, el Bajo Egipto. En este período florecen las ciudades, se empieza a organizar la agricultura y se desarrolla un tipo de escritura jeroglífica. La arquitectura popular se realiza con ladrillo de barro prensado reforzado con paja (adobe). Este material revestido de un emplasto duro, es razonablemente duradero en un clima como el de Egipto, que presenta muy poca precipitación anual.

Hacia el año 3100 a. de C., los dos grandes reinos fueron unificados por el legendario rey Menes, el primero de los faraones de las 30 dinastías siguientes, en ese momento se inicia el período histórico. Se estableció una capital en Menfis, cuya posición, un poco más arriba del vértice del delta, permitía vigilar ambas mitades de Egipto, a esto siguió un período de paz y prosperidad conocido como el Imperio Antiguo (2700 a. de C. - 2200 a. de C.).

La excepcional importancia que tenía el control sobre el agua de inundación del Nilo, llevó muy pronto a la formación de un gobierno que lo administrase, y propició la creación de una monarquía absoluta y de un amplio aparato burocrático.

Distribuidas en largos períodos, hubo una serie de crisis en las burocracias y monarquías centralizadas que llevaron a diferentes rupturas en la administración del Imperio, a estos períodos los llamamos Primer Período Intermedio (ca 2200 - 2052 a. de C.), Imperio Medio o Tebano (2052 - 1786 a. de C.) en el que se trasladó la capital a Tebas en el Alto Egipto, y el Segundo Período Intermedio, el cual se extendió hasta el 1575 a. de C.

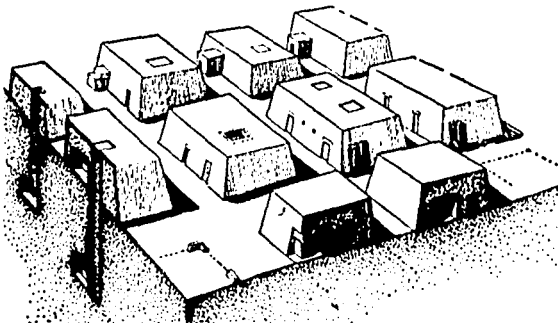
Una vez maduras las formas de religión, la literatura, el arte y la arquitectura egipcias (desde el período predinástico hasta la IV Dinastía), los cambios experimentados durante los dos mil quinientos años siguientes fueron realmente mínimos. Los detalles de las imágenes pintadas o labradas y las proporciones de la edificación, variaron casi imperceptiblemente a lo largo de los siglos, pero las formas esenciales se mantuvieron fijas.

Con la restauración durante la XVIII Dinastía en 1575 a. de C. de un gobierno autocrático y centralizado, se inicia el Imperio Nuevo, que abarca desde dicha fecha hasta el 1087 a. de C. En este período, Egipto extendió sus dominios a Nubia (Sudán), Palestina y Mesopotamia.

El Imperio en Egipto terminó hacia el año 1000 a. de C., en medio de una etapa de gran anarquía, entró en un lento declive que no se detuvo hasta que fue conquistado por los persas en el 525 a. de C. Pasó después a formar parte del imperio de Alejandro Magno en el año de 332 a. de C., y vio ante sí una sucesión de gobernantes, faraones y princesas de origen griego que se adaptaron a la vida y creencias egipcias e introdujeron a su vez elementos de la cultura helénica al arte y a la arquitectura. Más tarde, Egipto fue anexionado por los romanos el año 30 a. de C. Pese a todo, el poder de la cultura egipcia fue tan grande, que se requirieron mil años para su desplome.

Las pirámides y templos egipcios

Las primeras sepulturas predinásticas (antes del 3100 a. de C.) eran rudimentarios fosos excavados en la arena a modo de criptas y cubiertos con losas de piedra, era frecuente que animales escarbaran y terminaran por desenterrar los cuerpos. Así pues, esta práctica evolucionó hacia la construcción de un edificio encima de la cripta, cerrado por paredes de ladrillo de adobe. Estas tumbas, llamadas mastabas (1), tenían una base rectangular y volumetría de pirámide truncada. Era frecuente agrupar varias de esas construcciones para diversos miembros de la familia.

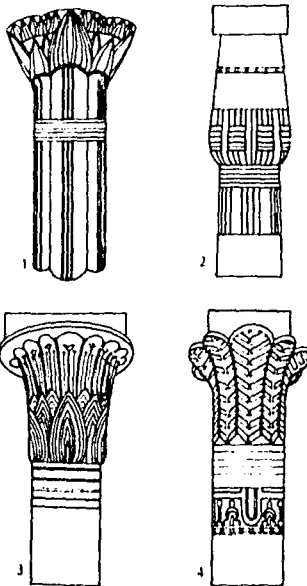


(1) Sección y perspectiva de un conjunto de mastabas, la tumba en sí se encontraba varios metros debajo de la mastaba.

TEJIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los ziggurats empezaron a construirse en Mesopotamia desde el cuarto milenio a. de C., eran estructuras escalonadas simétricas, coronadas por templos en la cúspide a los que se accedía por grandes escalinatas. Los egipcios entraron en contacto con Mesopotamia durante las Dinastías I y II, así que es posible que la idea de la pirámide egipcia, una transformación de la mastaba, haya sido generada por influencia del ziggurat.

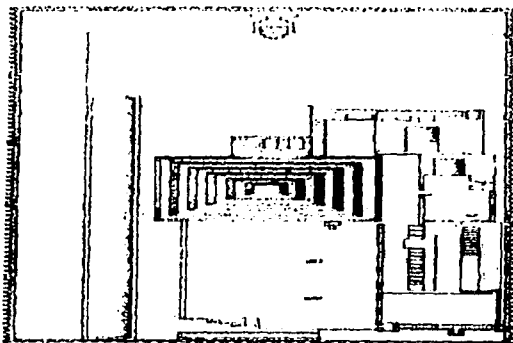
Durante la III Dinastía se introdujeron revolucionarios y radicales cambios en la arquitectura, protagonizados por el faraón Zoser y su arquitecto Imhotep, con la construcción del complejo funerario en Saqqara iniciado hacia el 2750 a. de C., al sur de la entonces capital Menfis. Las innovaciones introducidas por Imhotep fueron de dos tipos. En primer lugar, trajo en piedra las formas constructivas de los edificios del Alto y Bajo Egipto, sustituyendo los materiales habituales en las construcciones reales (adobe, tallos de papiros y troncos de árbol), por la piedra caliza labrada, ya fuera en grandes sillares o en pequeñas piedras talladas, usadas de manera similar a los ladrillos. Los tallos de papiro usados como parte del soporte de los techos de las edificaciones de ladrillo se reprodujeron en piedra adosándolas a los muros, estas columnas fueron coronadas con los capiteles papiriformes y lotiformes, simbólicos del Bajo y Alto Egipto respectivamente.



1. atado de flores de loto,
2. capullo de papiro,
3. flores de papiro,
4. hojas de palma.

En segundo lugar inventó literalmente la pirámide.

El conjunto funerario de la tumba y la pirámide de Zoser está rodeado de un muro de 10m de alto, configurando un recinto rectangular de 545 x 277 m (2) orientado con el eje norte-sur por su lado más largo. En él se encierran la misma pirámide y una serie de templos y patios, casi todo ello hecho por duplicado, como un reflejo de la unificación de los dos reinos.

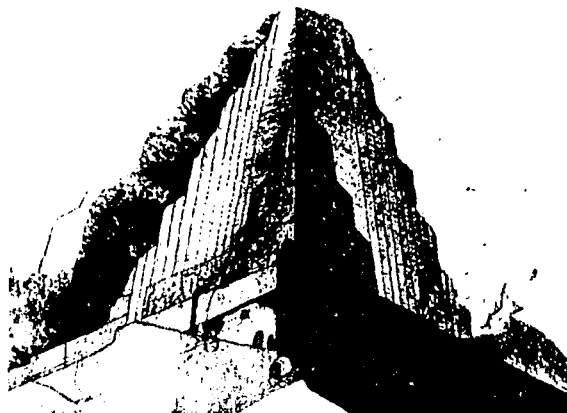


(2)Planta del conjunto funerario que rodea la pirámide de Zoser.



La pirámide de Zoser en Saqqara.

La pirámide escalonada de Saqqara fue concebida originalmente como una mastaba. Para alojar las tumbas de otros miembros de la familia de Zoser, ésta fue ampliada lateralmente, pero más adelante se transformó en una construcción piramidal disponiendo cuatro mastabas más encima de la primera. Posteriormente se amplió aún más la base, y se aumentó de cuatro a seis el número de mastabas superpuestas (3). El resultado final fue una monumental pirámide escalonada, revestida de finas losas calizas blancas (que han desaparecido), de 140 por 118 m de base y 60 m de altura (Roth, L. op.cit. pp175).

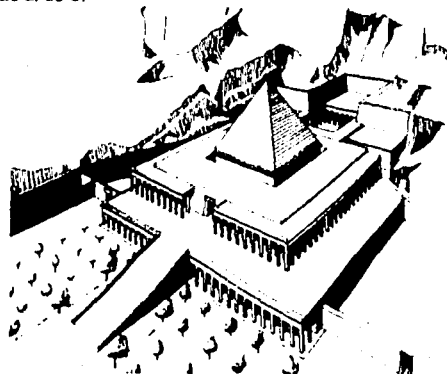


(3) Originalmente una mastaba sencilla (zona más sombreada), a la pirámide de Zoser se le fueron superponiendo más niveles de mastabas.

La forma piramidal fue adoptada inmediatamente por los sucesivos faraones, quienes más adelante irían suavizando la superficie de las caras de la pirámide, rellorando los huecos de los escalones, hasta darles la forma lisa familiar que todos conocemos de las pirámides de Gizeh.

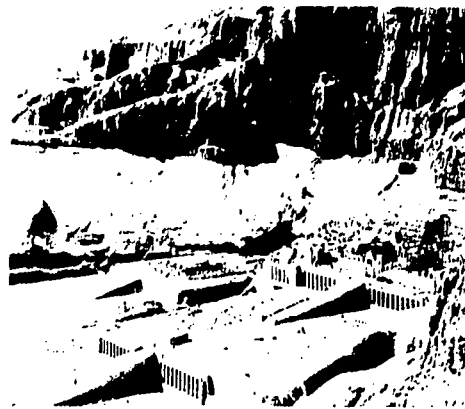
El poder teocrático absoluto de los faraones de la IV Dinastía no sería igualado jamás, por lo tanto las pirámides de Gizeh no fueron superadas. Los faraones subsiguientes erigieron pirámides más reducidas, pero las tumbas y los templos reemplazaron a las pirámides en su categoría de grandes obras reales. Al establecerse la capital en Tebas, surgieron dos grandes templos dedicados a Amón en Karnak y Luxor, ambos al sur de la capital. Las tumbas reales y civiles, así como todos los edificios relacionados con el culto funerario, se construyeron del lado poniente del río, excavadas en la roca.

Este tipo de tumba se inspiró en el modelo de Deir el Bahari, un conjunto funerario aterrazado construido por Mentuhotep III hacia el 2120 a. de C.



(3) Conjunto funerario de Mentuhotep XI Dinastía (2120 a. de C.), se cree que en su terraza hipóstila hubo una pirámide de 21 m de lado.

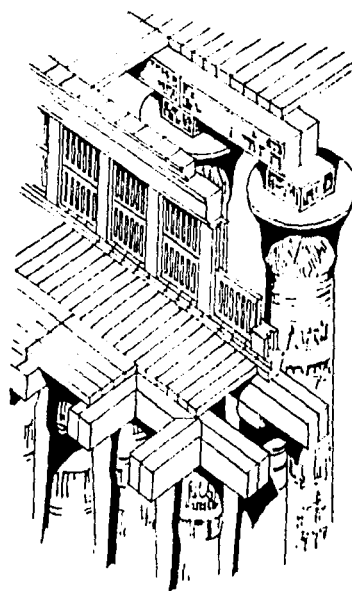
Entre los años 1503 y 1482, la reina Hatsepsut encargó a su arquitecto Senmut la construcción de un templo funerario con terrazas junto al de Mentuhotep. A lo largo del eje que arranca del templo de Amón en Karnak, al otro lado del río, Senmut emplazó el gigantesco templo. Todo el conjunto toma del modelo antiguo las imponentes columnatas abiertas y la organización geométrica y espacial, basada en la axialidad y la ortogonalidad. Senmut adaptó la construcción al medio natural, integrando las terrazas en los escalonamientos naturales del terreno.



El templo egipcio, que combinaba actividades civiles y de culto religioso, se convirtió en el edificio público más importante en la época del Imperio Medio. Los grandes templos incluían escuelas, bibliotecas y archivos; eran centros de administración gubernamental, de estudio científico y médico, e incluso servían de granero público. El templo de Amón en Karnak, al sur de Tebas, se convirtió para la X Dinastía en el centro administrativo y religioso más importante de todo el país. Los sucesivos faraones fueron ampliando los templos de Amón en Karnak y Luxor, por ser los lugares sagrados de mayor importancia. (1 y 2)



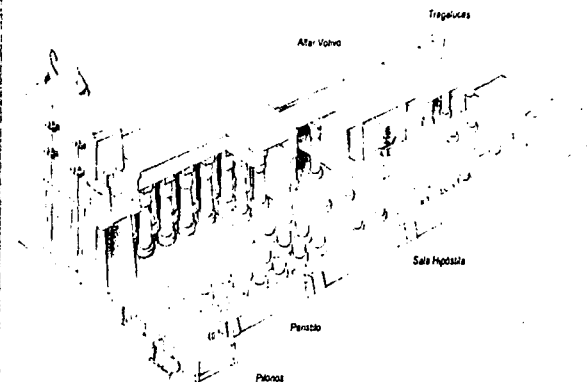
(1 y 2) Sección y vista de la sala hipóstila del templo de Amón en Karnak, Tebas, ca 1315-1285 a. de C. las columnas de 21 metros de altura tienen un diámetro de 3.6 m y están construidas mediante una sucesión de tambores unidos con troncos en la parte interior.



Sala hipóstila del templo de Amón en Karnak. Reconstrucción gráfica del ático, el techo de losas de piedra descansa sobre 134 columnas en 16 hileras. Las columnas de la nave central son más altas, permitiendo la colocación de rejas talladas en bloques de piedra para permitir la iluminación natural.

El templo de Karnak se desarrolló en un vasto conjunto, en el que se emplazaron varios templos dedicados a Montu, Mut, Ptah y Khonsu, entre otros, de menores dimensiones. Dado que el templo de Amón adquirió una complejidad excesiva a raíz de las diversas ampliaciones (que se extendieron por 1,700 años), el templo de Khonsu, construido por Ramses III hacia el 1170 a. de C., resulta mucho más ilustrativo sobre los componentes básicos del templo del Imperio Nuevo. Una vez perfeccionada, durante los imperios Medio y Nuevo, la forma del templo fue utilizada casi sin alteraciones durante mil quinientos años, hasta el período de la anexión a Roma.

las pirámides de Gizeh



Templo de Khonsu en el conjunto de Kamak, Tebas ca. 1170 a. de C. La aproximación se realizaba por una avenida flanqueada por esfinges que conducía a un *píloso* de entrada, una sólida muralla de bloques de piedra de paramentos inclinados, perforada por una estrecha puerta. A continuación se accedía a un patio descubierto, con robustas columnas construidas por tambores de piedra formando un pórtico corrido. Siguiendo el eje de entrada, se pasaba a la sala *hipóstila* iluminada con pequeñas linternas cenitales, y en último término se encontraba el *sekos*, santuario o residencia del dios.

Durante 31 dinastías, más de 2,700 años, la arquitectura egipcia experimentó cambios muy sutiles. Los fines de la cultura egipcia y de la arquitectura que alojaba sus instituciones, eran la continuidad y el orden. Este interminable esfuerzo por contrariar el tiempo, la muerte y el deterioro puso al arquitecto al servicio de la tradición. La egipcia fue una arquitectura de macizas y nítidas formas geométricas. Los egipcios apreciaban la grandeza, la masa y la solidez como símbolos de durabilidad, como garantía de seguridad ilimitada e indestructibilidad.

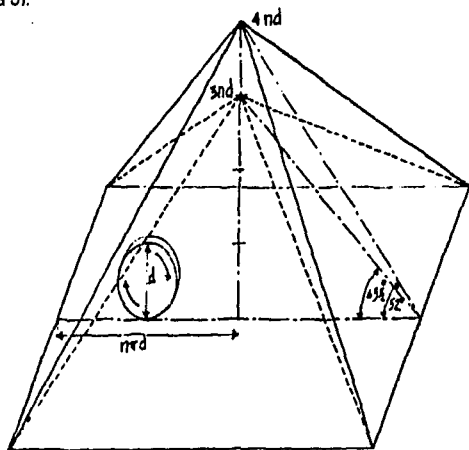
Las pirámides de Gizeh

El conjunto funerario de Gizeh se construyó durante un período de cerca de 2,500 años, pero principalmente en un grueso de 500 años durante el Antiguo Imperio.

El trío de pirámides principales de Gizeh representa la culminación de la construcción piramidal, no superada jamás por otro monumento egipcio. La primera que se construyó es la más septentrional y la de mayor tamaño; fue erigida por Keops aproximadamente entre los años 2680 y 2580 a. de C. La siguiente, inmediatamente al sur de la anterior, fue la construida por el hijo de Keops, Kefrén. Más tarde, al suroeste de la pirámide central, el faraón Micerinos, hijo de Kefrén construiría la tercera y más pequeña de las tres.



La pirámide de Keops media originalmente 230 m de lado y 146 m de altura; hoy en día, esas medidas son algo inferiores, ya que la envoltura exterior de piedra calcárea perfectamente labrada fue arrancada para ser usada como material de construcción en El Cairo. Probablemente más impresionante que su tamaño, es la precisión con la que ésta y las demás pirámides fueron construidas. Los lados de la base de la pirámide de Keops difieren a lo sumo por 20 cm. Las caras de cada una de las imponentes masas pétreas están alineadas a los cuatro puntos cardinales con un error máximo de cinco y medio minutos de grado. Los cuatro ángulos rectos de su base se descuadran por no más de tres y medio minutos de grado. La pendiente de sus caras es de 52° ; esta precisión sólo es posible bajo la premisa que nos plantea que los egipcios debieron conocer el valor de la razón constante entre la longitud de una circunferencia y su diámetro, el número griego π (se sabe que le daban un valor estimado igual a 3).



Si los egipcios hubieran medido los lados de la pirámide mediante el giro y el diámetro de un tambor, en términos de trigonometría, tomando a n como el número de giros y d el diámetro de dicho tambor, $\tan \alpha = 4nd / \pi nd = 4 / \pi$, dando como resultado $\alpha = 51^\circ.85'$.

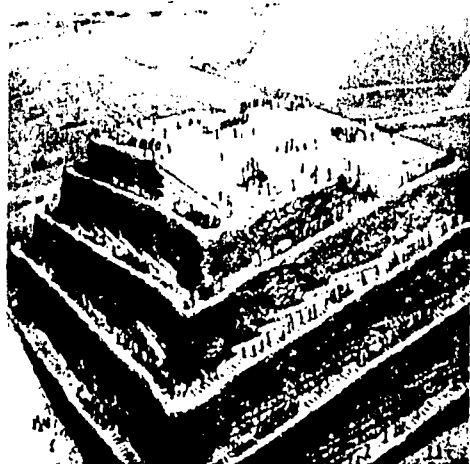
La pirámide de Kefrén tenía 215.5 m de lado y 143.5 m de altura, y es la única de las tres que conserva una parte de la envoltura original de piedra calcárea en la cúspide. Sus caras tienen una pendiente de 53° . La más pequeña de las tres pirámides, la de Micerinos, media 108.5 m de lado y 66.5 m de altura, siendo la pendiente de sus caras de 50° .

En torno a cada pirámide se construyó un extenso conjunto funerario, que constaba de varios templos y edificios auxiliares.

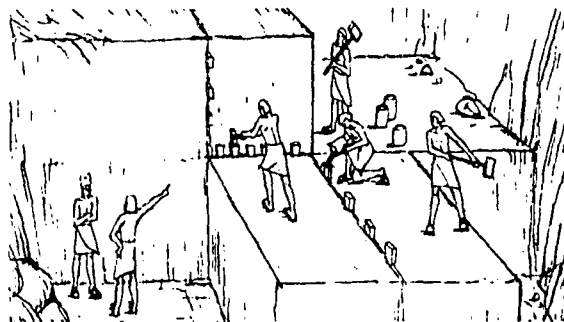
Se ha especulado mucho en torno a los posibles métodos de construcción de las pirámides, ya que no hay registros de relatos de la época sobre cómo éstas fueron construidas, concluyendo en varias teorías basadas en algunos datos recogidos por Herodoto sobre el asunto, dos mil años después de su construcción, y diversos estudios y mediciones hechos a partir del interés que despertaron desde las expediciones hechas a Egipto por Napoleón, hasta nuestros días. Hablaremos entonces ahora de cómo creemos ahora que se hicieron estas magníficas construcciones.

Para la construcción de la pirámide de Keops se usaron tres tipos de bloques: en el interior se colocaron bloques de piedra caliza local, rodeando este volumen se colocó una capa de bloques del mismo material cortado con gran precisión, y finalmente, otra capa exterior de bloques de piedra calcárea de Tura, labrados con un acabado sumamente liso y homogéneo. La superficie fue pulida tan homogéneamente que era imposible insertar una postal entre dos de sus bloques. Incluyendo el revestimiento, contenía unos 2'300,000 bloques de piedra, que pesaban en promedio 2.5 toneladas, aunque los hay de más de 15 toneladas. El corte de los bloques se hacía en la cantera a nivel del río y posteriormente eran llevados hasta la meseta. Para apreciar la magnitud del esfuerzo no hay que olvidar que los egipcios sólo tenían herramientas de madera, piedra y cobre, y no disponían de vehículos a ruedas (el carro con ruedas se introdujo después del 1750 a. de C.); para deslizar los bloques de piedra debieron usar rodillos o una especie de trineos, sin embargo la mayor parte del trayecto se realizaba en barcas a lo largo del Nilo. Mientras el material era cortado y traído a la plataforma de desplante, ésta se iba nivelando con gran precisión, ya que el más mínimo fallo repercutiría en problemas de estabilidad en la parte alta de la pirámide, las mediciones actuales reportan un desnivel de tan sólo 1.25 cm. Se cree que los bloques de piedra se transportaron a cada hilada por medio de cuatro rampas helicoidales hechas de tierra y tabique, que ascendían de forma envolvente a cada lado de la pirámide. Una vez colocada la última piedra en la cúspide y terminado el pulido del revestimiento, se demolerían las rampas, siempre trabajando de arriba a abajo.

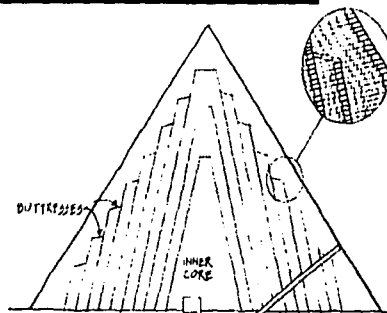
Según Herodoto, para construir la pirámide de Keops se usaron cien mil hombres en períodos o turnos de tres meses, y la construcción duró veinte años. Hoy en día algunos científicos determinan que, basándose en estimaciones sobre el peso de los bloques, las distancias a las que había que desplazarlos y la capacidad de la mano de obra, parece razonable suponer que se necesitaron hasta 150,000 hombres en la construcción de la pirámide. Incluye excavaciones que revelado lo que parece ser un poblado para el alojamiento de hasta 4,000 trabajadores situado en la base de la pirámide de Keops. La cuestión que aún no nos queda muy clara es ¿por qué invertir este esfuerzo sobrehumano? La creencia dominante durante el imperio antiguo, era que al morir el faraón se convertía en dios. Debido a que las labores en el campo se paralizaban durante tres meses al año y aún así generaba los alimentos requeridos para pasar todo el año, era posible disponer de un importante reclutamiento de hombres para envíos a las canchales de las pirámides durante la estación de la inundación. Aparentemente, no había necesidad del "goleo del látigo", esta mano de obra utilizada bien podría conformar una auténtica legión de trabajadores voluntarios. Si el faraón era adecuadamente considerado ante la presencia de Dios, se supondría un beneficio para todos ellos.



Modelo de las supuestas rampas helicoidales alrededor de la pirámide de Keops.

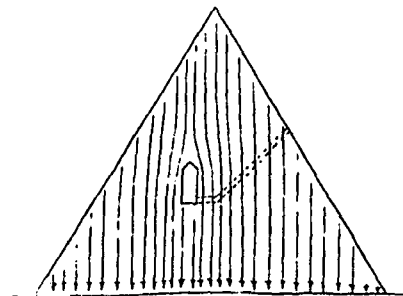


Los cortes en la cantera de piedra caliza se realizaban con herramientas de cobre a poca profundidad, y luego se introducían cuñas de madera que al mojarlas se hinchaban y quebraban la piedra en planos verticales y horizontales. La tajadas de granito utilizadas en la cámara del faraón, se obtenían calentando en exceso la superficie mediante fogatas y enfriándolas súbitamente con agua, produciendo cortes por contracción térmica (Salvadori, Why buildings stand up. Nueva York. Norton, 1990; pp32).



Al núcleo central de la pirámide se le construyeron alrededor muros de refuerzo, semejando contrafuertes, inclinando los bloques de piedra hacia adentro a un ángulo de 75°, con alturas decrecientes formando un perfil de pirámide escalonada. Las siguientes capas envolventes, también fueron colocadas con una inclinación para aumentar su estabilidad. Finalmente los bloques exteriores que darían la pendiente final de 52°, fueron colocados ligeramente inclinados hacia adentro para impedir que se desprendiesen.

Dentro de la pirámide o bajo ella, se encontraba la cámara funeraria del faraón, a la cual se llegaba por estrechos pasajes. Además de ésta existen otras cámaras y pasajes que se conforman por pasillos cubiertos con bóvedas falsas (a partir de un arco falso) hechas con grandes planchas de granito, algunas de estas bóvedas soportan más de 400 toneladas de bloques que conforman la parte superior a ellas de la pirámide. Aunque en realidad el peso no fluye verticalmente sobre ellas hacia la parte inferior de las pirámides; el efecto es el mismo que observamos en un río bajo un puente, el agua al pasar se bifurca a los lados de los pilares siguiendo el flujo de la corriente. Así las cámaras dentro de la pirámide divergen el flujo de la compresión que provocan los bloques superiores causando un efecto de arco que aligera la carga que deben soportar las bóvedas de las cámaras.



Grecia

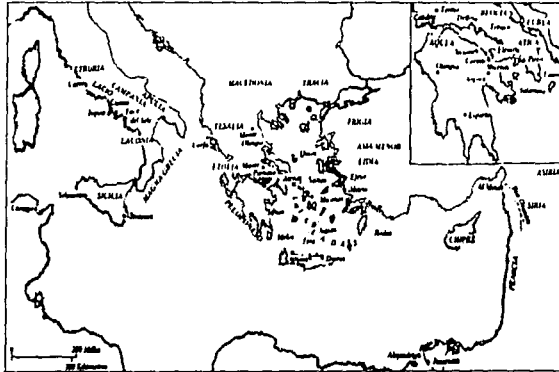
11.5

La creación del modelo para el mundo occidental



Los antiguos griegos del período comprendido entre el 750 y el 350 a. de C. aprendieron mucho de Egipto, adaptando su escultura arcaica y su arquitectura pétreo de columna y dintel a los modelos egipcios. Sin embargo, los griegos no tardaron en conformar un arte y una arquitectura inequívocamente propios, creando un sistema de valores basado en la exaltación de las capacidades humanas, que ha servido de fundamento a toda la cultura occidental posterior. (Roth, Leland M., 1999)

La geografía y el clima de Grecia influyeron inmensamente en la cultura griega, al igual que el Nilo y el desierto en Egipto. En la antigüedad, Grecia abarcaba mayor extensión que la que hoy conocemos. A partir del segundo milenio a. de C., incluía toda la plétores de islas diseminadas al sur y al este de la península, así como las situadas frente a la costa de Anatolia (actual costa de Turquía); sus habitantes estaban diseminados por ambas orillas del mar Egeo.



El cálido clima mediterráneo propició un estilo de vida particular orientado hacia los lugares públicos; a la usanza de los cafés de hoy en día, los amigos se reunían en el ágora, por lo que la planeación urbana se focalizaba hacia los puntos de reunión públicos, como lo era el *temenos*, un perímetro sagrado abierto rodeado con un murete que reunía varios templos y que normalmente se ubicaba en el emplazamiento más alto de la ciudad, la *acrópolis*.

El relieve de Grecia es sumamente accidentado, una plegada masa de crestas calcáreas y marmóreas que se adentran en el mar, produciendo innumerables cuevas, golfos profundos y puertos naturales, en una región muy proclive a los terremotos.

La agricultura fue siempre difícil, pues existen escasas extensiones de terreno llano. La economía agrícola de los griegos se basaba en pequeñas granjas familiares, escasamente comunicadas entre sí, característica que impidió una auténtica consolidación de sus numerosas ciudades-estado en una nación centralizada. Estas *polis* griegas, abarcaban no sólo una extensión geográfica, sino también la vida comunitaria, política, cultural, moral y económica de sus habitantes.

Sin embargo, los griegos compartieron una religión común y una lengua. El temperamento duro y tenaz de los griegos se forjó como respuesta a un medio que podía cambiar dramáticamente en un instante. Cualquiera que fuera el estado al que pertenecieran, los griegos consideraban al conjunto de todos ellos como la Hélade, y a sí mismos como helenos.

Contexto cultural e histórico

Los griegos del período clásico (479-338 a. de C.), tuvieron como antecedente las diversas culturas de la edad de bronce que florecieron primero en la isla de Creta, y más tarde en el Peloponeso y la Grecia central. La cultura que surgió en la isla de Creta hacia el 3400 a. de C. es la más antigua, se le denomina *minoica* por el mítico rey Minos, tuvo su apogeo entre el 1600 y el 1400 a. de C., sumamente importantes para su estudio resultan los restos del inmenso palacio y centro administrativo de la ciudad de Cnosos, el conjunto erigido con espesos muros de piedra calcárea en torno a grandes patios abiertos, presenta gran complejidad en la planta. Los conjuntos palatinos de Creta destacan por la ausencia de murallas, lo que sugiere un dominio absoluto sobre los otros pueblos. El legado arquitectónico cretense más importante consiste en los palacios de Cnosos, Festos y Mallia, cuyos edificios se encuentran agrupados en torno a patios de idénticas proporciones.



cultura minoica

Sala hipóstila del palacio de Cnossos, con las lisas columnas de madera policromada, de forma troncocónica y capiteles redondeados:



Sin embargo, poco antes del 2000 a. de C., las costas de Creta comenzaron a ser conquistadas por una nueva cultura llamada micénica, procedente de la ciudad de Micenas en el Peloponeso. En contraste con las ciudades cretenses, las micénicas estaban fortificadas y se construían en lo alto de mesetas rocosas aisladas. Las gruesas murallas se construían con grandes piedras cuidadosamente encajadas sin mortero y con otras más pequeñas en los intersticios (aparejo ciclópeo "hecho por ciclopes") (Roth, L. op.cit. pp202).

APAREJOS



Cyclopeo



Poligonal

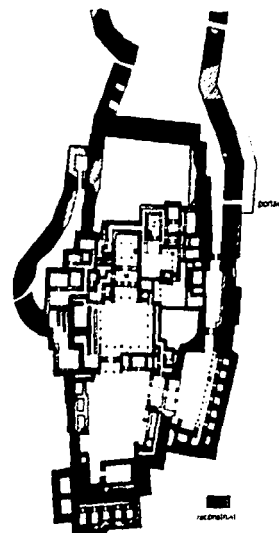


Rectangular



Bloques Inclinaos

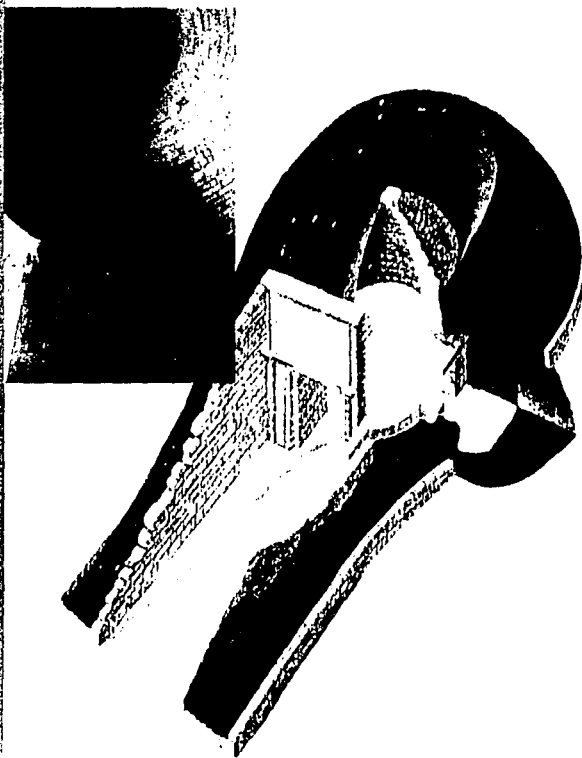
Dentro de las fortalezas había una gran sala de reuniones consistente en una cámara rectangular con un hogar circular en el medio y muros laterales que se prolongaban para formar un pórtico abierto en el extremo, aquí parece detectarse una línea de evolución directa entre el *megarón* o gran sala, que era su punto de atención, y el *naos* o santuario de los templos posteriores de la Grecia clásica.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

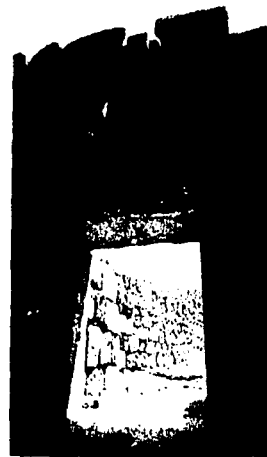
cultura micénica

La sociedad micénica era militar de pies a cabeza. Las fortificaciones en Micenas y Tirinto alcanzaron altos grados de sofisticación. Los reyes micénicos aspiraban al nivel de las monarquías orientales, lo que se expresa en la grandeza de sus tumbas. Éstas, llamadas *tholos*, parecen ser los primeros edificios griegos en tener una cúpula sobre el monumento funerario, de éstos el más notable es el "Tesoro de Atreo", construcción circular en forma de colmena con diámetro de unos trece metros y medio, y una altura de doce metros semiencavada en la colina, con un techo bajo de piedra que sostiene la tierra. Ésta cubierta está formada por una cúpula falsa, construida con sillares voladizos pulidos, trabados en hileras cada vez más estrechas, y decorada con rosetas de bronce. Se llega a la tumba por un *dromos* rectangular, sobre el dintel de la puerta del tholos, se encuentra una abertura en triángulo que aligera el peso que éste carga.

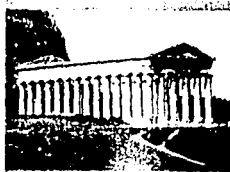


Entrada al Tesoro de Atreo.

Una de las entradas al fuerte de Micenas se conoce como "la Puerta de los Leones". Dos enormes bloques de piedra forman las jambas de la puerta, y otro, el dintel; se aligera el peso superior por un sistema de hiladas voladizas formando un arco falso, al igual que en el tesoro de Atreo. La abertura en triángulo ocupa un bloque esculpido, en el cual se encuentran dos leones erguidos sobre las patas traseras, apoyados en un pedestal que sostiene un pilar. Este sistema de arco falso se usó igualmente para jambas de puertas y para bóvedas corridas.



el templo griego



Bóvedas en voladizo, ciudad micénica de Tirinto.

No es mucho lo que se conoce de la cultura micénica. Los pocos restos que quedan sugieren la influencia minoica, anatólia y ocasionalmente egipcia. La historiografía tradicional sostiene que hacia el año 1150 a. de C. la invasión de otro pueblo, los dorios, puso brusco término a la civilización micénica, sin embargo no tomó su lugar, sumergiendo a la península griega en una era de barbarie que se ha llamado edad media helénica. La principales aportaciones culturales de los dorios fueron su lenguaje y un grupo de deidades celestiales que gobernaban desde el monte Olimpo, quienes fueron reemplazando a las anteriores deidades minoicas y micénicas.

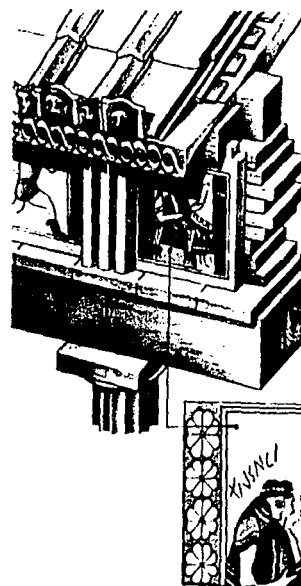
La arquitectura griega no mostró reactivación hasta el 750 a. de C., época en la que inicia la colonización del Mediterráneo, en respuesta a la pobreza de la agricultura autóctona y a la necesidad de materias primas. Casi todas las grandes polis griegas se sumaron a la aventura marítima, fundando importantes nuevas ciudades y colonias en lugares remotos como Egipto, Palestina y Siria. El resultado de la colonización fue la extensión de las ideas de los griegos y de su idioma a todo lo largo del mediterráneo y del mar Negro.

El templo griego

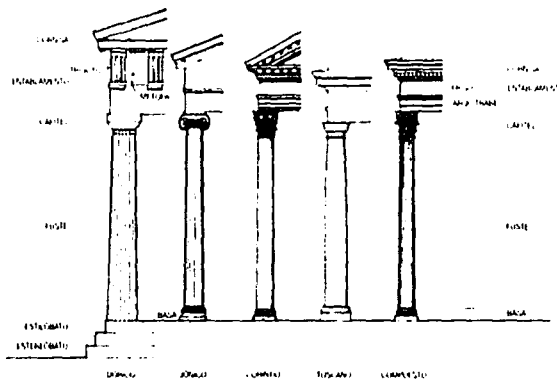
No habían sido abandonadas las construcciones de la edad de Bronce, cuando hicieron su aparición los primeros templos. Los muros consistían en un entramado de madera relleno con ladrillo de arcilla y descansaban sobre cimientos de piedra; los techos eran casi siempre planos. El templo en su forma más simple, contaba solamente con los elementos esenciales del megarón: una pieza rectangular (*cella*), con una especie de altar y una puerta central con entrada por un pórtico abierto.

Su forma externa fue después transformada, añadiendo un pórtico o columnata en derredor de todo el edificio. En esta época se daba al cella una forma alargada, y se techaba con juncos tejidos. A fines del s. VII los techos empezaron a cubrirse con tejas de barro cocido en vez de bejucos sobre un entramado de madera, y después se generalizó el edificio rectangular con techo a dos vertientes.

Una innovación favorable para el desarrollo de la construcción de templos fue el uso de sillares de piedra, en lugar de madera y ladrillo. Cuando esto ocurrió, se reproducía con el nuevo material cada rasgo tradicional en la construcción con madera. Sin embargo, los arquitectos griegos se familiarizaron con la piedra rápidamente y se dieron cuenta de sus posibilidades y limitaciones. Su escasa resistencia a la tensión, por ejemplo, hizo que se redujera la distancia entre pilares, y los fustes cortos de las primeras columnas resultaron ya innecesarios. Una vez que comprendieron estos principios y se posesionaron del material con el cual trabajaban, pudieron aplicar nuevas nociones estéticas al refinamiento del diseño. Mientras tanto los rasgos generales de un templo, tanto en estructura como ornamento, se generalizaron y se creó un canon que rigiera su posición y forma. De esta manera surgieron los órdenes de la arquitectura griega.



los órdenes griegos



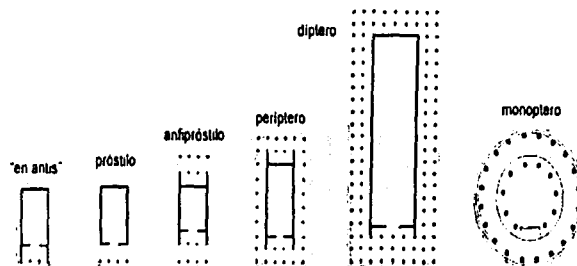
Los órdenes griegos: una serie de normas estéticas que determinaban la actividad arquitectónica, derivados de una sociedad característica que perseguía como ideal el equilibrio y la simetría, el *logos* o lógica, opuesto al *khaos* o desorden, englobando la idea de perfección en el concepto *arête*: noción de excelencia global aplicada a todos los ámbitos de la vida griega, ya fuera físico, moral o intelectual (Roth, L. op. cit. pp198-199).

Hacia el 525 a. de C., el mármol empezó a usarse ampliamente en lugar de la piedra calcárea en la construcción de edificios, y pronto se comprobó que las vigas principales (arquitraeves) del techo podían hacerse también de este material, ya que permite cortarse en líneas exactas y permite un trabajo de detalle preciso, los monumentos que aún existen son prueba de su perennidad.

Los mejoramientos técnicos en el arte de la albañilería condujeron a desarrollar nuevo interés en la proporción de los edificios, y las columnas se hicieron más esbeltas con la profusión del estilo jónico. Fue más sutil el diseño de ornamento labrado, pero las características principales conservaron la formalidad convencional. Esta situación persistió hasta que la invención del capitel corintio con su follaje labrado con amplia libertad, llevó el naturalismo al extremo. Este tercer orden difería en pocos aspectos del jónico.

En el proyecto de un templo, al establecerse la necesidad de ofrecer un espacio para la veneración de determinada deidad, se definían las proporciones de dicho espacio sagrado: el *cella*. Este espacio albergaba la imagen o estatua y ocupaba la mayor parte, pero a veces había un vestíbulo porticado (*opisthodomos* o *epinaos*), comunicado con el santuario. En el extremo posterior en ocasiones encontramos otra sala que se utilizaba para proteger una acumulación de ofrendas valiosas, que es el segundo fin del edificio. El siguiente paso importante era la distribución de columnas para formar los pórticos y la columnata (*peristilo*) que rodeaba todo el edificio.

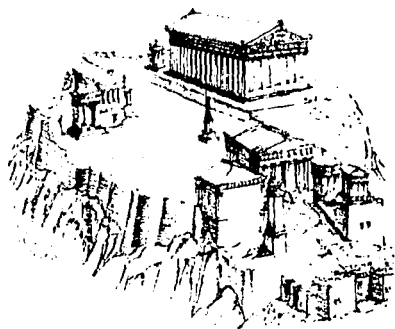
La disposición del Partenón en la Acrópolis de Atenas, de orden dórico, se tomó del megarón con dos columnas *in antis* en los extremos. El número de éstas aumentó a cuatro (distilo *in antis*). Después se hicieron más cortos los aleros dejando el extremo del pórtico sostenido por una hilera de seis columnas aisladas (hexástilo *anfi próstilo*) y finalmente todo el conjunto se rodeó de un peristilo con ocho columnas a los lados (octóstilo *periptero*); pero hay muchas otras combinaciones. A veces el peristilo en un edificio se duplica en dos filas de columnas (decástilo *díptero*), otras veces el peristilo interior se elimina, y en otras ocasiones hay más de una hilera de columnas dentro del pórtico principal. De cuando en cuando se encuentra una serie de columnas adosadas a los muros exteriores y son raros los templos circulares.



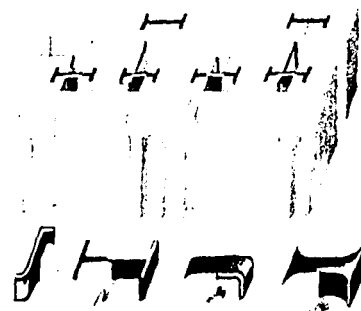
La costumbre clásica, era construir el santuario sobre una plataforma de sillares de piedra; las últimas cuatro hileras aparecían a flor de tierra, escalonadas, en derredor de todo el edificio. El piso de la *cella* se encontraba a mayor altura que el del peristilo. Dentro de la columnata, los muros de piedra de la *cella* se alzaban a nivel del piso en grandes sillares colocados de canto. El edificio remataba en un friso esculpido, y por encima de éste, las vigas transversales sostenían las lozas del techo artesonado (carpintería a base de artesones o molduras).

el Partenón en la Acrópolis de Atenas

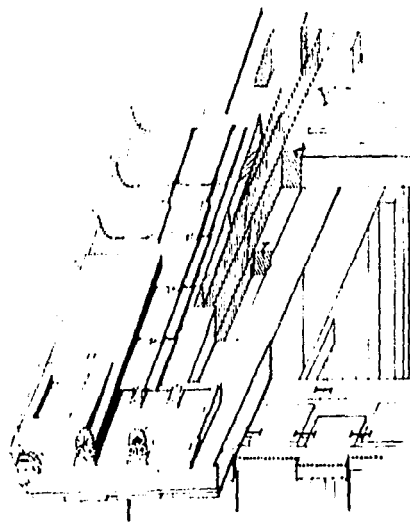
En el santuario o naos había columnas laterales para reducir la distancia de los claros entre las vigas del techo. En el Partenón y otros templos se añadió una tercera hilera de columnas que atravesaba el extremo de la cámara. Éstas eran más pequeñas que las de fuera y, para obtener la altura deseada, se les sobreponía una serie de columnas más pequeñas, a veces de orden jónico o corintio. La nave y pasillos obtenidos de esta manera se cubrían después de un techo de armadura de madera cubierta con tejas.

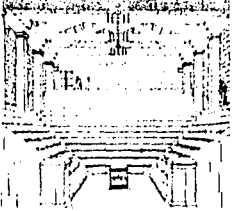


La albañilería griega alcanzó alto grado de perfección. No se usaba mortero, y los sillares de piedra se unían con extraordinaria precisión. Al hacer las superficies de contacto ligeramente cóncavas conseguían una junta casi perfecta en la superficie del muro. Cada bloque se unía al siguiente por medio de una grapa de metal, más a menudo de hierro que de bronce, que se sujetaba con plomo derretido. El mismo método se usaba en las columnas, los tambores de la columna sin pulir se unían por medio de grapas de metal rodeadas de madera, para evitar que la piedra se rajase. Posteriormente se labraban acorde al orden que rigiera el diseño del edificio.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN





Armaduras para cubrir el Bouleuterion

Durante tres siglos más los reinos helénicos fueron desarrollando una brillante y rica civilización, con la eclosión de un arte greco-oriental. Cuando en los siglos II y I antes de nuestra era, penetraron las legiones en Grecia, Anatólia, Siria y Egipto, le correspondió a Roma tomar el relevo de aquel mundo helenístico en el que sobrevivieron los conquistadores romanos. Los romanos que fueron herederos de la cultura que sus antepasados habían creado, se esforzaron por imitarla y así, en el siglo I de nuestra era, se levantó el Coliseo, el más grande anfiteatro que jamás se construyó en el mundo antiguo.

El examen exhaustivo del Partenón nos revela sutiles detalles de diseño, que fue repetido en el diseño de otros templos. Las líneas de las columnas, los entablamentos y los frontones se cruzan con un rigor matemático que contribuye a la impresión de serenidad que se desprende de la acrópolis. No hay en el Partenón una sola vertical u horizontal absoluta. El eje de las columnas tiene una inclinación, entre la base y el tope de 6.36 centímetros hacia el interior de la nave, así como un perfil ligeramente convexo (la *éntasis* según Vitruvio). La distancia entre las columnas varía en función de las variaciones de sus diámetros. El espaciamento de los triglifos está graduado; y la horizontal de los plintos y los entablamentos presenta una curva imperceptible basada en un radio de 5.6 km. La altura, el ancho y la longitud del edificio, y detalles como los escalones, el diámetro de columnas y a distancia entre las mismas, son gobernados por la razón 4:9.

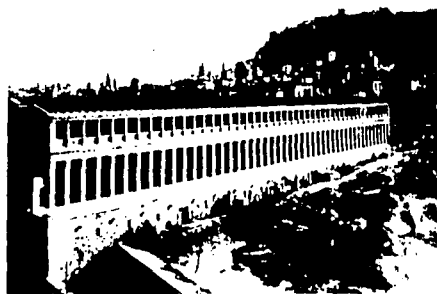
Todas estas correcciones al diseño ortogonal del templo, la inclinación de las columnas, la *éntasis* y la curvatura de las líneas, funcionan como una ilusión óptica de contrapunto y acentúan la impresión de estabilidad. El edificio apreciado en perspectiva desde la calzada de acceso, no sufre deformación óptica alguna, se nos presenta perfectamente estable y equilibrado, cualidad que sería imposible de tener todas sus líneas alineadas a ángulos perfectos de 90°.

En las imágenes observamos cómo se deformaría visualmente el edificio sin correcciones y cómo es posible verlo debido a las correcciones ópticas.

Casi todas las ciudades griegas contaban con una acrópolis como la de Atenas, y conformaba uno de los espacios abiertos más importantes de la ciudad. Dado que la mayor parte de la actividad cívica y comercial se gestionaba al aire libre, en el *ágora*, las casas particulares de los griegos eran por lo común, pequeñas y sencillas, hechas de ladrillo de barro, por esta razón hoy en día no sobreviven



más que vestigios de sus cimentaciones que normalmente eran de piedra. La arquitectura pública griega fue bastante limitada. Tal vez las edificaciones que tuvieron mayor importancia, por la función que cumplían, fueron las *stoas* que delimitaban y definían el *ágora*. Las *stoas* eran edificios alargados de planta rectangular, abiertos por uno de sus lados al *ágora* por medio de portales, a menudo tenían una columnata central intermedia para soportar el piso superior o la cubierta. También se construyeron varios tipos de sala cubierta para acomodar a pequeños grupos de gente, como el *bouleuterion*, que disponían filas escalonadas de bancos en tres de sus lados con una capacidad para albergar alrededor de 700 personas. Para techar estos edificios se usaron, al igual que en los templos, armadura de madera recubiertas de teja, cubriendo claros de hasta 15 m. Los elementos arquitectónicos de los templos se adaptaron a estos otros edificios con extrema simplicidad. Los edificios públicos de más envergadura en Grecia fueron aquellos que estaban descubiertos, es decir, los teatros y estadios, que se emplazaban aprovechando las colinas y la elevada situación del aterramiento natural para situar las graderías.

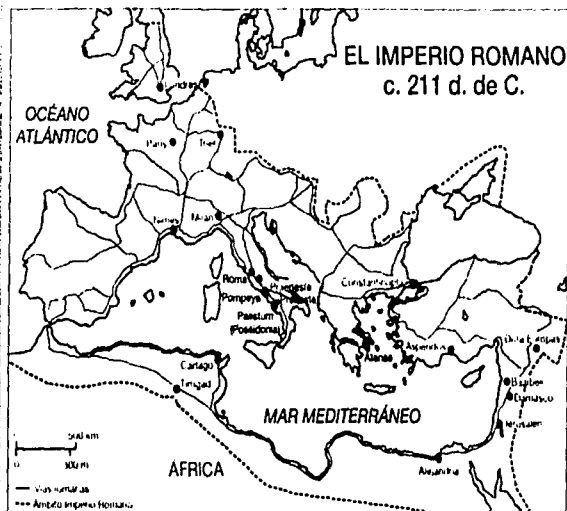


La independencia de las ciudades-estado griegas, acabaría por ser eliminada durante el período de 360-323 a. de C., cuando las numerosas polis fueron amalgamadas en un único imperio por Filipo II de Macedonia, y más adelante por Alejandro Magno. La relativa paz que sobrevino como fruto de esta dominación fomentó el florecimiento de la filosofía y ciencia griegas —es la época de Aristóteles, Arquímedes y Euclides—. Alejandro difundió la ciencia, arte y cultura de la Grecia clásica por todos los territorios que fue conquistando, como Persia, Egipto, Siria y Palestina, Babilonia, Irán e India septentrional. La cultura y las artes se desarrollaron en un panorama mucho más heterogéneo, elaborado y ornamental, a comparación del ideal clásico. Hoy en día llamamos helenística a esta época, y aplicamos el término a todos los ámbitos de la cultura.

Roma

II.6

La arquitectura romana es una arquitectura del espacio -del espacio interior cerrado y del espacio exterior- a una escala grandiosa. (H. Kahler, 1965)



Alrededor del 1100 a. de C., un grupo de emigrantes balcánicos se estableció en la península itálica, en las riberas del Lacio (de ahí el nombre de latinos), en un emplazamiento estratégico excelente. Unos trescientos años después, los etruscos se trasladaron hacia la región del norte de Roma (Toscana); poseedores de una cultura más avanzada, comenzaron a dominar gradualmente a los latinos y otras tribus vecinas. En el año 509 a. de C. los habitantes de Roma derrocaron a los etruscos e instauraron la república, gobernada no por un rey como hasta ese momento, sino por un senado.

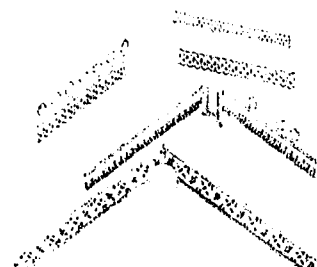


Los espacios públicos sólo comenzaron a ser intencionalmente proyectados a partir del período helenístico. Esta deliberada configuración del espacio se incorpora a la vida romana, y es precisamente la que constituiría la esencia de su arquitectura.

Las razones para que se concediera tal preeminencia a la arquitectura pública, tanto en lo referente a espacios cerrados como abiertos, fue que esta civilización desde sus orígenes se centró en la ciudad como elemento constitutivo básico. No en vano, el hito con el que los historiadores romanos señalaron el inicio de su historia fue la fundación de la ciudad de Roma en el año 735 a. de C. Los romanos fueron seres completamente politizados, se vanagloriaron del hecho de ser libres y autónomos, y sus ciudades llegaron a abarcar toda la cuenca mediterránea y gran parte de Europa.

Contexto cultural e histórico

Al igual que los egipcios y los griegos, los romanos fueron configurados en gran medida por su geografía y también por el impacto de las incesantes guerras a que tal geografía conducía casi inevitablemente. La historia de Roma se divide en tres fases: el régimen real establecido por los primeros reyes, la república y el imperio.



Algunos ejemplos de arquitectura etrusca.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La arquitectura romana



En Italia no existen, aparte de los montes Apeninos, barreras físicas importantes que coarten los desplazamientos; como en Grecia y Egipto fueron el mar, una geografía escarpada y el desierto. Los ciudadanos de Roma tuvieron que asegurar su libertad, librándose de los etruscos, y después ocuparse de sus fronteras del sur que fueron ampliando y reforzando en diversas fases hasta que se toparon con las colonias griegas allí establecidas. Después de cruentas batallas, hacia el 265 a. de C., las colonias griegas quedaron sometidas a Roma, que pasó así a controlar toda la península. A partir de este hecho, Roma, por medio de varias guerras y batallas, comenzó a someter más territorios, como fueron Cartago, Macedonia, Siria, Armenia y Palestina, y pasó de ser una ciudad a una serie de colonias anexionadas diseminadas por el Mediterráneo (*mare nostrum*), dominando gran parte de lo que fuera el imperio de Alejandro Magno.

Aunque para esta época no se gobernaba como tal, Roma era físicamente un gran imperio, con una devastadora revolución económica provocada por las recientes conquistas, que marcaba cada vez más la diferenciación social entre las clases gobernantes, el campesinado empobrecido y la inhumana situación de los esclavos.

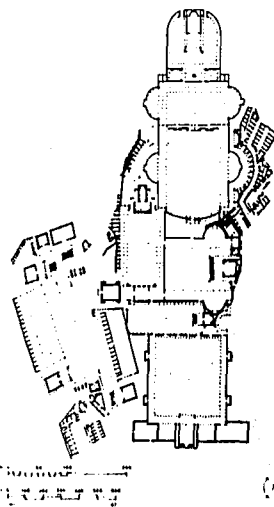
Para el año 27 a. de C., el senado le confiere a Octavio (sucesor de Julio César) el título de emperador. Le siguieron, una sucesión de emperadores que reinaron bajo diferentes dinastías. Probablemente la más notable de ellas fue la de los Antoninos (96 a 180 d. de C., Nerva, Trajano, Adriano, Antonino y Marco Aurelio) debido a que este fue el período de paz y prosperidad más duradero de todo el imperio, coincidiendo con la máxima expansión del poder imperial y la época de mayor florecimiento del derecho. Buena parte de la mejor arquitectura romana se edificó en los periodos de paz y expansión del desarrollo económico, es decir, durante los reinados de Augusto, los Flavios y los Antoninos. Tras la extinción de estos últimos, el imperio se hundió en una crisis profunda, de la que no salió hasta el siglo III con Diocleciano (284-305 d. de C.), quien encontró la tarea de gobernar Roma demasiado grande para un sólo hombre, de manera que instauró un co-emperador para compartir la responsabilidad. Se hizo esta división administrativa siguiendo la división natural entre el occidente latino y el oriente griego. En occidente, por supuesto, Roma siguió siendo la capital, pero en oriente, Constantino fundó una nueva capital en la embocadura del Bósforo, en el emplazamiento de la antigua Bizancio, Constantinopla ('ciudad de Constantino', actual Estambul), un estratégico puerto que separa al mar Negro del Mediterráneo y que desde entonces rivalizaría el poder con Roma, hasta la caída de ésta bajo los bárbaros en el siglo V.

A medida que Roma fue extendiendo todo su poder a lo largo del imperio, fue generando una enérgica determinación de propagar por el resto del mundo las ventajas de la república y después del imperio, así pues, junto con el derecho romano, las nuevas colonias adoptaban las formas urbanísticas y de construcción.

La arquitectura romana

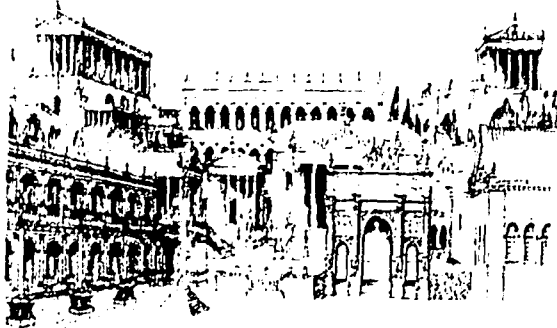
Los romanos eran pragmáticos por naturaleza, a diferencia del carácter idealista y especulativo de los griegos; no tuvieron grandes teóricos de la ciencia, pero si tuvieron, y en abundancia, grandes ingenieros y constructores, capaces de desarrollar las formas arquitectónicas a una escala jamás alcanzada por los griegos.

Los grandes logros de la construcción romana se manifiestan en extensas redes de calzadas que llegaban a todos los puntos del imperio, sistemas de acueductos que atravesaban montañas por medio de túneles o que salvaban barrancos y valles sostenidos sobre arcadas, y desde luego, una gran variedad de edificios de carácter público.



En el corazón cultural de las ciudades estaba el *forum* o foro, un espacio cívico al aire libre. Delimitándolo y encerrándolo, estaban los edificios de la *curia*, edificios de la administración pública, y una *basilica*, un gran edificio donde se despachaban pleitos legales, así como varios templos y otros edificios públicos en forma de *stoas*. En algunas ciudades se incluían también en el foro, bibliotecas y monumentos conmemorativos, como la columna de Trajano.

Fueron los etruscos quienes introdujeron un grupo de dioses a la manera de los griegos y quienes comenzaron la construcción de templos con fachadas porticadas, erigidos sobre plataformas elevadas. El templo romano, derivado de los prototipos etruscos, era similar al templo griego y con el tiempo sería decorado con los mismos órdenes y detalles arquitectónicos. Este se erige al fondo de un espacio abierto claramente definido, sólo tiene gradas de acceso en el frente de su fachada anterior y, al igual que el templo griego, tiene columnatas —siendo lo más frecuente que las laterales y la trasera se adosen junto al muro del celda—, para sostener la cubierta a dos aguas que protege la entrada a la celda.



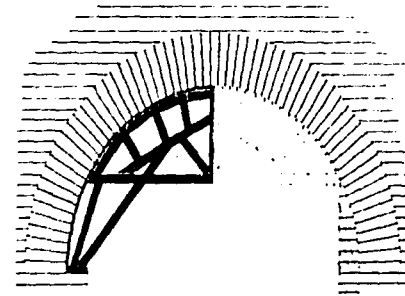
El foro romano.



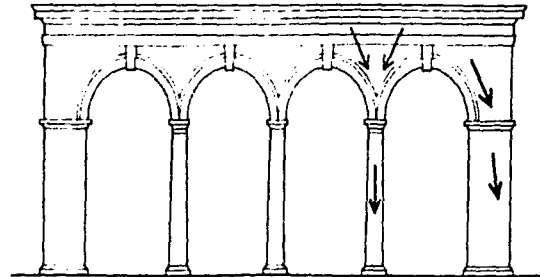
Templo en Nemassus en las Galias (hoy Nîmes, Francia), actualmente llamado la Maison Carrée, repite la forma tradicional de los templos de la era republicana de Augusto, año 19 a. de C

Pero no sólo se veían en los pórticos romanos la sucesión de dinteles y columnas a la manera de construir de los griegos. Los romanos encontraron una nueva forma de salvar la luz de una abertura que les permitía cubrir distancias mucho mayores que un dintel de piedra: el arco. Así pues, muchas de estas fachadas porticadas eran una sucesión de arcos de mampostería, a veces dispuestos en varios niveles.

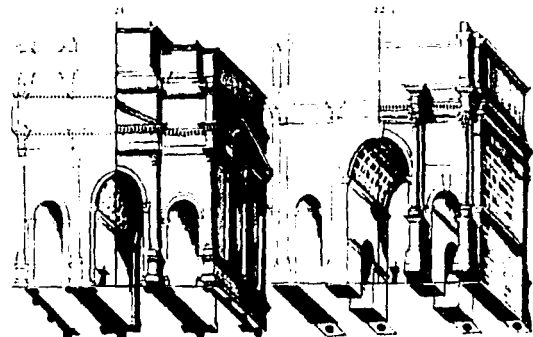
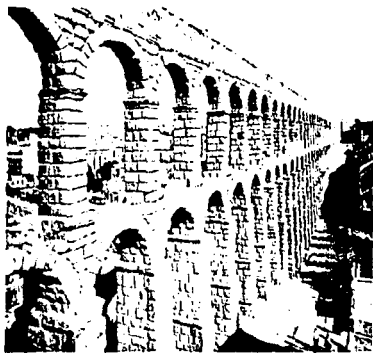
El arco de mampostería está construido con muchas partes en forma de cuña, llamadas dovelas, por lo cual se eliminó así la necesidad de encontrar una piedra exenta de grietas y lo suficientemente grande para servir de dintel, solucionando de paso el problema logístico que supone el manejo de grandes bloques de piedra. Cada una de las dovelas está sometida a esfuerzos de compresión, las cargas se distribuyen a lo largo del arco transformadas en fuerzas diagonales, generando en su base empujes laterales (hacia el exterior), además de fuerzas verticales (producidas por la gravedad y que son perpendiculares al suelo). Esto se cumple muy particularmente en el arco semicircular o de medio punto, profusamente usado por los romanos.



Las fuerzas o empujes laterales fueron adecuadamente contenidas disponiendo una serie de arcos situados uno a continuación del otro, como es el caso de los acueductos, o bien engrosando los apoyos laterales, como es posible apreciar en las arcadas o los arcos triunfales.

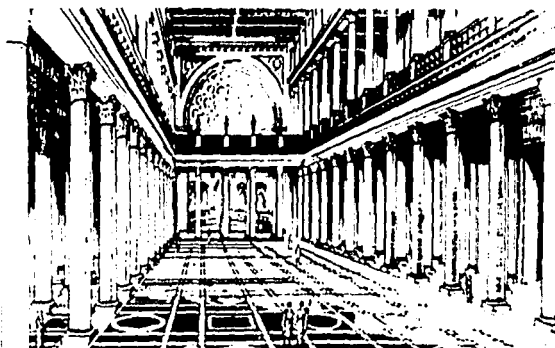
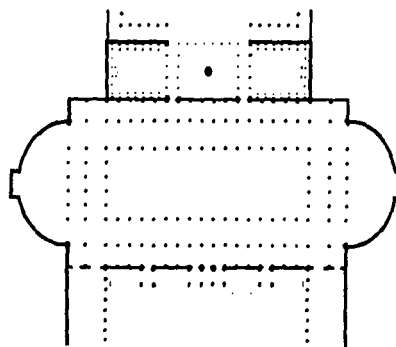


el arco de medio punto



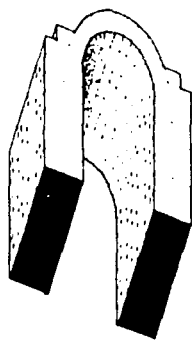
Acueductos, puentes y arcos triunfales romanos.

El énfasis de la vida urbana de la antigua Roma fomentó el desarrollo de los tipos de edificación para cerrar los espacios de uso público, a diferencia de los griegos que fueron abiertos. Los templos daban entrada únicamente a los sacerdotes, sin embargo había otras actividades cívicas, como los procesos legales, que requerían de un gran espacio cubierto; para este fin se construyeron las basílicas. La basílica romana consistía en una gran sala con techumbre a dos o cuatro vertientes, sostenida generalmente por columnas que dividían el espacio interior en naves, encabezadas, a veces, por un pequeño ábside en su cabecera (en uno o ambos extremos) cubierto por un arco y una bóveda semicircular, donde se sentaban los jueces.



Basílica Ulpia, el edificio medía 117 por 55 m de pared a pared, sin contar los ábsides, con dos columnatas interiores concéntricas abiertas a un gran espacio central cubierto por una techumbre sostenida por armaduras de madera que libraban 25 m de claro. El acceso se realizaba por uno de los lados largos del edificio.

Bóvedas de cañón corrido



A partir del siglo II d. de C., empezó a extenderse entre los constructores romanos el uso de la argamasa romana llamada también concreto romano, en especial en los muros y bóvedas de los edificios públicos. Esa argamasa no era ni cemento ni concreto, sino un material compuesto de elementos pétreos; un árido de piedra machacada (*caementa*) y un material aglomerante derivado de la caliza (puzolana, una ceniza volcánica que experimenta una reacción química al molerla y mezclarla con agua, formando una piedra artificial). Este compuesto formaba un mortero denso (no líquido como el concreto moderno) de una calidad tal que podía emplearse no sólo como relleno inerte, sino como material de construcción en sí mismo. Al pasar del tiempo y del uso de este material encontraron los mejores métodos de aplicación, descubrieron que el concreto que quedaba aparente no envejecía bien, por lo tanto hicieron una especie de muro doble con el concreto y una capa exterior de ladrillo o piedra. El aparejo de este muro, también fue desarrollándose con el mejoramiento de la técnica, al principio era una mampostería ordinaria a base de grandes bloques de piedra de aparejo irregular (200-100 a. de C.), pero durante los dos siglos siguientes se impuso el empleo de ladrillos o sillares tallados en forma cúbica o romboidal y dispuestos de modo que sus juntas quedasen en diagonal. Más o menos a partir del año 100 d. de C., se empezó a generalizar el uso de ladrillos planos como revestimiento.



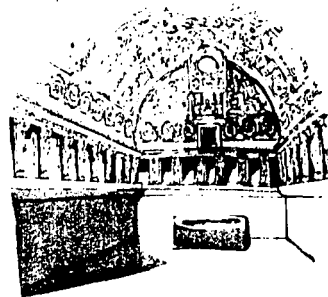
La construcción con concreto romano alcanzó su apogeo en las grandes termas imperiales o baños públicos, y en la gran basílica de Majencio, cuya imponente nave central estaba cubierta con bóvedas de arista hechas de este material.



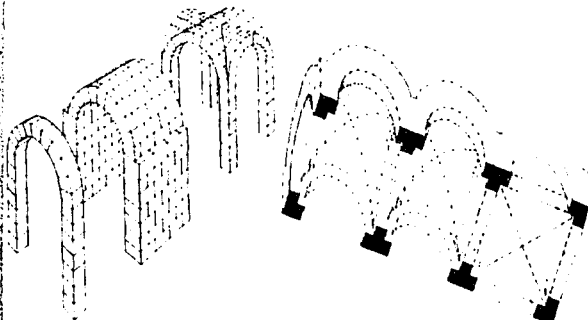
Basílica de Majencio, Roma, 307-325 d. de C. Vista de las bóvedas laterales que permanecen en pie. El espacio central de circulación media 80 por 25 m y estaba cubierto por tres bóvedas de arista que se alzaban 24 m por encima del suelo, tres grandes cámaras a ambos lados con gruesos muros servían para contrarrestar el empuje de la bóveda de la nave central. Tales cámaras estaban cubiertas por bóvedas de cañón, que libraban un claro de 23 m.



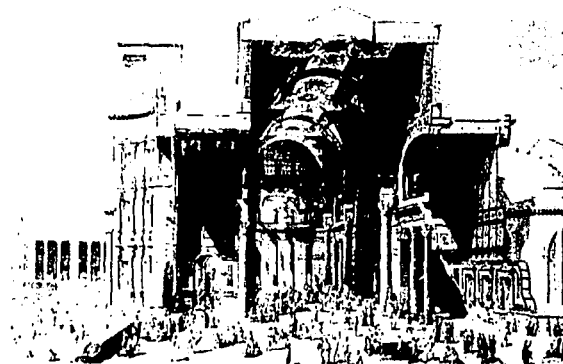
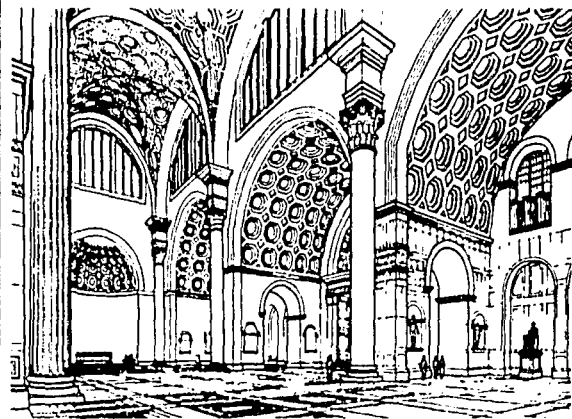
Anteriormente a los romanos, se construían bóvedas falsas de bloques de piedra o adobe, generadas a partir de un arco falso, con sus caras interiores dispuestas inclinadamente como en un prisma triangular, o bien suavizando éstas logrando una superficie casi semicircular. Al desplazar horizontalmente un arco de medio punto a través del espacio, los romanos obtuvieron una forma denominada bóveda de cañón. Generalmente, estas bóvedas se apoyan sobre muros, pero debido al excesivo peso de las mismas, los muros tienden a separarse por su parte superior. Los empujes laterales que produce esta separación pueden ser contrarrestados mediante robustos contrafuertes colocados a lo largo de los muros o aumentando el espesor de éstos.



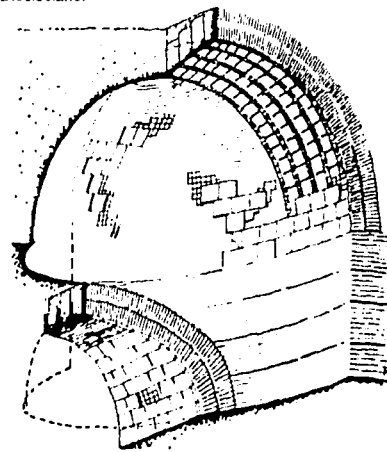
Bóvedas de arista



Al intersectar perpendicularmente dos bóvedas de cañón, pudieron después generar las bóvedas de arista, que constituían una buena manera de techar espacios de planta cuadrada, con esta disposición las fuerzas son canalizadas hacia abajo a través de los aristones de intersección de las bóvedas, y se concentran al pie de las mismas. Además, esta forma permitía mayor iluminación en los espacios, pues podía disponerse un amplio vano semicircular (luneto) en cada extremo, como fue el caso en la basílica de Majencio en el que, a partir de un módulo obtenido por una intersección de bóvedas de cañón se formó una bóveda por arista de tres crujeas, los empujes laterales de cada bóveda de arista se absorbían en cada lado por cámaras laterales con bóvedas de cañón.



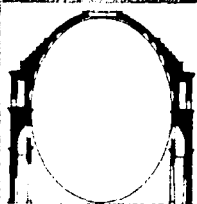
Termas de Diocleciano.



Una bóveda de canon corrio de mampostería y relleno de concreto remata en una cúpula que sigue el mismo sistema constructivo, y libra el mismo claro.

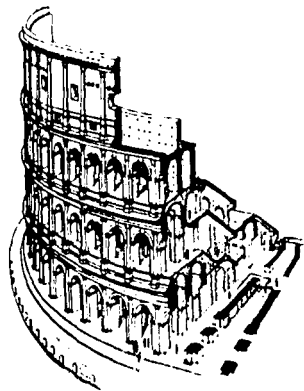
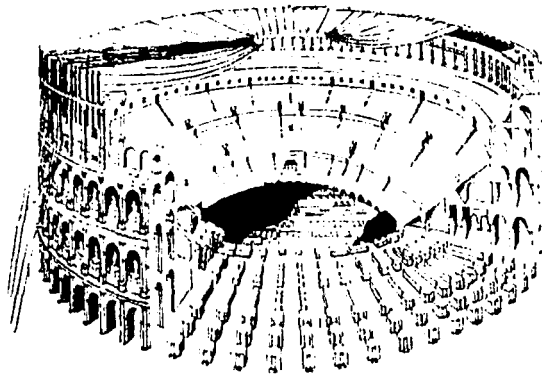
Los romanos desarrollaron una variada tipología de edificios públicos. Los de mayores dimensiones, destinados al recreo público, eran descubiertos, pero también realizaron una variedad de éstos construidos con bóvedas de concreto de diversas formas. Los teatros romanos conforman un buen ejemplo de ello. La innovación de Roma en el proyecto de teatros fue la creación del anfiteatro, un doble teatro dedicado a diversiones populares y acontecimientos deportivos, que presenta una escena elíptica y un graderío continuo, de planta más o menos ovalada.

el Panteón de Roma

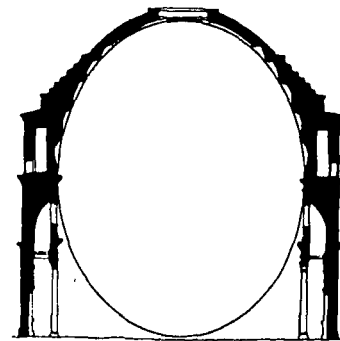
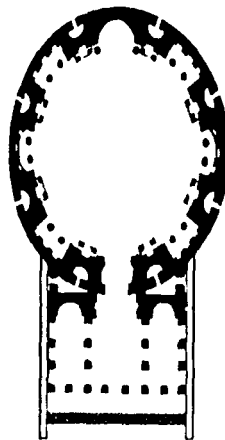
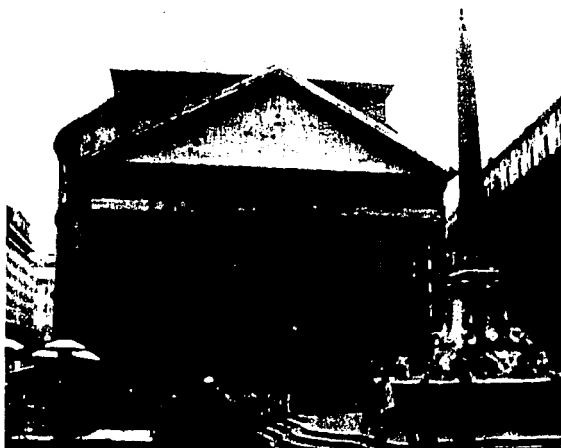


La cubierta del Panteón es una media esfera que se apoya sobre un tambor cilíndrico de 43.4m de diámetro, con la particularidad de que la altura de la cumbre o clave de la cúpula es exactamente igual a su diámetro; o lo que es lo mismo, en el interior del volumen podría inscribirse una esfera perfecta.

El más importante es el gran Anfiteatro de Flavio, en Roma, popularmente conocido como el Coliseo, con una capacidad de 55,000 personas. Construido durante el mandato del emperador Vespasiano en 80 d. de C. por un arquitecto desconocido. Sobre el anillo de cimentación de concreto romano, se levantaron los pilares de toba calcárea y travertino para sostener las bóvedas de concreto que formaban la cáscara de apoyo de las gradas, recorriendo perimetralmente la arena unas al lado y encima de otras en forma de anillos. El suelo de tabloncillos de madera se extendió sobre una laberíntica serie de cavidades y pasajes subterráneos. Los asientos se alzan hasta una altura de 48.5 m del suelo, con una pared exterior curva de cuatro pisos de arcadas superpuestas, éstas tienen dobles columnas de diversos órdenes. En el cuarto piso se sostenían una serie de mástiles de los cuales colgaba un toldo retraible o *velarium*, el cual podía extenderse sobre la zona del público.

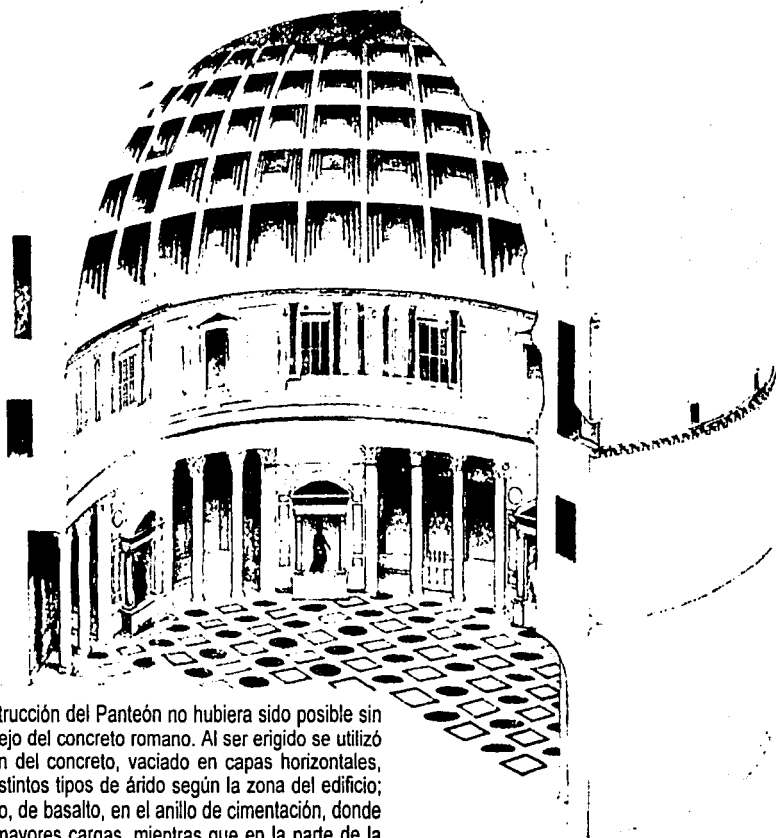


El edificio que mejor simboliza el concepto romano del espacio cerrado es el Panteón de Roma. Este edificio fue reconstruido enteramente desde los cimientos por Adriano entre los años 118 y 128 de nuestra era su pórtico formaba parte inicialmente de un templo construido en el año 25 a. de C. por Agripa, cuyo nombre aún puede verse en el friso. El Panteón era un templo dedicado a todos los dioses (del griego *pan*, todo, y *theos* dios). No se sabe con exactitud quién fue su proyectista, aunque al parecer el propio Adriano desempeñó un papel importante en la concepción del proyecto.

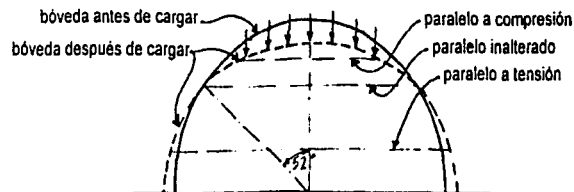


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

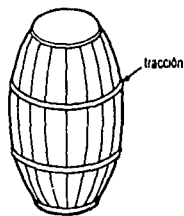
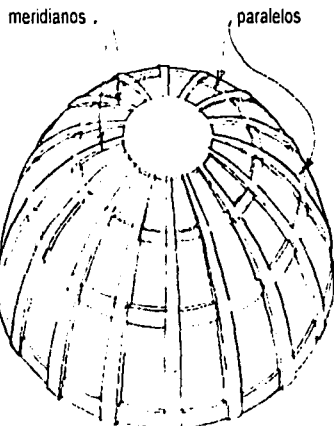
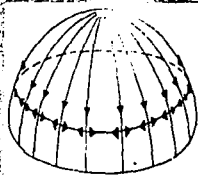
"En el Panteón se explotan al máximo las posibilidades del concreto romano; el edificio define sencilla, pero poderosamente, una nítida geometría capaz de asumir significados universales y cósmicos, a una escala que evoca una admiración reverente". (L. Roth, op.cit, 1999)



La concepción y construcción del Panteón no hubiera sido posible sin la maestría en el manejo del concreto romano. Al ser erigido se utilizó una extrema selección del concreto, vaciado en capas horizontales, pues se emplearon distintos tipos de árido según la zona del edificio; el más denso y pesado, de basalto, en el anillo de cimentación, donde se concentraban las mayores cargas, mientras que en la parte de la cúpula más cercana al óculo se empleó un árido muy ligero de piedra pómez, para reducir el peso propio de la cúpula, para este cometido se insertaban también ánforas de barro. La orilla del óculo, de 9 m de diámetro, fue construida con tabiques recocidos, unidos con un excelente mortero, pues esta parte debía soportar grandes esfuerzos de compresión al ser la pieza clave de todos los *meridianos* de la cúpula. Para comprender esto último debemos saber que, una cúpula debe soportar, además de su propio peso, la carga viva; esta incluye la presión y succión del viento, el peso del agua o la nieve. Todo este conjunto de cargas deben ser transmitidas al suelo, y los romanos, familiarizados con el arco, intuitivamente supieron que la cúpula las transmite por medio de líneas verticales curvadas o meridianos.



La cúpula, geoméricamente, puede generarse a partir de una serie de arcos idénticos unidos de la pieza clave, girando a 360°. Esta intuición parece correcta, ya que las cargas se acumulan desde la cumbre hacia la base a través de los meridianos, que sufren mayor compresión hacia su base. Sin embargo hay ciertas diferencias sorprendentes: la cúpula tiene un espesor comparativamente mucho menor al de un arco en relación al claro que cubren, y a su vez, el arco necesita contrafuertes o tirantes en su base que contrarresten sus empujes hacia fuera. Ya que la cúpula no tiene contrafuertes, ni tirantes, se nos hace más evidente que no funciona como una serie de arcos unidos (Salvadori, op.cit. pp232). Lo que hace a la cúpula comportarse de distinta manera, es que esta supuesta serie de arcos unidos trabajan como un elemento monolítico, y a este hecho debe una cúpula el carecer de tirantes o contrafuertes, pues son los *paralelos* trabajando a tracción dispuestos horizontalmente a lo largo de toda la superficie lo que previene que los meridianos se abran hacia afuera, de la misma forma que los anillos de un barril mantienen su forma (Rosenthal, L.E. La Estructura. Barcelona, Blume, 1972; pp41).



Al examinar un corte en la cúpula, podemos observar dos características particulares de cómo fue diseñado el Panteón; primeramente, el espesor de la cúpula en la clave es de 1.2m y va en incremento conforme se acerca a su base, hasta llegar al arranque que tiene más de 6 metros de espesor. Se sabe que otras cúpulas romanas se habían colapsado anteriormente por excesivos esfuerzos de tracción en los paralelos inferiores, hecho que evidenció la necesidad de engrosar el área de soporte. La otra característica, es que, en todo el interior de la cúpula se observa la disposición de casetones que aligeran el peso de ésta, y que siguen las líneas de los meridianos y los paralelos.

El concreto de la cúpula encasetonada, ejerce empujes descomunales que son contrarrestados por medio de ocho bóvedas de cañón insertas en la imponente masa del muro perimetral y dirigidas hacia ocho grandes pilares. Entre esos pilares hay ocho nichos profundos cuyos interiores quedan semiocultos por unas esbeltas columnas corintias. De esta forma el enorme peso de la cúpula parece descargar sobre un muro aligerado por cavidades, cuyo espesor es tan grande que los esfuerzos a tracción están muy por abajo del límite del concreto. La distancia libre total de un extremo a otro, contando los casquetes de descarga y las bóvedas de cañón, es de 76.2m.

Los romanos también emplearon otro tipo estructural heredado de los griegos que, mucho más tarde, en el Románico medieval y posteriormente en los siglos XIX y XX, resultó básico para cubrir grandes edificios: la armadura de cubierta o cercha. La armadura de cubierta tradicional estaba hecha de largueros de madera dispuestos formando celdas triangulares.



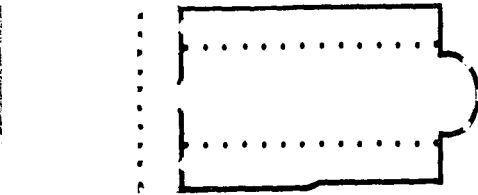
■ ARMADURA DE PENDINGORA

El triángulo presenta una geometría indeformable, a menos que se flexione o distorsione alguno de sus lados. De ahí que, disponiendo un triángulo junto a otro, sea posible construir figuras alargadas bastante resistentes pese a su relativa ligereza. Las cerchas de madera fueron usadas profusamente por los romanos en la construcción de cubiertas de gran variedad de formas, especialmente en la construcción de graneros, basílicas y otros edificios públicos. Al permitirse en el imperio romano la construcción de templos para el culto cristiano a partir del siglo IV, fue éste el sistema estructural predilecto para techar los nuevos templos, pues eran las clases más humildes que se encargaban de construir graneros con este sistema quienes conformarían el grueso de fieles del nuevo culto. Estos templos Paleocristianos tomaron la forma de la planta de la basílica romana, cambiando el sentido de el eje de acceso a una disposición longitudinal, pero conservando el espacio separado por naves y rematado con un sólo ábside y a veces un transepto al final del eje de composición. La nave central era cubierta con cerchas de madera sostenida por columnatas y arcadas de piedra en dos niveles, lateralmente a ésta se disponían más naves de una altura inferior con la cubierta a una sola vertiente, de manera que el espacio se extendía en la planta interior y se contrarrestaban los empujes laterales de la nave central.

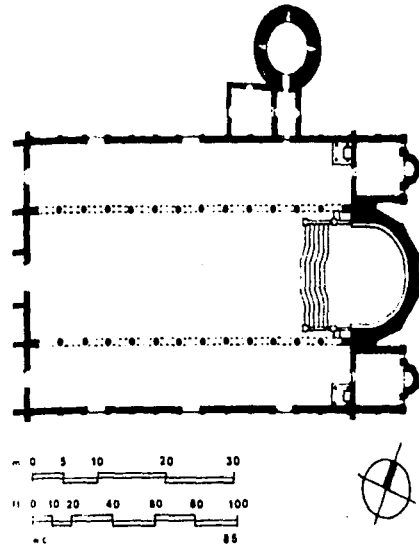


Esquema de una basílica paleocristiana.

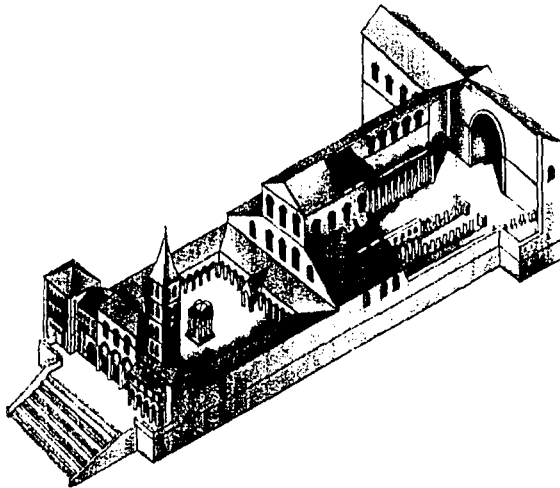
Aceptado el cristianismo como religión de estado en el 337 d. de C., se construyeron en todo el imperio romano iglesias para contener grandes congregaciones. En contraste con los templos clásicos se cuidaba poco su apariencia exterior. El término 'basílica' fue utilizado para los templos cristianos desde el siglo IV siendo las plantas similares a las de las basílicas romanas.



Iglesia de Santa Sabina, Roma 422-432 d. de C.



Antigua Iglesia de San Pedro en Roma, alrededor de 326 d. de C. por Constantino



San Apolinar en Classe, Rávena 542 d. de C.

II.7

China y Japón

Aislada durante mucho tiempo, China tuvo desde sus comienzos (c. 3000 a. de C.) poca o ninguna influencia de la arquitectura del resto del mundo. Sobrevive hoy una reducida cantidad de edificios antiguos, el más antiguo que hoy se encuentra en pie data del siglo VI de nuestra era. Lo poco que conocemos de su arquitectura antigua es por reconstrucciones, imitaciones estilísticas en otros países o en registros escritos.

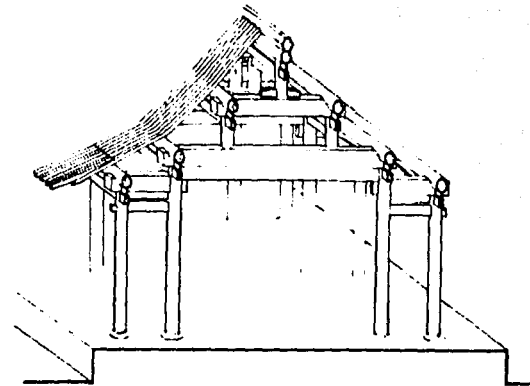
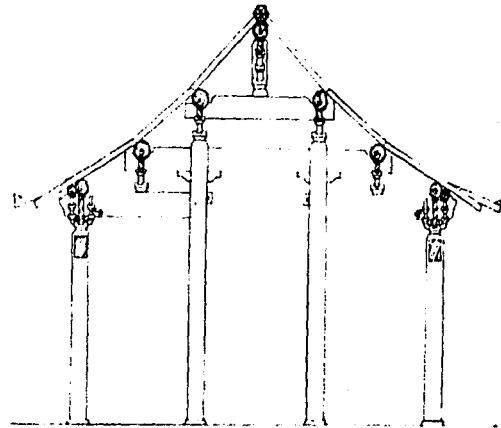
Las razones las podemos atribuir tan sólo a dos causas; la actitud de la sociedad china hacia el tiempo, pues no se preocupaban por conceptos como la eternidad o una gran extensión de éste hacia el futuro. El budismo y el taoísmo, les dictaban preocuparse por el *aquí y ahora*, buscando la armonía con el universo. Derivada de esta causa, la consecuencia y segunda causa fue que los chinos no construyeran sus pagodas y palacios para durar para siempre, escogiendo para su edificación materiales de origen orgánico, como la madera, el bambú, las esterillas y el papel.

El uso del sistema de pilares y vigas en varios niveles (también llamado *arquitrabado*) en China se remonta hasta el neolítico, debido a las condiciones geográficas de la región sur y del sureste de Asia se adoptó también este sistema constructivo elevado sobre estacas, el cual ha subsistido hasta nuestros días.

En los primeros tiempos no se usaban ladrillos, las paredes y cimientos se construían con tierra apisonada, y las primeras viviendas eran prácticamente subterráneas. Puesto que las grandes piezas de madera eran relativamente difíciles de encontrar, los arquitectos debían usar métodos económicos, utilizando pilares bastante separados en una planta rectangular. Entre los pilares había paredes ligeras de yeso, esteras o celosías, permitiendo cambiar libremente las puertas y demás vanos. Desde el comienzo de nuestra era en adelante, el interés de los arquitectos chinos se centró en gran parte en la elaboración de la cubierta y sus apoyos sobre los capiteles de los pilares.

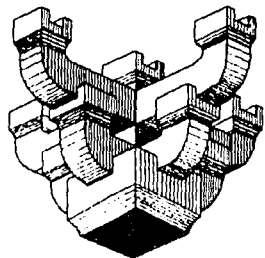
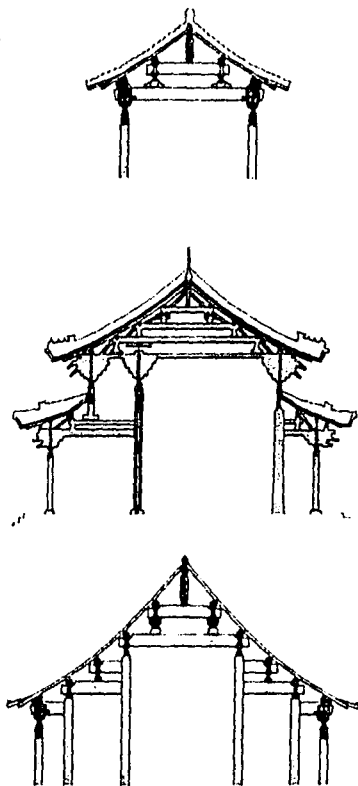
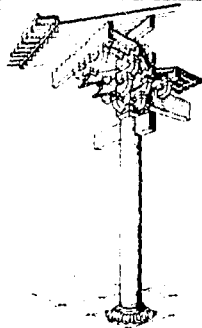
El ladrillo se utilizaba en las viviendas más pobres y en los edificios relacionados con las murallas de la ciudad. Edificios de mayores dimensiones, como el palacio, la sala de justicia o el templo, se construían completamente de madera, a excepción de las tejas (de cerámica o de piedra labrada) y las divisiones interiores de yeso. Se llegaron a construir algunos edificios de piedra, como el palacio de Kublai Khan, sin embargo imitan el sistema de pilares y viguería de madera.

Cerca del año 1100 de nuestra era, se adoptó un sistema general de modulación, que se usó tanto en la decoración como en el dimensionamiento y proporción de la estructura. (Norwich, Gran arquitectura del mundo. Madrid. Blume, 1981; pp12-23)



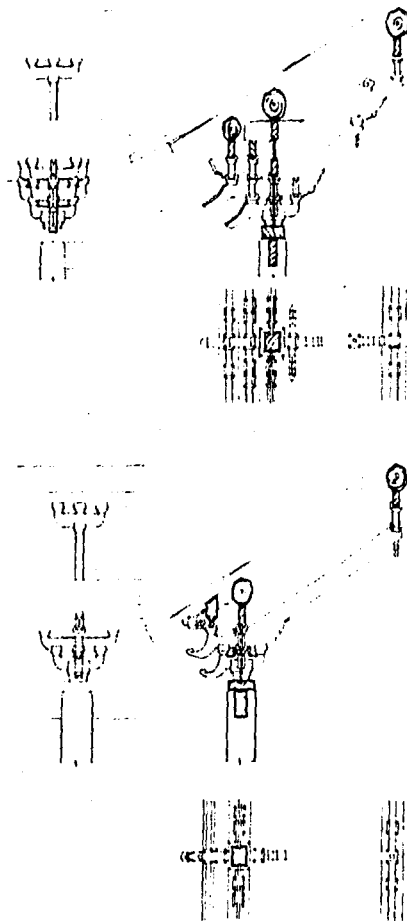
Sistema de armadura de tirante. Las columnas, de pino o cedro, a veces de grandes dimensiones y finamente labradas, se hacían descansar sobre basamentos de piedra o bronce, para protegerlas de la humedad. Las columnas se sujetaban en ambas direcciones por vigas de distintas longitudes, separadas por juntas verticales cortas. Sobre éstas se colocaban las correas del techo, un sistema que permitía prescindir de la línea recta. El sistema chino de viguetas, a diferencia de la rígida armadura occidental, permite ampliaciones en todas direcciones, ya que no se basa en el triángulo sobre columnas.

sistema de
modillones y
ménsulas
Tou-kung



La falta de armaduras triangulares hace necesario asegurar el empuje vertical sobre los apoyos multiplicando los puntos de apoyo bajo los pares. El diseño arcaico (1) con aleros estrechos y luces pequeñas podía ampliarse (2), pero el mayor número de pilares malograba el espacio interior reduciendo la separación transversal de los pilares exteriores. Se encontró la solución aumentando la superficie de apoyo de cada pilar (3). Para conseguir esto se creó el sistema de ménsulas y modillones, llamado tou-kung. Este sistema crecía sobre los apoyos en forma de pirámide invertida, extendiéndose tanto longitudinal como transversalmente.

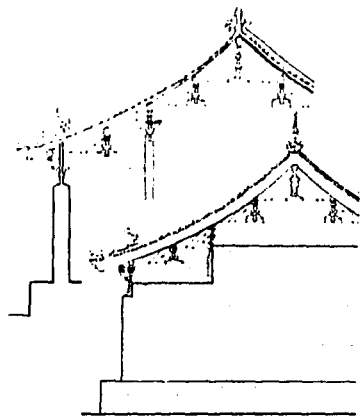
Grupo de modillones, a modo de zapata, en vez de capitel. El recurso básico para soportar los largos aleros era una especie de conjunto de modillones, semejante a un rompecabezas. La pieza podía llevar aditamentos para hacer llegar las correas tan lejos de las columnas exteriores como fuera necesario.



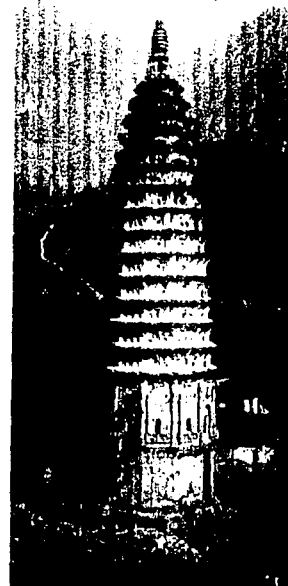
TEJAS CON
FALDA DE ORIGEN

Ménsula inclinada y su variante. Estos soportes que sostienen los largos aleros sufrieron muchos cambios. La ménsula alta e inclinada de la dinastía Sung se convirtió en una estructura independiente, asimétrica y de gran elegancia que sostenía las correas de los aleros, así como otra correa en lo alto del techo.

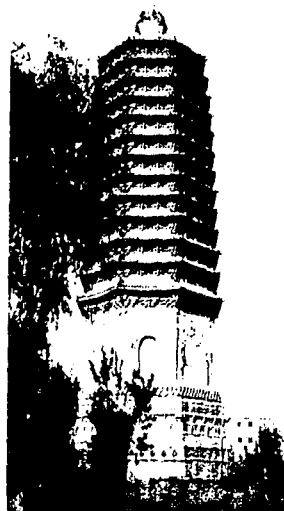
Templo inferior Juan-yen, Tantung. Siglo XII. Muro de cerramiento. En las casas chinas, las paredes externas tampoco servían para soportar pesos; eran paredes de cortina, dejaban ver las ménsulas las vigas maestras y parte del techo. De esta manera no había necesidad de construir cornisas



La pagoda tuvo su origen en torres de muchos pisos que servían de depósitos de agua. Procede de la *stupa* budista de la India y Ceilán.



Pagoda del templo Songyue (520). Localizada en la provincia de Henan, está construida en planta dodecágona con ladrillos y vigería de madera, hoy en día inexistente. Tiene 15 pisos y alcanza 41 m de altura.

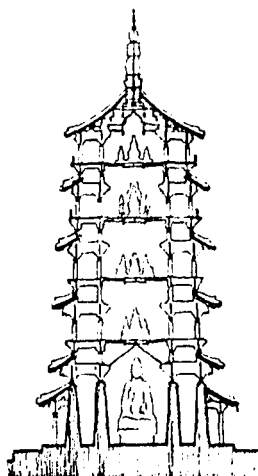
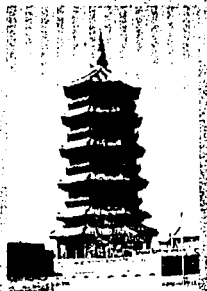


Pagoda del monasterio Kaiyuan (1055). Consta de 15 pisos y mide más de 84 m de altura. Está hecha de ladrillo y tiene en su interior una escalera que conduce a todos los pisos.

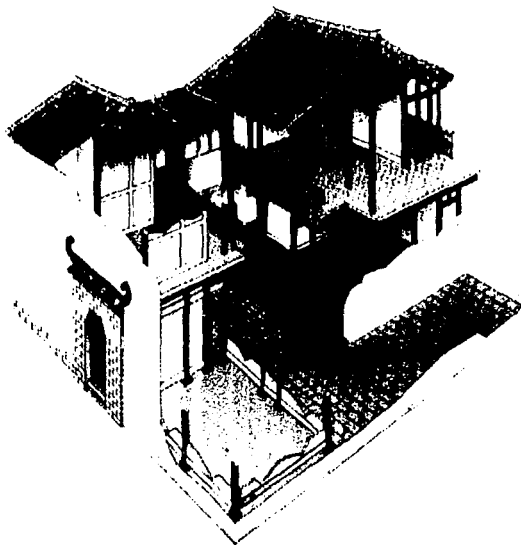
Una de las atalayas de la Ciudad Imperial, su planta en forma de cruz y su techo de doble alero son característicos de este tipo de edificios.



El monasterio colgante (s. V). Ubicado en la cordillera de Henshan, sus 30 pabellones descansan sobre vigas y estacas que se proyectan desde la escarpa. (La arquitectura antigua de China. Facultad de Arquitectura de la Universidad de Qinghua, Beijing. Corporación China de Comercio Internacional del Libro.; pp72)



Pagoda del templo Fo Kuang (1056), Ying Sién, Shansi. Diseño y construcción en madera del más puro estilo chino. Tienen dos cilindros concéntricos en forma octagonal y mide casi 67 m de altura. El vuelo de los aleros sostenidos por cuatro hileras de modillones, ilustra la flexibilidad de la armadura de viga tirante.



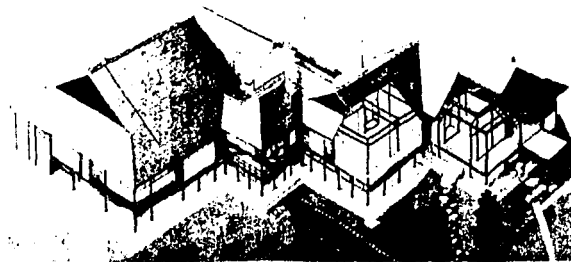
Axonométrico de una casa china. Se muestra el sistema constructivo de postes y vigería de madera, muros divisorios ligeros y muros perimetrales de yeso.

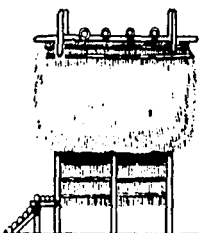
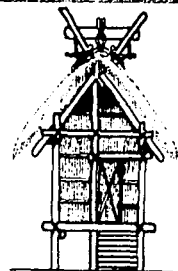
La arquitectura de madera china se difundió en su forma religiosa con el despertar de las misiones budistas, que se expandió desde India desde el siglo tercero. Primero llegó a Corea y de allí a Japón. En Japón pueden verse ejemplos primitivos del estilo arquitrabado con tejado de piedra aún existentes, pues los monjes japoneses conservaron con más cuidado su herencia arquitectónica a través de épocas conflictivas. Además de estos templos primitivos, los japoneses han conservado algunas residencias nobles que datan del medioevo.

La diferencia fundamental entre las arquitecturas de Oriente y Occidente, es el uso de pilares, postes, capiteles y vigas como estructura; mientras que los muros, separados siempre de los aleros, actuaban sólo como pantalla, sin ninguna función estructural. En este tipo de arquitectura no hay ningún obstáculo práctico que impida la libre manipulación del espacio.

La principal diferencia entre los estilos chino y japonés estriba en que la composición china se basa en el hombre y la japonesa lo hace en relación de éste con la naturaleza. Encontramos características comunes a ambos estilos; enormes techos de arquitrabado en una, dos o tres hileras, la complejidad de las armaduras de escuadras, los aleros curvados, las pantallas de papel de arroz y los paneles calados. Sin embargo la arquitectura japonesa no utiliza ningún elemento pintado: los edificios conservan los colores naturales de los materiales empleados.

En la imagen siguiente aparece el Palacio de Katsura, Kyoto, del s. XVIII. Esta construcción marca el apogeo de la arquitectura japonesa. Su diseño está basado en el módulo *kiwari* que determina las proporciones entre las vigas, los aleros, los dinteles y otras partes visibles del marco estructural. El poste y la ménsula quedaron reducidos a una geometría rectangular ligera (Gardiner, S. Historia de la arquitectura. México. Trillas, 1994; pp86).



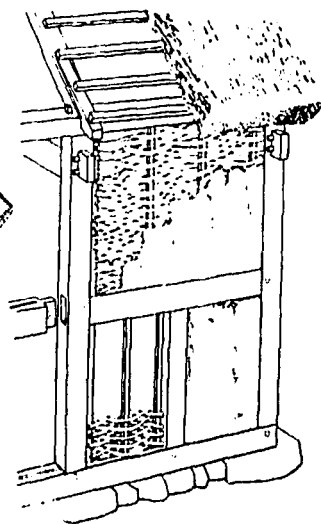


Primitivas construcciones japonesas. Las primeras chozas se construían únicamente con paja o con bambú, con techos de paja o paja, y paredes de ramas secadas. Estas chozas se amarraban con cuerdas de partes móviles. En estas chozas se establecieron algunas perfecciones de la arquitectura japonesa, como: el entramado de vigas, los muros de paja y la plataforma elevada. Este tipo de paja para construir el japonés húmedo, a veces, cubren inclinados, y para las mismas construcciones que las que se ven por las fibras y regiones cercanas del suroeste de Asia.

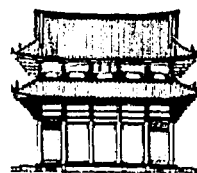


Templo de Nishima en Nagano.

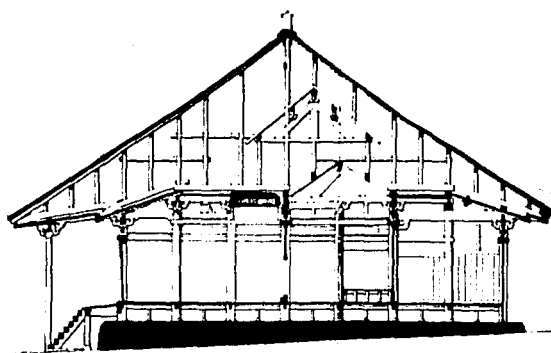
TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Sistema constructivo de muros con esterilla y barro.



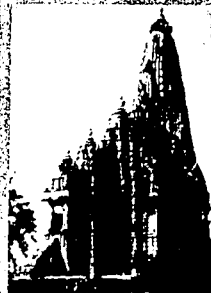
En Japón se desarrolló una gran maestría en el arte de construir con los materiales del país: madera, arcilla y fibras naturales.



Pabellón principal de Saimyoji, s. XIV. El conjunto de capiteles con ménsulas y vigas compuestas, es similar al chino. Aún cuando la forma básica es el vano rectangular, éste se puede agrandar; no se impone una estricta simetría. Como el entramado descarga el peso sobre los postes, y el piso se eleva sobre una plataforma, el edificio japonés no es afectado por las inclinaciones del terreno.

ESTA TESIS NO SE VA A LA BIBLIOTECA

La India y el sudeste asiático



Templo de Kandarya en
Mahadeo (c. 1050)

La India y el sudeste asiático

La historia de la arquitectura de la India no es continua, allí como en otros países toda expresión material de cultura, y especialmente de arquitectura, estuvo relacionada con el poder político. La historia política del país se divide en tres ciclos diferentes, donde se crearon tres diferentes motivaciones y estilos de construcción en tres épocas sucesivas.

En el primero de estos ciclos, cuyo comienzo antes de nuestra era no se ha fechado con precisión, pero que duró hasta finales del siglo XII de nuestra era, el país fue regido y dominado por un pueblo que se conoce ahora como hindú (se autodenominaban *arios*). Fue este pueblo quien dio vida a la antigua civilización india en la que había dos elementos religiosos: el Brahmanismo, conocido popularmente como Hinduismo, y el Budismo. Durante el siguiente ciclo que duró desde principios del siglo XIII hasta mediados del XVIII, la India septentrional fue dominada por los musulmanes que llegaron desde Asia central, Persia y Afganistán.

El tercer ciclo corresponde al período de gobierno británico desde 1858 a 1947.

Naturalmente, estos tres ciclos políticos, con sus diversidades étnicas y religiosas, crearon también tres culturas diferentes. La dos primeras se denominan indo-aria e indo-islámica, respectivamente. La cultura indo-islámica fue sólo una forma regional de la cultura de todo el mundo islámico. Durante la dominación británica se levantaron pocos edificios de un valor arquitectónico singular.

El soporte político de la arquitectura hindú se refleja en su expansión hacia el exterior. El hinduismo, el budismo y la cultura relacionada con ambas religiones, al igual que su comercio, se extendieron desde el sur hacia Birmania, Indonesia e Indochina; allí la cultura hindú encontró una encarnación arquitectónica tan impresionante como en la India. (Norwich, J. Op.cit. pp26)

Las culturas hindú y budista desarrollaron formas arquitectónicas extraordinarias. Templos y torres enormes, pesadamente cargados de relieves tallados y esculpidos. La arquitectura ceremonial hindú eclipsó cualquier otra manifestación: las construcciones seculares fueron relativamente insignificantes, y de ellas pocos ejemplos sobreviven.

Cuando observamos de cerca la arquitectura de los templos hindúes descubrimos que en la mayoría de los casos los detalles ornamentales enfatizan la diagonal, sugieren escalones, y la forma de las estructuras es generalmente piramidal.

La arquitectura hindú primitiva recibió fuertes influencias; la principal de ellas fue la persa, por medio de Alejandro Magno, que introdujo la utilización de la piedra; y a su vez la grecorromana y musulmana, a través de las relaciones comerciales y las invasiones. Pero la aportación de los imperios budistas del norte y el noroeste (c. 300 a 200 a. de C.) fue aún más importante.

La decoración en la arquitectura de la India era sumamente elaborada, tan densa que la forma de la estructura desaparecía bajo ella.

Luego de establecerse en el norte, la cultura budista se expandió a lo largo del río Ganges, y posteriormente llegó por el Indo hasta el centro de la India.

Los primeros templos y stupas se construyeron de madera; posteriormente, los detalles de carpintería fueron trasladados a la piedra. En el norte de la India la piedra de construcción —mármol blanco (Rajasthan) y arenisca roja (Agra)— se usó como recubrimiento para evitar derrumbes.

Los hindúes no aprendieron a delimitar grandes espacios interiores hasta muy tarde en el período indo-islámico, e incluso entonces los únicos espacios amplios eran las salas de audiencia y los pasajes. No sólo excavaron cuevas para convertirlas en salas, sino que llegaron a realizar templos enteros dentro de rocas macizas. (Gardiner, S. HDLA)

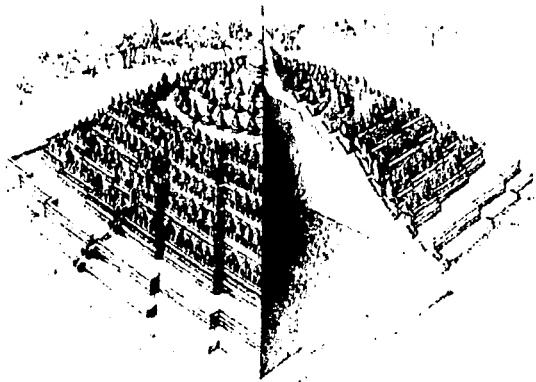
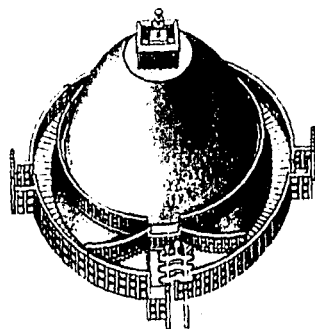
Queda poco de la arquitectura hindú creada por las grandes dinastías imperiales del norte de la India, los templos de la cuenca de Ganges fueron destruidos por los musulmanes. Estos hechos vandálicos duraron cinco siglos, por lo que sobrevivieron sólo las regiones en las que los musulmanes no penetraron.



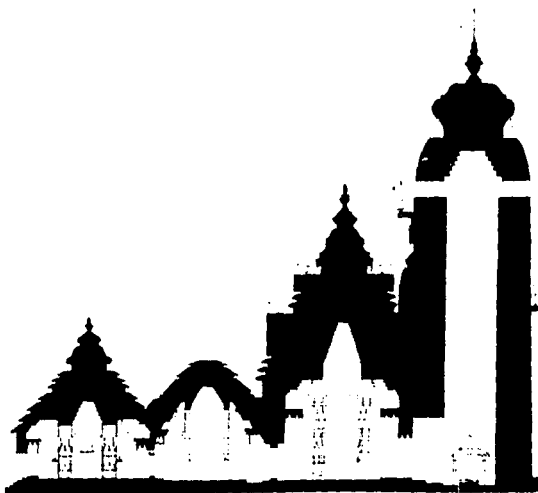
(1) Monasterio de
Bhaja (siglo II a.
de C.), edificio
excavado en la
roca.

Originalmente
tenía además una
estructura de
madera, la
bóveda principal
es de cañón
corrido sobre
bóvedas laterales
de medio cañón.

Los primitivos ejemplos de arquitectura hindú que todavía existen, principalmente budistas, tienen tres formas: la primera, grutas excavadas en la roca (1), destinadas a la enseñanza; la segunda, grutas viviendas, o *viharas*; y la tercera *stupas*. La stupa fue originalmente un túmulo funerario; después se alzó sobre reliquias y sitios consagrados a Buda. La stupa de Sanchi en la India central, es la mayor de un grupo de stupas construidas entre el siglo II a. de C. y el siglo III d. de C. Presenta los primeros modos de transferir la talla de madera a la piedra.

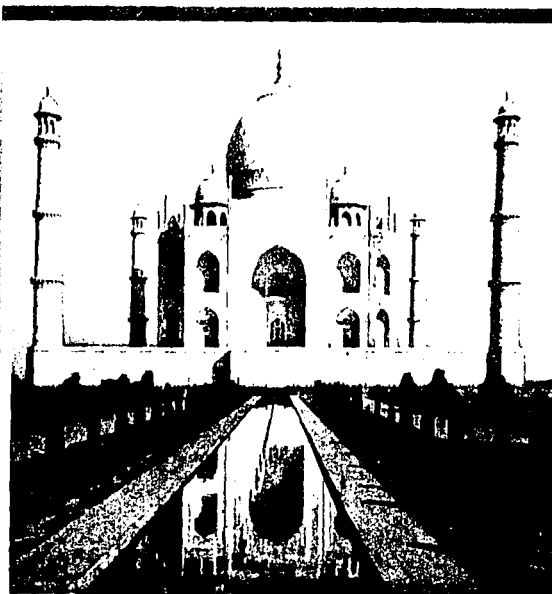


La stupa de Borobudur en Java, Indonesia (siglo IX). Sobre una base cuadrada de 150 m de largo se inscribe la planta circular de la stupa, el gran montículo de tierra está delineado con terrazas de bloques de piedra.



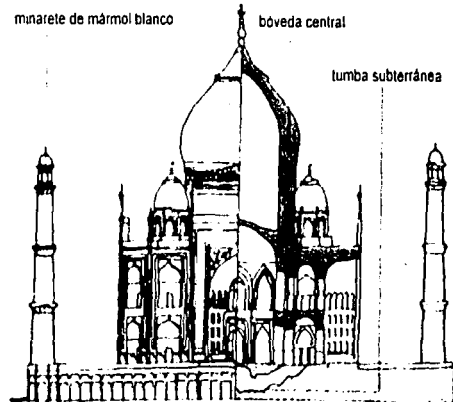
TESIS CON
FALSA DE ORIGEN

La arquitectura hindú de templos evolucionó lentamente, de la construcción de madera, a la gruta y de ahí al edificio aislado hecho de piedra, diseminado en toda la India y territorios colonizados. Aquí se muestra el templo de Lingaraja en Bhuvanesvara (c. 1000). El plano de este templo es un conjunto axial de sala, antecámara y celda, en una sola unidad arquitectónica. Los gruesos muros que encierran las diferentes cámaras contrastan con el reducido espacio interior, al igual que las gruesas capas de piedra en las cubiertas soportadas por bóvedas falsas. El volumen principal mide 55 m y es una obra maestra de la albañilería hindú en piedra.

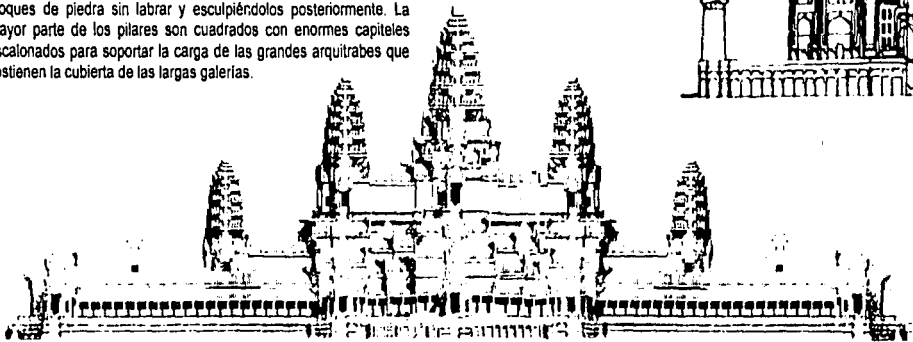


La arquitectura del mundo islámico llegó a la India con la conquista musulmana. Derivaba de la arquitectura romano-bizantina, sin embargo llegó a tener una expresión artística totalmente desarrollada en sí misma. En la India la arquitectura islámica conservó sus características tradicionales –la disposición del espacio interior y exterior; el uso de arcos apuntados, de las cúpulas bulbiformes, de minaretes y de arcos multilobulados–, al tiempo que adoptó también algunos elementos de la arquitectura hindú preexistente, como la construcción con ménsulas y voladizos. Se construyó una considerable cantidad de mezquitas y de edificios con características indo-islámicas.

El Taj Mahal en Agra (1632-53). Es probablemente el ejemplo más conocido de la arquitectura indo-islámica. Construido por el emperador Shah Jahan para enterrar los restos de su esposa favorita, Mumtaz Mahal. En una plataforma cuadrada se desplanta el mausoleo en el centro, rodeado de cuatro minaretes, todo él construido con mármol blanco. La cúpula central bulbiforme se eleva a 62 m de altura sobre una planta octagonal y está construida con un sistema de doble cúpula originalmente persa. En el axonométrico se aprecia el grosor de los muros y apoyos de mampostería de piedra, muy contrastante con el espacio libre interior.



Abajo: Angkor Wat, Camboya (siglo XII). EL gran conjunto religioso de Camboya es la culminación de la cultura Khmer y probablemente el mayor complejo religioso del mundo; las murallas que le contienen forman un rectángulo de 1.2 por 1.5 km. Fue construido en piedra arenisca y profusamente esculpido, reflejando la forma típica de construcción hindú: terrazas superpuestas cada vez más pequeñas que culminan en torres. Se construyó colocando los bloques de piedra sin labrar y esculpiéndolos posteriormente. La mayor parte de los pilares son cuadrados con enormes capiteles escalonados para soportar la carga de las grandes arquivoltas que sostienen la cubierta de las largas galerías.



El Islam



Minarete, llamado Mahwya (espiral), que domina la Gran Mezquita de Damasco en Irak. Rodeado por una terraza exterior en espiral, construida de ladrillo cocido, alcanza una altura de 55m.

El Islam

Uno de los factores más sorprendentes de la arquitectura y la cultura islámica es la distancia que recorrió en menos de un siglo. Al morir el profeta Mahoma (570 - 632) el nuevo movimiento religioso predicado por él se expandió desde la Península Arábiga hasta Turquía, al norte, a la India por el este, y a la costa atlántica del norte de África y España por el oeste. La arquitectura islámica es producto de este movimiento religioso: la vastedad del territorio que cubrió el estilo arquitectónico, así como la coherencia que mantiene de un continente a otro, son prueba de la fuerza de la fe islámica. El arte islámico que encontramos en épocas y países distintos mantiene una singular homogeneidad; se orienta, como las mezquitas lo hacen físicamente mediante la alineación de sus ejes con la Meca, hacia el corazón del mundo islámico. (Gardiner, S. Op.cit. pp)

La fecha que marca el comienzo del cómputo islámico (la *hégira*) es el 622, año que tuvo lugar la expatriación del profeta de la Meca. La influencia de este profeta ha dejado una marca en el planeta. Actualmente, unos 700 millones de musulmanes, diseminados por toda la faz de la Tierra, viven adaptados a los preceptos del Corán ("recitación"), piedra medular de la fe islámica.

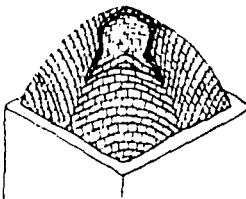
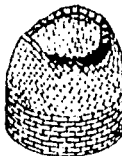
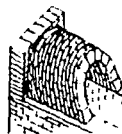
El Islam se basa en Dios, y en la mezquita. El diseño de ésta influenció los edificios que la rodeaban, fueran o no religiosos. En los ochenta años que siguieron a la muerte de Mahoma, se dio expresión arquitectónica a las sencillas exigencias de la Fe en numerosas mezquitas de congregación; éstas incorporaron los motivos que caracterizan el ritual de la arquitectura islámica. Entre ellos se incluyen un pórtico con arcadas, el *mihrab* o nicho decorado en la *qibla* (la pared orientada a la Meca), el *minbar* o púlpito, el *maqsura* o recinto vallado para el califa, el estanque para las abluciones ceremoniales, y por último el minarete, para llamar a los fieles a la oración cinco veces al día.

Aunque las características del ritual de la mezquita eran constantes, su forma fue cambiando dramáticamente a medida que pasaba el tiempo, llegando a un modelo y a un punto en que los distintos templos que se construyeron conformaron variaciones sobre un mismo tema.

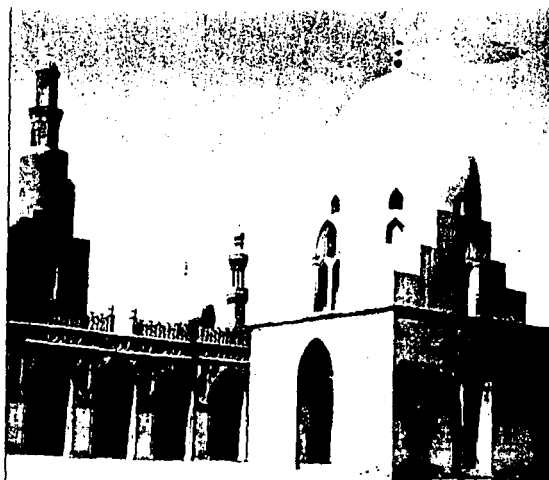
Dos características esenciales definen el estilo islámico: primero los intrincados diseños decorativos de brillantes colores, generalmente basados en flores, raíces, y escritos antiguos de la fe musulmana, que como motivos tomados de un tapete son transferidos a las fachadas y cúpulas; asimismo, el tratamiento de la fachada como superficie plana es la segunda característica del estilo.

La estructura de los edificios islámicos es simple y tradicional. No hay innovaciones estructurales, tan sólo cambios de estilo y modificaciones a los tipos estructurales anteriormente usados.

Encontramos influencia de Roma y Bizancio en las cúpulas, las bóvedas de cañón y de arista, utilizadas en pequeños claros (1); pero para los grandes claros o los techos inclinados, los arquitectos musulmanes preferían la madera.



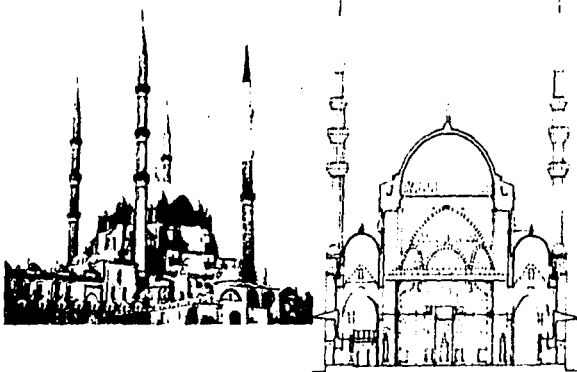
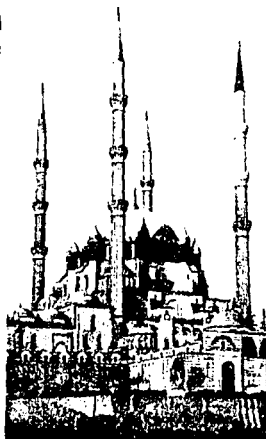
(1) Bóvedas y cúpulas islámicas primitivas; para su construcción se utilizó ladrillo y no hubo necesidad de cimbra alguna, sin embargo la geometría de este sistema era un poco imprecisa.



Mezquita de Ibn Tulun en el Cairo, construida entre 876 y 879.

Tanto en el plano del arte y la cultura como en el de la ciencia, la herencia del mundo árabe-islámico es de una riqueza y de una calidad que causan admiración. Sabios matemáticos, químicos, astrónomos, médicos, poetas, filósofos, pensadores y místicos han hecho aportaciones fundamentales a la civilización.

La estructura de las cúpulas respetó el principio bizantino de construcción sobre pechinas, tambor circular o poligonal, desarrollándolo en ocasiones a una escala como la Santa Sofía, que fue fuente de inspiración de mezquitas como la de Selim en Edirne...

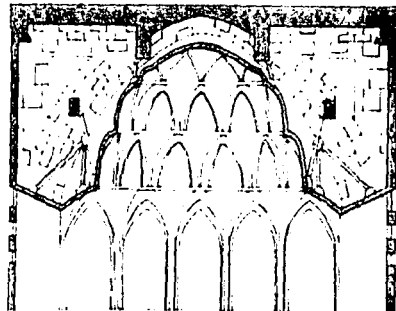


O la de Suleiman en Estambul, ambas obras de arquitecto Sinán.

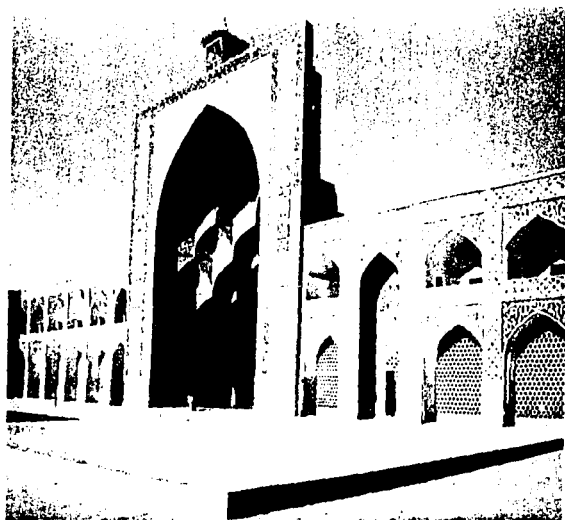
En un principio se utilizaba como material de construcción tan sólo el ladrillo, sin embargo se abandonó por los sillares de piedra, que a menudo alternaban en bandas de una beta clara y una oscura.

La mayoría de los elementos arquitectónicos más importantes que asociamos con los edificios del Islam se introdujeron a una fecha muy temprana.

El arco apuntado o tudor, el estuco, el uso decorativo de la caligrafía y los motivos florales convencionales dentro de marcos geométricos se establecieron a finales del siglo IX. Más tarde se incorporaron la decoración a base de estalactitas y las dovelas de arcos unidas por muescas.

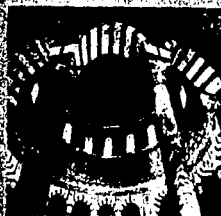


Sección que muestra el método de construcción de una bóveda de estalactita. La estructura principal está hecha de mampostería y sigue un trazado tudor convencional. Un recubrimiento de yeso y mosaicos cuelga de una segunda estructura de madera.



El iwan (bóveda de entrada) de la Gran Mezquita Viernes de Isfahán, muestra un acabado de estalactita.

La cúpula de la roca



Detalle de la cúpula de la roca sagrada, mostrando la estructura de la cúpula y la decoración de mosaicos.



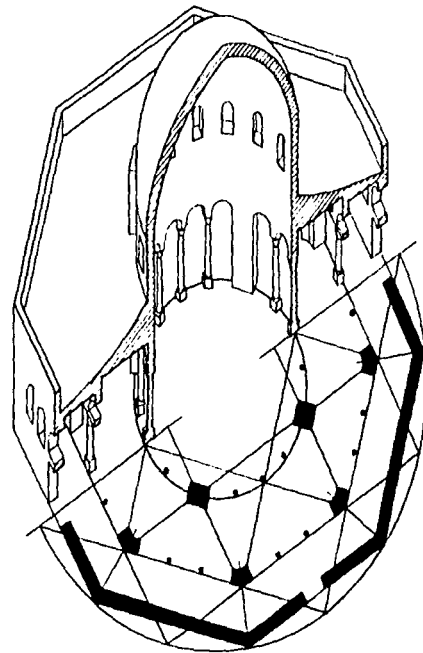
Situada en Jerusalén, tercer lugar santo islámico, sobre la roca sagrada sobre la cual Abraham sacrificó al cordero que sustituyó a su hijo Isaac y sobre la cual el profeta Mahoma inició su ascensión al cielo, se erigió esta mezquita con el propósito de glorificar estos dos hechos trascendentes.

El proyecto es complejo. No podía ser simplemente un espacio destinado a la plegaria, a la postergación, según el modo árabe, sino un edificio que conmemorativo que coronara un elevado lugar religioso. Para este fin el modelo de la mezquita debía ser una construcción que se prestara al rito de la circunvalación —como se practica en la Kaaba alrededor de la Piedra Negra— y así la mandó construir el califa Abd el-Malik sobre la roca sagrada de Jerusalén.

Los arquitectos que contrató para esta obra eran ciudadanos sirio-bizantinos de origen cristiano, cuyos conocimientos podían perpetuar las tradiciones del mundo antiguo. Optaron así por adoptar una fórmula frecuentemente utilizada para tales monumentos en el arte cristiano de los primeros siglos, la de la capilla, construida en un plano centralizado al que rodea un deambulatorio circular rematado por una cúpula. El califa no temió recurrir a un lenguaje artístico puramente bizantino, ejecutado por los arquitectos sirios y por los mosaicistas de Constantinopla, para erigir el primer gran santuario islámico.

El edificio, cuya construcción duró desde 687 a 692, tiene una planta octogonal en la que se inscriben dos deambulatorios concéntricos. El círculo central, donde se sitúa la roca sagrada, está cubierto por la soberbia cúpula a la que el edificio debe su nombre. Paradójicamente no se construyó en piedra, sino que lleva un doble cascarón de madera revestido con cobre dorado. Esta técnica de cúpula de madera es de origen típicamente sirio. Una arcada que utiliza por igual el mármol, el granito y el pórfido, en la que alternan tres columnas por cada pilar y forma seis arcos, soporta el domo. Una segunda arcada octogonal la rodea.

La perfección y la armonía de proporciones de la Cúpula de la Roca se derivan de un trazado fundado en una serie de propiedades geométricas y aritméticas que nos refieren al receptáculo del esoterismo matemático antiguo; según el cual los números simbolizan el universo, por lo tanto, la arquitectura traduce las leyes del macrocosmos. Esta concepción antigua es encarnada por primera vez en este magnífico edificio, y se nos sugiere tanto en el trazo general de diseño como en el detalle minucioso de los mosaicos.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

la Tienda Negra

La Tienda Negra es la morada de la que habla la Biblia; la tienda de los Judíos, de los árabes y de un centenar de tribus más, dispersas en África y Asia. En desiertos y montañas, fue su hogar, su templo y su santuario.

"Tejerás también piezas de tela de pelo de cabra, para que a modo de tienda cubran la morada..." Exodo 26:7

La Tienda Negra

En este capítulo trataremos también otro sistema estructural que se originó en el Medio Oriente, y que fue, en el pasado, y hoy en día sigue siendo un sistema constructivo profusamente usado por las sobrevivientes tribus nómadas y seminómadas de una amplia región asiático-africana. Merece un especial preámbulo, pues la abrumadora mayoría de académicos y literatos de la arquitectura no lo consideran siquiera arquitectura; lo mencionan, en ocasiones, como ejemplo de sistemas de construcción adaptable, o en un afortunado caso, como arquitectura vernácula.

Existe muy poca bibliografía que hable sobre el origen y la historia de este sistema estructural, por lo que la investigación para conformar este subtema se basó íntegramente en la obra del maestro Torvald Faegre "Tiendas, la arquitectura de los nómadas".

Mediante el análisis de este tipo estructural, se hizo evidente que no debemos menospreciar el sistema de tiendas por su sencillez, pues es precisamente esta cualidad —la esencia de su portabilidad, su ligereza y su flexibilidad a adaptarse a una gran variedad de problemas— la que lo hace sumamente exitoso. Esto último se nos revelará en la última parte del documento, cuando observemos el resurgimiento que ha tenido el uso del sistema de tiendas desde la segunda mitad del siglo pasado por arquitectos modernos y contemporáneos.

El manejo de las técnicas para fabricar las tiendas y la domesticación del camello, permitieron que los habitantes del medio oriente emigraran en busca de tierras de pastura, hasta llegar a la costa del Atlántico por el oeste y hasta el Tibet por el este.

Conforme fue extendiéndose su dominio, se fue adaptando a los diferentes medios que abarcaba. En las montañas, donde llovía, la cubierta se inclinó para desaguar rápidamente y evitar un colapso, mientras que en el desierto ésta fue más plana y más cercana a nivel de piso, para proteger a sus habitantes del sol y las tormentas de arena. En climas calientes se dejaron sus lados completamente abiertos, para que el aire circulara libremente, mientras que en climas fríos se cerró completamente el perímetro.

Los habitantes de la Tienda Negra son tejedores de lana de cabra, material que prefieren para fabricar sus moradas por su resistencia y composición, y que le da su nombre precisamente por el color de las cabras, aunque muchas veces la lana es teñida de otros colores. No sólo tejen el techo, las paredes y pisos de sus hogares, sino también la mayoría de sus muebles y accesorios de uso cotidiano. Aunque las fibras negras absorben más el calor que las de color claro, el tejido suelto de la lana permite que éste se disperse rápidamente, de modo que el interior de la tienda puede estar a diez grados menos que el exterior.

La Tienda Negra usa pocos soportes de madera en su interior, esto es posible por que es una estructura que funciona básicamente a tensión de tracción (la palabra "tienda" deriva del latín *tendere*, estirarse). En las estructuras a tracción, toda la tensión de la cubierta se colecta en unos cuantos miembros sometidos a compresión —los postes o mástiles. En la Tienda Negra el peso de la tienda y la gran tensión creada al estirar la tela se concentra en unos cuantos postes verticales; la cubierta y los apoyos son interdependientes, es decir, ninguno de ellos puede sostenerse en pie sin el otro. Este último hecho contrasta con otros tipos de tiendas que utilizan arzones que se sostienen por ellos mismos, como la *yurt* (tienda de mongoles) o el *tipi* (tienda de los indígenas norteamericanos).

Según la clasificación de C.G. Feilberg, existen dos tipos de Tienda Negra: la oriental o persa, y la occidental o árabe. Estos dos tipos se diferencian tanto en su ubicación geográfica, como en su construcción. La tienda persa es usada por los grupos nómádicos irano-afganos y por los tibetanos, mientras que la árabe es usada por las tribus beduinas de Arabia, Irak, Siria y todas las tribus que se encuentran al oeste de estos territorios.

El tipo persa, utiliza el método de construcción más simple: una serie de lienzos de tela cosidos por los lados con presillas en las orillas para sujetar las cuerdas estabilizadoras. Cuando se monta la tienda, la principal tensión de las cuerdas debe ser en el sentido largo (en la misma dirección que las costuras), pues si la tensión fuera transversal a las costuras, las rasgaría. Los postes generalmente se colocan debajo de una zapata curvada y de las costuras, que pueden soportar la tensión en ese punto.

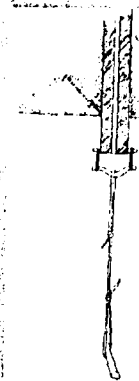


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El tipo árabe usa básicamente el mismo principio de lienzos de tela, pero además se le adhieren bandas de tracción transversales, para que la principal tensión sea a través de las costuras —exactamente lo opuesto al tipo persa. La tensión creada por el estiramiento de las cuerdas es tomada por las bandas de tracción, éstas junto con los postes que se colocan bajo ellas y las cuerdas de estabilización, crean un sistema de soporte independiente debajo de la tela de la tienda.

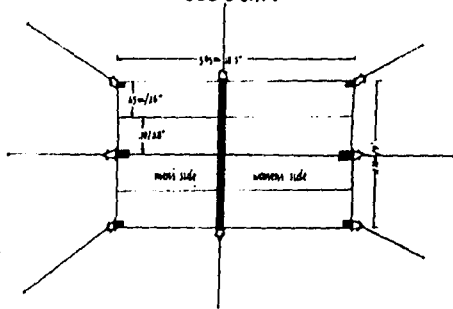
La banda de tracción debe haber sido desarrollada tardíamente en la historia de la Tienda Negra, la más antigua descripción de ésta —la descrita en el Exodo— es el tipo persa.

A Three Pole Shammar Tent



banda de tracción de la tienda árabe

BEDOUIN



Tienda beduina. El diseño de esta tienda de tipo árabe es el más difundido y el más refinado para usar en el desierto. La superficie es sumamente aplanada y se le dio una forma aerodinámica, de manera que el viento no puede llevársela, y hay un mínimo uso de la madera —se colocan tres esbeltos postes bajo cada banda de tracción. Las bandas de tracción son las mínimas requeridas, y las cuerdas estabilizadoras son largas, éstas son ancladas en la arena enrollándolas alrededor de un arbusto y enterrándolo. Al final de cada banda de tracción se coloca un sujetador de cuerda estabilizadora, esta pieza bien puede fabricarse de madera o de la misma cuerda. Para delimitar espacios dentro de la tienda o para cerrarla a modo de paredes, se cuelgan cortinas.



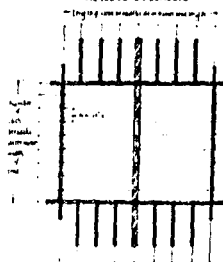
OULED ALI



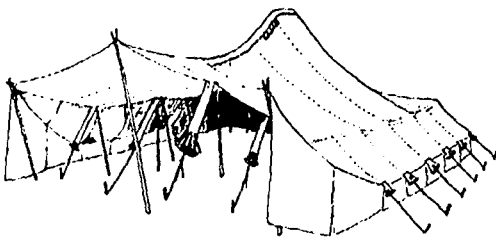
Tienda beduina Ouled Ali. Este nombre lo recibe de una tribu beduina de Libia. La cresta de la tienda es un poco más pronunciada, y tiene dos presillas hechas de lienzos de tela cosidas a los dos extremos largos de la tienda. Estas presillas conforman bandas de tracción adicionales. Por esta última adición, este tipo de tienda es transitivo entre las tiendas árabes beduinas y las tiendas del norte de África.



SAORACCAN BERBER

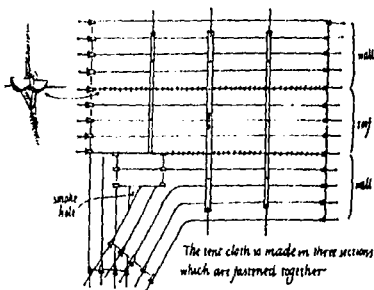
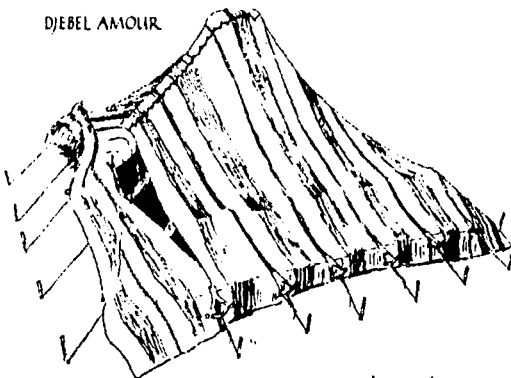


Tienda berber marroquí. Este tipo de tienda árabe es usada por las tribus que habitan la cordillera Atlas, estas montañas reciben mayor precipitación pluvial, así que se le ha dado mayor inclinación a la superficie de la tienda. De igual manera el tejido de lana es mucho más cerrado y se impermeabiliza con aceites animales, aún así la fibra no dura más de cinco años, por lo que la cubierta tiene que renovarse con lienzos nuevos. La zapata de las crestas de la tienda es soportada por un par de postes centrales, estirada sobre esta se coloca una ancha banda de tracción (triga), que sostiene en su lugar la zapata y le da a la tienda su característica forma.



Tienda argelina Ouled Nail. Similar a la tienda beréber, utiliza dos postes cruzados bajo la zapata de la cresta y varios postes internos más. Las paredes perimetrales son hechas de la misma cubierta que conforma la tienda, que se ha dejado suelta —sin sujetadores— en los extremos y al colgar conforma estas paredes, de manera que no es necesario colocar lienzos adicionales.

DJEBEL AMOUR



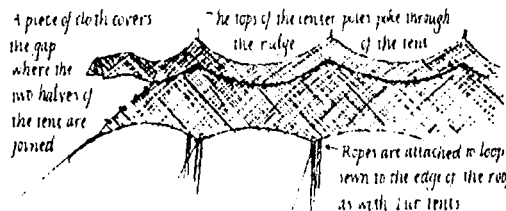
Tienda argelina Djebel Amour. La tela de la tienda se hace en tres secciones que son sujetadas después, en una de las esquinas el entramado se confecciona de manera que sea posible dejar un hueco, bajo éste se coloca la cocina y sirve para dejar salir el humo que produzca el hogar.

KURD



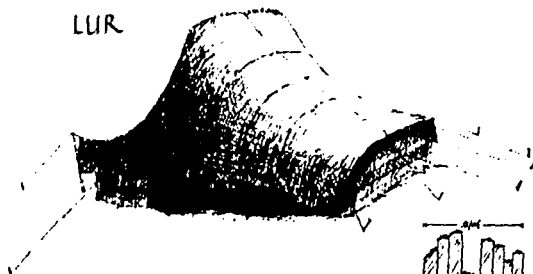
A piece of cloth covers the gap where the two halves of the tent are joined

The tops of the center poles poke through the ridge of the tent



Tienda persa de kurdos. Las tiendas de esta zona de Irán usualmente se disponen en dos partes, cada una hecha con varios lienzos, para facilitar su transportación. En esta tienda se utilizan varios postes al centro y otros más bajos en las orillas bajo las presillas. Esterillas y cortinas se usan a manera de muros.

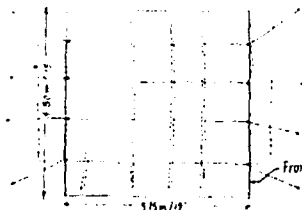
LUR



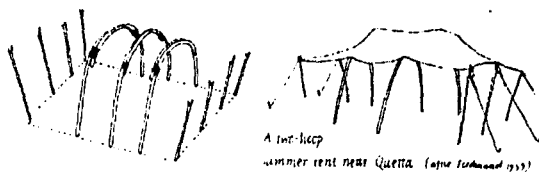
Tienda persa de Luristán. La característica forma de su cresta está formada por uno o más postes en forma de T. Las dos partes que conforman la tienda se unen mediante presillas. Los muros frontal y trasero se hacen con la misma tienda que se deja colgar, mientras que para los laterales se colocan tapetes o esterillas.

BALUCH BARREL-VAULTED

Side cloths are
pinned to roof

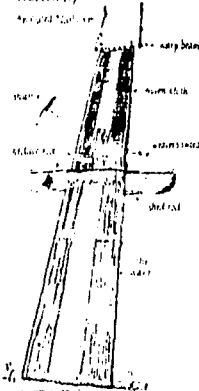


Front cloth breadth is usually
folded up on the roof



A tent-tieup
summer tent near Quetta (after Lockwood 1935)

WEAVING



Tienda persa de Baluchistán. Esta tienda utiliza un armazón muy característico: además de los postes verticales en los extremos se coloca en el medio una serie de marcos arqueados de madera, dispuestos uno tras otro para conformar una bóveda corrida. Los marcos ayudan a soportar el peso de la tienda, aligerando la tensión tomada por las cuerdas y las presillas en los extremos para poder mantenerla en los alto. El espacio creado entre los marcos semicilíndricos es más útil que aquel que queda entre postes verticales.

Tienda tibetana. El techo de la tienda está detenido por dos postes verticales que soportan un poste-zapata horizontal, que corre paralelo al lado largo del lienzo a toda la extensión de la tienda. El techo se estira por fuera mediante grupos de cuerdas atadas a postes más altos, manteniendo una superficie casi plana. Las paredes que son parte del mismo lienzo que la cubierta, cuelgan y son fijados al piso mediante presillas.

FAEGRE, T. Tents. Architecture of nomads. Nueva York. Anchor Press; 1979. 167 pp.

América precolombina

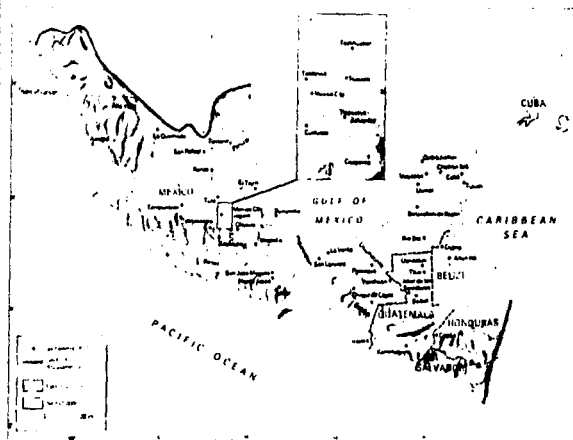
11.8

Uno de los aspectos más llamativos de la arquitectura mesoamericana precolombina es, quizá, que su desarrollo es completamente independiente al del resto del mundo. Pese a ser civilizaciones que no conocieron la rueda ni domesticaron animales de carga, y que no utilizaban herramientas de metal, su arquitectura es señal de un gran desarrollo técnico, estético e intelectual.

A menudo se caracteriza a estas civilizaciones como bárbaras y terribles, incluso encontramos estudiosos europeos que asumen que una de las funciones principales de la arquitectura precolombina era la de inspirar terror. Tal vez si de algo nos hablan estos juicios, emitidos en pleno siglo XX, es de la absoluta incomprensión del mundo occidental hacia las culturas indígenas, y del choque cosmológico que ha producido el encuentro de estas civilizaciones, y que a quinientos años no hemos sido capaces de comprender y asumir a plenitud.

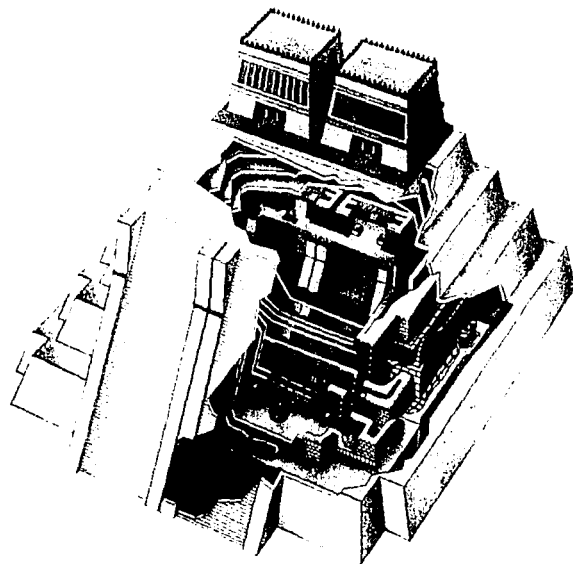
En este capítulo nos abocaremos a la producción arquitectónica más importante de la América Precolombina, la de Mesoamérica, por su gran cantidad de ejemplos y complejidad constructiva. La expansión geográfica de lo que conocemos como Mesoamérica, abarca en México desde el altiplano central, parte del litoral del pacífico, el Golfo, y el sureste de la república, hasta parte de Guatemala, Belice y Honduras. En este ámbito geográfico se desarrollaron varias civilizaciones, siendo las más importantes la olmeca, la maya, la teotihuacana, la tolteca, la purépecha, la mixteca y la mexicana.

mapa



De sus características arquitectónicas destacan, en primer lugar, las grandes pirámides terciadas de planta cuadrada y en raras ocasiones de planta circular, sobre las que usualmente se erigía un templo, pequeño en comparación con la pirámide que lo elevaba, para venerar a la deidad a la que estaba dedicado el edificio.

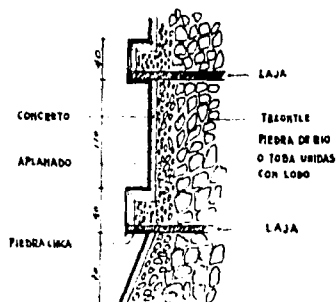
En Teotihuacan se alcanzan dos de los ejemplos más significativos de las pirámides mesoamericanas: las pirámides del sol y de la luna, que fueron construidas alrededor del siglo I d. de C. en varias superposiciones de capas, correspondientes cada una a períodos distintos de construcción. A menudo se han encontrado varias pirámides superpuestas, como las del Templo Mayor en el centro de la Ciudad de México. Se cree que esta costumbre se origina en los ritos de renovación del cosmos, que sucedería cada cincuenta y dos años, ocasión para la cual cada pirámide se revestía de una nueva pirámide más grande edificada sobre la anterior.



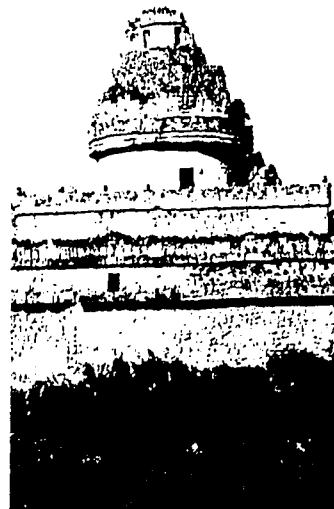
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otra característica importante difundida a prácticamente toda la región, fue la utilización del tablero-talud. Este es un elemento típico de la arquitectura teotihuacana: un panel rectangular con bordes de relieve (tablero) que se alterna con la banda más angosta (talud).

"Los sistemas de construcción en los edificios más antiguos de Teotihuacan son muy sencillos. Los basamentos se componen de un núcleo de piedras irregulares unidas con lodo. En este núcleo se empotran lajas semejantes a la pizarra, que soportan los grandes tableros que decoran cada uno de los cuerpos del monumento; muchas veces se levantan directamente sobre la toba que forma el suelo natural, o sobre un relleno de piedra que regulariza el terreno en caso necesario." (MARQUINA, Arquitectura Prehispánica pp. 63)



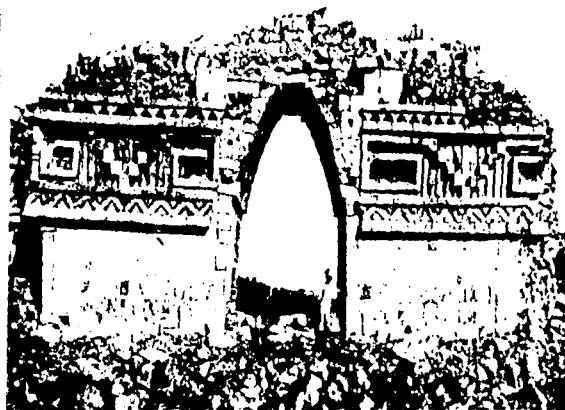
La Torre del Palacio en Palenque, un raro ejemplo todavía en pie de un edificio de tales características en varios niveles, usando adintelamientos.



El observatorio del caracol en Chichén Itzá. Sobre dos cámaras concéntricas edificadas alrededor de un cilindro de mampostería, que contiene la escalera helicoidal de la que se deriva el nombre del edificio, tiene un puesto de observación elevado. Las partes cubiertas tenían una bóveda falsa de mampostería de piedra.

De las culturas precolombinas destaca la maya por sus avanzados conocimientos en astrología y matemáticas, y por la sofisticación de su arquitectura. Son característicos los arcos falsos llamados arcos mayas en muchos de los sitios arqueológicos más importantes. Este método constructivo fue profusamente usado tanto para dinteles de puertas (un arco aislado), como para bóvedas corridas; usualmente las lajas de piedra eran talladas y colocadas en el aparejo del muro y de la bóveda o arco, posteriormente se recubría todo con estuco para poder ser pintados e incluso, en ocasiones, se dejaba la piedra aparente mostrando un tallado en bajorrelieve.

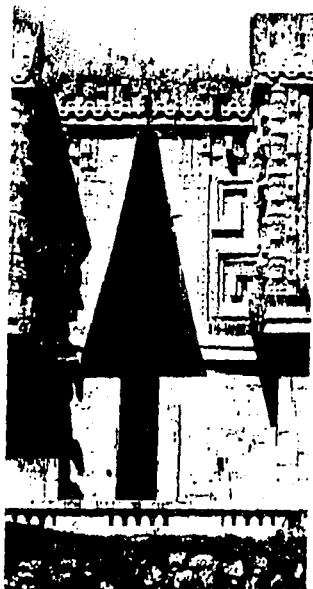
Un buen ejemplo es el arco de Labná: separa dos patios y tiene a cada lado un aposento de planta rectangular con entrada hacia la fachada principal que ve al noroeste. El arco tiene 3 m. de ancho por 4 m. de largo, "en una solución que demuestra ya más seguridad en la construcción y mayor libertad en la composición; la cornisa se interrumpe y a su altura arranca la bóveda que cubre el pasaje en toda su longitud, con una altura de 5 m. del suelo a la piedra que la cierra" (MARQUINA, Op. Cit. Pp.752).



Arco de Labná un ejemplo de la arquitectura puuc.



Interior de una cámara del Palacio en Palenque cubierta con bóveda falsa corrida.



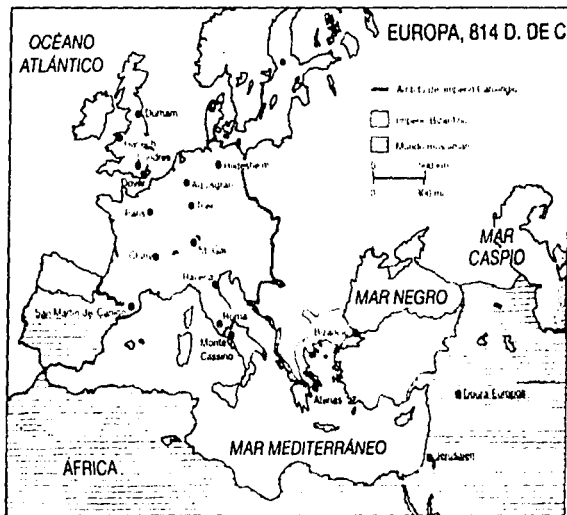
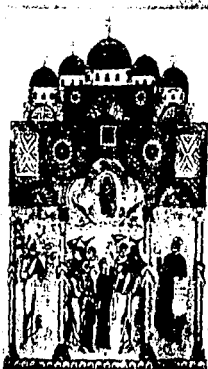
Palacio del gobernador en Uxmal, un arco falso cuyos muros interiores sobresalen.

Imperio Bizantino

1.9

Una vez trasladada por Constantino la capital del Imperio Romano a Constantinopla, los centros de administración pública y religiosa tendieron a fusionarse, dando como resultado lo que conocemos como régimen *césareopapista*, caracterizado por el estrecho enlace entre la autoridad Imperial y la Iglesia, mientras que en Occidente se vivía la invasión bárbara.

El arte bizantino, como la historia bizantina, tienen su raíz profundamente hundida en la tradición grecorromana del mediterráneo oriental y su carácter está en gran medida determinado por dos factores: la cristiandad y la tradición imperial. Sin embargo, las peculiaridades y sutilezas de su lenguaje a menudo derivan de influencias venidas de más allá de su confin oriental, dado el intercambio de técnicas, ideas y métodos que sostuvo el imperio bizantino con sus vecinos asiáticos, intercambio que se aprecia en el arte con mucho mayor intensidad que en otras disciplinas como la administración o la política.



El contraste entre el Partenón de la Acrópolis de Atenas, y la catedral de Santa Sofía en Constantinopla, entre la clásica escultura de Apolo y los mosaicos de Cristo en las iglesias bizantinas, refleja con claridad las diversas necesidades y diferentes lenguajes entre el mundo antiguo y el mundo de Bizancio.

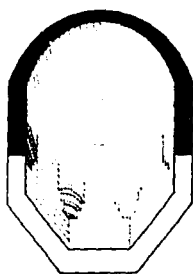
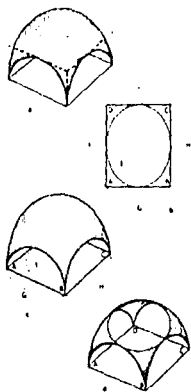
Esta transición se forjó durante los años tardíos del imperio romano. Incluso antes de que el emperador Constantino se convirtiese al cristianismo, ya aparecían dos factores característicos del arte bizantino: por un lado la tradición grecorromana de magnificar al emperador, visible en grandes monumentos como la columna de Trajano; y por otro, la inquietud por una vida supranatural trascendental, obtenida por medios paganos o cristianos, que motivó el florecimiento de temas religiosos en las expresiones artísticas. La influencia de las diferentes escuelas helenísticas, como la alejandrina, con gran tendencia hacia el realismo y la representación tridimensional, se complementó con las tradiciones de Asia Menor y Siria con más énfasis en la representación simbólica y bidimensional.

Los monumentos bizantinos a gran escala que sobreviven hasta nuestros días son los templos o iglesias cristianas, probablemente porque la fe que las inspiró sigue viva. El reconocimiento a la Cristiandad en el siglo cuarto, y su crecimiento y ascenso al interior del imperio con activa participación de todos los sectores sociales, propició innumerables construcciones y reconstrucciones de templos y monasterios generando gran demanda de arquitectos y artistas. A la par del desarrollo de la liturgia y el rito no sólo va la arquitectura, de hecho se estimuló toda aquella actividad que contribuyese al embellecimiento y creación de los espacios y parafernalia religiosa necesaria para los servicios. Parte de este estímulo se refleja en el uso de imágenes en los muros interiores como espacios de interpretación y refuerzo del culto más que como mera decoración, convirtiéndose toda actividad artística en parte del acto de veneración.

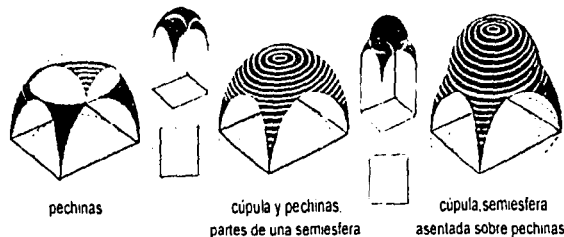
El lapso entre el s. IV y el VI marcan el período formativo de la arquitectura bizantina. Edificios existentes, como la basílica helenística son adaptados al uso cristiano. En la Roma Imperial la basílica era un tipo de edificio utilizado para la administración pública y para las operaciones mercantiles. Su forma típica es una nave larga y estrecha, cubierta con bóveda de cañón o de arista, o más a menudo, una cubierta de armaduras de madera, flanqueada por naves laterales más pequeñas por encima de las cuales las ventanas altas iluminaban la parte central del edificio. Uno o ambos extremos del edificio terminaba en un ábside en el que se situaba el altar votivo, los asientos de los consejeros y el trono del *praetor*. La basílica era un edificio primordialmente utilitario y su sencilla construcción era una forma económica de cubrir un gran espacio rectangular. En las apuradas condiciones económicas de la iglesia cristiana de sus primeros días, la basílica era una forma ideal para el culto, y la gran nave recta flanqueada por naves laterales que llevaban a un altar situado en el fondo, se convirtió en un arquetipo para la construcción de iglesias en Occidente. La forma fue aprendida de los artesanos romanos que construyeron los primeros ejemplos, a veces con columnas aprovechadas de las ruinas de templos paganos.

Sin embargo la forma arquitectónica característica del imperio bizantino son las cúpulas y las bóvedas heredadas de Oriente, Persia y Mesopotamia, donde la madera era escasa y el adobe era el material más habitual. Eran espacios circulares u octagonales rodeados por un deambulatorio que recibían luz por los celestrios. La cúpula se situaba sobre una planta cuadrada por medio de un sistema de trompas, que es en realidad uno o más arcos que descansan sobre los ángulos de un cuadrado, para formar un octágono sobre el que descansa la cúpula.

Los bizantinos usaron este método que probó ser estructuralmente inestable y espacialmente inadecuado. Fue así como idearon entonces su propio sistema para colocar un domo sobre una planta cuadrada: el área que puede cubrir una cúpula está determinada por el tamaño del cuadrilátero de la planta, la pechina sirve de transición entre la planta cuadrada y la base circular de la cúpula. Gracias a su forma triangular esférica, descansa su peso sobre el pilar, y no sobre el arco mismo como ocurre con la trompa.



Sistema de trompas para soportar una bóveda sobre planta poligonal.



pechinas

cúpula y pechinas partes de una semiesfera

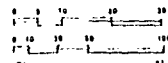
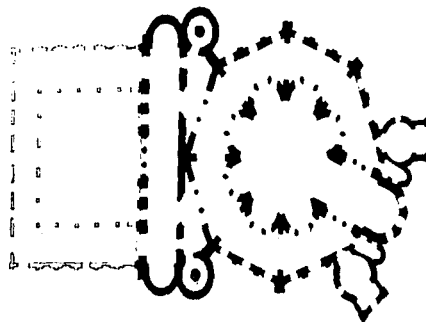
cúpula, semiesfera asentada sobre pechinas

La Iglesia Oriental, hasta nuestros días, mantiene puntos de vista muy estrictos sobre la representación de la divinidad. Ante todo, se debe respetar la jerarquía del Cielo: Cristo en el vértice, después la Virgen, a continuación los Arcángeles y así en orden descendente a través de Evangelistas, Apóstoles, Profetas del Antiguo Testamento, santos y padres de la Iglesia primitiva. Para tal esquema la arquitectura bizantina, con su gradación de cúpula, tambor, pechina, y ábside, y sus espacios de paredes lisas proporcionaba una respuesta ideal.

Económicamente, Bizancio fue el heredero del imperio romano, dándole continuidad, preservando el uso del dinero y manteniendo vivas las tradiciones romanas de la artesanía y de la construcción.

La Iglesia fue la heredera cultural de Roma, depositaria de lo que quedaba del saber y la literatura. Por otro lado los bárbaros y los celtas iban a desarrollar un nuevo sistema económico del que habría de emerger el feudalismo, base de la sociedad medieval.

El Imperio Romano de Oriente vivió su máximo esplendor bajo el reino de Justiniano (527-565). Combatió con éxito a los persas y a los vándalos, recuperando el dominio de Italia y del norte de África y de España y estableciendo un virreinato en Rávena. Fue precisamente bajo este período de expansión que se construyeron los templos más importantes de su tiempo en Italia, como las de San Vitale y San Apollinaire in Classe en Rávena.

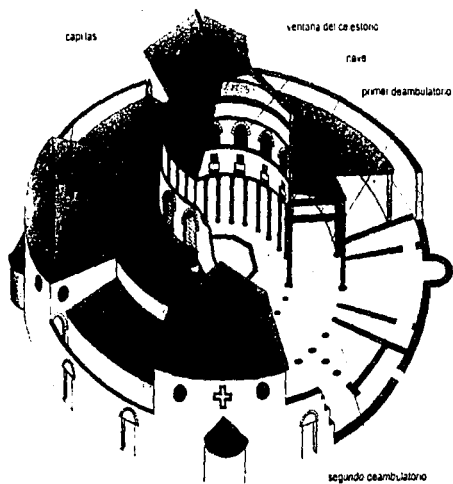


Iglesia de san Vitale en Rávena (532-548). La construcción es principalmente de ladrillo. Dos octágonos concéntricos conforman el espacio central y la nave en deambulatorio, se suma un pórtico de entrada y un presbiterio, todo ello dispuesto en un juego de volúmenes geométricos. La cúpula central fue aligerada con vasijas de barro vacías, de manera que bastan los arcos y los esbeltos contrafuertes en los vértices del octágono para contrarrestar sus empujes.

Iglesia de Santa Sofia

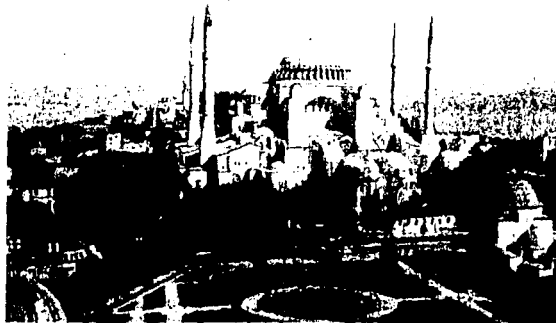


Iglesia de san Vitale en Rávena (532-548).



Santo Stefano Rotondo, Roma c. 468. Su planta conjuga una cruz con círculos concéntricos, alcanzando un diámetro de 70 m.

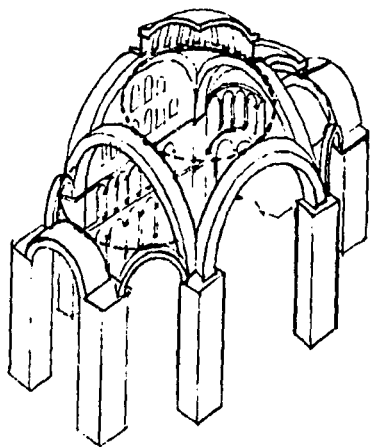
Santa Sofia (Hagia Sofia, Santa Sabiduría)



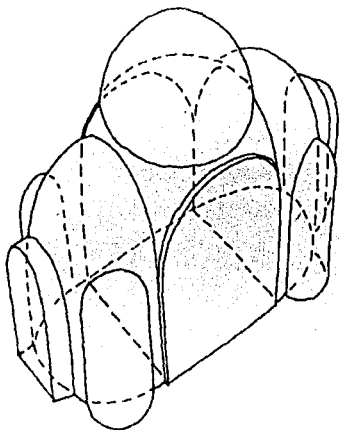
Cuando el emperador Justiniano murió había dedicado los mayores esfuerzos de su vida a dos grandes fines: mantener a raya a los bárbaros invasores, y la construcción de la Gran Obra que lo inmortalizara. El inmenso costo económico de estas tareas llevó a la administración pública de Constantinopla a una seria crisis que culminó en 532 a una revuelta popular severamente reprimida por Justiniano dejando un saldo de 30,000 muertos, incluyendo mujeres y niños que yacían por las calles de la ciudad, y la destrucción de la catedral dedicada a la Santa Sabiduría de Cristo edificada por Constantino II, cuyo techo de madera había sido pasto de las llamas. La reconstrucción de esta catedral le proporcionó a Justiniano la ocasión de realizar su mayor obra: la Catedral de Santa Sofia que conocemos hoy en día como la máxima obra del Imperio Bizantino.

La obra fue encomendada a Antemio de Trales e Isidoro de Mileto, filósofos griegos estudiosos de geometría teórica extremadamente vinculados con la tradición cultural de la Grecia clásica; el reto era completamente nuevo ya que nunca se había cubierto una superficie de tan grandes dimensiones (71 por 77 metros), y de inmediato se convirtió en la única obsesión del emperador, quien no perdió detalle durante los cinco años, diez meses y cuatro días que duró su construcción.

Desgraciadamente las adiciones al exterior de la iglesia, para reforzarla o con propósitos funcionales, no nos permiten conocerla como la concibió Antemio, sin embargo nos es posible reconstruirla en nuestra imaginación.

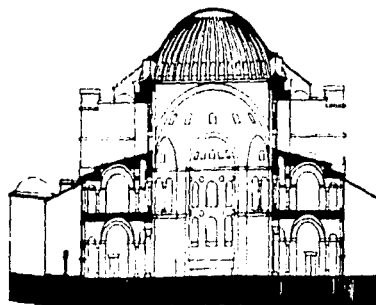
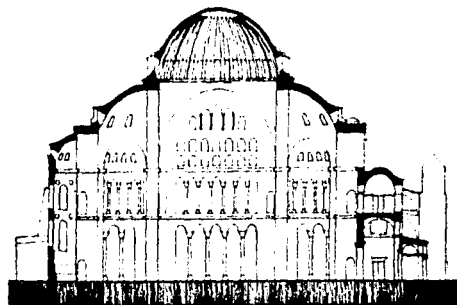


Consideremos un cuadrado con cuatro pilares en sus esquinas. El espacio entre cada par de ellos unido por un arco de medio punto. La cresta de éstos cuatro arcos resultante sirve como base para un anillo horizontal del que emerge una cúpula reforzada por cuarenta nervaduras que se encuentran en la clave. En la base de la cúpula se hicieron cuarenta ventanas enmarcadas por cada nervadura. Las pechinas conectan el espacio entre el anillo horizontal del que parte el domo, con la base de cada arco en los pilares. Esta era la esencia de la estructura que cargaba al domo.



Se accede al templo por el arco occidental. El arco oriental y el ábside están flanqueados por dos medias cúpulas sostenidas por los pilares principales y por otros dos pares de pilares adicionales más pequeños. Estas medias cúpulas están flanqueadas, a su vez, por otro par de menor tamaño y una bóveda de cañón corrido, alineadas todas con el eje este-oeste de la iglesia. Todas las semicúpulas menores reposan sobre dos juegos de columnas dispuestas en semicírculo.

El esquema geométrico de la estructura es simple y parece corresponder al esquema del espacio interior. Llama la atención que los arcos laterales se conecten por muros mientras los arcos este y oeste se continúan por una serie de semicúpulas para darle a la planta un eje de composición longitudinal. La razón de esto se encuentra en los requerimientos litúrgicos y en la tradición bizantina de construcción de iglesias. Muchas iglesias bizantinas previas se construían sobre una planta completamente centralizada y se techaban con bóvedas de madera, sin embargo el esquema romano para edificios de reunión multitudinaria era el de basilica.



Antemio sintetiza estas dos tradiciones dándole al cuadrado central una apariencia alargada prolongándolo por medio del uso de una serie de semicúpulas logrando así un claro nunca antes visto. Se evitó el uso de madera para darle una vida más larga, cosa que exigió el uso de arcos, bóvedas, cúpulas y semicúpulas favoreciendo el uso de materiales que trabajan bien a compresión como el ladrillo y la piedra. Una vez que Antemio decidió satisfacer las necesidades litúrgicas de un espacio grandioso y eterno, las necesidades estructurales se definieron por sí mismas.

La utilización de los materiales es notable: los cuatro pilares principales y los cuatro secundarios que soportan el peso de la estructura y la cúpula, son de granito. Las superficies de cada bloque de granito fueron cuidadosamente pulidas con el fin de que la presión se distribuyera uniformemente. En juntas críticas se interpusieron hojas de plomo para garantizar un contacto perfecto entre los bloques de granito. También se usaron columnas de piedra para sostener las semicúpulas y las bóvedas laterales. Sin embargo, el conjunto de cubiertas debía ser lo más ligero posible, por lo que están hechas de ladrillos unidos por morteros. Se construyeron enormes cimbras de metal para cargar los arcos, bóvedas y cúpulas hasta que el mortero fraguara.

Antemio murió siendo considerado el arquitecto más importante de su época, sin embargo veintidós años después de su muerte, a causa de los terremotos de los años 553 y 557, el arco este con su media cúpula, y parte del domo principal sufrieron graves daños a causa de la insuficiencia de los contrafuertes y el encogimiento del mortero con que se había ensamblado el domo. Los arcos norte y sur se movieron ligeramente hacia fuera permitiendo que los soportes del arco este se abrieran, haciendo que la cúpula se cuarteara y la semicúpula se colapsara.

Justiniano ordenó la reconstrucción inmediata y la encomendó a Isidoro El Joven, sobrino del famoso colaborador de Antemio, quien era consciente del tremendo empuje de la cúpula y la reconstruyó incrementando su altura seis metros convirtiéndolo en una media esfera, reduciendo así su empuje en un 30%. El techo de la cúpula está ahora a 54.9 metros del piso.

Sin embargo la debilidad de los contrafuertes seguía ahí. En el año 989 el arco oeste y una semicúpula se colapsaron. En un intento por corregir estas fallas, se construyeron los dos enormes contrafuertes laterales que hoy podemos ver a cada lado norte y sur. En 1346 otro severo terremoto derrumbó por segunda vez el arco este. Para este momento las técnicas de construcción de contrafuertes estaban muy depuradas por la práctica en la construcción de iglesias góticas y la reparación llevó sólo unos meses.

Para este momento las técnicas de construcción de contrafuertes estaban muy depuradas por la práctica en la construcción de iglesias góticas y la reparación llevó sólo unos meses.

Finalmente en 1847 la iglesia fue reforzada por los arquitectos suizos Gaspard y Giuseppe Fossati, quienes colocaron un gran cadena de hierro alrededor del domo reduciendo su empuje al punto de atreverse a quitar las partes superiores de algunos de los contrafuertes más recientes.

Santa Sofía representó físicamente la unión del Imperio y la Iglesia, ya que para los bizantinos la forma de cubo rematado por una cúpula representaba la imagen del cosmos regido por Dios: la tierra cubierta por la cúpula del cielo. A diferencia del carácter estático y reposado de las formas clásicas, Santa Sofía parece estar en perpetuo movimiento, una sucesión de curvas que se cortan inundadas por un aura de luz mística. Justiniano logró dar forma a la arquitectura bizantina fundiendo la práctica constructiva romana con la ciencia griega al servicio de la especulación teológica, todo ello revestido de lujo oriental. (Norwich, op.cit, pp179)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Finalmente en 1847 la iglesia fue reforzada por los arquitectos suizos Gaspare y Giuseppe Fossati, quienes colocaron un gran cadena de hierro alrededor del domo reduciendo su empuje al punto de atreverse a quitar las partes superiores de algunos de los contrafuertes más recientes.

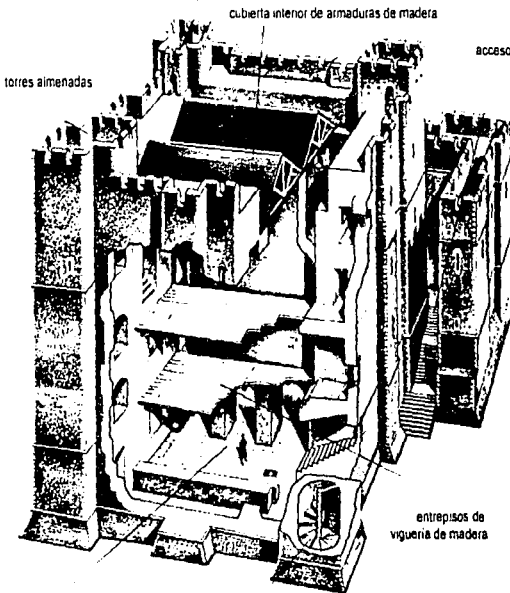
Santa Sofía representó físicamente la unión del Imperio y la Iglesia, ya que para los bizantinos la forma de cubo rematado por una cúpula representaba la imagen del cosmos regido por Dios: la tierra cubierta por la cúpula del cielo. A diferencia del carácter estático y reposado de las formas clásicas, Santa Sofía parece estar en perpetuo movimiento, una sucesión de curvas que se cortan inundadas por un aura de luz mística. "Justiniano logró dar forma a la arquitectura bizantina fundiendo la práctica constructiva romana con la ciencia griega al servicio de la especulación teológica, todo ello revestido de lujo oriental". (Norwich, J. Op.cit., pp232)

Edad Media: Románico y Gótico

II.10

La caída del Imperio Romano arrastró a sus instituciones y su infraestructura. La administración desapareció, las famosas vías romanas se deterioraron, los acueductos se derrumbaron convirtiendo las otrora productivas tierras en pantanos, las ciudades se abandonaron y la construcción a gran escala prácticamente se detuvo al no haber un gobierno central que requiriera edificios públicos y administrativos para el desempeño de sus funciones.

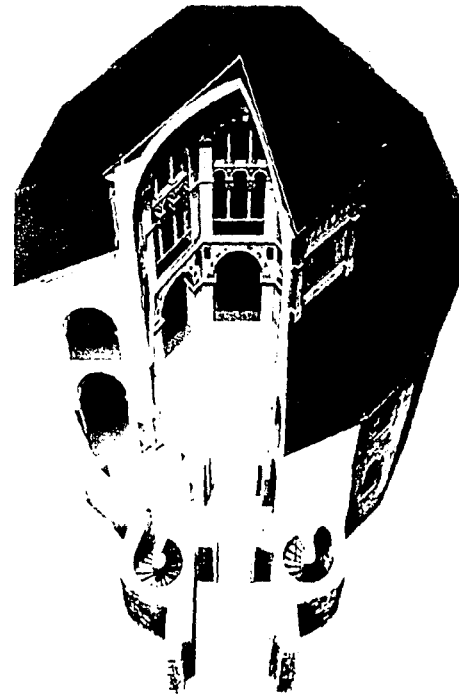
Estas consecuencias, ocurridas entre los años 450 y 900, conforman lo que llamamos la baja edad media, caracterizada por el oscurantismo y las guerras constantes entre reinos y pueblos que vieron en el fin del Imperio Romano una ocasión de expansión y riqueza. El impacto en la arquitectura es significativo: se construía para la guerra. Era el tiempo de los castillos concéntricos y las fortalezas, las necesidades bélicas se manifiestan incluso en las construcciones de la Iglesia, única institución sobreviviente y heredera de las instituciones romanas. La baja edad media concluye con el establecimiento del imperio carolingio en el siglo IX.



arcadas de piedra soportan los pisos superiores

gruesos muros de mampostería de piedra con espacios libres para circulación

Carlomagno hizo notables esfuerzos por rescatar la cultura clásica fundando escuelas y construyendo iglesias. En la ciudad de Aquisgrán la política de revitalización de la cultura romana se evidencia en la capilla palatina del emperador Carlomagno, un edificio de piedra labrada, de planta octogonal con cúpula y galería inspirado claramente en la iglesia de San Vitale de Rávena. Para este entonces la cúpula como forma constructiva estaba casi olvidada.



La Capilla Palatina en Aquisgrán (actual Aachen, Alemania), proyectada por Odo de Metz para Carlomagno en 805, es una mezcla de influencias romanas y bizantinas. Su excelente técnica de construcción es romana. Así como gran parte de la mampostería que fue expoliada de las antiguas ruinas romanas.



Sta. María Naranco,
España, siglo XII.

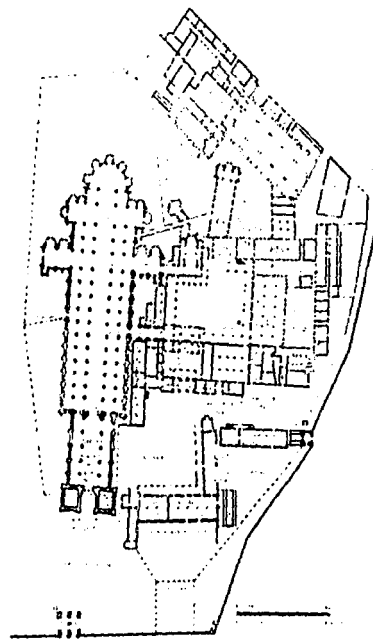
El renacimiento carolingio finalizó con la muerte de Carlomagno. En 843 el gran imperio fue dividido, sumiéndose Europa en la incertidumbre política una vez más y en un profundo estancamiento.

La grave situación económica que se generó en el siglo IX había obligado a una serie de ciudades situadas en el límite de la Europa occidental a establecer fuertes vínculos con Bizancio y con el Islam para poder sobrevivir. Nápoles, Milán, Ravena, Amalfi, Pisa, Pavia y sobre todo Venecia alcanzaron, durante los siglos IX y X, una posición preeminente en la economía europea. Así mismo la dominación vikinga de las costas septentrionales había unido a la Europa del norte desde Gran Bretaña hasta Rusia por medio de vías comerciales. Partiendo de estos hechos surgirían los sistemas comerciales de Europa en torno a la Liga Lombarda establecida en el sur de Italia y la Hansa del norte.

Hubo pocas ciudades occidentales que permanecieron como centros de importancia. Algunas de ellas se habían convertido en granjas; otras habían sido elegidas como sedes episcopales o abadías, manteniendo el aspecto exterior de comunidades urbanas, pero sin importancia económica. La población urbana era mucho más reducida que en tiempos de Roma, muchos edificios antiguos se habían utilizado como canteras, y grandes zonas de tierra cultivada quedaban dentro de los confines de la ciudad; sin embargo la gradual migración de la gente del campo a las ciudades terminó por cambiar su carácter, convirtiendo a las poblaciones urbanas en la punta de lanza de una futura revolución de orden social.

La alta edad media, entre el 900 y el 1200 se caracteriza por el establecimiento del sistema feudal. Una nueva estabilidad incipiente se empieza a forjar en Europa. Los viajes y el comercio renacen y se vive la primera de las ocho cruzadas contra los musulmanes en Oriente. Esta estabilidad trae la revitalización de la construcción a gran escala.

Aparte de las construcciones militares y las instalaciones residenciales vinculadas con ellas, la mayor parte de la actividad constructora durante la alta edad media estuvo relacionada con edificios religiosos. El florecimiento de comunidades monásticas, depositarias del conocimiento y las artes seculares y paganas, además de concentrar cada vez más poder económico, requirió nuevos edificios acordes a sus funciones litúrgicas e intelectuales. De esta manera, los monasterios se fueron convirtiendo paulatinamente en centros políticos, culturales y agrícolas de las regiones que quedaban bajo su influencia.



Al comenzar a florecer la actividad edilicia, a lo largo de los primeros años del segundo milenio, seguía presente el recuerdo de las invasiones de los pasados tiempos de inseguridad, de manera que en los nuevos edificios siguió predominando el macizo sobre el vano. Además, la imagen idealizada de Roma resurgió con gran fuerza, sobre todo en el sur de Francia, donde las numerosas ruinas romanas todavía servían de modelo. Así pues, los robustos pilares y los arcos de medio punto de la nueva arquitectura no pretendían sino emular la solidez y la geometría de la arquitectura romana. De ahí que se le llame arquitectura románica al estilo desarrollado en Europa desde fines del siglo IX hasta principios del XIII.

La edad media tardía, entre 1200 y 1450, verá la aparición de las ciudades y el desarrollo de la arquitectura gótica, así como la devastación por la peste bubónica y la Guerra de los Cien Años.

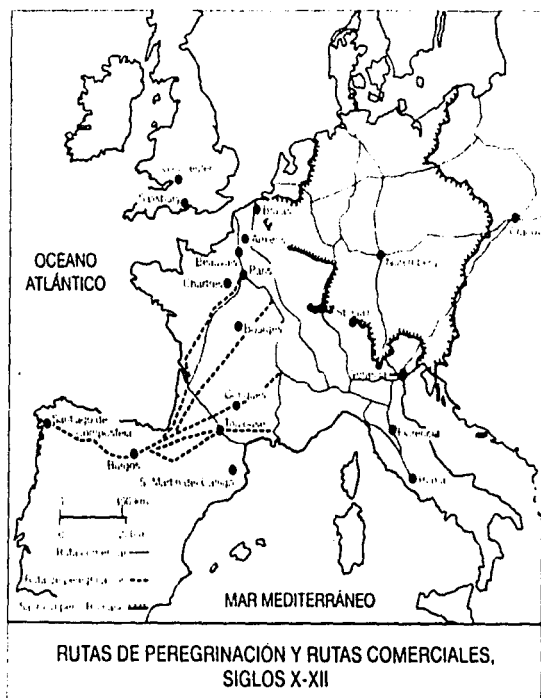
Románico



San Miguelillo, siglo XII



San Zeno, siglo XII



Románico

El emperador Otón III vio en Cluny —sede del movimiento cluniacense, que pretendía purificar la Iglesia por la aplicación estricta de “La Regla” Benedictina— la fuerza que lo ayudaría a unificar el Imperio; Esta nueva alianza estableció un poder mucho más grande tanto para el Imperio como para la Iglesia.

El centro de la reforma era Cluny, en Borgoña, donde el abad Majeul ordenó la reconstrucción de la iglesia abacial. “Cluny II”, como se la conoce, consagrada en 981, no sólo representaba a la forma monástica, sino también a la nueva época arquitectónica, el nacimiento del estilo románico.

El estilo románico apareció probablemente por primera vez en Italia, en Lombardía. Los principales países donde floreció fueron Francia, Inglaterra, Italia, Alemania y España; países donde las condiciones eran bastante turbulentas. La ausencia de unidad política consecuente favoreció la evolución de estilos locales tan diferentes que a veces es un problema determinar si todos ellos pudiesen denominarse románicos con precisión. Sin embargo sí se puede hablar de ciertas características arquitectónicas que se comparten y que pueden establecer un estilo gracias a que las construcciones respondían a las necesidades de la Iglesia Cristiana.

Los monasterios fueron construidos por canteros, hombres poco instruidos, la mayoría de los cuales eran simples trabajadores contratados por los monjes para hacer el trabajo. Aquellos que practicaban la arquitectura pertenecían a una categoría notablemente inferior a la de aquellos que se dedicaban a las “artes liberales”, por lo que hay una gran escasez de material bibliográfico sobre estos constructores.

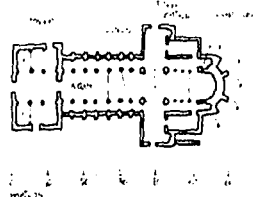
La influencia cristiana era omnipresente. En la arquitectura esto se aprecia claramente en la planta cruciforme, el campanario y el claustro. El Cristianismo inspiró todo el simbolismo del arte románico, así como su elaborada iconografía.

Desde el punto de vista arquitectónico, fue una época de incesante experimentación, por lo que, pocos edificios de este período se parecen unos a otros en su conjunto. También es cierto que pocos, si es que hay alguno, de los grandes edificios románicos se han conservado inalterados.

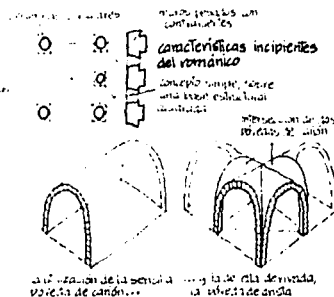
Una de las principales motivaciones funcionales de la arquitectura del siglo XI es la búsqueda de cubiertas capaces de cubrir claros cada vez mayores y más altos. Por supuesto podían ser de madera, pero el uso de las velas implicaba severos riesgos de incendio. Los romanos habían utilizado bóvedas de cañón corrido y de arista, pero en el siglo XI la técnica del concreto romano se había perdido; una bóveda de cañón construida solamente de piedra pesa demasiado para resistirla, lo cual limita considerablemente el claro que puede cubrir. Basada en la bóveda de arista, la solución vino con la bóveda de crucería nervada: en este caso sólo los nervios, que corren a lo largo de las aristas, cumplen funciones estructurales, pudiéndose rellenar los espacios intermedios con paneles de piedra relativamente ligeros, permitiendo mayores claros. Así mismo los nervios concentran los esfuerzos en lugares puntuales, pudiéndose apoyar sobre columnas en vez de un muro continuo como exigía la bóveda de cañón.

survimiento del románico

Cluny II (981) inspiración de las plantas de muchos paradias

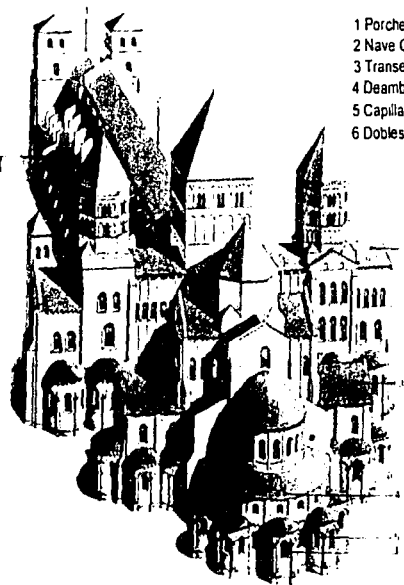


medios



una vez más de la bóveda de cañón, la bóveda de arista

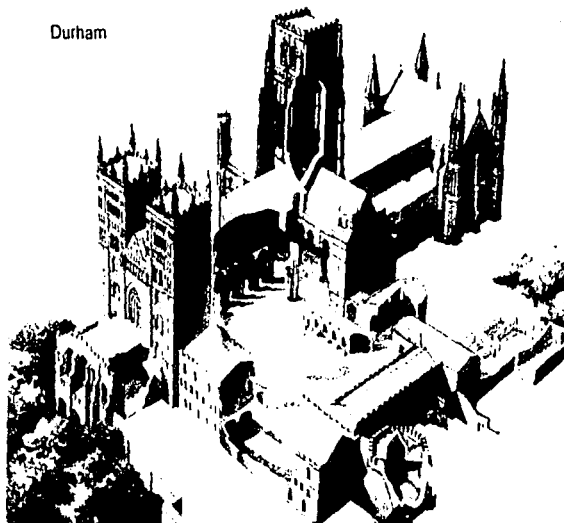
En las Iglesias francesas son significativas las muchas capillas que la liturgia requería para que todos los sacerdotes dieran misa a diario. Las capillas paralelas en Cluny y radiales en San Martín, se colocaban alrededor de la girola, tras el altar mayor, dándole además rigidez. Estas ampliaciones eran concebidas como parte del diseño total.



- 1 Porche occidental
- 2 Nave Central
- 3 Transeptos
- 4 Deambulatorio
- 5 Capillas Radiales
- 6 Dobles Naves Laterales

La tercera iglesia de la abadía de Cluny, en Borgoña, se construyó entre 1088 y 1130 y fue arrasada en 1810. Tenía macizos muros, una gran nave central, dobles naves laterales, transeptos gemelos y multitud de capillas y torres. Era la iglesia más larga de Francia e inspiró a muchas iglesias posteriores.

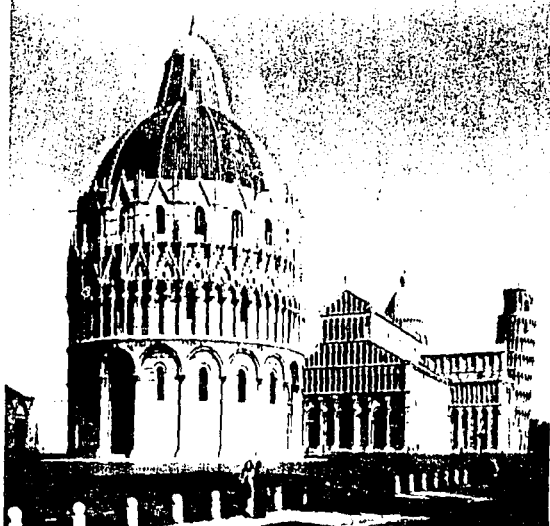
Durham



La Catedral de Durham, comenzada en 1093, en Inglaterra, está construida sobre una gran roca a orillas del río Wear. La larga y alta nave tiene grandes pilares circulares sobre los que se apoya el triforio y un muro superior calado con ventanas. Fue el primer edificio en Europa totalmente cubierto con bóvedas de crucería, consideradas como una sofisticación de la bóveda de arista de los antiguos romanos. Se forman por la intersección en ángulo recto de dos bóvedas de cañón. El añadido de nervios de piedra refuerza y acentúa las líneas de las aristas, las bóvedas nervadas de Durham muestran claramente las líneas de esfuerzos. Además este edificio es uno de los primeros en tener arcos transversales apuntados u ojivales en la nave central, características estrechamente relacionadas con el estilo gótico.



La Iglesia de San Marcos de Venecia (1063) debe menos a Europa Occidental que a Bizancio. Construida para sustituir una iglesia basilical anterior incendiada en 976, tiene planta de cruz griega con cúpula central sobre pechinas apoyadas en cuatro grandes pilares y cúpulas más pequeñas sobre el nártex, transeptos y presbiterio. "Es un edificio sui generis; su emplazamiento único, cerca del Gran Canal, y sus características rasgos decorativos, que se fueron añadiendo con el pasar de los siglos para celebrar la subida al poder de la ciudad, no tienen parangón, y se sitúa fuera de la corriente arquitectónica principal de Europa en esa época." (Risebero, P., op.cit. pp45)

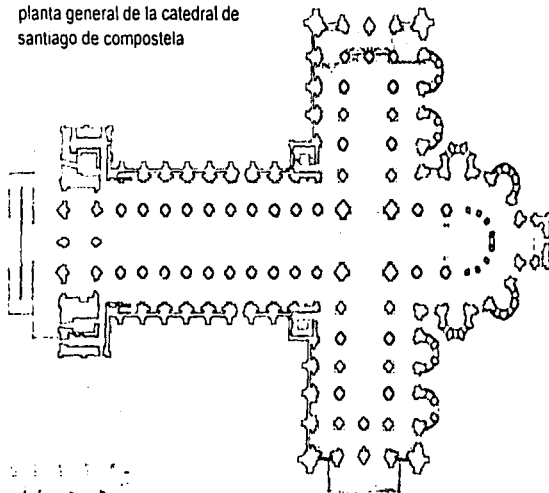


El estilo románico en Italia se empieza a manifestar desde finales del siglo IX, pero alcanza su florecimiento hasta el XII. (Norwich, GADM pp 102) La catedral de Pisa (1063) constituye el centro de un célebre conjunto en el que se halla también el baptisterio y el campanile. Es básicamente un edificio con forma de basilica, con naves laterales dobles a cada lado, pero la formación del crucero, al haberse añadido transeptos, relaciona la forma de la planta con otros edificios contemporáneos de Europa nor-occidental. En los nuevos edificios se hizo una síntesis entre la planta basilical romana y la planta central de cruz griega de Bizancio. Reinterpretada según el lenguaje románico, el resultado fue la planta de cruz latina, la primera planta de iglesia verdaderamente propia de la Europa nor-occidental y base del diseño de la planta de casi todas las catedrales medievales posteriores.

En Italia eran poco frecuentes las iglesias románicas con bóvedas altas, la mayoría tenían cubiertas de armaduras. Los doseles de los porches descansan con frecuencia sobre lomos de animales fantásticos cuyo origen y significado sigue siendo un misterio.

Un aspecto de la creciente identidad europea fue la importancia ideológica de España como bastión del Cristianismo contra el empuje musulmán. Por razones políticas además de las religiosas se despertó un gran interés por el santuario de Santiago de Compostela y por la ruta seguida por sus peregrinos. En el camino se construyeron grandes Iglesias, en Tours, Limoges, Conques y Toulouse, y la catedral de Santiago en la propia Compostela. Comenzada en 1075, se convirtió en foco de gran actividad internacional y de las ideas arquitectónicas europeas. Tiene planta cruciforme con torre sobre el crucero, una nave central con bóveda de cañón y dos transeptos. Las naves laterales tienen bóvedas de arista, sobre éstas las galerías están cubiertas con bóvedas de medio cañón, que sirven como arbotante continuo para contrarrestar el empuje de la bóveda de la nave central. En el ábside hay una girola con capillas radiales que le dan contención al volumen.

planta general de la catedral de santiago de compostela



Gótico



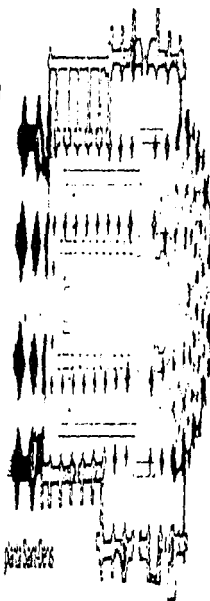
Gótico

Durante la alta edad media el feudalismo predominante empieza a transformarse por el auge del comercio, actividad que establece nuevas relaciones entre los pueblos y nuevas necesidades, de las que deriva el florecimiento de las ciudades como centros comerciales, y por lo tanto administrativos y, desde luego, religiosos.

En Francia, bajo el reinado de Luis VI (1108-37) y su ministro Suger (1081-1151), se impuso un sistema burocrático novedoso que ya se había establecido en Alemania. Para algunos estudiosos es Suger quien marca el inicio del periodo gótico al reconstruir el coro de la abadía de St. Denis cerca de París, donde hace un ensalzamiento simbólico de la realeza plasmando así su carácter religioso y político. El edificio es considerado gótico no sólo por incluir características constructivas como las bóvedas nervadas, los arbotantes y los arcos ojivales que ya se habían realizado previamente en diversos edificios, sino por una distribución del espacio que intentaba prescindir de las divisiones haciendo las columnas más ligeras, los muros de división se hicieron menos importantes, las cubiertas de formas más libres, permitiendo que el espacio fluyese más libremente de una zona a otra.

St. Denis, Francia. Alrededor de los cimientos del antiguo coro carolingio se construye un deambulatorio doble. Del deambulatorio exterior arrancan siete capillas radiales, cada una de ellas dotada de dos grandes vitrales que reducen el macizo a las estrechas bandas de los contrafuertes. El deambulatorio interno y las capillas del deambulatorio externo se cubren con bóvedas articuladas por nervaduras en forma de arcos ojivales.

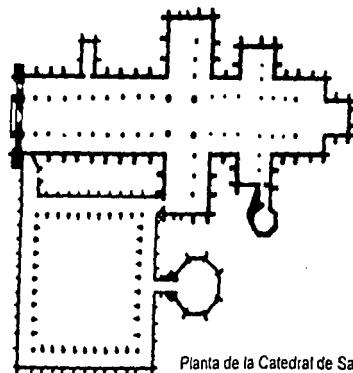
"La seguridad en la resolución de las fuerzas estructurales es tal, que las bóvedas se apoyan sobre las doce columnas más esbeltas (...), confiriendo una ligereza al interior que produce una impresión de que las bóvedas quisieran ascender y sólo su unión a las columnas les impidiera hacerlo; un efecto radicalmente opuesto a la sensación de pesadez y de gravedad que transmiten las bóvedas románicas." (Risebero, P. op cit. pp. 62)



La catedral gótica es, en cierta forma, un subproducto de las cruzadas. Cuando los primeros cruzados vieron Constantinopla quedaron maravillados por la riqueza y el tamaño de la ciudad y por la magnificencia y esplendor de Santa Sofía, ya que no había en toda Europa una catedral que se pudiese comparar con ella.

La construcción de catedrales se convirtió en una actividad en la que se plasmaban los diferentes estratos sociales de las nuevas ciudades: Se construía para que los hombres de sentimientos religiosos glorificasen a Dios, aunque paradójicamente su construcción dependía del dinero de la burguesía —clase en conflicto moral con la Iglesia—, de los conocimientos matemáticos y constructivos no Cristianos traídos de Oriente por las cruzadas, y del talento del maestro albañil, cuya experiencia y educación tenían lugar fuera del ámbito de la iglesia.

"Los edificios góticos se sitúan en un punto de transición crucial de la historia, entre la alta Edad Media dominada por la Iglesia, y el mundo libre y secular del renacimiento. Quizás sea este mismo hecho lo que las haga de forma indiscutible uno de los mayores logros de la arquitectura occidental; son la expresión perfecta de la tensión dialéctica entre dos mundos: entre la fe religiosa y la razón analítica, entre la serena y cerrada sociedad monástica del mundo antiguo y el expansionismo dinámico del nuevo". (Risebero, P., op.cit. pp. 62)



Planta de la Catedral de Salisbury

La Catedral de Salisbury es característica del estilo temprano inglés. La tendencia era construir fuera de las ciudades. A diferencia de las catedrales góticas francesas, las grandes torres no se situaban en la fachada principal, sino que se construía una gran torre sobre el crucero. Los transeptos eran mucho más prominentes, y a menudo dobles; y se construía un testero plano en lugar de un ábside con capillas radiales, además de un claustro y una sala capitular.

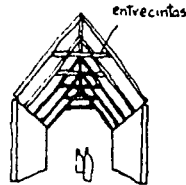
desarrollo de la cubierta de madera

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



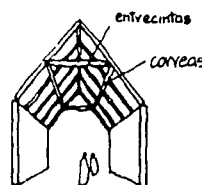
paredes de cubierta

cubierta pequeña sencilla a base de pares exclusivamente



entrecintas

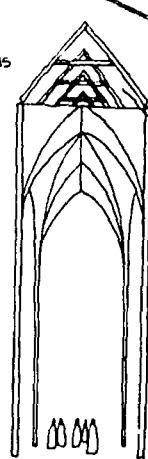
cada dos pares se unen con entrecintas



entrecintas

correas

los entrecintas sirven de apoyo a las correas



a menudo se utilizaban cubiertas de madera sobre bóvedas de piedra para sujetar la cubrición



paredes con entrecinta y jabalcon

en edificios pequeños, las cubiertas con jabalcones se empleaban a menudo por su efecto decorativo

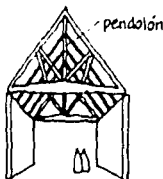


otra posibilidad era revestir la estructura con un artesonado decorativo de madera: llamada "cubierta de barril"



viga de alado

si el tirante se bajaba hasta el nivel del alero se convertía en viga de alado, muy eficaz estructuralmente

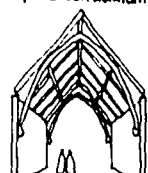


pendolón

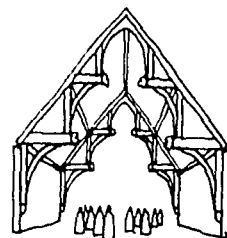
al igual que la cubierta con viga de alado, a menudo las cerchas con pendolón enmascaran la forma de la cubierta



la cubierta con viga de alado, a menudo muy decorada, era adecuada para cubiertas poco inclinadas



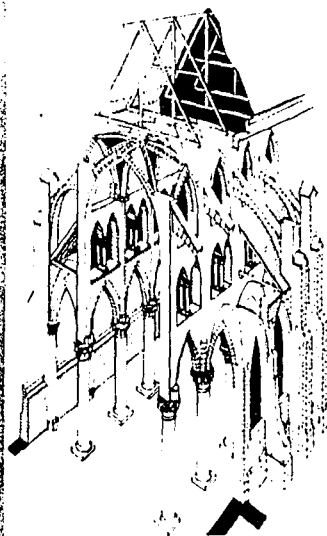
los cuchillos arqueados fueron el primer paso hacia la construcción de...



...cerchas de gran luz, probablemente la cima del diseño medieval de cubiertas



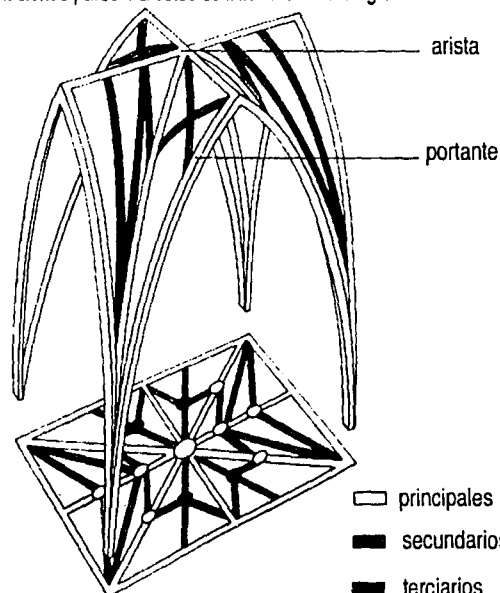
Durante el gótico continuó la construcción de castillos y fortalezas, la intención de elevar las cubiertas hacia el cielo permeó también a la arquitectura civil. En las imágenes: el Alcazar de Segovia.



Probablemente traído de oriente, el arco apuntado u ojival permite no utilizar módulos cuadrados necesariamente, permitiendo una gran libertad de planta: el arco semicircular tiende a imponer un módulo estructural cuadrado, que limitaba las plantas de las formas románicas, pero al poder igualar las alturas para diferentes claros mediante el uso de arcos ojivales, la planta gótica gozaba de mucha mayor libertad. Son frecuentes los módulos estructurales rectangulares, produciendo plantas de gran flexibilidad, economía estructural y espacios más sutiles.

Interiormente, las catedrales góticas, tienen naves laterales, por lo general más bajas que la central, cubiertas con bóvedas nervadas o de crucería. Estas naves se comunican con la central a través de un sistema de arcadas ojivales. Sobre las naves laterales corren unas pequeñas galerías de arcadas, por lo general triforas (es decir, divididas verticalmente en tres partes por dos columnas más pequeñas) que quedan comprendidas entre las arcadas de las naves laterales y las ventanas de linterna, y corresponden a los tinglados de cubierta de las naves laterales. Esas galerías ciegas reciben el nombre de triforio, sobre el triforio se abren los grandes vitrales de vidrio de colores subdivididos por una delicada tracería de piedra. Los vitrales están enmarcados por esbeltas columnas que al elevarse forman un conjunto de arcos ojivales, cuyo coronamiento está perforado por un círculo en el centro, generalmente de forma polilobulada (rosotón).

La red de delgadas columnas del triforio, así como la tracería de piedra, coadyuvan a poner el acento vertical característico de la catedral gótica. Este sentido de verticalidad genera una ilusión óptica haciendo parecer a estos edificios mucho más grandes.



nervaduras portantes de una bóveda

Desarrollo de la bóveda

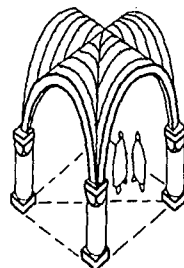


los romanos habían utilizado bóvedas de cañón corrido, con casetones para reducir peso...

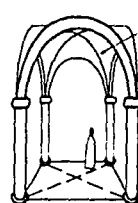


módulo repetitivo o compartimento

...y habían creado también la bóveda de arista que aportó el concepto de la bóveda modulada

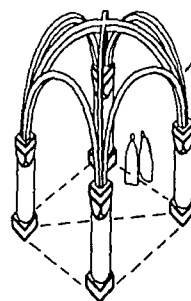


los normandos pudieron utilizar pesadas bóvedas de arista en piedra principalmente en construcciones subterráneas y criptas

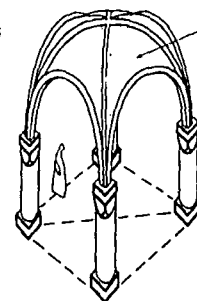


arista

uno de los puntos más débiles de la bóveda de arista era la propia arista, que podía fallar con facilidad. Otro problema era el soporte continuo que requería en toda su extensión durante su construcción



nervaduras

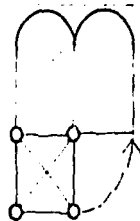


paneles ligeros de relleno

esto cambió en el sigloXII con el desarrollo de la bóveda nervada. Durante la construcción sólo las nervaduras requerían cimbras, y...

...los paños que quedaban entre ellas podían rellenarse después con piedra ligera, lo que permitía reducir el tamaño de los soportes

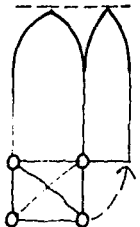




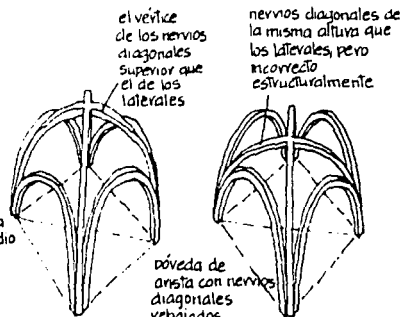
el arco apuntado

bóveda de arista con arcos de medio punto en lados y diagonales

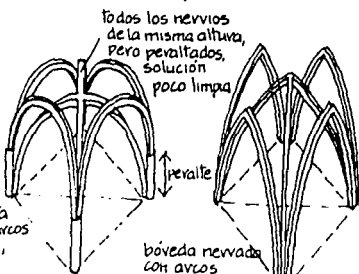
el arco apuntado dobla la posibilidad de no utilizar módulos cuadrados



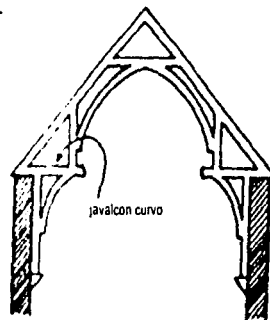
bóveda de arista con todos sus arcos semicirculares, pevalitando los arcos laterales



bóveda de arista con nervios diagonales rebajados



bóveda nervada con arcos apuntados: correcto estructuralmente, de altura uniforme y satisfactorio visualmente



Sobre las naves de piedra de la catedral gótica aún hay otra estructura importante, la armadura de madera de la cubierta a dos aguas, que en Amiens se alza a 60.9 metros del suelo. Estas empinadas cubiertas, muy prácticas para la pronta evacuación del agua y la nieve, presentan una gran resistencia al viento por lo que normalmente se requieren dos juegos de arbotantes: los inferiores para transmitir los empujes de las bóvedas a los contrafuertes exteriores, y los superiores, destinados a trasladar el empuje del viento sobre la cubierta hacia la parte superior de los contrafuertes externos.

Otra característica del estilo gótico es el desarrollo del sistema de armadura llamada estilo Tudor, o cerchas con vigas en escuadra, en la que los montantes principales se apoyan sobre piezas progresivamente voladas, primero sobre vigas jabalconadas, y éstas a su vez sobre jabalcones curvos que asoman en voladizo de las paredes. Este sistema permite cubrir grandes claros por la distribución de los esfuerzos.

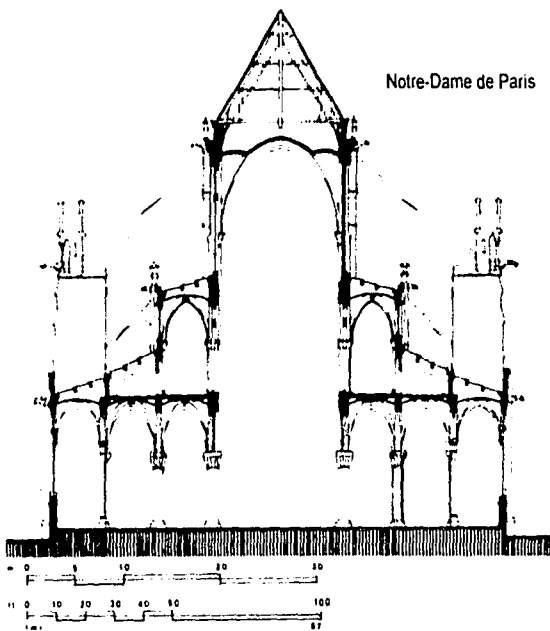


Sala de Ricardo III en el palacio de Westminster en Londres, obra del maestro Hugh Herland. Con un claro de 20.7 metros, éste es un de los ejemplos de mayor tamaño que han perdurado con cerchas góticas de madera. El arco principal soporta la cubierta, y es reforzado por el arco secundario que a su vez se apoya sobre las vigas en escuadra.



Sin duda la innovación más espectacular del estilo gótico fue la casi eliminación de los muros por el uso de vitrales policromos, membranas de vidrio que representaban escenas de las Sagradas Escrituras. De este modo, en piedra y vidrio de color, el edificio entero de convirtió en una Biblia para el analfabeto haciendo familiares las imágenes para nobles y siervos.

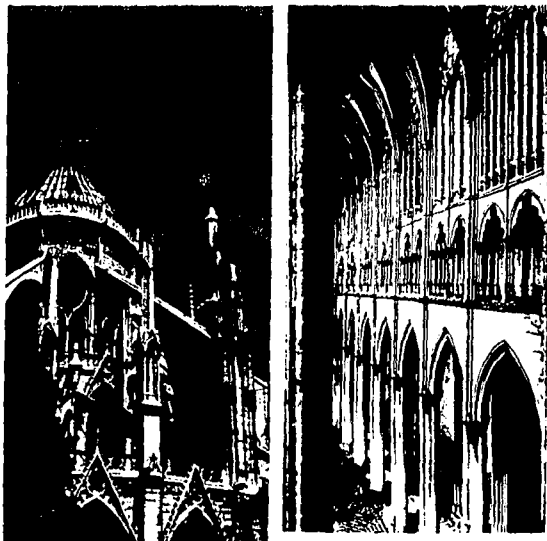
Notre-Dame de Paris



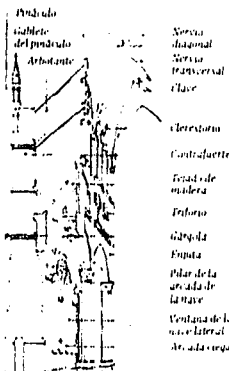
Notre-Dame de Paris. Sección transversal en la que se muestran los arbotantes empleados para transmitir los esfuerzos laterales de la cubierta y las bóvedas a los contrafuertes exteriores. Esta catedral es arquetípica entre las catedrales francesas, siendo además una de las primeras. La gran altura interior de la nave a 32m con su bóveda de crucería es característica de muchos edificios posteriores, así como la ampliación lateral de la nave central mediante naves laterales. Los transeptos se sitúan aproximadamente a la mitad del edificio: la parte oriental, con su remate en ábside y numerosas capillas es casi tan grande como la occidental. La altura exige tres niveles de arbotantes por todo el perímetro. El extremo oeste tiene dos grandes torres entre las que se sitúa el rosetón y sobre el crucero no se sitúa una torre sino una alta aguja aislada.

A medida que los constructores iban experimentando y llevando la técnica hacia sus límites, las catedrales se fueron haciendo más grandes y más ligeras. En Notre-Dame de Paris al ampliar la nave de 32.9 metros de altura desde el deambulatorio hacia el oeste, se tomó la decisión de aumentar el tamaño de las ventanas de las galerías, lo cual implicaba que las bóvedas de la nave habían de ser arriostradas de manera no convencional haciendo necesario exponer los arcos inclinados oblicuos encargados de resistir el empuje de las bóvedas de la nave por encima de las cubiertas laterales, bajando desde el borde superior del muro de la nave central hasta las prolongaciones verticales de los contrafuertes de las fachadas laterales. Es así como nacieron los arbotantes o arcos botarel, innovación que rápidamente se adoptó en otras catedrales como Chartres, Ruán, y Reims.

La catedral de Notre-Dame de Amiens es la máxima expresión del gótico francés en la que se plasman los avances tecnológicos y constructivos, además de que se construyó en un periodo muy breve (1220-1289).



Se muestran los elementos más importantes de una catedral gótica



Notre-Dame de Amiens. Se aprecia el tamaño creciente del coro en las catedrales góticas francesas, haciendo que el transepto se desplace hacia una posición más central dentro del mismo conjunto.



Era todavía muy limitado el conocimiento que de la teoría de las estructuras tenía el arquitecto gótico, incluso obras de gran audacia como Beauvais o Westminster Hall se debían más a la experiencia y a la intuición que a un análisis exacto de cargas y de fuerzas. Las cerchas de las cubiertas a menudo tenían elementos superfluos sin función estructural; a las bóvedas se les añadían nervios sin función estructural, entre los cuales se podían ver los nervios auténticos; se construían bóvedas colgantes, como estalactitas, sin más función real que causar sorpresa y admiración. En la arquitectura gótica tardía estos elementos se utilizaban cada vez más convirtiéndose en una especie de manierismo. (Risebero, B. op.cit., pp90)

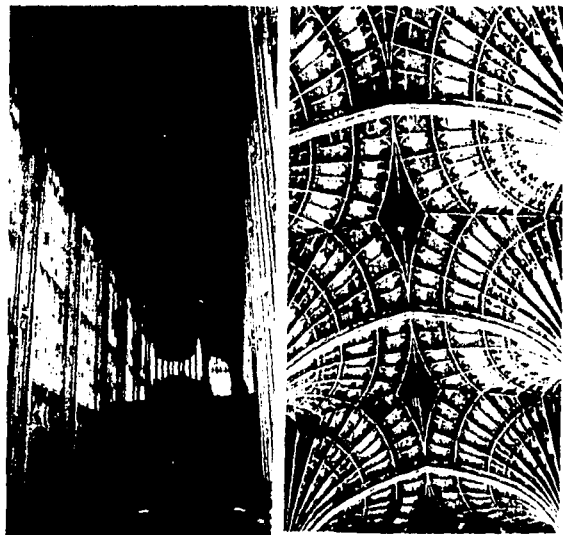
El perfeccionamiento de las técnicas constructivas llevó a niveles de ornamentación abigarrados y complejos que en Francia se conoce como el estilo gótico flamígero por la profusión de formas curvas en los adornos que asemejan una hoguera.

Iglesia de Saint Maclou, Ruán. La elaborada tracería de la fachada la caracteriza como un buen ejemplo del estilo gótico flamígero.



En Inglaterra la forma tardía del estilo gótico se conoce como gótico perpendicular debido al predominio de líneas verticales seguidas, así como al equilibrio de horizontales y verticales que forman una especie de retícula. También son características las bóvedas de abanico.

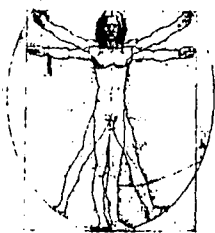
Catedral de Gloucester. El nuevo presbiterio es un ejemplo claro del estilo gótico perpendicular.



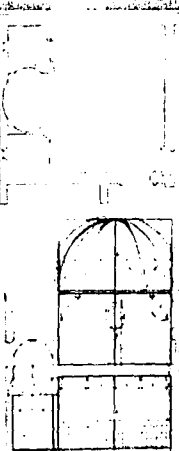
La capilla del King's College, en la universidad de Cambridge muestra el nivel de sofisticación de las bóvedas de abanico típicamente inglesas.

Renacimiento y Barroco

II.11



Leonardo da Vinci, dibujo del hombre-patrón de Vitruvio, ca. 1485-1490. Para Leonardo, como para Vitruvio, la forma del cuerpo humano englobaba la esencia de la forma ideal (la geometría perfecta del círculo y el cuadrado) y contenía las relaciones ideales de proporcionalidad.



Existen una serie de sucesos que prepararon el camino para hacer posible el "renacimiento" de la cultura clásica de Grecia y principalmente de Roma en Europa. A partir del siglo XIV, tras formar alianzas políticas y económicas, serían la burguesía y la monarquía eclesiástica, quienes fueran los responsables de la mayor parte de la inversión en la construcción. Surgió, en Italia primero, la existencia de una nueva clase, una aristocracia mercantil de riqueza y poder sin precedentes que había atraído a sus filas a gran parte de la nobleza feudal, asumiendo su educación y desarrollo. Estos nuevos príncipes tomaron posiciones de poder absoluto. Los cambios político-económicos se produjeron en Italia con mayor rapidez que en otros países, los mercaderes del norte de Europa usurparon con lentitud el poder de la aristocracia hereditaria. En sustitución de las instituciones medievales aparecen las ciudades-estado oligárquicas de Milán y Florencia. Mientras en Europa se instauraba poco a poco un incipiente capitalismo, la Edad Media llegaba a su fin.

La tradición europea de construcción que se desarrolló durante el período gótico, basada en la habilidad y en la experiencia transmitida a través de la práctica y no por la teoría, permitió el surgimiento de estilos locales y el florecimiento de talentos individuales, separando al arquitecto -diseñador de espacios- del artesano tradicional. Esto dio lugar a que varios historiadores consideren al Renacimiento como una época de culto a la personalidad. Y a su vez, la invención de la imprenta de caracteres móviles, por J. Gutenberg (1400-1468), revolucionaría la comunicación escrita y permitiría un rápido aumento de la transmisión de ideas en forma escrita: la tradición medieval de comunicar el conocimiento constructivo por medio del ejemplo práctico, fue sustituida por la difusión de las ideas teóricas en libros. (Riseberro, B. HDDLA pág 96)

Otro cambio que caracteriza la antepuerta del renacimiento es el mecenazgo en arte y arquitectura. Los primeros grandes mecenas de la nueva arquitectura fueron los banqueros y mercaderes florentinos que dominaban políticamente, especialmente los Médicis. Éstos junto con otras familias, compaginaron sus ambiciones políticas con la tarea de proporcionar edificios públicos y religiosos para todos los ciudadanos, patrocinando a artistas y arquitectos de la talla de Ghirlandaio, Donatello, Botticelli, Miguel Ángel, Alberti, Brunelleschi y muchos otros.

El renovado interés por la antigüedad que caracterizó al renacimiento empezó por la relectura de las obras de los autores clásicos, como Virgilio y Cicerón. La historia de Grecia o de Roma les pareció más familiar incluso que su propio pasado reciente, el cual calificaron de "edad media del oscurantismo" y llamaron a la época que vivían, en la cual podían igualar las glorias de la antigüedad, una "rinascinta".

De esa intensiva lectura de la literatura clásica surgió un nuevo programa de enseñanza basado en la *humanitas* (naturaleza humana), o 'humanismo'.

El humanismo era una filosofía que resaltaba la importancia de los valores y logros humanos distinguiéndolos del dogma religioso. El humanismo ponía el acento en la investigación objetiva a la luz de la razón humana; no en un rechazo al cristianismo, sino en reconciliación del punto de vista clásico sobre el potencial humano (arete) con la fe cristiana.

Los artistas italianos rápidamente fueron redescubriendo su historia romana imperial. El motivo de su inspiración no sólo venía de las propias ruinas romanas, sino también de los escritos de Vitruvio (Los diez libros de arquitectura), arquitecto romano del siglo I. "Las formas idealmente proporcionadas descritas por Vitruvio derivan de las formas geométricas puras tratadas por Platón en su *Filebo*, formas engendradas por líneas rectas y círculos, así como los sólidos tridimensionales formados con ellas. Para Platón esas formas no sólo tenían una belleza inherente, sino que eran eterna y absolutamente hermosas" (Roth, L. op. cit. pág. 345).

Mientras que el pintor empieza a investigar la geometría de la perspectiva y el escultor comienza a preocuparse por la estructura de la anatomía humana, el arquitecto comienza a interesarse por la armonía que otorgan al edificio la elección de dimensiones matemáticamente relacionadas. (Riseberro, B. HDDLA, pág. 99) Los arquitectos del renacimiento basaban sus proyectos en las relaciones numéricas claramente expresadas, evocando el misticismo de Pitágoras.

El círculo fue una figura especialmente apreciada por los diseñadores renacentistas simbolizando la perfección. El círculo y el cuadrado pasaron a ser los módulos básicos de proyecto de su arquitectura; los bordes de tales módulos se resaltaban mediante columnas clásicas, arcos y entablamentos, derivados de los modelos romanos. El ideal de belleza consistía en la cuidadosa organización de las partes reguladas por relaciones de proporcionalidad.

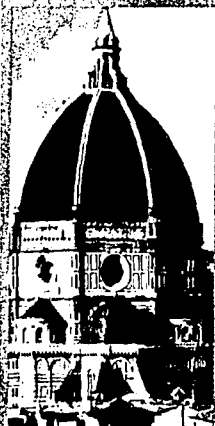
Los arquitectos de italianos renacentistas centraron sus esfuerzos en aplicar este orden a su arquitectura. Como claramente lo expone Brunelleschi en la Sacristía Vecchia de San Lorenzo, encargada en 1418, su intención era la de crear un volumen organizado en cubos de espacio. A veces se le atribuye a Brunelleschi el haber sido el primero en analizar las leyes de la perspectiva, lo que permitió a los arquitectos investigar los efectos espaciales antes de construirlos.

Los edificios de Brunelleschi siempre exhiben esta característica llevada a la perfección; sus obras muestran una riqueza de efectos espaciales que sólo puede haberse logrado a partir de una meticulosa concepción previa.



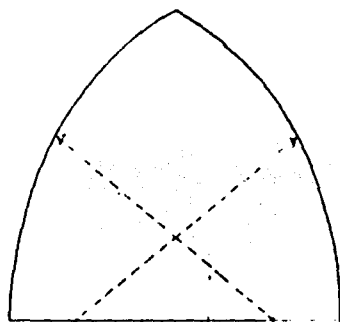
TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

Catedral de Florencia 'la Cupola'



La cúpula de la catedral de Florencia

La historiografía tradicional ubica el renacimiento de la arquitectura clásica en Florencia, en 1420, y su símbolo es la cúpula de la catedral Santa María del Fiore, "la Cupola". La catedral de Florencia comenzó a ser construida en 1294 por Arnolfo di Cambio y más tarde, en 1357, fue continuada por Francesco Talenti con métodos constructivos y concepciones de diseño góticos. Pero no fue terminada sino hasta 1413, año en que se completó el tambor octagonal que recibiría la cúpula. El diseño original de ésta definía que debía seguir un perfil llamado "a quinto acuto", que consiste en un arco apuntado con un radio igual a cuatro quintos del claro que cubre, diseño que se generó probablemente más por un capricho formal que por concepción estructural.



Geometría de la cúpula "a quinto acuto".

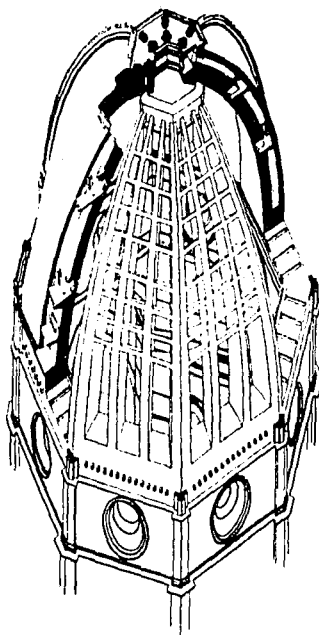
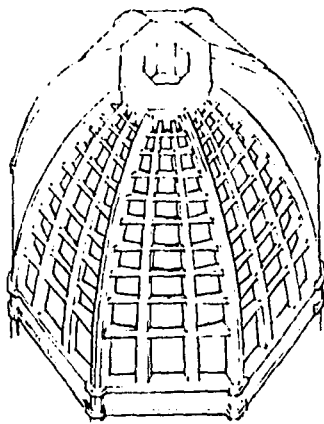
Aunque no se tenía bien definido un modelo estructural de cómo lograr la construcción de dicha bóveda cubriendo los 42.2 metros de luz del tambor octagonal, se convocó a un concurso en 1418 para realizar los trabajos de construcción de la cúpula. Las autoridades eclesíasticas prohibieron que los apuntalamientos de las cimbras se apoyaran sobre el suelo de la catedral, así que ningún ganador fue seleccionado hasta que Filippo Brunelleschi (1377-1446), orfebre, pintor y escultor, presentó en 1419 un novedoso proyecto en el cual la cúpula podía construirse sin apuntalamientos de madera al piso. Brunelleschi había estudiado exhaustivamente los edificios romanos y de éstos observó precisamente que el Panteón era la prueba existente de que construir cúpulas cubriendo semejantes claros era posible.

Este análisis de la arquitectura clásica llevó a Brunelleschi a una innovadora misión arquitectónica: en un periodo de 27 años creó una nueva arquitectura, coronada por la terminación de la Cúpula, que junto con la capilla Pazzi, El hospital de los Inocentes, la Sacristía Vecchia, la nueva iglesia de San Lorenzo y la del Santo Espíritu, y numerosos palacios, transformaron el pueblo medieval de Florencia en la capital del Renacimiento Italiano.

Los trabajos de construcción de la cúpula comenzaron en 1420, Brunelleschi se mudó a una casa ubicada al pie de la base de la cúpula, para supervisar personalmente a detalle la evolución de su construcción. Escogió personalmente el barro de los tabiques y supervisó su homeado. Determinó de qué canteras se obtendría la piedra y el mármol para la mampostería. Diseñó andamiajes y barandillas para proporcionar más seguridad a los albañiles, y entrenó cuadrillas enteras de éstos en las diferentes tareas para llenar todos los turnos de labores. Se dedicó por completo 16 años de su vida a ver terminada su obra más importante, hasta que en 1436 la Cupola estuvo terminada.



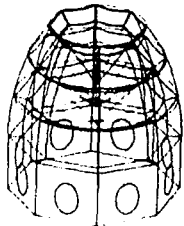
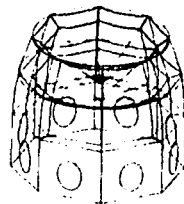
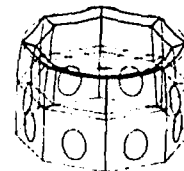
(1) El esqueleto de la Cupola consiste en ocho nervaduras principales con forma a *quinto acuto* que arrancan de los vértices de la planta octagonal y que tienen 4.2 m de espesor, con dos nervios adicionales en cada lado del octágono de 2.4 m de espesor. Las nervaduras decrecen en profundidad conforme se acercan al octágono de la pieza clave, sin embargo esta es suficiente para conectar ambas cúpulas. Aunque la superficie terminada nos da la lectura de una cúpula octagonal (semejante a la de rincón de claustro), los anillos circulares hacen que funcione como una cúpula o bóveda circular. Los 24 nervios meridionales y los seis anillos horizontales descargan la mayor parte del peso de la cúpula a la base, sin embargo éstos con la mampostería de tabique de barro forman un sistema completo no separado; no debemos olvidar que ambas partes alcanzaban la misma altura simultáneamente durante la construcción.



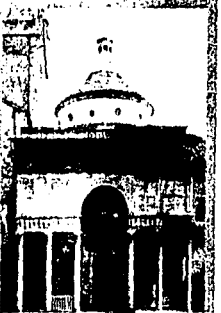
(2) Se muestra la doble cáscara de la cúpula, nervaduras, anillos y las galerías en los intersticios.

La "invención" de Brunelleschi, tenía varios componentes interesantes. El primero y más importante de ellos es la doble cúpula de mampostería, que consiste en una gruesa capa octagonal interna conectada a otra más delgada exterior por medio de nervaduras siguiendo los meridianos (1). Dos cúpulas incrementan la resistencia de la estructura entera, permitiendo su inspección mediante escaleras y galerías dispuestas en el intersticio (2). El componente estructural esencial de la cúpula lo conforman 6 anillos de bloques de piedra arenisca atados entre sí con llaves de hierro cubiertas de plomo, que prevendrían la deformación de la doble cúpula bajo los enormes esfuerzos de tensión en los paralelos (1). Mientras el Panteón debe su fuerza al enorme peso de su gruesa masa de mampostería y concreto romano, la Cupola se materializaba en dos ligeras y delgadas cúpulas que debían su fuerza a los anillos de piedra y hierro, previniendo el colapso en cualquier etapa de construcción. La cúpula interior tiene 2.1 m de espesor en la base y 1.5 en la cumbre; la exterior tiene un espesor de 75 cm en la base y 38 cm en la cumbre. Los anillos están embebidos en la mampostería de ambas cúpulas a intervalos verticales idénticos.

(derecha) Diagrama que muestra la geometría a *quinto acuto* en el diseño de las etapas constructivas.

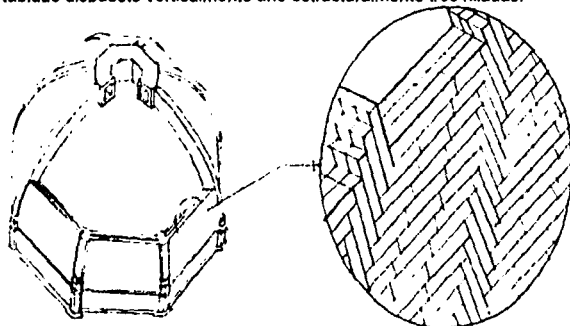


Vista del interior de la Cupola



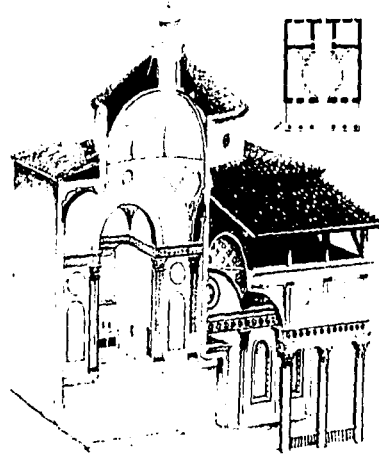
Brunelleschi sabía, por sus estudios de las cúpulas romanas, que una bóveda circular es estable en todo momento durante su construcción pues la última hilada siempre actúa como pieza clave para los meridianos, previniendo que estos se vengán abajo por la parte inferior. Así es como la bóveda circular puede autosoportarse sin apuntalamientos durante su construcción, siempre y cuando se prevenga la tendencia de los paralelos a reventarse, cosa que Brunelleschi logró con los anillos de arenisca. A este último hecho podemos añadir que precisamente el diseño apuntado a quinto acuto disminuye la tendencia de la cúpula a deformarse.

Sin embargo, mientras está en construcción la última hilada puede soportar los esfuerzos de los meridianos sólo cuando es un anillo completo capaz de resistir compresión. No es posible obtener instantáneamente una hilada de mampostería, y mientras esté incompleta y abierta no podrá soportar los meridianos. Brunelleschi resolvió este problema, simplemente uniendo las hiladas superiores incompletas a las que estaban completas debajo de ellas. Esto se logró mediante el aparejo de los tabiques en forma de espina (3) cada tabique dispuesto verticalmente una estructuralmente tres hiladas.

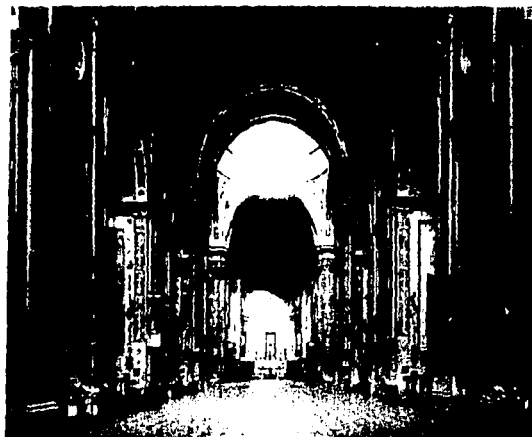


Aparejo en forma de espina. Brunelleschi comprendió también que, para que la mampostería de tabique trabajara como el concreto romano, los tabiques no debían colocarse horizontales uno sobre otro, sino que debía dárseles una inclinación de manera que formaran ángulos rectos con la superficie de la cúpula.

Desde el punto de vista exclusivamente técnico, la cúpula de la catedral de Florencia no es un diseño clásico. Se trata de una solución nervada y su método constructivo está basado en la técnica gótica de construcción. Pero lo que señala a la Cupola como una creación del renacimiento no son sus propiedades técnicas, formales u ornamentales, sino la audacia de su construcción y su tamaño a escala romana, otra vez se volvían a cubrir grandes claros en Italia.

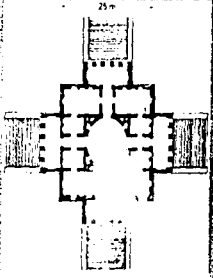


Capilla Pazzi en Florencia (1430), F. Brunelleschi.

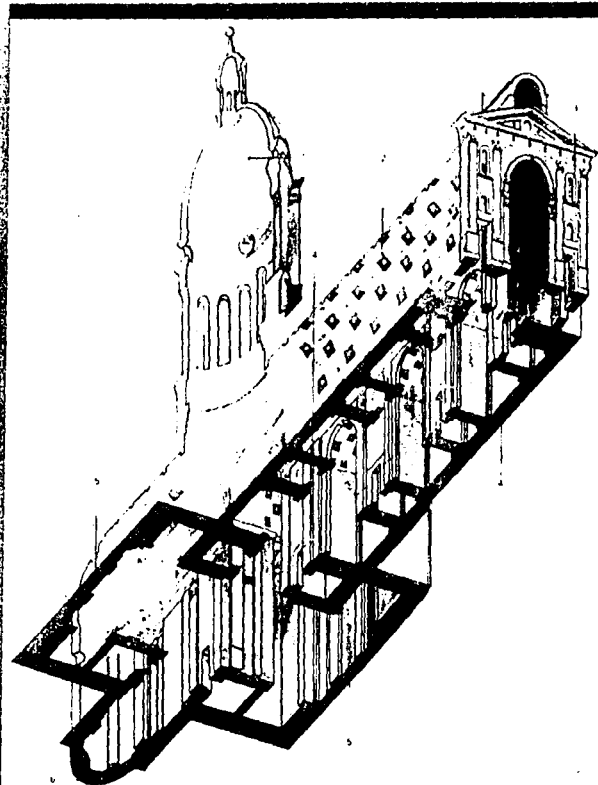


San Andrés de Mantua, 1472.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Villa rotanda, Andrea Palladio, 1567.



San Andrés de Mantua, 1472. 1. Cúpula, 2. bóveda de cañón encasetonada, 3. fachada con frontón, 4. capillas laterales, 5. transepto, 6. presbiterio con ábside. En esta iglesia Alberti retoma de la antigua Roma la bóveda encasetonada de cañón corrido hecha de mampostería apoyada sobre macizos pilares, logrando un espacio interior impresionante, aquí como en la basílica de Majencio se contrarrestan los empujes de la bóveda central mediante bóvedas laterales perpendiculares. Para los teóricos, como Alberti, el círculo y la planta central por él generada, eran símbolos religiosos de la perfección divina con un alto poder evocador. En muchos casos, los arquitectos del renacimiento, tuvieron que adaptar su predilección por una planta centralizada a una planta basilical gótica existente. En este caso se sometió a los deseos de los clérigos, desarrollando una planta en cruz latina cuidadosamente modulada y proporcionada, con un claro lenguaje clásico.



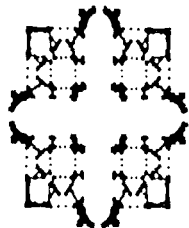
La Rotonda o Villa Capra, Vicenza 1567. Andrea Palladio explotó profusamente los sencillos volúmenes cúbicos y las formas elementales del primer renacimiento, los sólidos platónicos, en el diseño de más de 40 villas campestres que construyó en los alrededores de Venecia y Vicenza. Este ejemplo es la más famosa de ellas, concebida como una rotonda centralizada rematada por una cúpula, en torno a la cual, se disponen simétricamente cuatro pórticos hexástilos de orden jónico. El uso de la cúpula en una residencia privada era un novedad introducida por Palladio.

El renacimiento se caracteriza por ser, también una época de descubrimientos e inventos extraordinarios. La exploración del mundo por los europeos fue estimulada en un principio por las clases capitalistas, en la búsqueda de nuevas rutas hacia la India y China para romper el monopolio italiano de las rutas comerciales orientales. Pero de una forma insospechada se descubrió un nuevo continente y su colonización relegó a India y China a lugar secundario. Surgieron conflictos por la posesión de las nuevas tierras. El aumento súbito de la circulación de oro y plata produjo un desequilibrio de la economía, aparejado por una mayor diferenciación en el nivel de vida de clases sociales ricas y pobres, estableciendo el patrón de la economía y del sistema de clases posterior de la era industrial.

También florecieron los descubrimientos científicos, aunque la tecnología no se veía beneficiada necesariamente de ello; la tecnología era competencia sólo de los artesanos, ciencia y tecnología no convergen en un corto plazo. Sin embargo los descubrimientos y los hechos se clasificaron de una forma que permitiría en el futuro el surgimiento de las teorías científicas.

Hacia finales del siglo XV —llamado también el *quattrocento*— los detalles clásicos y los ideales clásicos renacentistas empezaron a transmitirse al exterior de Italia hacia el resto de Europa. Tal difusión, en gran parte, se debió al desarrollo de la imprenta, ya que gracias a ella empezaron a multiplicarse las ediciones de los tratados de arquitectura, como los de Vitruvio, Alberti y Palladio. Pero el contacto directo propiciado por los nuevos tratos comerciales y el resurgimiento de las grandes ciudades, también contribuyó a la expansión de la nueva arquitectura.

Los preceptos renacentistas arquitectónicos y artísticos fueron transmitidos, a su vez, a las nuevas colonias, junto con todo el sistema político, religioso y económico.



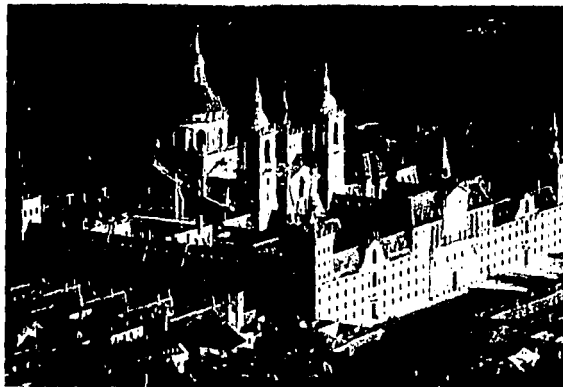
(1)



(2)



(3)

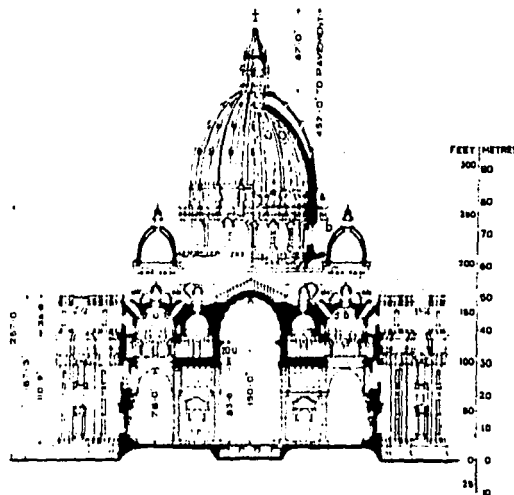


El Escorial (1563-1584). Su perfecta unidad de estilo no permite adivinar que intervinieron en él dos arquitectos: Juan Bautista de Toledo y Juan Herrera. El edificio, severo, austero y de rigurosa geometría, tiene una planta rectangular de 204 x 161 m.

El orden clásico apareció en la arquitectura florentina en 1418, en la obra de Brunelleschi. Para 1502, la arquitectura florentina había alcanzado su apogeo -año en que se construye el Tempietto de Bramante-, una fase caracterizada por la serenidad, la claridad formal y la precisión en la reinterpretación de las formas arquitectónicas clásicas; el objetivo de esta arquitectura era alcanzar la claridad y un estado de equilibrio y orden racional absolutos. Pero este objetivo fue alterado hacia 1530, por la búsqueda de una mayor expresividad formal, mediante la introducción de sutiles tensiones y de un nuevo e intencionado sentido lúdico en el diseño. Esta tendencia se conoce con el nombre de *manierismo*.

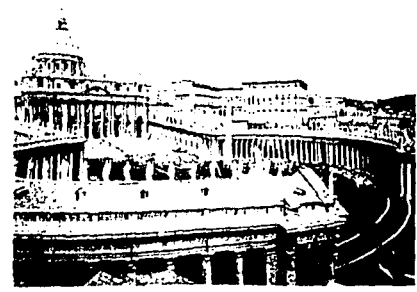
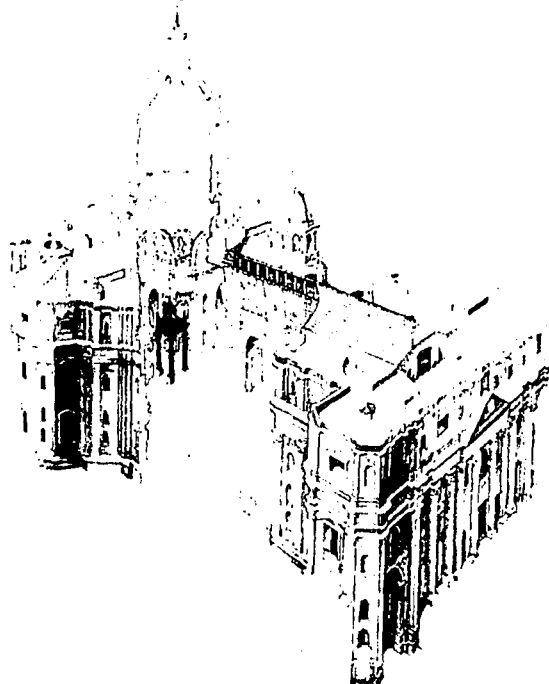
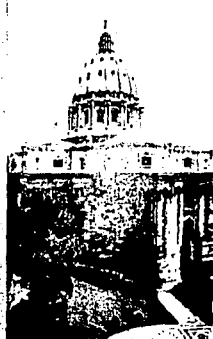
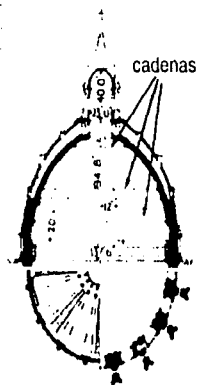
En realidad no hubo innovaciones estructurales en el manierismo, sin embargo, los manieristas reemplazaron el círculo por el óvalo como dispositivo modulador, recargando la decoración y exagerando los motivos clásicos, provocando un cambio de escala. La ambigüedad de la forma elíptica tipifica el método del proyecto manierista, pues en vez de ser una figura centralizada, sugiere dos focos, tiene un eje mayor y uno menor.

San Pedro en Vaticano, Roma. (1) Planta proyectada por Bramante en 1504. La solución era centralizada en cruz griega con una enorme cúpula (41.5 m) sostenida por cuatro grandes pilares sobre el crucero, a u vez cubierto por bóvedas de cañón y rodeado por cúpulas secundarias. La construcción se inició en 1505 y para 1514, año en que muere Bramante, sólo se habían terminado los pilares y las bóvedas de cañón que las conectaban. Las obras se interrumpieron por varios años por el alto costo que representaban. No fue sino hasta 1547 que se reanudaron las obras, ahora con los nuevos planos proyectados por Miguel Ángel (2); acortó luces, engrosó pilares y muros creando un perímetro más compacto y sólido, en prevención a la excesiva esbeltez de los pilares del proyecto anterior, además, organizó un pórtico de entrada en la fachada oriental que se apartaba del carácter rigurosamente centralizado de la planta de Bramante. Una vez fallecido Miguel Ángel, la cúpula se construyó hasta 1585-1590 por Giacomo della Porta y Domenico Fontana. La cúpula sigue un diseño de 16 nervaduras de piedra y una doble cáscara de mampostería de tabique, con un espesor de 2.7 m desde la base hasta la cumbre y 41.9 m de diámetro(3).



(3)

La base de la cúpula se alza a 76 m sobre el suelo, y la altura total es de más de 100 m. A pesar de ser soportada por los masivos pilares, la cúpula ha tenido que ser reforzada en varias ocasiones; se le han tenido que insertar hasta diez cadenas de hierro para contener los esfuerzos de tensotración (4). De 1606 a 1612 Carlo Maderna alargó la nave para formar una planta en cruz latina y agregó la fachada que hoy conocemos (5). Y finalmente Bernini añadió la imponente columnata barroca que le da forma a la plaza, terminada hasta 1680 (GADM pp175)-fotoÇplaza-



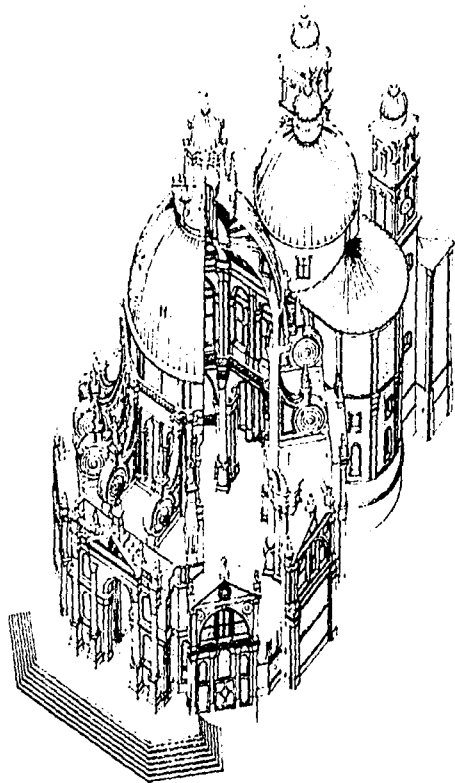
"Muy pronto los acontecimientos políticos y religiosos desarrollados durante el siglo XVI exigirían de los artistas y arquitectos italianos la creación de una nueva fusión de las artes, con el propósito explícito de avivar las emociones y revalorizar el misticismo religioso. Aunque se mantuvieron los elementos arquitectónicos clásicos —columna, entablamento, friso y arco—, la claridad formal empezó a ser sustituida por un nuevo sensualismo. Este cambio, que fue introducido por el manierismo sólo como una insinuación, estallaría muy pronto en la grandiosa teatralidad del barroco". (Roth, L. op. cit. pp. 385)

El estímulo cultural, político y religioso que provocó tal cambio en el carácter de la arquitectura fue la Contrarreforma. Es así como se denomina a la reacción de la Iglesia Católica frente al movimiento de Reforma iniciado por Lutero y Calvino en la primera mitad del siglo XVI y más tarde convertido en la Iglesia Protestante. Tras el rompimiento de ambas iglesias en el Concilio de Trento (1545), hubo una serie de conceptos que diferenciaron a una de la otra y que estaban relacionadas directamente con el dogma y su práctica. Pero hubo otros aspectos que incidían de lleno sobre el diseño de las iglesias y las imágenes visuales; los reformistas (especialmente Calvino) propugnaban la eliminación de cualquier estímulo sensorial en el culto, mientras que la Contrarreforma reafirmó tras el concilio que la música, la pintura, la escultura y la arquitectura se contaban entre los instrumentos más poderosos para realizar la devoción religiosa. Fue así como la Iglesia Católica fomentó vigorosamente el uso de la arquitectura y las imágenes, como medio de creación de un ambiente místico para el culto, montando verdaderos efectos teatrales en los templos.

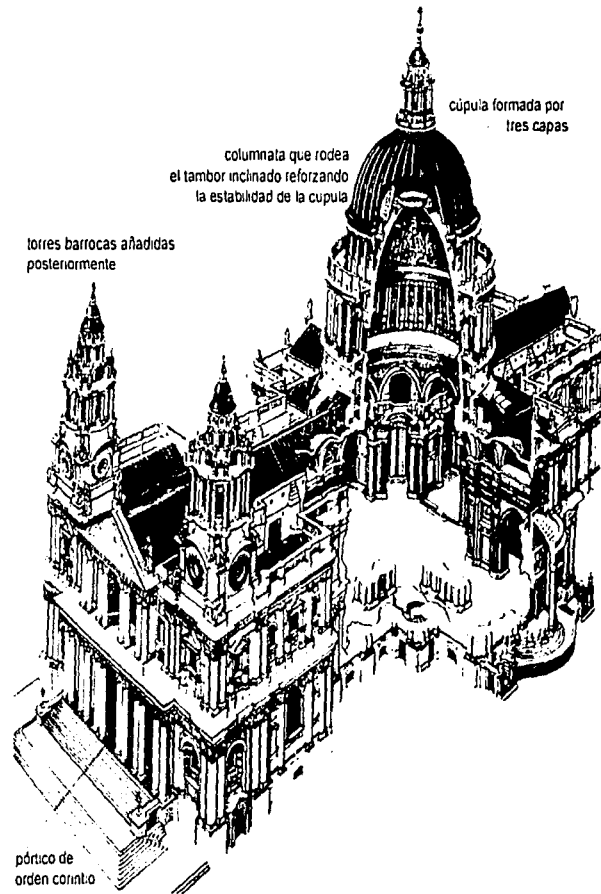
Desde el punto de vista estrictamente arquitectónico, se puede apreciar perfectamente el énfasis puesto por el barroco en la plasticidad escultórica, así como en la manipulación de la luz y la iluminación concentrada. En la arquitectura y el arte barrocos, la línea divisoria entre la realidad tridimensional y la ilusión mística se va difuminando progresivamente. La planta centralizada desapareció, optando por la solución preferida de planta ovalada o de cruz latina, y se dio un notable salto de escala: el edificio del renacimiento se puede abarcar al primer golpe de vista y la relación entre sus componentes se percibe casi inmediatamente, por contraste, los edificios barrocos son tan grandes y complejos que no es posible aprehenderlos con una simple ojeada.

"Los arquitectos del barroco y sus posteriores colegas del rococó, en su esfuerzo por obtener los máximos efectos posibles de espacio moldeado, de la manipulación de la luz, del color y del detalle, crearon una arquitectura cada vez más complicada en la configuración del espacio, manifestando un interés nulo por la expresión de la estructura de sus edificios. La arquitectura pasó a ser un exquisito y vívido revestimiento aplicado sobre algo más; un efecto puramente visual con muy poca sinceridad estructural". (Roth, L. op.cit. pp. 429)

Iglesia de Santa María de la Salud (derecha), iniciada por Longhena en 1631, constituye un perfecto ejemplo de cómo se comienzan a utilizar los detalles barrocos. En este caso las volutas alrededor de la cúpula principal, además de ser ornamento, funcionan también como contrafuertes que dan contención a los empujes producidos por el tambor octagonal que soporta la cúpula. 1. entrada, 2. octágono interior, 3. deambulatorio octagonal, 4. volutas en torno a la cúpula principal, 5 linterna, 6. presbiterio.



Catedral de San Pablo en Londres (1677-1710) por Sir Christopher Wren (1632-1723). Wren, matemático, astrónomo y más tarde arquitecto, proyectó y construyó numerosos edificios en Inglaterra bajo las formas ideales del renacimiento en un estilo barroco inglés. Después de que el gran incendio de Londres acabara con la anterior catedral gótica, Wren fue comisionado para hacer el proyecto de reconstrucción de la catedral de San Pablo. Su diseño consistía en una disposición clásica de coro y nave central alta en cruz latina, con naves bajas laterales cubiertas por bóvedas rebajadas apoyadas sobre pechinas. Sin embargo, en el crucero generó un espacio libre de 34 m delimitado por ocho pilares, en vez de cuatro como era usual, para ser cubierto con una cúpula, lo que le obligó a solucionar el apoyo con ocho pequeñas pechinas sobre los esbeltos pilares (6). La pared estructural del tambor se inclina hacia adentro, ya que de los estudios matemáticos y geométricos realizados por Wren se deducía que esa era la dirección de las fuerzas procedentes de la cúpula superior,



columnata que rodea el tambor inclinado reforzando la estabilidad de la cúpula

cúpula formada por tres capas

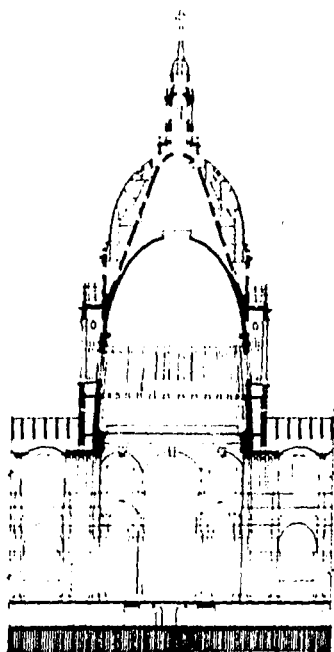
torres barrocas añadidas posteriormente

pórtico de orden corintio

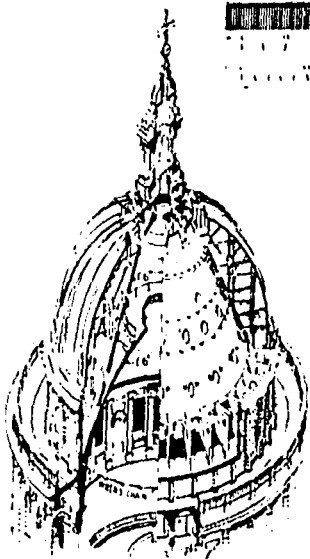
disminuyendo el claro hasta la base de la cúpula a 30.8 m de diámetro (7). La cúpula definitiva es un puro artificio barroco: (8) se compone de una hoja interior de ladrillos y estuco de forma semiesférica, con un óculo en el ápice; un cono intermedio construido con ladrillos y reforzado por una doble cadena de hierro, que a su vez sirve de soporte a la linterna y aguja que se levantan hasta 106 m del suelo; y la más exterior, sin función estructural alguna, hecha de madera y revestida de plomo con dimensiones que le dan la proporción correcta a la majestuosa catedral.



Catedral de San Pablo en Londres.
Vista interior de la cúpula donde se aprecian las ocho pequeñas pechinas.



(7) Corte del transepto.



(8) Detalle de las tres capas de la cúpula barroca.

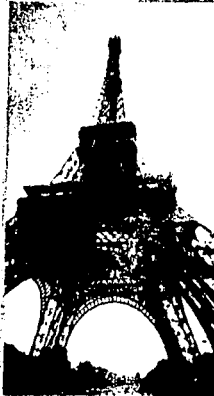


Antiquarium de la Residenz, Munich 1586. Este tipo de bóvedas fueron profusamente usadas en la construcción salones en los palacios barrocos, pues es la solución ideal de techar un sólo espacio rectangular amplio. Es una bóveda de cañón corrido interceptada por varias bóvedas de menor tamaño, de manera que no logra dibujarse la bóveda de crucera, sin embargo se obtiene el beneficio de los lunetos dibujados entre los arcos para iluminar el salón y se aligera el peso de la bóveda concentrándolo en los pilares.

Comienzos de la Era Industrial

II.12

el triunfo de la máquina



Como respuesta al recargamiento y las licencias que se tomaba el barroco, resurgió en el siglo XVIII el gusto por los motivos y la sobriedad clásica en la arquitectura. Este estilo se denominó Neoclásico, aunque sus intenciones fueron completamente puristas, terminó mezclando y superponiendo elementos de arquitectura inglesa, francesa, italiana y aún, barroca. Para las últimas décadas del siglo XVIII, basado en un nuevo interés por la arqueología, empezó a consolidarse un resurgimiento del gótico y la introducción de estilos exóticos —para los europeos— como el árabe; estas 'modas' arquitectónicas se extendieron hasta bien avanzado el siglo XIX y se conocen como 'revivals', se caracterizan por ser completamente eclécticos, es decir, mezclan una diversidad de elementos distintos tomados de varios estilos.

Sin embargo, parte de esta mirada al pasado y repudio al estilo rococó, respondía a una inquietud por acabar con la ornamentación tan espesa del barroco que ocultaba por completo la estructura. Arquitectos como M. A. Laugier, propugnaban por la eliminación del ornamento (Roth, L. "Entender la arquitectura" pp. 434), y por volver la arquitectura a su esencia. Los elementos constructivos básicos de la arquitectura griega y romana les brindaban la oportunidad de hablar esta 'verdad' estructural, al igual que la franqueza de flujo de cargas del gótico. Este pensamiento se plasmó en obras como el Panteón de París (1755–1790), de J.G. Soufflot, en donde grandes columnas sostienen un conjunto de bóvedas y cúpulas rebajadas ligeras apoyadas sobre pechinas, pero que son precisamente lo que pretenden ser, "...cáscaras estructurales de piedra labrada, y no un falso techo de escayola colgado de una armadura oculta" (Roth, L. op.cit. pp437).

Antigua iglesia de Sainte-Genevieve de París, hoy conocida como el Panteón, de J.G. Soufflot, 1755–1790.



Con las filosofías humanistas del renacimiento, se asentó la idea de que el objetivo más noble de la investigación humana era la mejora del mundo físico. Esto provocó que el ritmo de cambio social y económico se acelerara frenéticamente.

El crecimiento de la producción de alimentos, unido al descenso de la tasa de mortalidad, tuvieron como resultado un aumento en la población occidental —de 1700 a 1800 prácticamente se duplicó. El aumento de la productividad en las labores del campo, acompañado de la migración hacia las ciudades, tuvieron gran impacto en la expansión de poblaciones urbanas, en donde empezaron a proliferar los talleres y las fábricas. A la par, la clase media trabajadora y obrera engrosó enormemente sus filas.

El aumento en la producción de bienes de consumo estaba muy ligado a la producción de materia prima más barata, la más importante de las cuales fue el hierro. A raíz de mejoras técnicas en su fabricación, se logró una notable mejora en la calidad del hierro fundido y al facilitarse cada vez más su producción, los costos por tonelada fueron bajando gradualmente; de modo que éste y su derivado, el hierro forjado, se convirtieron en los materiales básicos para el crecimiento industrial.

Uno de los hitos más espectaculares de la época de la aparición del hierro como material estructural fue la construcción del puente de Coalbrookdale en 1777–1778, hecho de arcos biarticulados de hierro fundido.



Puente sobre el río Severn en Coalbrookdale, Inglaterra. Proyecto y obra de J. Wilkinson, T. Pritchard y A. Darby (1777–1778). El puente estaba formado de cinco segmentos de arco paralelos en cada lado (diez piezas en total) y arrojaba una luz libre de 30.5 m. Cada segmento de arco estaba fundido en una sola pieza, y se unían en la cumbre por medio de una clave remachada articulada, también de hierro.

Muy pronto empezaron a surgir nuevos puentes de piezas de hierro fundido reemplazando las dovelas de piedra, al igual que puentes colgantes de cadenas de hierro fundido. Este material se comenzó a emplear también como material estructural en edificios, especialmente en forma de esbeltas columnas para las fábricas de textiles construidas en la década de 1780, algunas de ellas cubiertas por ligeros sistemas de cerchas de hierro.

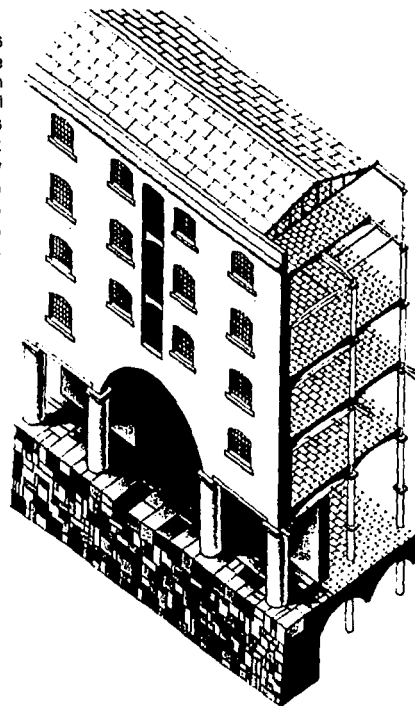
Los procesos de industrialización y crecimiento económico de finales del siglo XVIII provocaron a su vez un importante cambio en el principal cliente de arquitectos e ingenieros: los encargos más grandes dejaron de ser las iglesias o los grandes palacios, ocupando su lugar las cámaras legislativas, tribunales de justicia, museos, etc., todo aquel género de edificio con carácter utilitario. Los nuevos mecenas de la arquitectura fueron los industriales y las instituciones gubernamentales.

La arquitectura occidental terminó por asimilar los cambios que se venían preparando y sufrió, en los comienzos del siglo XIX, una transformación radical en su naturaleza y estilo. Coexistieron tres motivos principales interrelacionados: la introducción de materiales y técnicas de construcción nuevas; la exigencia de nuevos tipos de edificios para satisfacer las nuevas necesidades sociales; y los cambios del nuevo clima cultural racionalista.

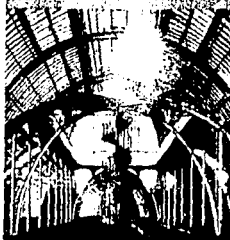
Los dos primeros motivos están estrechamente relacionados con los cambios económico-sociales que ya analizamos, o la llamada Revolución Industrial, que se había iniciado en Inglaterra en el siglo XVIII y se difundió durante el XIX en Europa y América. Exigió nuevos tipos de edificios para el transporte y la industria, y, al mismo tiempo desarrolló las técnicas que los hicieron posibles. Ingenieros y arquitectos crearon con el nuevo y más importante material de construcción, el hierro fundido, puentes, puertos, fábricas y estaciones de ferrocarril. A pesar de una verdadera intención en la franqueza estructural, muchos edificios aparentaban una imagen mucho más ortodoxa, debido a las fachadas y las decoraciones añadidas en los estilos de moda en cada época: frontispicios clásicos, frontones gregorianos, etc.

Las nuevas técnicas fueron aplicándose gradualmente en otros tipos de edificios que se adecuaban a nuevas funciones, como hospitales, grandes almacenes y oficinas, que provenían de los desarrollos sociales y comerciales. Otros, como los ayuntamientos y los grandes hoteles, eran resultado de la urbanización creciente. Por primera vez, los edificios que dominaron las ciudades en expansión fueron los nuevos edificios civiles y comerciales, en lugar de las iglesias y los castillos. Paralelamente, los horizontes del mundo se ensanchaban con los nuevos medios de comunicación y transporte, y el desarrollo del comercio.

Albert Dock, uno de los muelles del puerto de Liverpool, construido en 1845 por Jesse Hartley. El esqueleto estructural es completamente metálico: en el interior columnas y vigas de hierro fundido, en donde se apoyan los entrepisos de bóveda rebajada de ladrillo; la cubierta de pizarra se apoya sobre cerchas de hierro forjado; las columnas de la fachada, de austero diseño dórico, son de hierro fundido de una sola pieza, sobre ellas se apoya el muro de ladrillo de la fachada sin función estructural.

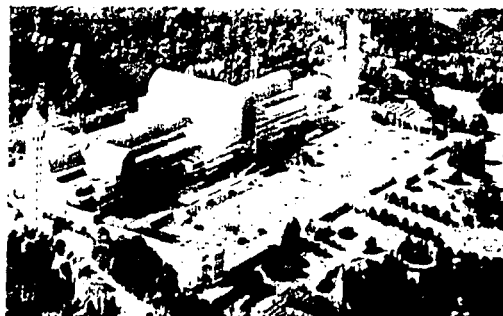


Casa de las palmeras en el Jardín Botánico Real de Kew, Surrey (1844-1848), por Decimus Burton y Richard Turner. La construcción de invernaderos vio en el siglo XIX un cambio en su material principal material estructural, pasó de ser una estructura vulnerable de madera a una fuerte, pero ligera, estructura de hierro, alcanzando a cubrir mayores distancias y logrando innovadoras formas. Aquí se logra un espacio único a base de columnas huecas de hierro fundido que sostienen medias bóvedas de cañón corrido que terminan en mitades de esfera, la estabilidad de la forma es obtenida a base de arcos de vigas I de hierro fundido de alma llena. Este tipo de edificio inspiró la construcción de otros, como el Palacio de Cristal, que se usarían para propósitos distintos.

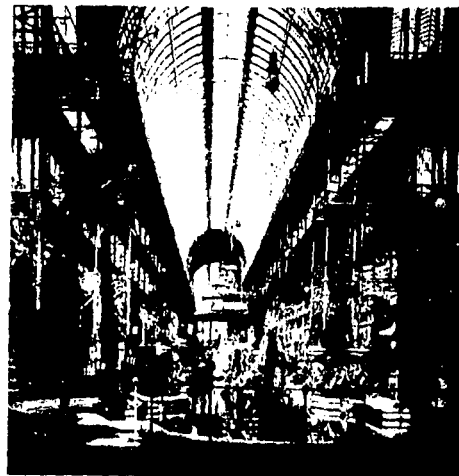


Casa de las palmeras
Kew Gardens, Surrey

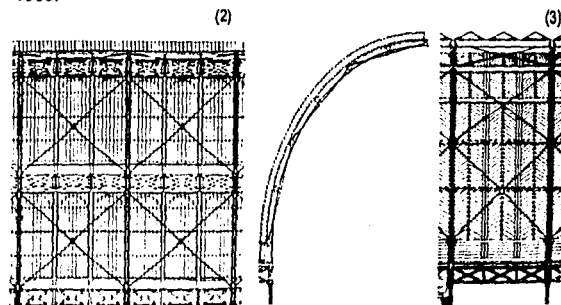
el Palacio de Cristal

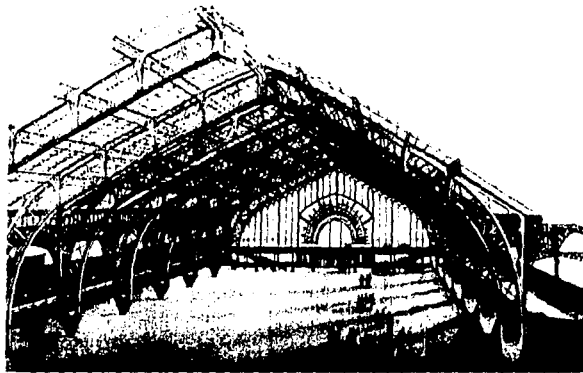


El Palacio de Cristal en Hyde Park, Londres 1851. Diseño de Sir Joseph Paxton para albergar la tan esperada Primera Gran Exposición Universal de 1851, una exposición tecnológica de todas las naciones del mundo. Muchos autores lo consideran parteaguas en la concepción de edificios, que daría vida a las corrientes racionalistas del siglo XX. El Palacio de Cristal encerraba un vasto espacio (72,000 m²) en planta libre, es decir, sin muros interiores ni separaciones; en donde todos los innovadores productos tecnológicos de la civilización eran expuestos. Mediante el empleo de un módulo de 1.24 x 0.25 m, medidas que conformaban el largo y ancho de las piezas de vidrio, se conformó todo un sistema de piezas prefabricadas de hierro fundido que se conectaban unas a otras mediante remaches o tornillos. La estructura era muy sencilla: consistía en una serie de esbeltas columnas huecas de hierro unidas por vigas de armadura también de hierro que soportaban una cubierta plegada planar -largueros formando crestas y valles, la distancia entre valles de la cubierta era de 2.44 m, módulo que multiplicado por tres también regla la distancia más corta entre columnas: 7.32 m. Todo el exterior se encontraba forrado de una pared transparente hecha también con elementos modulares prefabricados, el módulo básico era un arco de medio punto sobre dos delgados pilares con un remate rectangular superior, tres de estos arcos encajaban dentro del módulo de 7.32 m. Para darle la mayor rigidez a las paredes exteriores, se utilizaron barras de hierro forjado dispuestas en diagonal por cada módulo de 7.32 m (2), las barras unidas a los cuatro vértices del rectángulo que se dibuja entre las columnas portantes son tensadas en el cruce con una pieza capaz de equilibrar las fuerzas, esto produce un marco rigidizado y conforma lo que más tarde se llamó contraventeo. Las vigas de armadura están hechas de diferentes miembros independientes: dos cuerdas, una superior y una inferior, conectadas por dos diagonales formando triángulos para obtener rigidez, las cuerdas superior e inferior



las diagonales pueden a su vez ser conectadas por elementos verticales. Este sistema estructural comenzó a usarse poco antes de que Paxton lo habilitara en su diseño, puede lograr claros mucho mayores que sus miembros trabajando independientemente en la forma de una viga sólida, usando además menos material. Otra característica estructural innovadora del Palacio de Cristal fue la bóveda de cañón corrido que conformaba el transepto; ésta se logró curvando la superficie de la cubierta plegada siguiendo una media circunferencia de 61 m de diámetro, las mismas barras que se utilizaron para postes y vigas se acondicionaron para rigidizarla siguiendo el mismo sistema de modulación (3). La construcción del Palacio se efectuó en tan sólo cinco meses, unos años después fue transferido a Sydenham Hill donde fue destruido por un incendio en 1936.





La Galería de las Máquinas (1886-1889) de Charles Dutert. Desde su construcción, el Palacio de Cristal se convirtió pronto en el modelo de diferentes tipos de edificios construidos a lo largo del siglo XIX, especialmente para los edificios temporales que albergaron las grandes exposiciones. Para la Exposición Universal de París de 1889, que conmemoraba el centenario de la toma de la Bastilla, se diseñó este gran espacio para exhibir las grandes máquinas industriales. Era una enorme bóveda de cañón apuntada, conformada por 20 armaduras transversales, que medía 429 m de largo y libraba un claro de 115 m y una altura de 43.5 m. Para prevenir las deformaciones producto de las dilataciones y contracciones térmicas, los arcos de armadura tenían tres articulaciones, dos en las bases y una en la cumbre. Gracias a ello las armaduras podían flexionar libremente sin que se produjeran grandes tensiones en la estructura, haciendo innecesaria la existencia de contrafuertes de piedra para resistir los empujes laterales al pie de los arcos, para ayudar a absorber estos empujes se colocaron tirantes ocultos bajo el suelo.



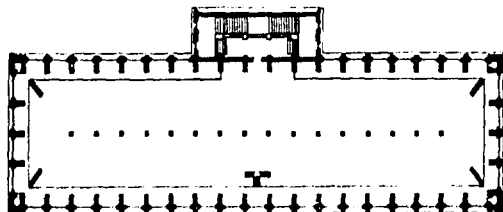
La torre Eiffel (1887-1889). Encargada para conmemorar la exposición de 1889, esta torre de 300 m de altura se convirtió en el símbolo del París moderno. Gustave Eiffel, ingeniero industrial, asumió personalmente todos los riesgos de su obra, para eliminar las objeciones de seguridad de la misma, combinando la estructura, estáticamente necesaria, con elementos absolutamente innecesarios, para producir una sensación de estabilidad: el arco que sube hasta la primera plataforma está colgado de la estructura portadora, no contribuyendo a la seguridad estática (...). El montaje estuvo perfectamente organizado y se dice que en él no hubo accidente mortal alguno. Todas las piezas habían sido prefabricadas con toda precisión, teniendo sólo que ser remachadas en el lugar del montaje (Gosset y Leuthäuser, Arquitectura del s. XX. Colonia. Taschen, 1991; pp30).



Investigaciones sobre cómo funcionaba el concreto romano o concreto puzolana comenzaron a efectuarse desde la década de 1750, y algunos arquitectos hicieron pruebas en edificios de menor importancia con 'prototipos' de mezclas similares a este concreto. Pero no fue sino hasta 1824, que se patentó el cemento Portland: una mezcla de piedra caliza tostada que se deseca y tritura hasta convertirla en polvo fino, y que conforma el elemento aglomerante que hace posible la gran resistencia y maleabilidad del concreto. Posteriormente a ese año se suscitó una serie de experimentos con concreto patentados poco después, como los elementos de concreto armado resistentes al fuego, el sistema de encasetonados, elementos prefabricados, incorporación de varillas de hierro estriadas, sistemas de cimbras o encofrados, etc. Poco a poco, cada vez más arquitectos e ingenieros comenzaron a incorporar la tecnología del concreto a sus diseños y construcciones, convencidos de las grandes ventajas que ofrecía este material. De igual manera se comenzó a utilizar otra nueva tecnología: el acero, industrializado por primera vez en 1856, su incorporación a la construcción se logró hasta finales del siglo XIX.

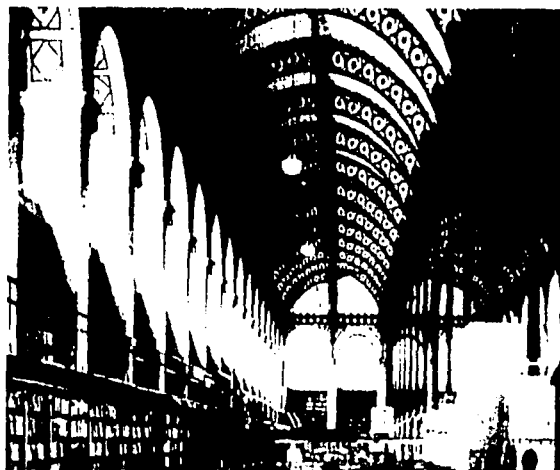
TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

Fue durante el siglo XIX que se inició también toda una nueva visión acerca de la arquitectura, su espacio y estructura, con el comienzo del desarrollo de los ideales funcionalistas y racionalistas por Henri Labrouste (1801 – 1875). Labrouste dio una nueva interpretación de las relaciones entre la forma y la expresión de la función estructural, sugiriendo que "(...) los edificios son expresión de sus singulares necesidades funcionales y de su entorno, y no prototipos universales" (Roth, L. op.cit. pp482), lo que causó conmoción en la sociedad decimonónica. La obra con la que pudo expresar la claridad funcional de la distribución y la forma, explotando además los nuevos materiales, fue la Biblioteca de Saint Geneviève en París.

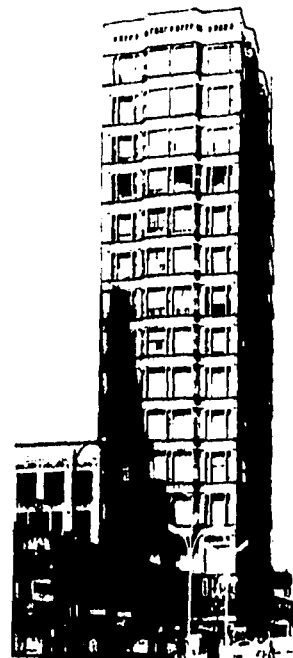


Biblioteca de Saint Geneviève, París, 1838-1850. Dos bóvedas de cañón corrido paralelas sostenidas sobre arcos de celosía transversales de hierro fundido se apoyan perimetralmente sobre pilares de piedra y en estilizadas columnas centrales de hierro fundido, conformando el espacio de la biblioteca en dos grandes naves comunicadas y profusamente iluminadas por la cubierta transparente y por las arcadas laterales, bajo las cuales se encontraba dispuesto en todo el perímetro el acervo de libros, dejando así libre el espacio central para el área de lectura. En el exterior el edificio contaba la historia de su función y su solución estructural.

Contemporáneos y sucesores de Labrouste, muchos de ellos de origen norteamericano, asimilaron estos ideales y los llevaron también a la práctica, ajustando un nuevo tipo de edificio a las medidas de las necesidades de las boyantes compañías comerciales e industriales. En Chicago, W. Le Baron Jenney comenzó en 1883 la construcción de la sede de la Home Insurance Co. y decidió utilizar un esqueleto metálico no sólo en su interior – como lo habían venido haciendo varios constructores–, sino también en las fachadas. Al edificio de 5 pisos, se le revistió de una capa protectora de mampostería de ladrillo –la llamada 'cortina'– completamente colgada del esqueleto de hierro fundido, conformado por vigas y columnas de secciones esbeltas. Este sistema reducía el peso del edificio a la mitad y permitía una organización sumamente funcional en la disposición de los espacios. En adición a esto, la invención del ascensor generó la posibilidad de construir bloques de oficinas mucho más altos, abriendo la puerta a arquitectos e ingenieros para cambiar el perfil de las ciudades en constante crecimiento con un nuevo tipo de edificio que dominaría la construcción en el próximo siglo: el rascacielos.



El edificio Reliance de Chicago, 1894-1895. Daniel Burnham & Co. Estructura de columnas y vigas de acero revestida de baldosas de terracota. El diseño transparente de la fachada, amplias ventanas en contraste con los masivos paramentos de ladrillo de edificios vecinos, era completamente innovador. Los primeros diez pisos de la ligera estructura de acero se erigieron en 15 días, hecho que fue posible por la prefabricación de elementos y la mano de obra especializada.



El cambio de siglo

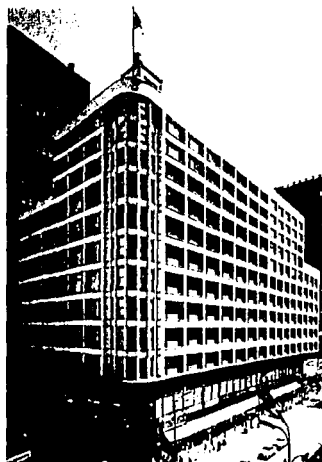


Edificio Guaranty en Buffalo, Louis Sullivan y D. Adler, 1894. Sullivan fue quizá el exponente más importante de los arquitectos que marcaron la época en Chicago, él propugnaba que "la forma sigue a la función" (Roth, L. op.cit. pp488) y establecía que si el edificio era de estructura metálica no debía tener el aspecto pesado de los que estaban forrados con mampostería. Para el Guaranty, Sullivan utilizó una estructura de acero y esta vez el muro-cortina fue reemplazado con bloques de terracota, decorado con motivos art nouveau en relieve, determinando así el método de construcción con el que desarrollaría sus edificios.



Hotel Tassel en Bruselas, Victor Horta, 1893. Las formas se conseguían con un minucioso estudio de la naturaleza, y el hierro permitía moldearlas conformando no sólo elementos decorativos, sino también la estructura

Edificio de almacenes Carson, Pirie, Scott de Chicago, 1904.



Edificio Fuller 'Flatiron' en Nueva York, Daniel Burnham y Co., 1902.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

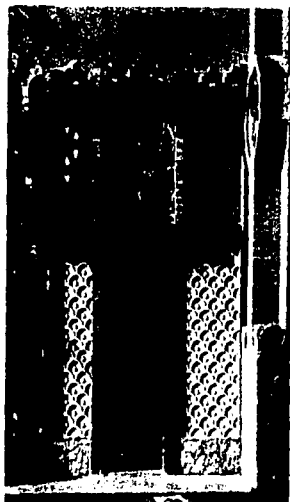
El cambio de siglo

En Europa, otros arquitectos respondieron a su manera al reto de desarrollar un método de edificación singular que respondiese a las nuevas exigencias y necesidades de la vida de finales del siglo XIX, adecuado a su propio lugar. El desarrollo que se efectuó en Estados Unidos y que repentinamente floreció, se presenta en el viejo continente con varios nombres: Art Nouveau, Modernismo, Jugendstil, etc., compartiendo todos la conciencia de lo 'moderno'. La ideología de este movimiento parte también de los escritos de Morris y Ruskin, en relación con la forma, la función y el valor utilitario de las cosas.

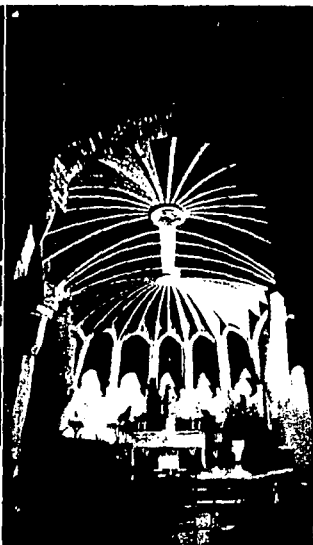
Los autores del Art Nouveau, explotaron a fondo la utilización de los nuevos materiales de construcción buscando gran expresividad en la forma: lejos de recurrir al lenguaje formal clásico, su fuente de inspiración la conformó la naturaleza, las líneas libres curvadas, orgánicas, de plantas, flores, insectos y otros seres vivos, dibujaban los perfiles de capiteles, postes, cubiertas, puertas, ventanas y hasta el mobiliario.

Gaudí

Sin embargo no hubo una innovación importante en el empleo de sistemas estructurales. En España el Modernismo sorprendió con los originales diseños de Antoni Gaudí para numerosos edificios y parques en Barcelona. Gaudí desarrolló un opulento lenguaje formal incorporando elementos árabes, góticos y naturales —animales y plantas—, y a la vez llevó el lenguaje del diseño estructural a niveles de pureza e innovación inusitada.



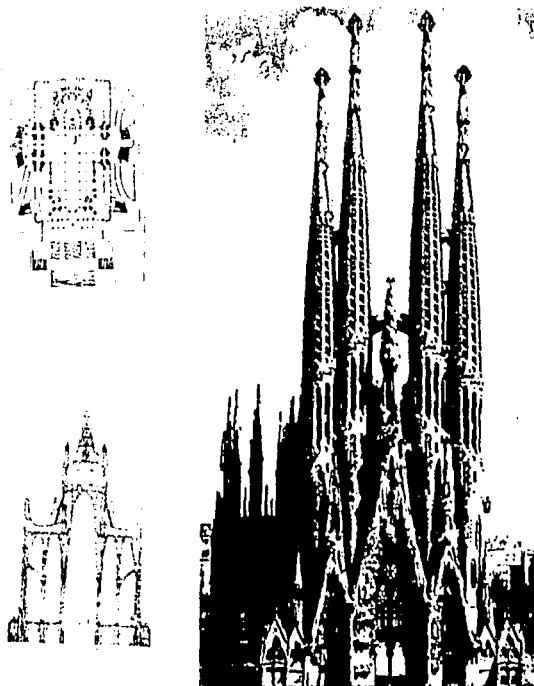
El arco parabólico de Gaudí, la geometría del arco se obtiene mediante parábolas, pero su construcción puede ser posible de varias maneras. En el primer caso, casi tres cuartas partes del arco lo conforman bloques o tabiques en saledizo, es decir, son parte de un arco falso, tan sólo la parte superior trabaja realmente como un arco verdadero. En el segundo caso el salmer se coloca en el tercer bloque de abajo a arriba, llevando las dovelas la inclinación que precisa un arco hasta la clave. En el tercer caso el arco es completamente falso de paramentos curvados y con un cerramiento plano. En el último caso piezas de tabique de barro hechas ex profeso forman los arcos parabólicos que a su vez sostienen una bóveda corrida. 1. Colegio Teresiano 1888-1889, 2. Palacio Güell, 1886-1889, 3. Pabellón Güell, 1884-1887, 4. Ático de la Pedrera 1906-1912.



Cripta de la iglesia en la Colonia Güell, Gaudí, 1898-1917. Bajo el lema de 'la forma sigue a la función', Gaudí diseña para esta cripta una serie de estructuras a partir de un modelo experimental (1). De una red de cables colgó sacos llenos de balines con el equivalente del peso a escala que cargarían los elementos de la cripta, de esta manera obtenía las formas de bóvedas y arcos estudiando las fuerzas estáticas en un modelo natural, no en un dibujo. Bloques de basalto y el tabique de barro dieron forma a columnas verticales, inclinadas y a cúpulas a partir de arcos radiales.

Parque Güell, Gaudí, 1900-1914. La geometría y diseño de columnas y muros inclinados sigue el flujo de cargas que transmiten las terrazas sobre ellas. Dispuestas en retícula grandes columnas con pequeñas cúpulas rebajadas entre ellas, soportan una gran terraza. En la construcción intervinieron el tabique, barras de hierro de refuerzo y, por primera vez para Gaudí, concreto.

La Sagrada Família,
Gaudí 1883. La
construcción de esta
iglesia, en tabique, piedra
y concreto, formando
arcos parabólicos,
columnas inclinadas y
volúmenes clásicos de
superficie acristalada, se ha
prolongado hasta
nuestros días.



La casa Batlló, 1904-1906. Las estructuras ya no sólo pretenden tener un aire orgánico, sino que absorben completamente la organicidad de la forma de los huesos de un animal.



El siglo XX

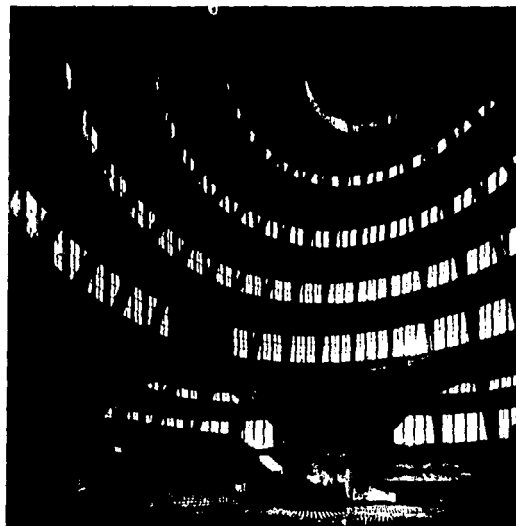
II.13

En los anteriores capítulos, hemos sentado las bases para comprender el devenir histórico de la humanidad y el por qué de las estructuras arquitectónicas que se generaron a lo largo de 5,500 años de historia. Debido a la complejidad y vastedad del contexto histórico social del siglo XX, analizaremos aquí tan sólo algunos de los hitos estructurales que consideramos más importantes en sucesión acorde al tiempo en que fueron construidas, sin profundizar en su antecedente social, histórico, tecnológico o artístico, pues de laguna manera la historia del siglo XIX deja bien definido cual sería el rumbo que tomaron las historias de las civilizaciones del orbe.

La primera mitad del siglo XX vio el triunfo del modernismo sobre el academismo y la tradición clásica, expresado en la industrialización de la construcción. La racionalización de los métodos de producción favoreció las formas simples y la falta de ornamento, dejando de lado al Art Nouveau, al Art Decó y al regionalismo, unificando un lenguaje global funcionalista que terminó por agotarse más tarde.

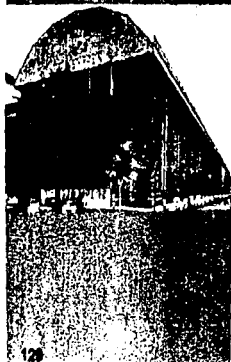
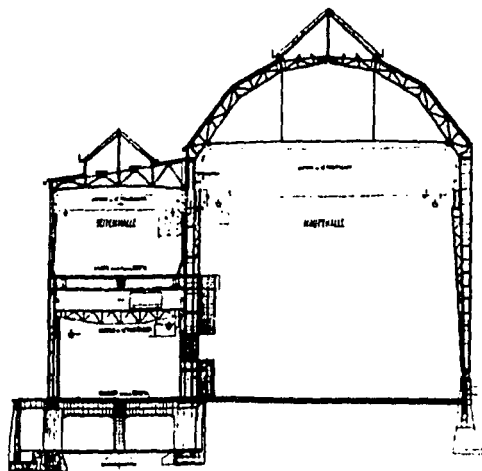
El estudiante podrá darse cuenta en este capítulo que, a pesar de la enorme cantidad de obras arquitectónicas construidas con toda variedad de materiales y métodos constructivos, no hubo grandes avances en los sistemas estructurales básicos ni en la invención de nuevos materiales en este siglo que hemos de revisar. Para este momento de nuestro análisis, el hombre ha trabajado ya con tierra, adobe, madera, piedra, tela, hierro, concreto y acero, para estructurar sus edificios.

En las imágenes anteriores: Fábrica de turbinas A.E.G. en Berlín, Peter Behrens 1909. La estructura compuesta por un arco hexagonal triarticulado en armadura de acero con tirantes en su base, tiene una altura de 25 m y está revestida en las esquinas con una capa delgada de concreto sin función portante alguna, aunque le da una apariencia maciza, en el frente y a los costados se alzan grandes ventanales. El edificio desdénia todo ornamento supeditando completamente la forma, sencilla y austera por demás, a la función.



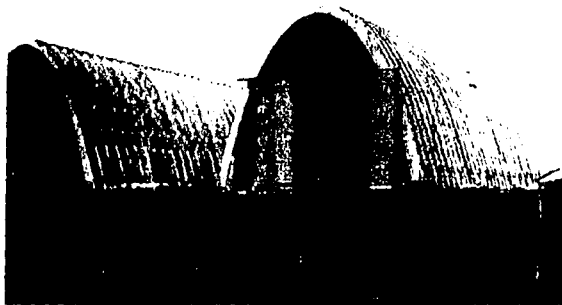
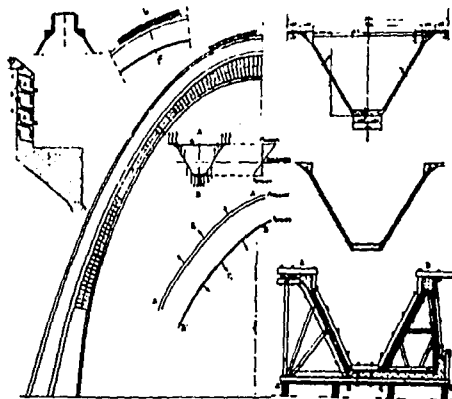
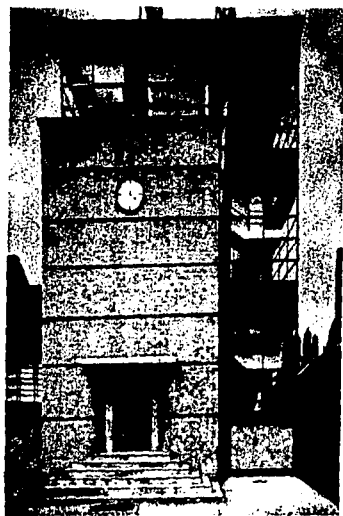
Pabellón del centenario en Wrocław, Max Berg, 1910-1913. La cúpula nervada de concreto armado se sostiene sobre cuatro apoyos como grandes pechinas aligeradas cubriendo un espacio libre de 70 m, alrededor de la cúpula central se levantan cuatro semicúpulas igualmente nervadas de concreto armado. El espacio libre de la cúpula es más del doble de la de San Pedro y pesa la mitad. Este fue un importante ejemplo de una serie de construcciones que se hicieron en concreto al comenzar el siglo, que demostraron los enormes espacios que podían edificarse con este material.

El siglo de la modernidad

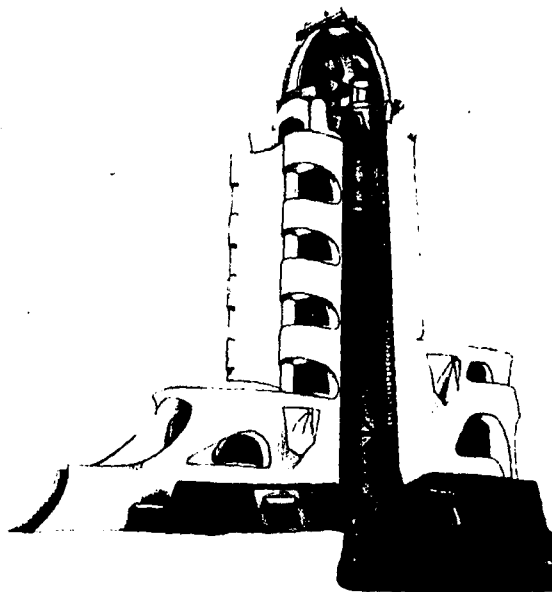


el racionalismo del dise

Fábrica de hormigón armado en Leino, Walter Gropius y Adolf Meyer, 1911-1912. Gropius, aprendiz de Bauhaus y más tarde fundador de la Bauhaus, aplicó las lecciones del diseño modernista en esta fábrica; después un esqueleto metálico de marcos de acero transversal y longitudinalmente, de ellos cuelga la cubierta de cristal para ser puesta en el perfil exterior del nuevo edificio de una solución racional para las esquinas, optó por vidrios transparentes, sin apoyos en las esquinas, consiguiendo un aspecto radicalmente racional.



Hangares en Orly, Eugène Freyssinet, 1921-1923. Freyssinet habla construido a principios de siglo algunos puentes de concreto, de manera que pudo experimentar a fondo con el material. "Introdujo así importantes novedades: Bóvedas con nervaduras superiores, cimbras o encofrados deslizantes y sobretodo un paso decisivo en la introducción del concreto pretensadas, en el que, mediante un tensado previo de los elementos de tracción, éstos podían soportar más tensiones, evitando asimismo una deformación del concreto" (Gössel, P., Leuthäuser, G. Arquitectura del siglo XX. Colonia. Taschen, 1991; pp113). Los hangares se construyeron mediante arcos parabólicos formando una bóveda corrida plegada, el principio empleado se baso en el cartón ondulado, posibilitando una enorme resistencia y un peso moderado. Las naves tenían 175 m de longitud por 91 m de ancho y 60 m de altura. Para esta estructura utilizó su cimbra deslizante (siguiente imagen), primero se hacían los arranques de los arcos y luego se iban acoplando segmentos de 7.5 m hasta llegar a la clave, cuando se completaba una parte la cimbra se corría a la siguiente.

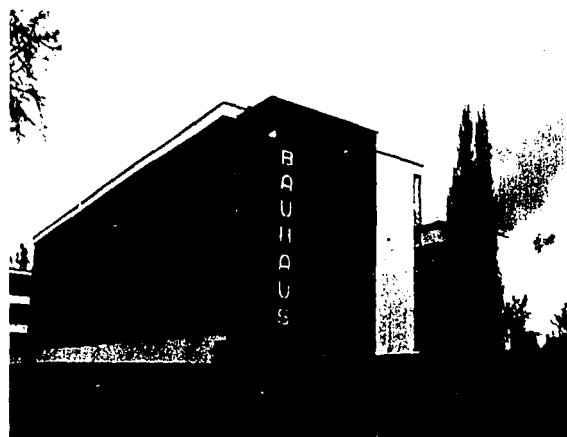


Torre Einstein, observatorio e instituto astronómico en Potsdam, 1920-1921. Erich Mendelsohn proyectó este edificio para ser construido en concreto armado vaciado, y de hecho así comenzó su edificación, sin embargo, para una economía de la posguerra el realizar encofrados para formas irregulares y sinuosas resultaba muy caro, de manera que el edificio fue construido con estructura de acero y mampostería de tabique revestido de una capa de concreto. La arquitectura de Mendelsohn es una sucesión de cuerpos y superficies dinámicas que él creía eran "la lógica expresión de las fuerzas inherentes a los materiales hierro y concreto" (Gössel, P., Leuthäuser, G. Arquitectura del siglo XX. Colonia. Taschen, 1991; pp122).

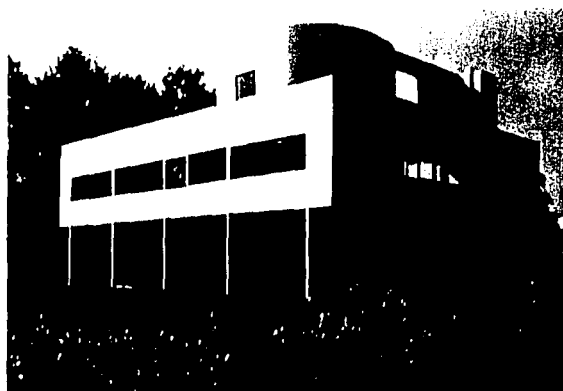
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

la máquina para vivir

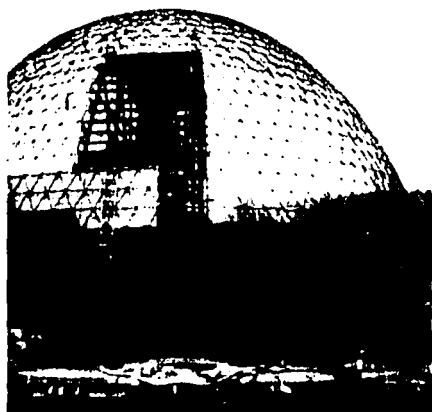
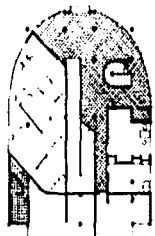
Villa Savoye, Le Corbusier



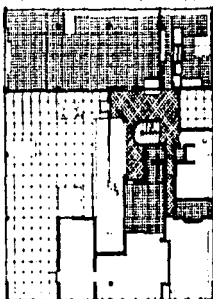
Edificio de la Bauhaus en Dessau, Walter Gropius y Adolf Meyer, 1925-1928. En la nueva escuela Gropius plasmó todos los principios de su teoría funcionalista, eficiente y objetiva, libre de engaños y falsas apariencias, "la Bauhaus ve en la máquina nuestro moderno medio de diseño e intenta ponerse de acuerdo con ella" (Gropius, W. 1938). La estructura es completamente de concreto armado -columnas, vigas y losas-, en el ala de los talleres se despliega una gran cortina de vidrio separada de la estructura portante y que se adosa mediante una ligera estructura metálica propia.



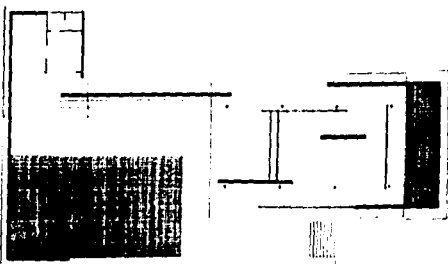
Villa Savoye en Poissy, 1929-1931, Le Corbusier (Charles-Édouard Jeanneret-Gris). En su juventud Le Corbusier trabajó en el estudio de P. Behrens y también de A. Perret, uno de los pioneros del concreto armado, cuyas enseñanzas le develaron todas las posibilidades de ese material, del primero adoptó los ideales de una arquitectura industrializada. Más tarde desarrolló una serie de teorías sobre una nueva arquitectura sensible a los problemas sociales, acorde a la atmósfera de modernidad que se respiraba en Europa. Pese a reconocer que "la arquitectura va más allá de las necesidades utilitarias" la compara con la perfección de la máquina, expresión de "la belleza de la forma cuando está determinada por una respuesta absoluta a las necesidades funcionales. (...) La casa es una máquina para vivir" (Le Corbusier, *Hacia una nueva arquitectura*, 1923). A partir de esta ideología hace una serie de proyectos de viviendas 'tipo', en las que pretendía emplear componentes arquitectónicos normalizados y de obtención industrial, haciéndolas sencillas y de construcción barata. Sus proyectos urbanísticos basados en estos ideales mostraban bloques de viviendas y rascacielos de oficinas, para cada uso funcional concreto, todos los edificios eran idénticos. Estos preceptos de diseño fueron aplicados por los norteamericanos en diferentes urbanizaciones después de la II Guerra Mundial. Sin embargo, la Villa Savoy no fue creada para ser un modelo producido en serie, es en realidad una vivienda suburbana de descanso. El edificio consta de un cuadrado elevado del suelo sobre lo que él llamaba *pilotis*, que son parte del esqueleto estructural de concreto armado: esbeltas columnas de sección circular en dispuestas retícula que sostienen losas de concreto, constituyendo éstos los únicos elementos portantes. Le Corbusier logra así la planta libre, los muros divisorios y la fachada quedan liberadas de cualquier función estructural, para abrirse o cerrarse a placer, según determinase la necesidad funcional.



Planetario de la casa Zeiss en Jena, 1925, Dickelhoff y Wildmann. Red de barras de acero y tela metálica siguiendo la forma geométrica de una cúpula geodésica; Buckminster Fuller, estudiaría más tarde este tipo de modelos para viviendas adaptables y económicas, a partir de la multiplicación de poliedros derivados del triángulo. Estas teorías fueron producto de los estudios de Viollet le Duc un siglo antes, y los consideraba principios abstractos de la propia naturaleza como pauta de diseño. En la imagen, la cúpula aún en construcción, el concreto se aplica por anillos con una cimbra deslizante desde la parte inferior hasta la superior.

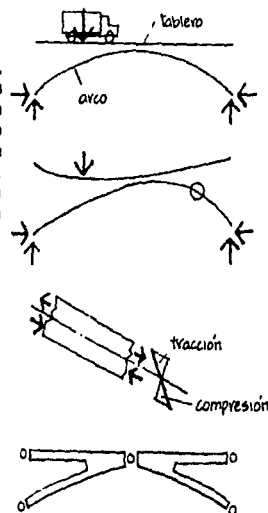


menos es más



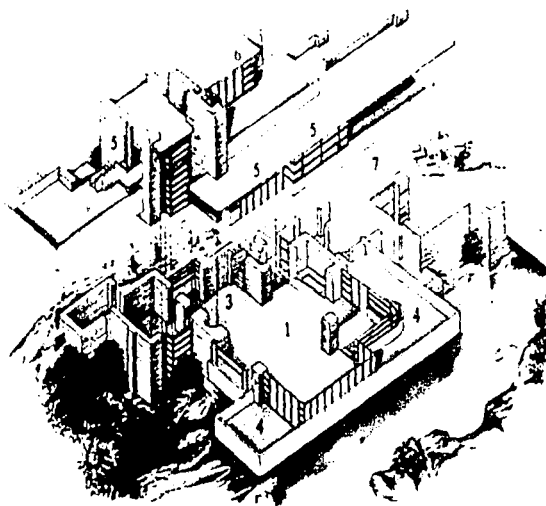
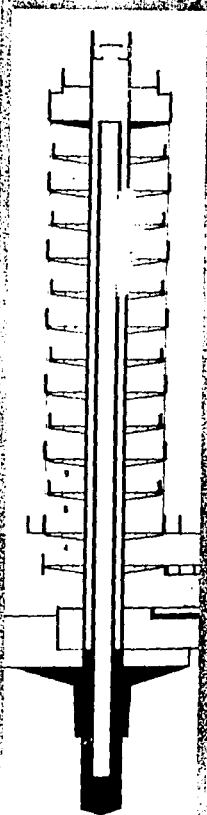
Pabellón de Alemania para la Exposición Universal de Barcelona de 1929, Mies van der Rohe. Su gusto por la innovación estructural fue aprendida también en el estudio de Behrens. Su punto de vista sobre la conexión entre arquitectura e industria es similar al de Gropius. En el proyecto del Pabellón, Mies utiliza la planta libre, un espacio único fraccionado en ambientes mediante simples planos verticales organizados en el espacio, en donde los elementos estructurales y los elementos que definen el espacio son entidades separadas. En las imágenes vemos una sección de uno de los esbeltos postes que sostienen la losa de concreto armado, se componen por cuatro ángulos de acero unidos para formar una cruz revestidos de una lámina cromada. Mies desdeñaba la auto adulación y escribió poco, sin embargo en sus manifiestos sobre diseño sus claros y sencillos preceptos nos hablan del dominio de su oficio: "la arquitectura es la voluntad de época trasladada al espacio" y "genera la forma a partir de la esencia del trabajo con los medios de nuestro tiempo" (Mies van der Rohe, 1923).

Puente Salginatobel, 1929. Robert Maillart, un pionero de la construcción en puentes de concreto armado, quien construyó en 1905 el primero de ellos, logra en este diseño la máxima eficiencia del diseño de puentes en concreto hasta ese momento. Es un arco parabólico con articulación en la clave, el tablero es parte integral de la estructura y no sólo se apoya en el arco, en el centro del vano gana mayor resistencia al unir tablero y arco para formar un único elemento. Maillart descubrió que el carga exocéntrica que crea un vehículo en movimiento (1) tiende a deformar a la vez el tablero y el arco (2), creando fuerzas de tracción en la parte superior del arco que requieren armado especial (3); utilizó articulaciones en las juntas para separar las dos mitades del puente (4) y permitir calcular los esfuerzos por medio de las ecuaciones de la estática.

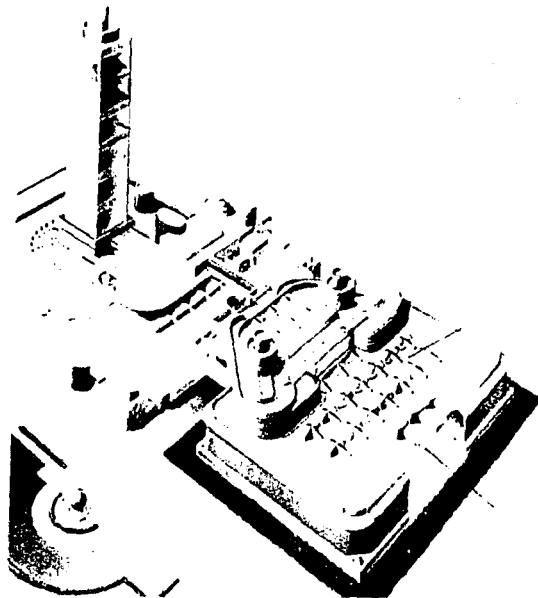
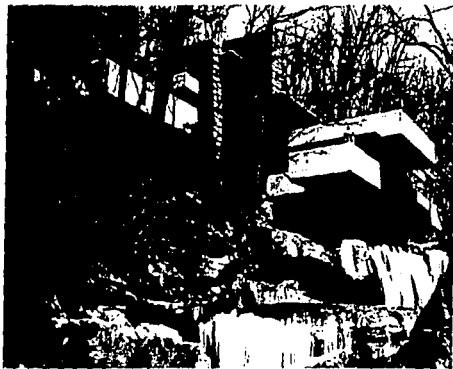


TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

orgánico y funcional



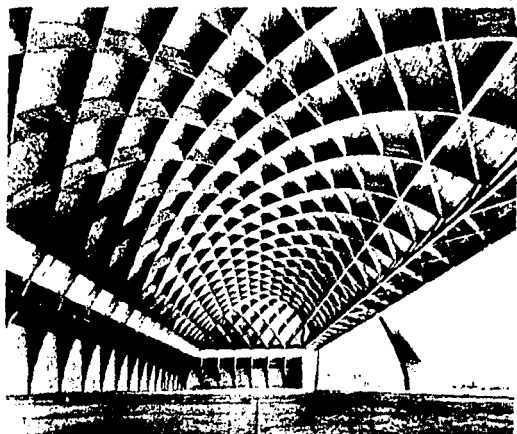
La casa de la cascada, villa para E. Kaufmann en Pennsylvania, 1935-1939. Frank Lloyd Wright, también influenciado por el pensamiento de Morris y habiendo sido proyectista para el estudio de Sullivan, creó su propio lenguaje funcionalista y desarrolló una gran capacidad en el diseño de estructuras innovadoras. A principios de siglo, había construido una serie de residencias suburbanas en los alrededores, de las cuales la más sobresaliente, la casa Robie, incorporaba a su construcción en mampostería de tabique vigas de acero embebidas en la cubierta para sostener espectaculares voladizos (viga en cantiliver). Wright dejó que fueran los requerimientos funcionales y las necesidades estructurales los que determinasen el proyecto final. En este ejemplo, integra además el espacio interior al exterior. El núcleo central, gruesos pilares de mampostería de piedra, está anclado en la parte superior de la ladera para equilibrar el peso de las pisos y terrazas que se extienden en voladizo sobre la cascada, para lograr estos elementos empleo concreto armado reforzado.



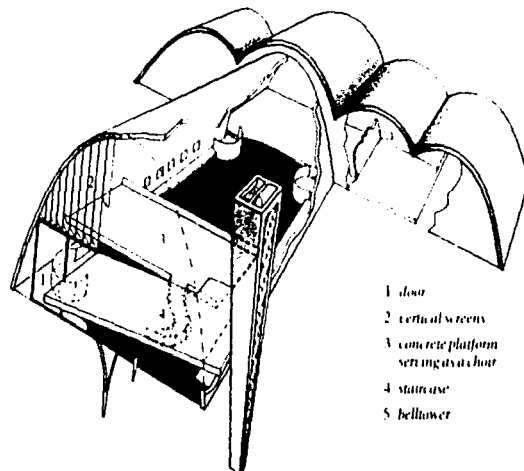
Edificios de la Johnson-Wax en Racine, Wisconsin, 1936-1939. Wright resuelve este proyecto dando a luz a dos extraordinarias estructuras: los quince pisos de la torre se sostienen en voladizo de un núcleo central cilíndrico hueco, alternando plantas cuadradas con entreplantas circulares todo ello de concreto armado, las fachadas son de tabique y de tubos de cristal pyrex. El ala de oficinas se cubrió mediante una retícula de altas columnas de concreto armado en forma de hongos, a partir de una idea anterior de Maillart, en lugar de rellenar los intersticios de concreto los cubrió con tragaluces de cristal pyrex. En la imagen de la izquierda se observa la profunda cimentación que requirió la torre para resistir el momento de volteo causado por la fuerza lateral del viento.



la liberación de la forma



Hangar en Orvieto, 1936, Pier Luigi Nervi. Siguiendo los modelos y las técnicas de Freyssinet, Nervi construye varios hangares en concreto armado, este cubre un claro de 100 x 40 m y se trata de una bóveda nervada de concreto armado formada con miembros prefabricados formando arcos cruzados, las juntas entre dichos elementos se cubrían después de montarlos con concreto.

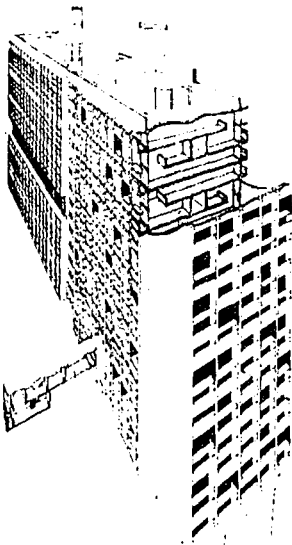


- 1 door
- 2 vertical screen
- 3 concrete platform
set in gully chair
- 4 staircase
- 5 belltower

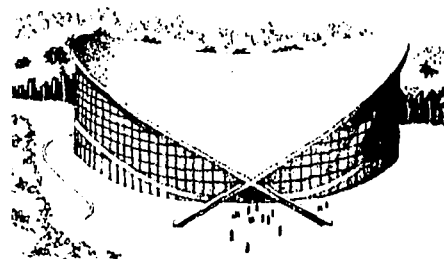


En Brasil Le Corbusier ejerció gran influencia en el desarrollo de la arquitectura, debido a su intervención en proyectos urbanísticos, en la ejecución numerosas obras se prefiere el concreto aparente. Sin embargo se producen formas abstractas mucho más libres e incluso en contraposición con los modelos racionalistas europeos, surge aquí una arquitectura de la emoción abogando por una inclusión de las artes decorativas, cascarones curvados de concreto e innovadores pilares arqueados, conformaban parte del repertorio formal de los diseños brasileños. En las primeras imágenes aparece la catedral de Brasilia, obra de Niemeyer y Lucio Acosta de 1956, los soportes arqueados de concreto armado convergen en un anillo central. En la segunda imagen aparece la iglesia de san Francisco en Pampulha, 1943, obra de Oscar Niemeyer, construida con bóvedas parabólicas de cascarón de concreto armado.

Unidad habitacional, 1947-1952. Le Corbusier tuvo la oportunidad en Marsella de realizar su idea de una 'ciudad vertical'. "La unidad habitacional se presenta como un alargado complejo de concreto armado, un armazón erigido sobre gruesos pilotes cónicos en el que se encajan viviendas como si fueran cajones" (Gössel, P., Leuthäuser, G. Arquitectura del siglo XX. Colonia. Taschen, 1991; pp259). La escala y generador de proporciones fue el 'Modulor', desarrollado por él mismo, que unía el sistema métrico continental y el antropomorfo inglés. Le Corbusier repitió e hizo variaciones sobre este modelo y con él influenció a una generación entera de arquitectos.

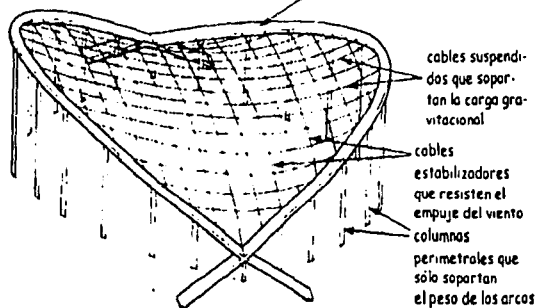


Museo Guggenheim en Nueva York, 1950. A Wright le había preocupado por mucho tiempo amonizar la idea de un espacio continuo en espiral con un uso utilitario. La forma obtenida obedece a la búsqueda de una apariencia 'lógica' para el concreto, alejándose de las ideas formales del funcionalismo convertido para esta década en 'estilo internacional'. El espacio único de la sala de exhibiciones es sencillo: una rampa helicoidal de concreto armado colgada de delgados pilares radiales que pasan desapercibidos frente a la volatería orgánica del edificio.

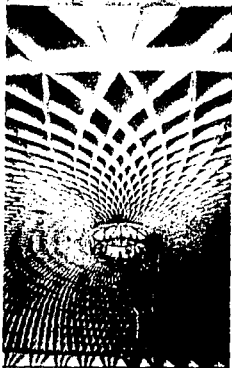


Cow Palace en Raleigh, Carolina del norte, 1952, Mathew Nowicki. En la búsqueda de técnicas para techar grandes claros con elementos a tracción, se encontró que la red de cables era una solución viable. En este caso, el principio elemental es el usado en las 'sillas de director', dos elementos cruzados unidos por un pivote que sostienen una superficie estirada. Se llamó a este tipo de estructuras 'cubiertas de silla de montar'. Nowicki dispuso dos arcos inclinados que soportan la compresión que les aplica el peso de la cubierta que está a su vez trabajando a tracción. Los cables primarios, de suspensión, tienen un claro de 90 m y se curvan hacia arriba; los cables secundarios son estabilizadores y son los que intentan reducir el empuje ascendente del aire.

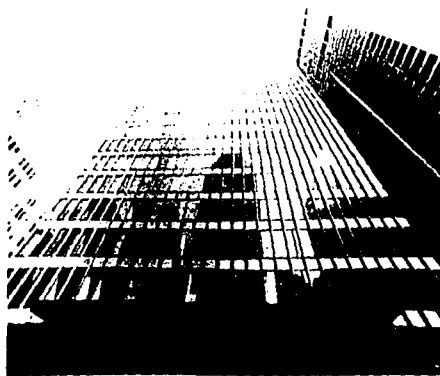
arcos parabólicos inclinados que actúan como un anillo de compresión para resistir los esfuerzos internos de los cables



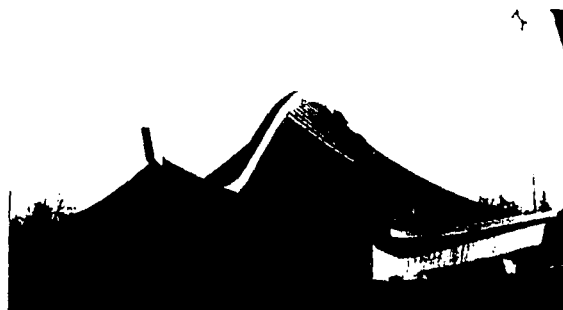
Arena Raleigh, dibujo axonometrico de la estructura



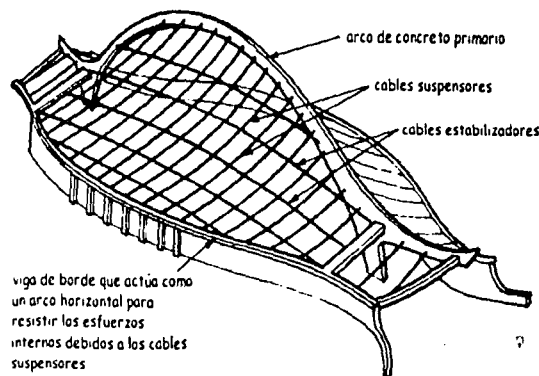
El Palacete de los Deportes en Roma, 1953-1957, edificado para las Olimpiadas de 1960 por Pier Luigi Nervi y A. Vitellozzi. Es una cúpula nervada de concreto armado, conformada por módulos prefabricados que formaban estructuras romboidales hacia el interior. El peso de la cúpula con sus 60 m de diámetro lo soportan 36 puntales inclinados en forma de Y, que descansan en un anillo de concreto armado por debajo del suelo.



Edificio Seagram en Nueva York, 1954-1958, Mies van der Rohe. En este proyecto Mies perfecciona el modelo del rascacielos hecho de un esqueleto de acero cubierto por una cortina de vidrio. Este modelo lo había venido desarrollando desde los departamentos de Lake Shore Drive en Chicago en 1948, y después en otros edificios de menores proporciones; con el logró expresar su idea acerca de los elementos arquitectónicos que debían conformar el espacio: "menos es más".

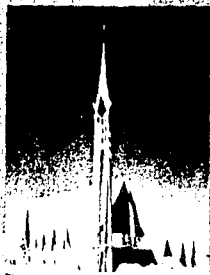


Pista de hielo para Hockey de la Universidad de Yale, Connecticut, 1953-1959. Eero Saarinen logra una forma expresiva y escultural, completamente justificada por las necesidades funcionales. El arco de concreto libra un claro de 73 m, en sus extremos la curvatura se revierte y forma dos voladizos de 12 m que cubren las entradas al recinto, del arco cuelgan los cables de suspensión hasta anclarse en los muros curvos perimetrales, además de éstos tiene también cables que cruzan longitudinalmente (estabilizadores) y forman una curva hacia abajo que le da estabilidad lateral a la estructura. Todo ello está cubierto con madera laminada, lo que le brinda ligereza y una apariencia nórdica.



La pista de hielo de Hockey de Yale, corte en perspectiva

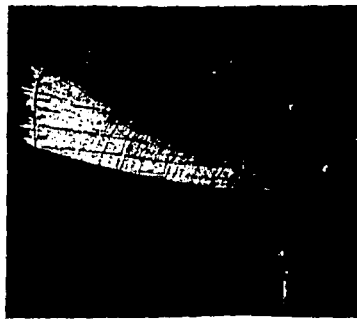
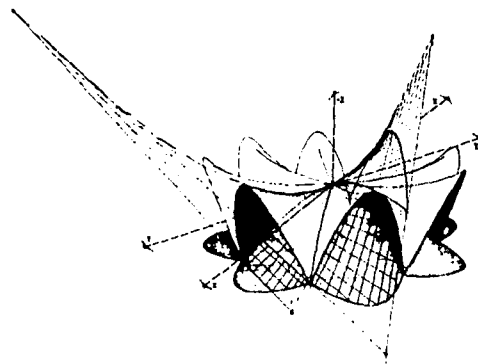
estabilidad por
medio de la
forma



Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa obra de Félix Candela, Ciudad de México, 1954-1955. Candela desarrolló ampliamente la construcción de estructuras generadas a partir de paraboloides hiperbólicos "Hypars", superficies de doble curvatura, matemáticamente analizables y de fácil construcción mediante cimbras de tablas rectas logrando el moldeo del concreto hasta sus límites plásticos. El origen del techo fue el humilde cascarón de paraguas, a partir de este sistema la estabilidad de la edificación se obtiene gracias a la forma y no a la masa de la estructura.



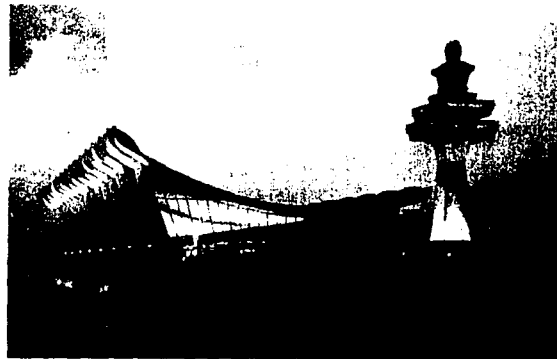
Restaurante en Xochimilco, F. Candela 1957. Otra estructura generada por paraboloides hiperbólicos, un ligero coscarón de concreto cuyo diseño pretende abrirse al paisaje de los canales que lo rodean. En la imagen inferior vemos el sistema de cimbra empleado, sobre éste se coloca la malla de acero, el concreto es arrojado mediante una bomba siguiendo la forma que dibuja la cimbra.



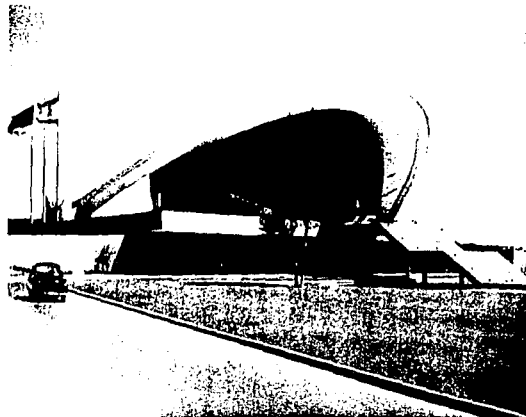
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



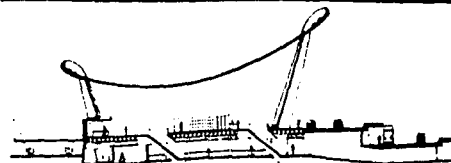
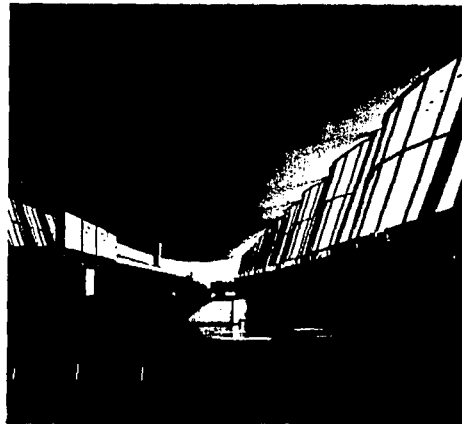
Terminal aérea de la TWA en el aeropuerto Kennedy de Nueva York, 1956-1962, Eero Saarinen. Luciendo como un ave gigantesca, el edificio está formado por cuatro cascarones irregulares de concreto armado apoyado sobre cuatro estilizados apoyos en forma de Y. El espesor del cascarón varía de 17 cm cerca de las vigas de borde a 27 cm a lo largo de la corona, hasta 1.16 m en la unión de las cuatro 'alas' del edificio. La complejidad de la cimbra que se utilizó para crearla no tuvo precedentes, y esto es lo que ha desanimado al diseño y construcción de estructuras semejantes hoy en día.

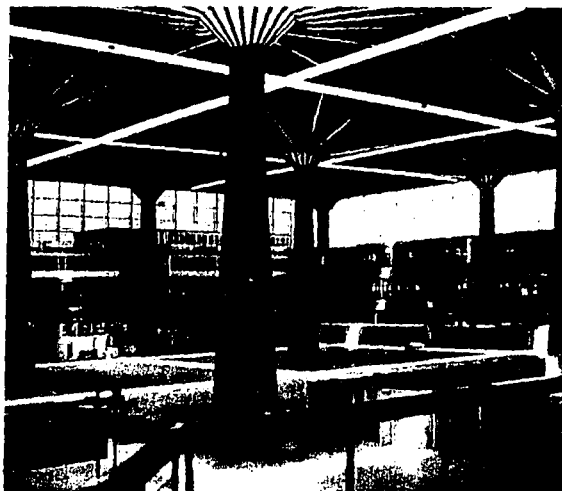


Aeropuerto Internacional Dulles en Washington, 1958-1962. En esta obra una cubierta pende sobre cables anclados de un par de columnatas de pilares inclinados de concreto armado, la más alta tiene 19.8 m y la otra 12.2 m. Cada par de cables soporta una serie de placas prefabricadas de concreto armado para resistir los empujes ascendentes del viento. Los apoyos se inclinan en sentido contrario al esfuerzo interno de los cables de suspensión, que van en un sentido únicamente.

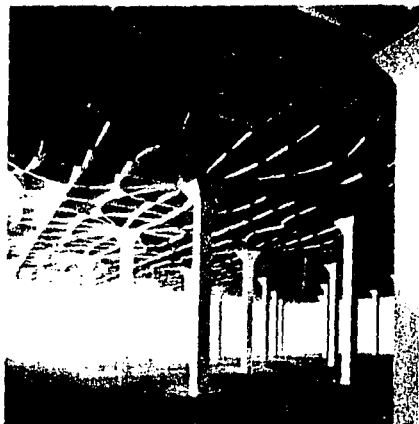
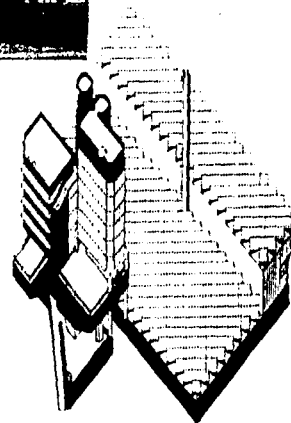


Palacio de Congresos Benjamin Franklin en Berlín, 1957, obra de H.A. Stubbins, W. Düttmann y F. Mocken. Stubbins proyectó una cubierta colgante sostenida por dos arcos en la parte exterior que se apoyaban sólo en dos puntos. Sin embargo no fue posible llevarlo a cabo así, tuvieron que apoyar la parte del tejado interior, que cubría la sala, sobre los muros perimetrales y así los arcos sólo soportaban el ala sobrante. En 1980 el arco interior se derrumbó debido a la parcial corrosión del acero, en la reconstrucción se consiguió realizar la idea original, gracias a las nuevas posibilidades de cálculo que existen hoy en día, y ahora la cubierta es totalmente independiente de los muros de la sala. En las dos imágenes generadas por computadora vemos simulaciones de deformación de la cubierta, por un excesivo peso y por la presión del viento.

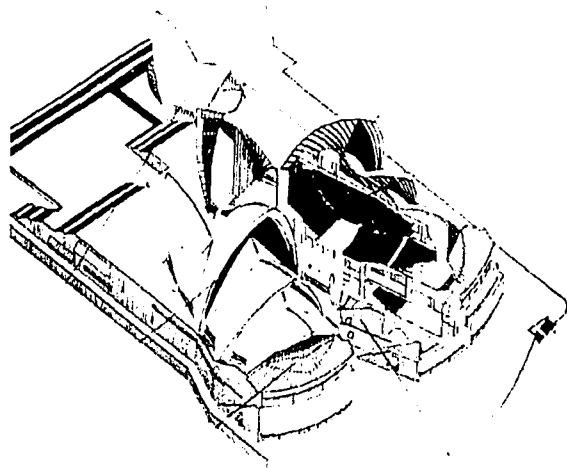




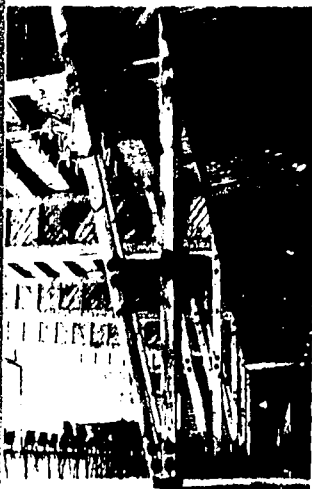
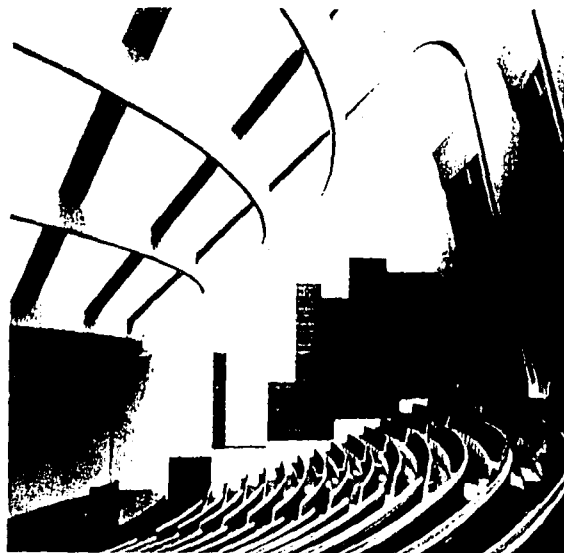
Nervi creó audaces elementos de sustentación con concreto armado, a los que dotó de efectos estéticos de gran plasticidad. En la primera imagen aparece el Palacio del Trabajo en Turín (1961), son apoyos de concreto armado en forma de sombrilla, apoyo y cubierta a la vez, dispuestos en una retícula y ligeramente separados para dejar pasar la luz. En el segundo caso aparece la fábrica de lana Gatti en Roma (1953), se trata de módulos de losas nervadas y apoyos verticales ambas de concreto armado, las nervaduras siguen las líneas isostáticas obtenidas en un modelo de placas de acrílico con tinta en el medio, al ejercer presión (peso) sobre éstas se trazan las principales líneas de flexión; esta forma de nervaduras resulta más eficiente que una reticular, sin embargo el costo se incrementa enormemente por su complicada cimbra.



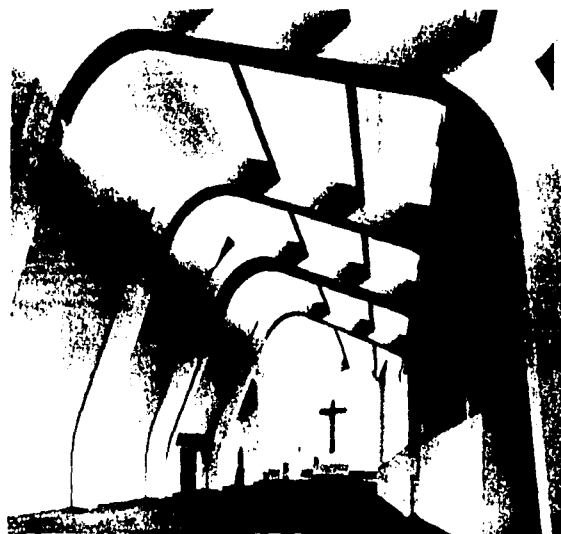
Facultad de Ingeniería de la U. De Leicester, James Stirling y James Gowan, 1959-1983. La estructura de la torre está apoyada sobre esbeltos pilotes que sobresalen de un volumen cortado a 45°, todo ello de concreto armado. Sobre los laboratorios se despliega una estructura de vigas en celosía de acero, la forma se obtiene inclinándolas de manera que se obtiene un efecto tridimensional basado en el módulo del triángulo, toda la cubierta logra su estabilidad gracias a que trabaja como una superficie plegada. La estructura se rotó a 45° con respecto a la fachada para captar la iluminación norte, que era la adecuada para los laboratorios.



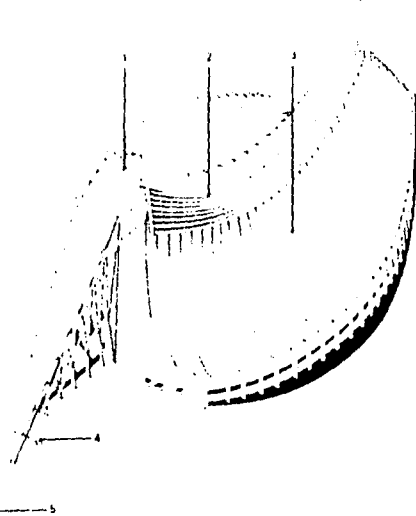
Teatro de la Ópera de Sidney, Australia, proyecto de Jørn Utzon. El concurso para la obra se convocó en 1957, pero los trabajos no se realizaron sino hasta 1965 y se terminaron en 1973. Cada sistema de cuatro bóvedas irregulares cubre las diferentes salas del complejo, éstas se construyeron con segmentos prefabricados de concreto adheridos unos a otros con resinas epóxicas y reforzados mediante cables postensados de acero. Todo el conjunto descansa sobre roca firme de arenisca y sobre cerca de 550 pilotes que descienden hasta 12 m debajo del nivel del mar.



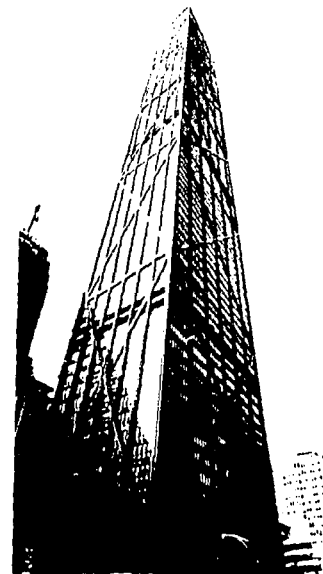
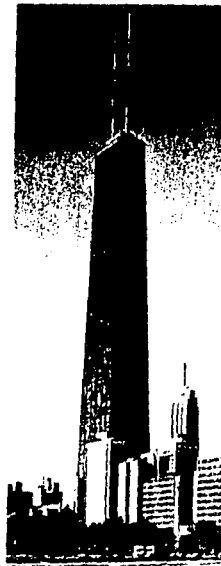
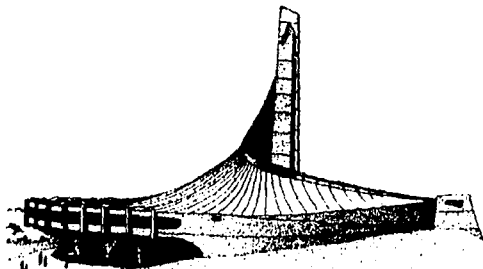
El trabajo del arquitecto finlandés Alvar Aalto con madera laminada (1) en estructuras y en mobiliario comenzó desde la década de los treinta logrando espacios construidos en madera de claros importantes y de una expresividad inusitada. Más importante aún es su trabajo con concreto armado, en las siguientes dos imágenes se observan dos ejemplos del desarrollo de marcos rígidos de concreto armado, no sólo logra una increíble esbeltez en la sección de la estructura portante sino además un dinamismo y originalidad de la forma característicos en este arquitecto.



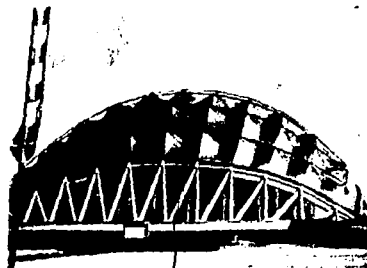
2. Colegio técnico de Otaniemi (1966) y 3. Iglesia Riola en Bolonia (1967).



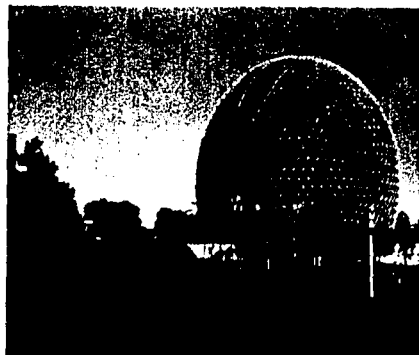
Conjunto Olímpico para las Olimpiadas de Tokio 1964, Kenzo Tange. En el caso de la arena olímpica (arriba), se trata de un sistema de cables pretensados de doble curvatura(2,3 y 4) colgados de dos mástiles de concreto armado(1), los mástiles se curvan en la base para formar también el muro del cual se anclan los cables que sostienen la cubierta alargándose hasta el anclaje(5) de los cables arriostrados que equilibran los cables principales. En el gimnasio (abajo) se utilizó el mismo sistema, pero esta vez utilizando un sólo anclaje y un sólo mástil, el sistema de cables gira en torno a este último en una suerte de abanico que está anclado a un muro perimetral.



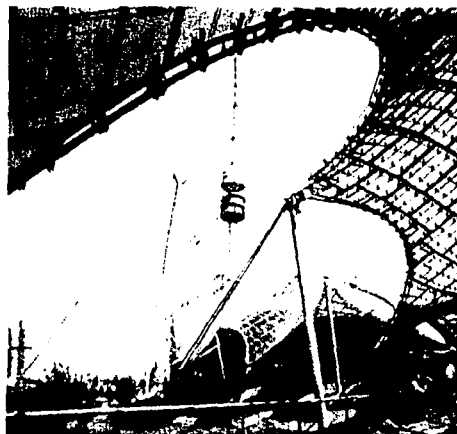
Torre de Centro John Hancock en Chicago (1965) por la firma de arquitectos Skidmore, Owings & Merrill (SOM). Esta torre de 95 pisos (300 m de altura) de paramentos inclinados tiene como principal estructura un esqueleto con riostras diagonales. Este sistema se había utilizado antes pero como un esqueleto, SOM saca el esqueleto al exterior y le da su especial apariencia. Las riostras (elementos rigidizantes en diagonal) tiene la misión de resistir la presión lateral del viento, todos los elementos son de acero y forman un tubo rígido que funciona como una ménsula en vertical bajo las extremas condiciones de Chicago -'la ciudad ventosa'.



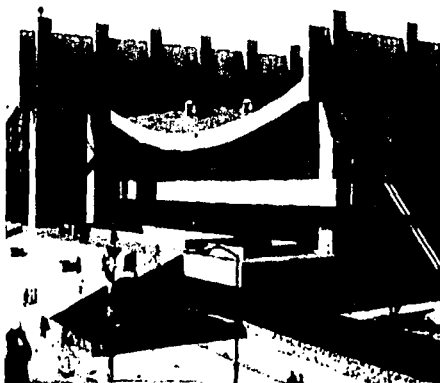
Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México 1968, F. Candela, Antoni Peyri y Enrique Castañeda. La estructura soportante son una serie de arcos de armadura que se intersectan formando un entramado tridimensional o 'espacial' de doble curvatura, cubriendo 132 m de claro. A la vista sólo aparece el recubrimiento de láminas de cobre.



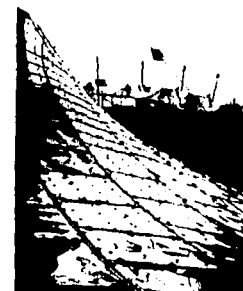
Pabellón de E.U.A. de Richard Buckminster Fuller para la Exposición de Montreal 1967. Fuller había trabajado desde la década de los veinte con estructuras de retículas espaciales y muy particularmente con domos geodésicos, preocupado por tomar modelos de la naturaleza y porque el desarrollo de éstas fuera cada vez más accesible en cuanto a construcción y en precio. La geometría de sus estructuras partía del triángulo con este formaba varios tipos de poliedros, en este caso la cúpula se forma con octaedros logrando un diámetro de 76 m y una altura de 61 m. Los elementos de la estructura eran de acero tubular conectados con nodos de acero en forma de estrella, finalmente se recubrió con paneles de acrílico transparente.



Cubierta para el Estadio Olímpico de Munich para las olimpiadas de 1972, Frei Otto, 1968-1972. Desde la época de los 40, Otto había estado experimentando con estructuras que él llamaba 'adaptables', de sus estudios obtuvo varios tipos de membranas y de redes de cables retomando el espíritu de las tiendas de oriente (1), sin embargo, aunque económicas, eran estructuras efímeras pues la membranas no resistían mucho tiempo la intemperización. La cubierta del Estadio de Munich representa la culminación de la larga trayectoria de Otto, es un sistema de red de cables pretensados de doble curvatura. El pretensado previene contra el aleteo que produce el viento. La gran red se compone de cables de acero de una pulgada arreglados en pares dispuestos a cada 76 cm. El soporte vertical primario lo proporcionan los mástiles tubulares de acero de una altura que varía entre 50 a 79 m y de hasta 3,5 m de diámetro, cables arriestrados se extienden de forma diagonal desde la parte superior de cada mástil para soportar los picos de la red jalándolos hacia fuera. Se instalaron paneles rígidos de acrílico 'plexiglas' colocados en marcos sobre la red de cables. Las cimentaciones requeridas fueron gigantesco bloques de concreto de hasta 18 m de profundidad, que incrementaron mucho el costo total de la obra.

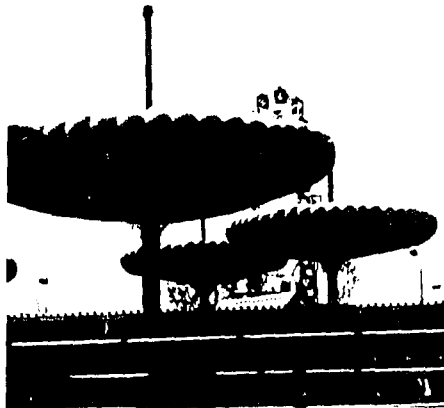
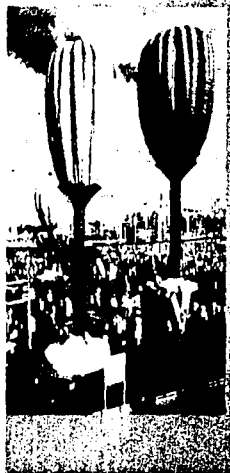


Alberca Olímpica para las Olimpiadas de México 1968, A. Recamier, M. Rosen, J. Valverde y E. Gutierrez. Sistema de cables de acero pretensados colgados de pilares rectos de concreto armado. La curvatura de los cables es en dos sentidos, el sentido entre los pilares de concreto es portante los cables que cruzan perpendicularmente y se curvan hacia abajo sirven para estabilizar la estructura.

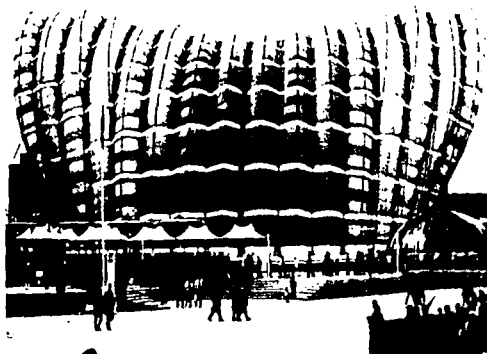


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

búsqueda de nuevas tecnologías



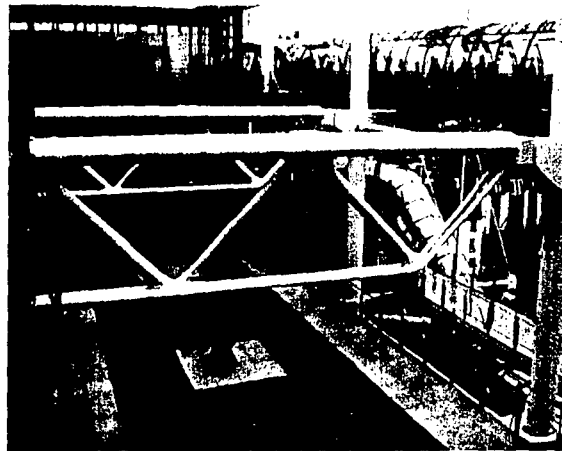
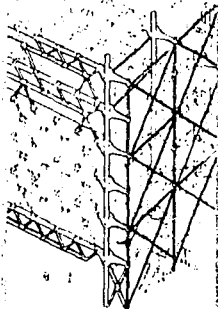
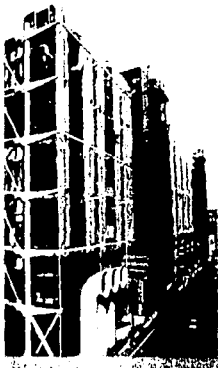
Techos móviles en la Exposición de Osaka de 1970 diseño y cálculo de Tanero Oki y Shiger Aoki. Ya a principios de siglo se estudiaban las posibilidades de construir estructuras mediante medios infalibles, pero hasta que no se perfeccionó el material más adecuado (los plásticos) y se hizo relativamente barato, no pudo realmente ponerse en práctica la investigación en modelos reales. Esto sucedió en los años 60, cuando estalló una profusión de experimentos y estudios con estructuras neumáticas, es decir infladas con aire. Sin embargo la naturaleza de estas estructuras les ha impedido el éxito, por ser tan caras para una existencia efímera. La estructura de doble membrana en forma de hongos rojos y amarillos se instaló en el parque de diversiones de la exposición. El diámetro de los hongos variaba, cuando estaban abiertos, entre 15 y 35 m. La estructura se estabilizaba arriestrándola con cables radiales a un mástil central, los hongos se cerraban mediante la retracción de los cables. El material de la membrana era tejido PVA y poliéster con revestimiento de PVC.



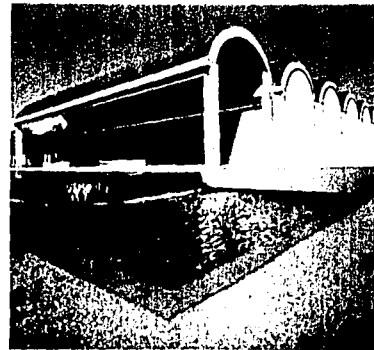
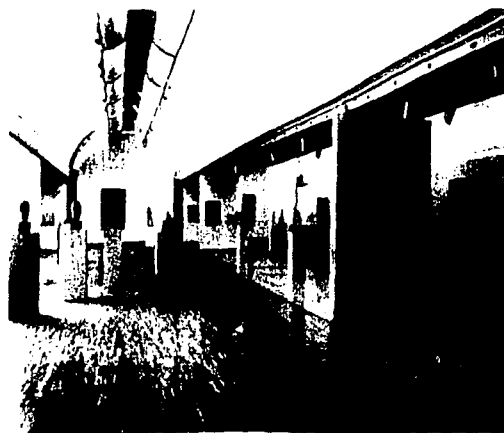
En las imágenes anteriores: Pabellón Fuji en la Expo Osaka '70 diseño y cálculo de Yutaka Murata y Mamoru Kawaguchi. Es la estructura neumática de membrana múltiple más grande que se haya producido hasta ahora. Consiste en 16 tubos en forma de arco con un diámetro de 4 m y una longitud de 78 m, sus bases están dispuestas formando un círculo de 50 m de diámetro y se mantenían unidos por medio de bandas horizontales de tela. El material de los tubos era PVA revestido de hypalon y PVC. Para inflarlos y mantener la presión del aire, todos los tubos se conectaban a un turbocompresor. Cuando finalizó la exposición, el pabellón fue destruido.



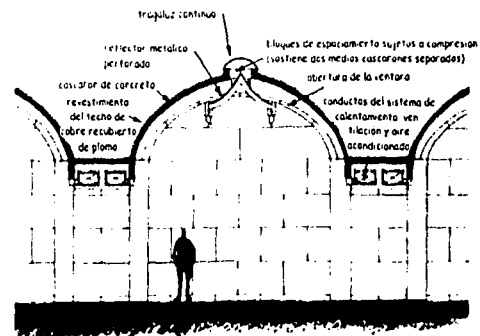
Iglesia de la Atlántida en Montevideo, 1968. Por Eladio Dieste, arquitecto uruguayo que hizo una profunda investigación sobre el tabique de barro cocido como material estructural, logrando con la incorporación de armados y refuerzos de acero, y el uso de morteros convenientes, que el material cerámico sea estructuralmente activo. De esta manera pisos, paredes y techo son contruidos de tabique, cubriendo grandes claros y alcanzando alturas considerables, pero sobre todo una expresión y dinamismo en la forma muy particular.



Centro Georges Pompidou, 1971, Renzo Piano y Richard Rogers. "Se trata de un inmenso bloque paralelepípedo de cristal vuelto al revés, en el que el esqueleto y todas las instalaciones del edificio se despliegan por toda la fachada, de modo que el interior queda despejado (...) La fachada es un confuso laberinto de conductos de aire, eléctricos, etc. codificados por colores y escaleras envueltas en plexiglás" (Roth, L. op.cit. pp547). Es el ejemplo predilecto del comienzo de la filosofía high-tech. La estructura consta de 14 vigas en celosía de acero que salvan 48 m de claro, éstas se unen en articulación a las columnas principales por medio de ménsulas de acero fundido, los dos costados están reforzados por tirantes cruzados de varillas de acero.

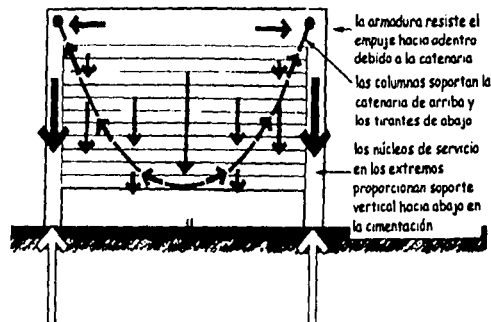
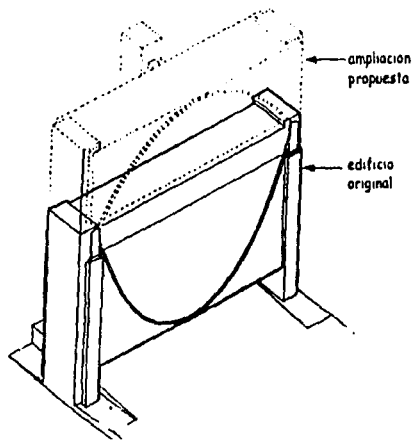


Galería norte del Museo Kimbell en Forth Worth, Louis Kahn, 1972. La solución de este edificio fue una sucesión de cascarones de concreto en forma de bóveda de cañón corrido, con una búsqueda de luz cenital difusa en el interior. Cada uno de los 14 cascarones salva 30.5 m de largo por 7 m de ancho y tiene un espesor uniforme de 10 cm, el soporte lo proporcionan únicamente columnas cuadradas de concreto armado, los muros no son de carga. La mayoría de los cascarones tiene una abertura de 90 cm de ancho en el centro para albergar un tragaluz, las fuerzas de compresión entre cada lado de la bóveda se transfieren a través de la abertura por 11 espaciadores de concreto los cuales mantiene el sistema sin que se desplome y quedan ocultos sobre el tragaluz. Los bordes inferiores del cascarón se refuerzan contra el pandeo por un canal de concreto formado entre los cascarones adyacentes.



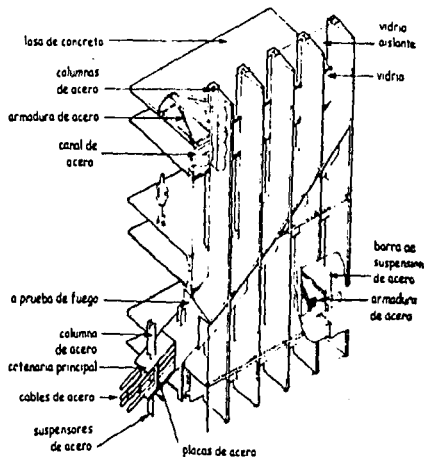
Museo Kimbell. Sección con diagrama que muestra el desarrollo del cicloide

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

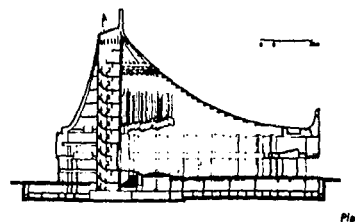


Banco de la Reserva Federal, diagrama de dirección de cargas.

Banco de la Reserva Federal de Mineapolis, G. Birkerts, 1973. La solución de Birkerts para este edificio fue una estructura sostenida por cables de curvatura simple, con el fin de dejar la plaza cívica inferior sin obstrucciones. El claro que cubren los dos sistemas de cables colgados (catenarias) de los apoyos es de 82.3 m, estos últimos contienen los núcleos de circulación y servicios y brindan todo el soporte vertical y estabilidad lateral que el sistema pueda requerir, son de secciones H de acero reforzadas con concreto armado. Los pisos arriba de las catenarias están soportados por columnas que descansan en la parte superior de la catenaria, los pisos que quedan bajo la catenaria están suspendidos de ellas por tensores de acero, ambas columnas y tensores actúan penimétralmente, de manera que las plantas de oficinas quedan libres de cualquier apoyo intermedio.



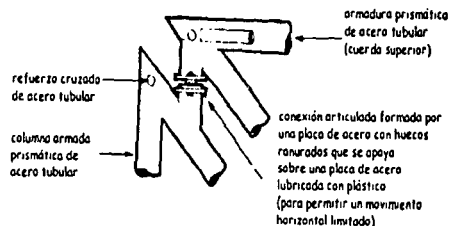
Banco de la Reserva Federal, detalle de corte isométrico del muro de las oficinas.



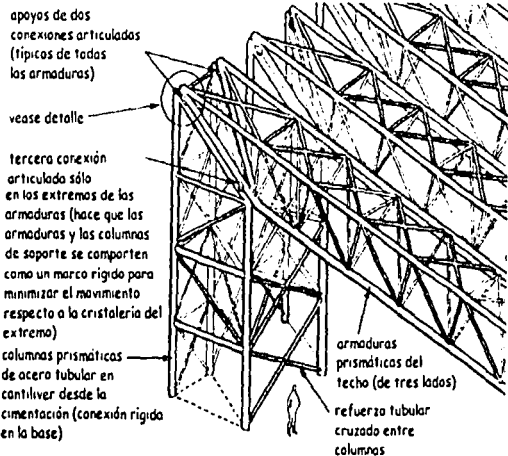
Basilica de Guadalupe de la Ciudad de México, José Luis Benlliure Galán y Pedro Ramírez Vázquez, 1976. Sistema de cables colgados dispuestos radialmente desde un gran pilar hueco de concreto, alrededor un anillo también de concreto recibe los anclajes y se abre para recibir a los feligreses. Sobre los cables se apoya la cubierta ligera, al estar el apoyo principal descentralizado deja toda la planta libre (cerca de 70 m) para dar cabida a cientos de personas en su interior.



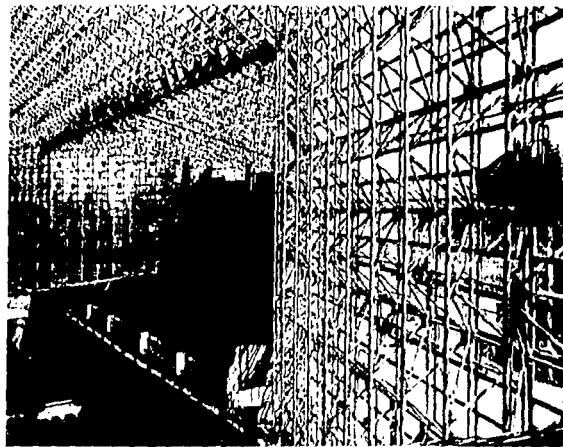
Museo de Antropología de la ciudad de México. Pedro Ramírez Vázquez, 1970. La estructura que cubre el patio, consiste en una gran columna de concreto armado que carga mediante cables radiales un gran techo rectangular de ligeras armaduras de acero. La columna se encuentra en el centroide de la figura del techo, por lo que los 4 cables son equidistantes y la cubierta está equilibrada, en el centro se abre un hueco en la cubierta alrededor de la columna para permitir desaguar la cubierta inclinada.



Centro Sainsbury, detalla en el que se muestra la conexión entre la parte superior de una armadura y una columna, en los extremos de las armaduras que rodean a la cristalería se agregó una conexión adicional para incrementar la rigidez alrededor de la cristalería



Centro Sainsbury en Norwich, Norman Foster, 1978. Sistema de armaduras tridimensionales y columnas armadas ambas de sección triangular, salvando 34.5 m. La unión de viga y columna es una articulación y hace que el sistema se comporte como un marco rígido. En el siguiente detalle se muestra la conexión entre armadura y columna.

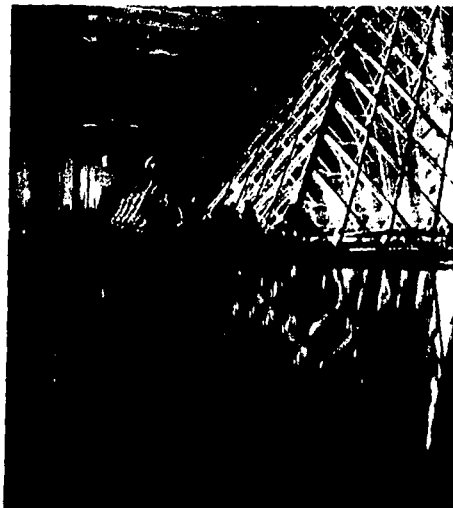
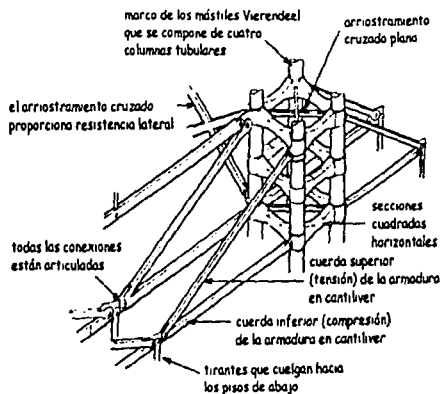
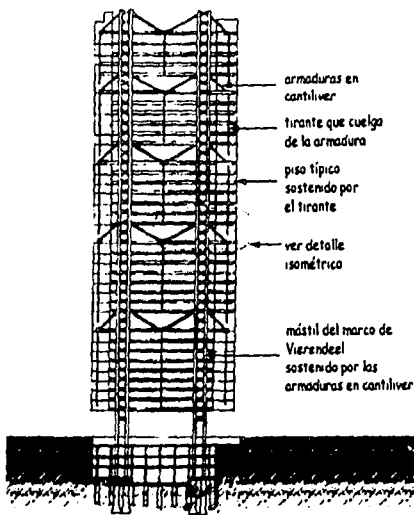


(SGS pp68 figs15.11y12)

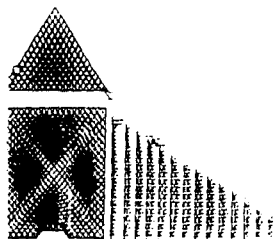
Iglesia de Garden Grove en California, Philip Johnson y John Burgee, 1980. Hasta este momento se habían utilizado estructuras espaciales o tridimensionales para cubrir espacios horizontalmente, aunque fácilmente se pueden adaptar para uso vertical, varios arquitectos de la década de los 70 y los 80 se abocaron a la construcción de grandes espacios con este tipo de estructuras, hoy en día son también un recurso muy solicitado. En este ejemplo Johnson y Burgee crean un espacio de grandes dimensiones completamente encerrado por una estructura espacial, construida con miembros tubulares y recubierta con vidrio. Las juntas se logran soldando o atornillando los elementos tubulares a placas. El espacio en forma de diamante libra claros de 126.5 m y 63 m en los ejes largo y corto del romboide, y se levanta a 39 m sobre el suelo.

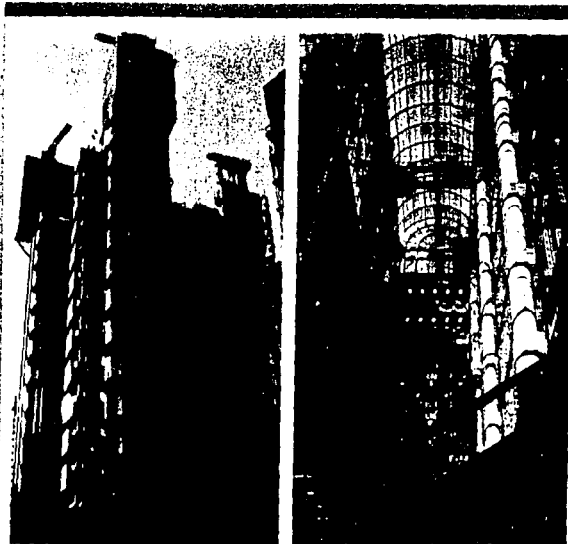


Hong Kong Shanghai Bank, Norman Foster, 1985. Para este edificio de 43 pisos, Foster diseñó un área libre al centro para cada piso y las circulaciones verticales y servicios a los extremos. La estructura consta de ocho "mástiles" que soportan armaduras en voladizo. Cada mástil fue concebido como un marco Vierendeel Indimensional (2), es decir cuatro columnas tubulares colocadas en cuadrado y conectadas con secciones cuadradas en cada piso. Desde los mástiles se tienden armaduras en cantiliver que dividen efectivamente la construcción en cinco estructuras independientes. Los pisos de cada una de las cinco zonas están suspendidos de una armadura en cantiliver superior. La organización estructural se expresa claramente en la fachada (Moore, F. op.cit. pp82-93).

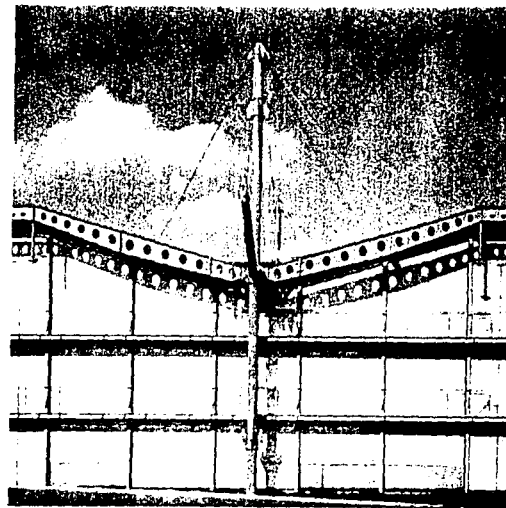
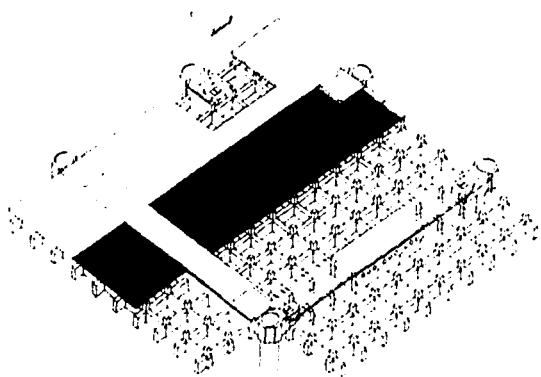


Grand Louvre, pirámide de acceso al museo, París, I.M. Pei 1983-89. Este controvertido proyecto representa todo el espíritu de renovación del siglo, ante la vieja estructura de ocho siglos se levanta un hito estructural, cuyo diseño está basado en los preceptos geométricos del Renacimiento y el Barroco. La pirámide está formada por una serie de armaduras dispuestas paralelamente que van disminuyendo de tamaño. Los miembros de ésta sometidos a compresión son elementos tubulares de acero, mientras que los que trabajan a tracción son barras o cables. Finalmente la estructura está forrada de paneles de vidrio.

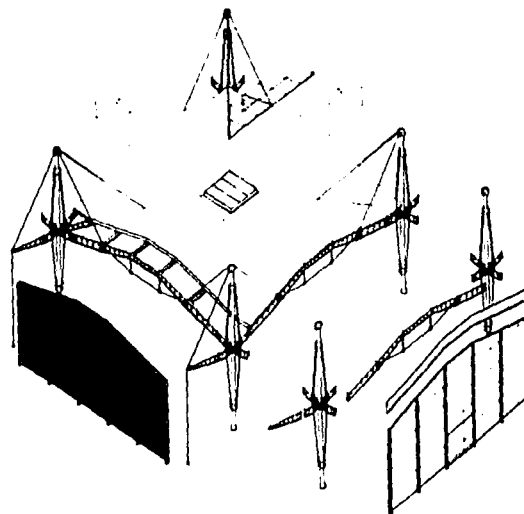




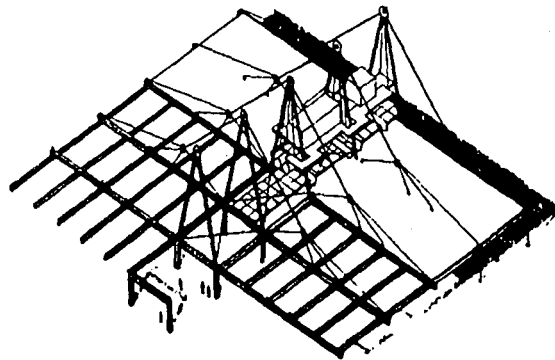
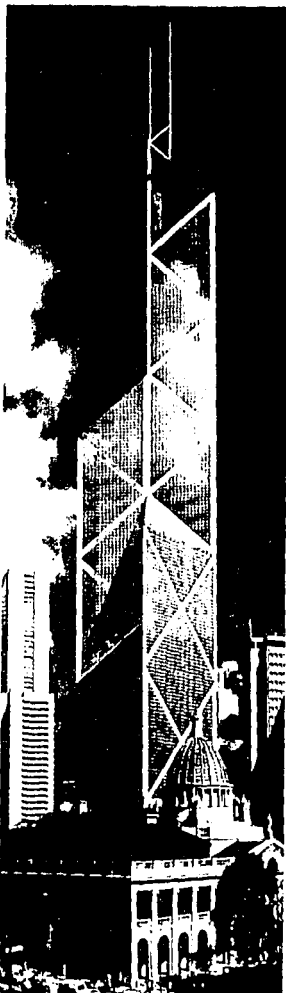
Central de Lloyd's en Londres, 1979-1986, Richard Rogers. La estructura principal del edificio consta de 24 columnas de concreto prefabricado de sección circular distribuidas perimetralmente en una planta rectangular y ocho más al centro donde se encuentra un espacio libre de 12 pisos de altura, en lugar de conectar las columnas con arquivoltas, para cada piso se dispuso una retícula de concreto colada en sitio. Para la nave central se dispuso una estructura ligera de armaduras de acero que trabaja independientemente, cubierta con una bóveda de cañón corrido transparente a base de arcos en armadura triarticulados.



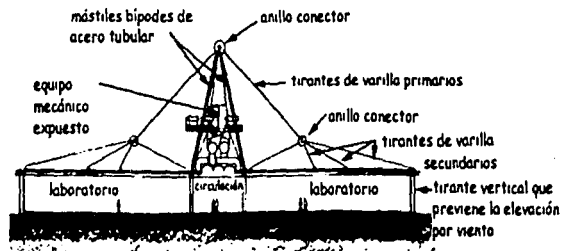
Distribuidora Renault en Swindon Wiltshire, 1981-1983, Norman Foster y Ove Arup. La larga nave se compone de 42 unidades iguales de 24 m de longitud hechas de una retícula de secciones rectangulares de acero, las vigas perimetrales y diagonales están aligeradas. Cada módulo cuelga mediante cables, de 4 mástiles tubulares de acero de 16 m de altura.



Banco de China, Hong Kong, 1985-90. Proyecto de I.M. Pei, el edificio tenía que ser una estructura que soportara las condiciones adversas del clima de Hong Kong, hay que recordar que a veces en este puerto se llegan a desarrollar tifones. La solución es semejante a la de la Torre J. Hancock, grandes segmentos de estructura de aceroarriostrados y rigidizados para soportar la presión del viento que trabajan como una gran viga en celosía colocada en vertical. De igual manera la parte superior de la torre es más esbelta, en un manejo geométrico purista, Pei desarrolla una forma impresionante.



Patcenter, Princeton, 1986, Renzo Piano. Diseñado para obtener un área de planta libre amplia y flexible y un área de circulación definida. Esto se logró por medio de una amplia retícula estructural libre de columnas intermedias. La nave central es una galería formada por un marco estructural que sirve de apoyo a un mástil triangular y aloja arriba en el exterior todas las instalaciones del edificio; el techo de las naves laterales, más anchas, se soporta mediante cables que se ramifican desde el mástil.

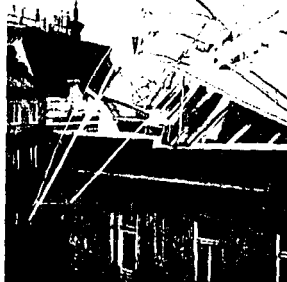


Patcenter, sección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**la conciencia de la
destrucción:
edificios
autosustentables**

Remodelación del tejado en un bufete de abogados en Viena, Coop Himmelbau, 1983-1988. Este arquitecto pertenece a una corriente llamada 'deconstructivismo', grupo de arquitectos surgidos en los 80 que, frente a la modernidad desgastada, en vez de hacer un retorno a la tradición —como hizo el posmodernismo—, intentaron hacer una arquitectura sumamente expresionista que provocara reacciones de extrañamiento y sorpresa. Aunque aparentemente confusa, es una arquitectura que busca una 'perfección alterada', utilizando la estructura e instalaciones aparentes y las formas libres como principal vocabulario. Dentro de esta corriente encontramos arquitectos como Frank O. Gehry, Bernard Tschumi, Saha Hadid y el grupo Morfosis. En este ejemplo, el modelo que daba origen al proyecto es un arco que se reconstruye mediante cubles y secciones tubulares y rectangulares de acero.



En la última década del siglo XX, como desde sus orígenes, el hombre en su búsqueda de nuevos espacios voltea hacia arriba... más alto, más fuerte, más grande, buscando espacios y mejores oportunidades en un planeta que ha cuadruplicado su población en los últimos cuatro siglos y que diezma sus fuentes de obtención de materia prima y alimento irracionalmente. En la imagen de abajo: la Torre del Milenio en Tokio, Japón, proyecto de Norman Foster comisionado por Obayashi Co. en 1990, la que será la torre más alta del mundo con 170 pisos (840 m de alto) y 1.04 millones de metros cuadrados. El proyecto pretende ser absolutamente autosustentable, genera su propia energía y procesa sus desechos, tiene su propio sistema de transporte y es capaz de dar alojamiento a 60.000 personas a la vez que les provee de oficinas, comercios y restaurantes. La estructura está desarrollada para resistir terremotos y huracanes, a los cuales la región es muy proclive; con una forma cónica se rigidiza mediante una 'caja helicoidal' interna —como un caracol—, este tipo de forma es inherentemente resistente: más apoyo en la base y ligereza en la cumbre.



En las imágenes del lado derecho: Museo Guggenheim en Bilbao, Frank O. Gehry, 1997. Recubierta de delgadas placas de titanio, las cuales le dan su apariencia de espejo, este edificio se resuelve con una complicada estructura mixta, recurriendo a marcos rígidos de secciones de acero de alma llena, y a armaduras de elementos tubulares. Todos los cálculos y la proyección de formas se realizaron mediante generadores digitales en computadora.



Clasificación de los tipos estructurales

II.14

Existen varias formas de clasificar las estructuras, en el análisis de la bibliografía que ayudó a completar el presente trabajo encontramos por lo menos cuatro formas de realizar esta clasificación:

Por su forma

Por su masa

Por su material de construcción

Por sus esfuerzos de trabajo

La clasificación que parece lograr un estudio más sencillo y claro de los tipos de estructuras es, definitivamente, aquella que las ordena de acuerdo a sus esfuerzos básicos de trabajo. Pues a menudo el clasificarlas por su forma o sus materiales genera confusión en los alumnos, debido a la amplitud de tipos que un sólo género abarca bajo esta ordenación.

Dentro de la clasificación de las estructuras por sus esfuerzos, podemos ver que éstos se dividen en: la compresión o tensocompresión, la tracción o tensotracción y la flexión.

Para cada uno de estos tipos de esfuerzos se pueden diseñar una gran variedad de formas estructurales mezclando, inclusive dos o más sistemas estructurales en un edificio.

Con objeto de hacer un ordenamiento a nivel macro, mostramos aquí una lista genérica de todos los tipos de estructuras que revisaremos en este documento, más adelante seguiremos para cada esfuerzo la clasificación más amplia según H. Engel (Engel, H. Sistemas estructurales. Barcelona, GG, 2001; pp46-53).

TIPOS GENÉRICOS ESTRUCTURALES

ESFUERZO

Tensocompresión.

Tensotracción.

Flexión.

Arcos.

Membranas.

Estructuras de cables.

Cubiertas colgadas con cables.

Estructuras neumáticas de una o varias capas

Vigas y losas.

Vigas en celosía.

Armaduras o cerchas.

Marcos o pórticos.

Estructuras espaciales.

Estructuras de doble y simple curvatura.

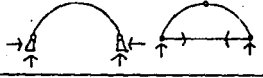


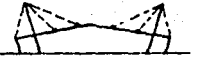

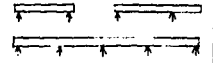
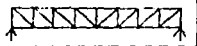
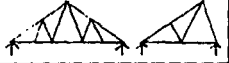

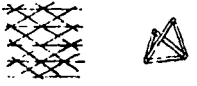


Estructuras laminares plegadas.

Cada uno de estos sistemas tiene sus propias capacidades para ciertos usos.

El conocimiento de las características específicas de los diversos sistemas estructurales es esencial para el estudiante de arquitectura y se puede obtener tras un exhaustivo estudio.

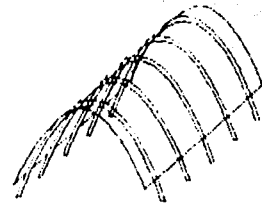
Sin duda, una presentación completa de todas las posibilidades de sistemas, sus méritos y limitaciones, en el amplio marco de la variedad de materiales en que pueden ser construidos, llenaría varios volúmenes. Para lograr una visión resumida de estas posibilidades, se muestran aquí algunos de los sistemas estructurales que hoy en día se aplican en el ámbito de la construcción. La clasificación utilizada será la de sus esfuerzos básicos, misma que ampliamos a continuación en la siguiente tabla ordenadora.

clasificación de los tipos estructurales genéricos por sus principales esfuerzos de trabajo

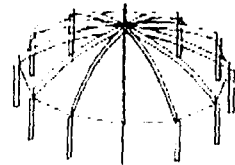
ESFUERZO BÁSICO DE TRABAJO	TIPO ESTRUCTURAL / FORMA	MATERIAL HABITUAL DE CONSTRUCCIÓN
Tensión de compresión	ARCOS 	madera, acero, concreto, aluminio.
Tensión de tracción	MEMBRANAS 	plástico
Tensión de tracción	ESTRUCTURAS DE CABLES 	acero
Tensión de tracción	CUBIERTAS COLGADAS CON CABLES 	acero
Tensión de tracción	ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS DE UNA O VARIAS CAPAS 	acero, plástico
Flexión	VIGAS Y LOSAS 	madera, acero, concreto
Flexión	VIGAS EN CELOSÍA 	madera, acero, concreto
Flexión	ARMADURAS O CERCHAS 	madera, acero
Flexión	MARCOS O PÓRTICOS 	madera, acero, concreto, aluminio.
Flexión	ESTRUCTURAS ESPACIALES 	madera, acero, aluminio.
Flexión	ESTRUCTURAS DE SIMPLE Y DOBLE CURVATURA 	madera, acero, concreto, aluminio, plástico
Flexión	ESTRUCTURAS LAMINARES PLEGADAS (TRABELOSAS) 	madera, acero, concreto, aluminio, plástico.

ARCOS

LÍNEALES



HIBRIDOS



ARTICULADOS



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pasarela de Uribitarte
Loc: Barrio Uribitarte,
Bilbao, España
Fecha: 1990-1997
Proy: Santiago Calatrava

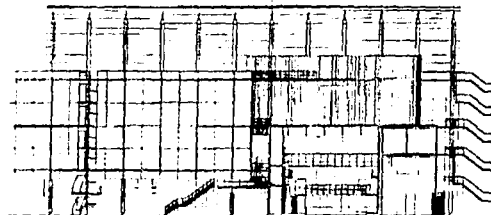


Centro de Arte Dramático

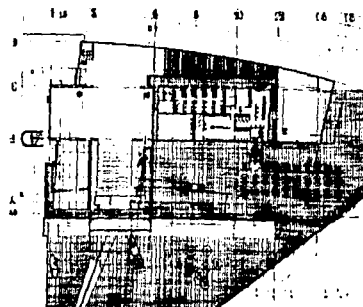
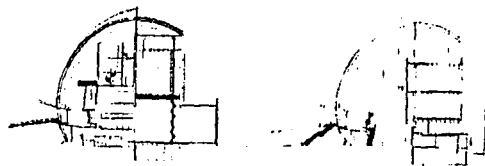
Loc. Cd de México,
México

Fecha. 1994

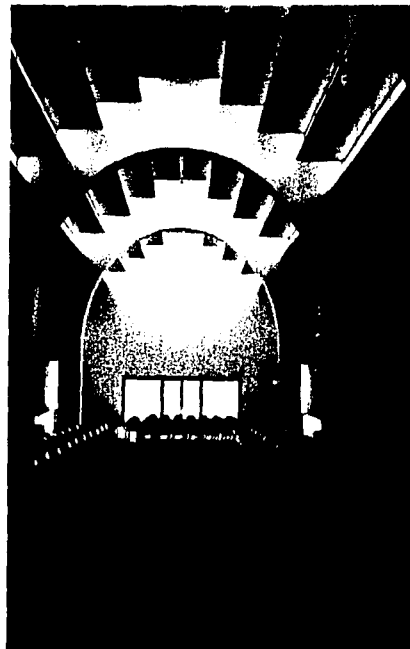
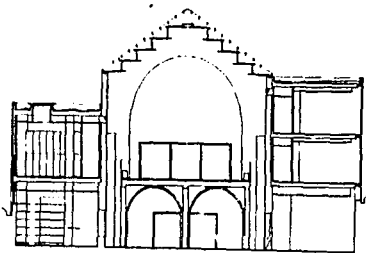
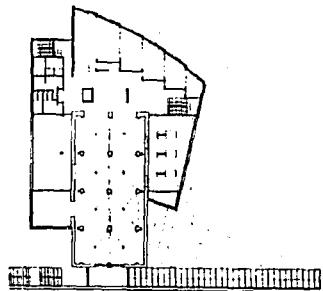
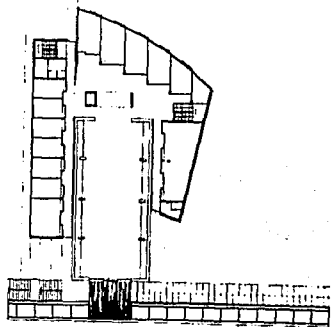
Proy: TEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Consell Comarcal Del Boix Llobregat
Loc: Recinte Parc Torreblanca, España
Fecha. 1994
Proy: Carlos Ferrater-Xavier Guell.

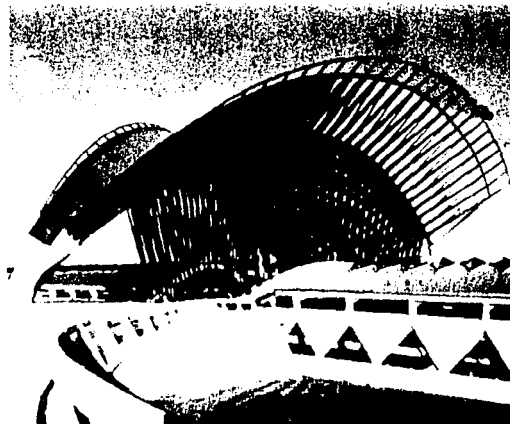
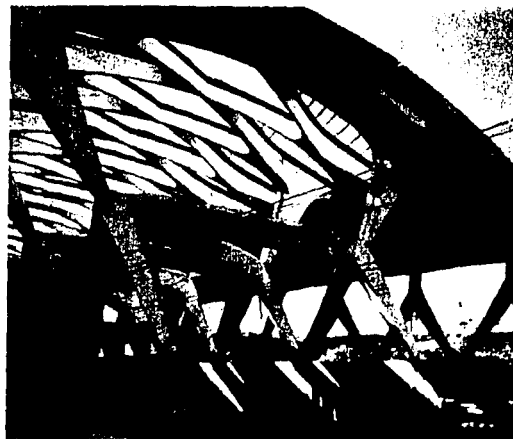
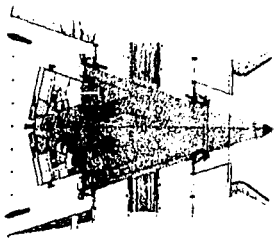
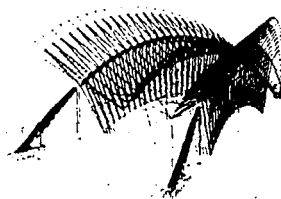
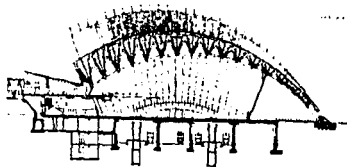


Estación del TGV en la Estación Lyon-Satola

Loc: Lyon, Francia

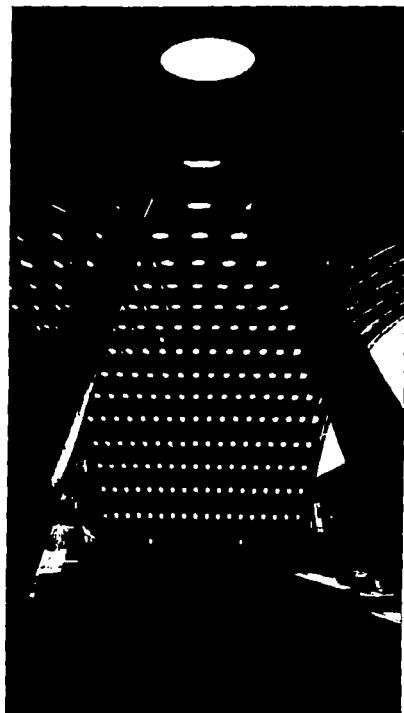
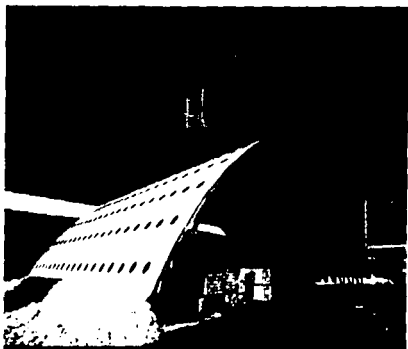
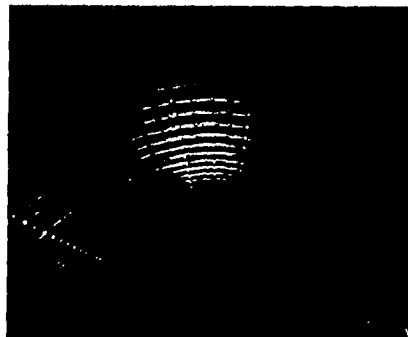
Fecha. 1996

Proy. Santiago Calatrava



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Iglesia de papel
Loc: Kobe, Hyogo, Japón
Fecha: 1995
Proy: Shigeru Ban

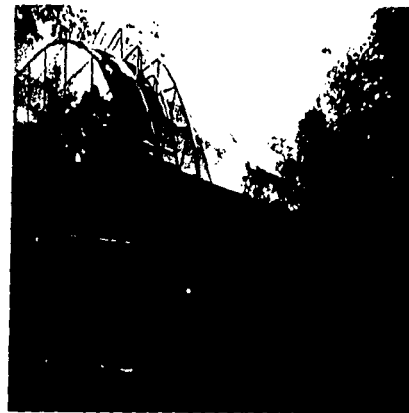
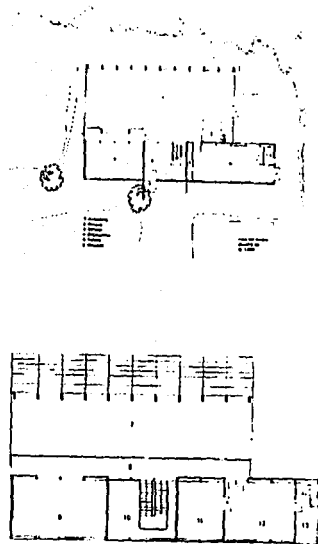


Pabellón "Casa en el Bosque"

Loc: Stuttgart, Alemania

Fecha: 1997

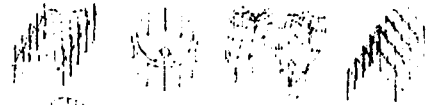
Proy: Michael Jockers



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**ESTRUCTURAS
DE CABLES**

CABLES PARALELOS



CABLES RADIALES



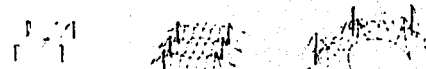
CABLES BIAXIALES



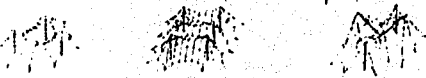
CELOSÍAS DE CABLES

**ESTRUCTURAS
DE MEMBRANA**

TIENDAS APUNTADAS



TIENDAS ONDULADAS



TIENDAS APUNTADAS
INDIRECTAS



**ESTRUCTURAS
NEUMÁTICAS**

SOBREPRESIÓN



DEPRESIÓN

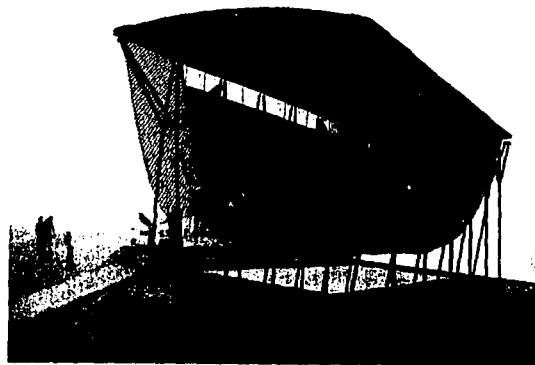
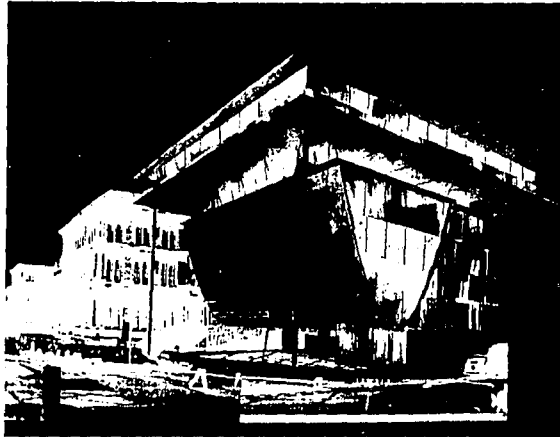


SOBREPRESIÓN Y
DEPRESIÓN

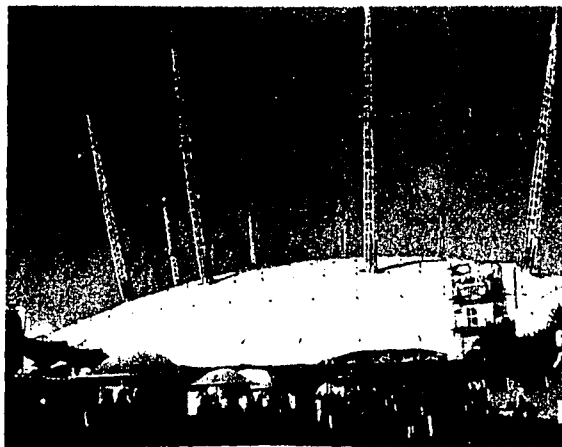


ESQUELETO PORTANTE

Edificio Cardiff Bay Barrage Control /Museo de escocia
Propuesta, 1998.
Proy: Will Alsop



Domo del Milenio
Loc. Greenwich, Londres.
Proy: Richard Rogers, 1999-2000

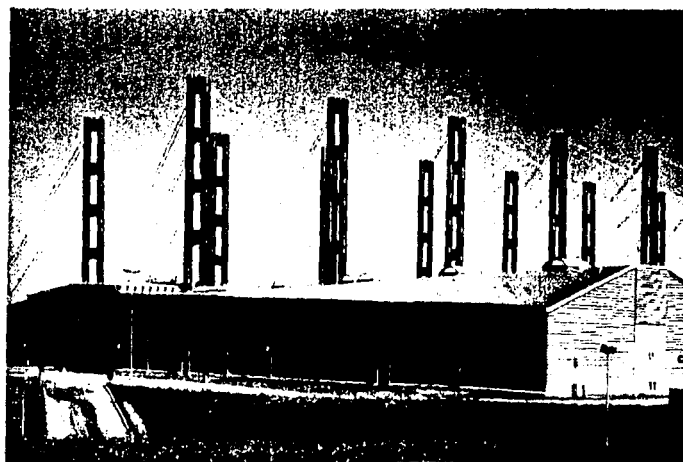
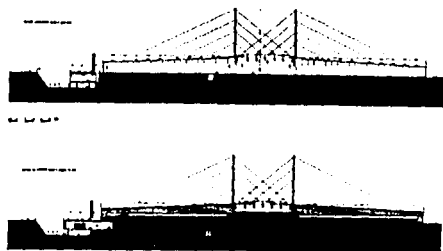


Benetton Jeans & Tops Factory

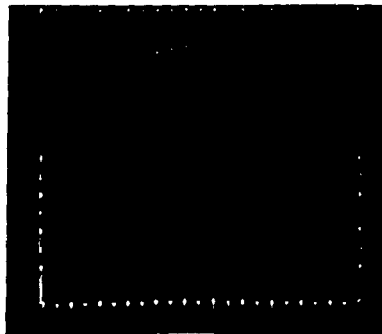
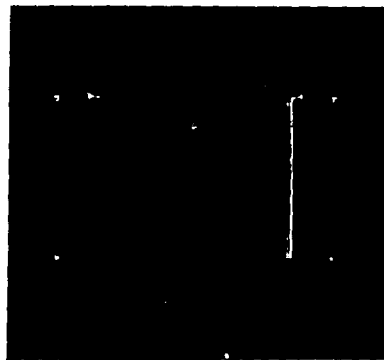
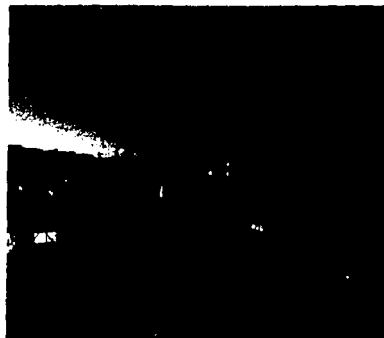
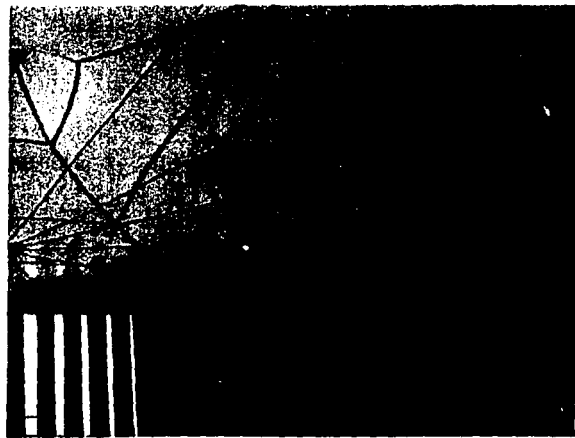
Loc: Catrette, Italia

Fecha: 1995

Proy: Afra & Tobia Scarpa



Iglesia de papel
Loc: Kobe, Hyogo, Japón
Fecha: 1995
Proy: Shigeru Ban

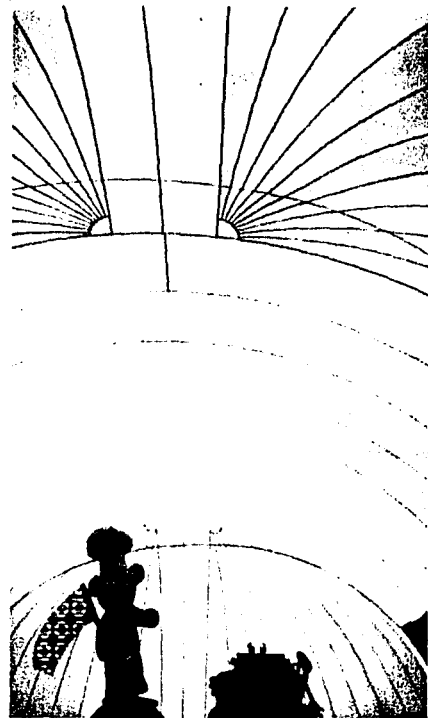
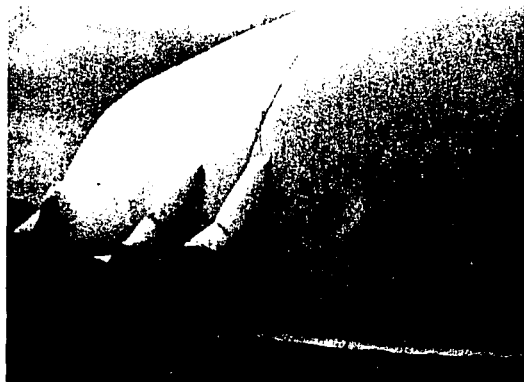


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Salón de juegos Mundial 2002

Loc. Ciudad de México

Proy: Semanbaker



BÓVEDAS

DE CAÑÓN

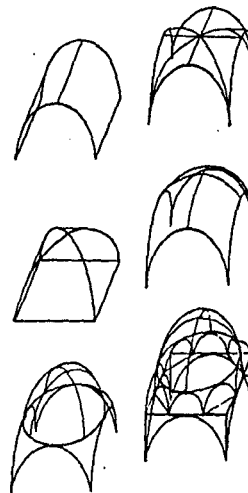
DE CRUCERÍA

DE CLAUSTRO

APOYADOS EN ARCOS

DE PECHINAS

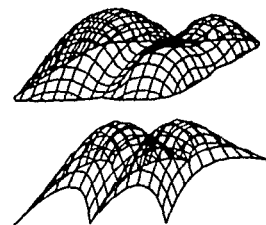
DE TROMPA



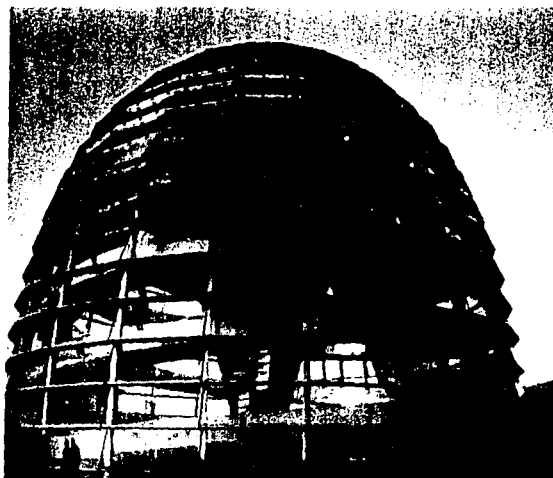
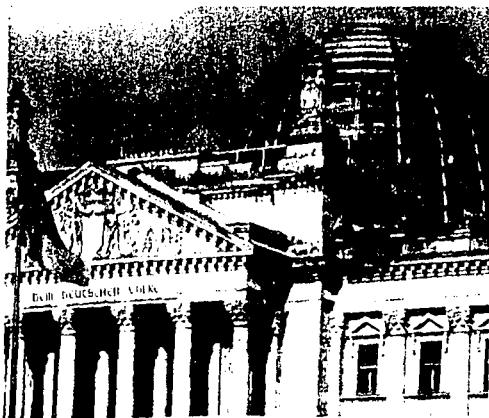
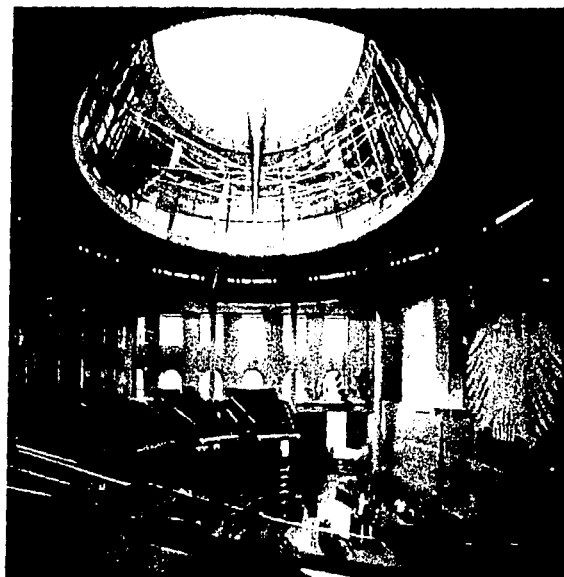
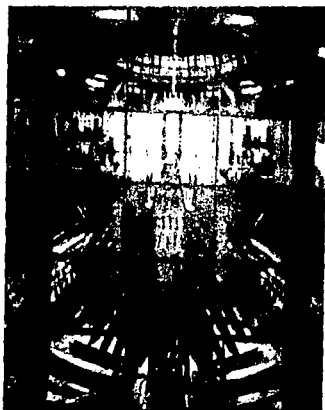
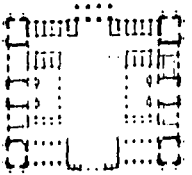
**RETÍCULAS
ABOVEDADAS**

PERÍMETRO
PLANO

ARCOS
PERIMETRALES

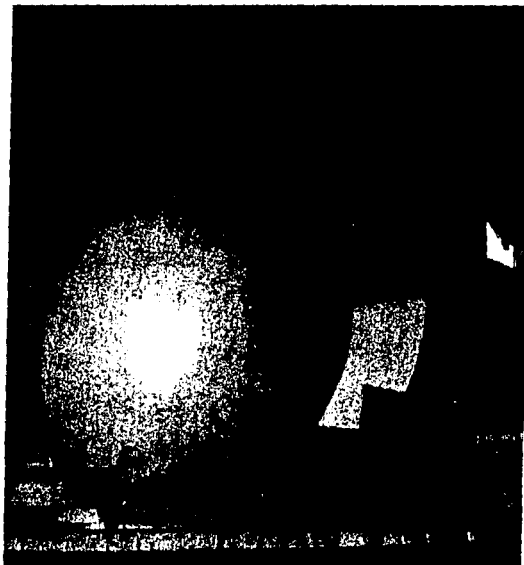
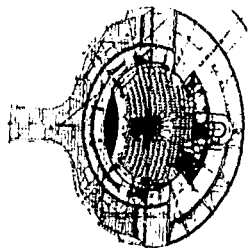
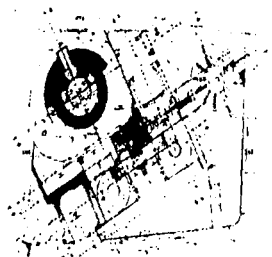
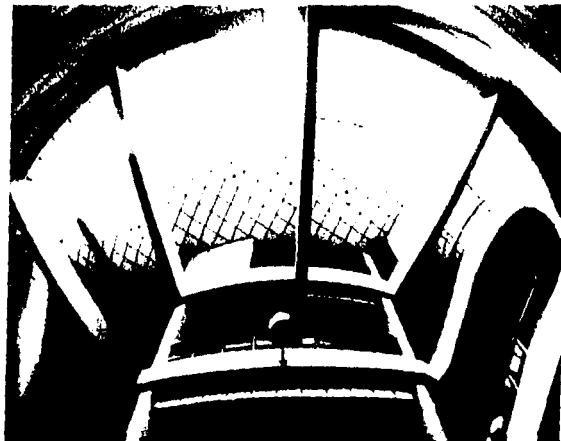


Edificio del Reichstag
Loc: Berlín, Alemania
Fecha. 1992 - 1999
Proy. Norman Foster



Centro Cultural Tijuana
Loc: Tijuana, México.
Fecha: 1982
Proy: Pedro Ramirez Vazquez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

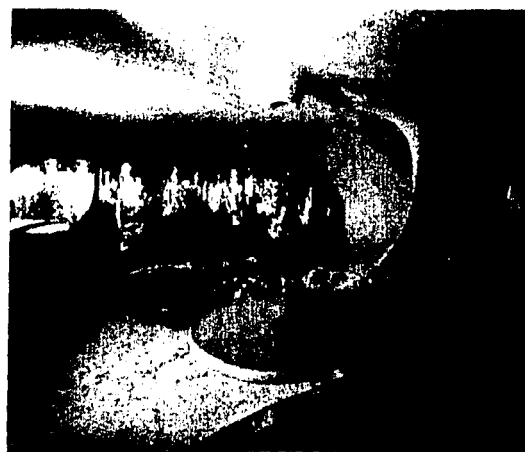
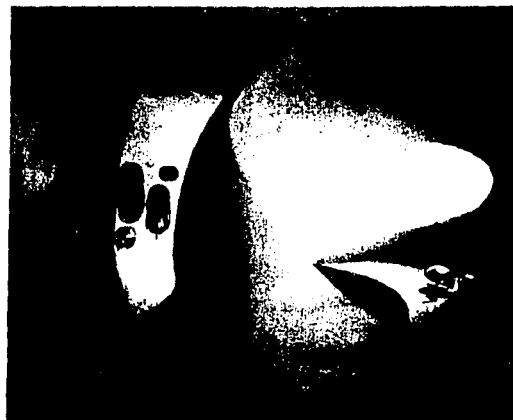
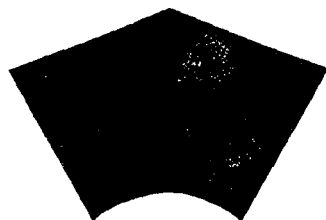


Casa Orgánica

Loc: Edo. de México

Fecha: 1985

Proy: Javier Senosiain Y Daniel Arredondo

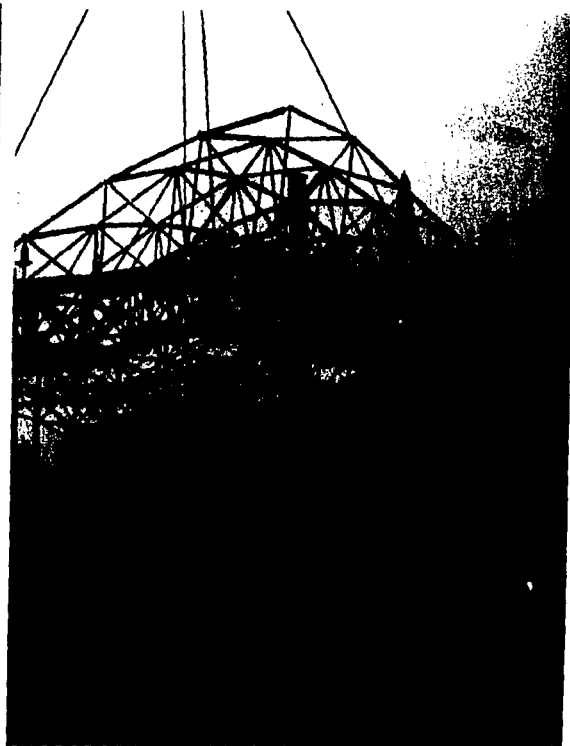
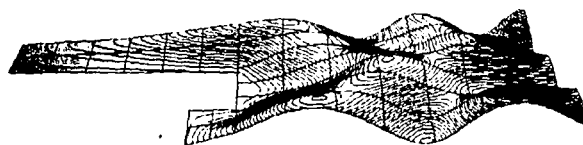
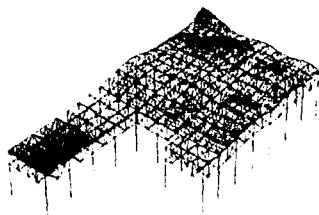
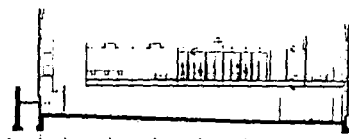


Pabellón de Portugal

Loc: Expo Hanover 2000, Germany

Fecha: 1999-2000

Proy: Álvaro Siza y Souto de Moura



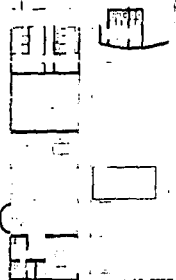
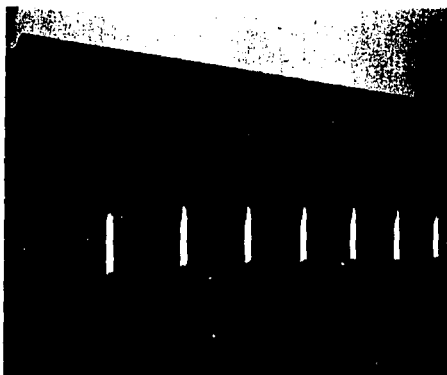
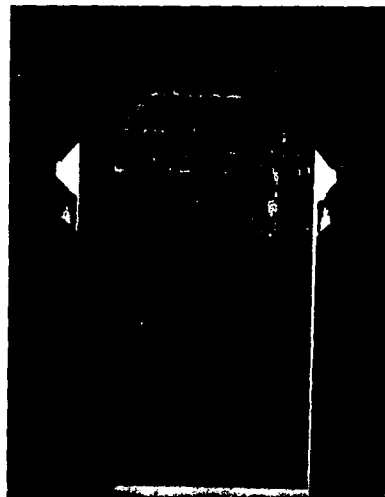
TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

Industria Mediana y Oficinas En Condominio

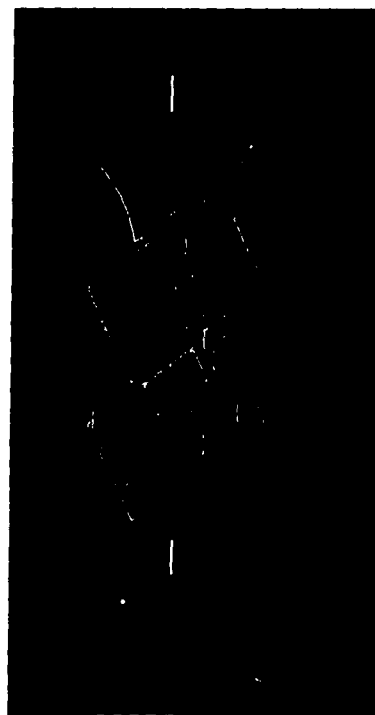
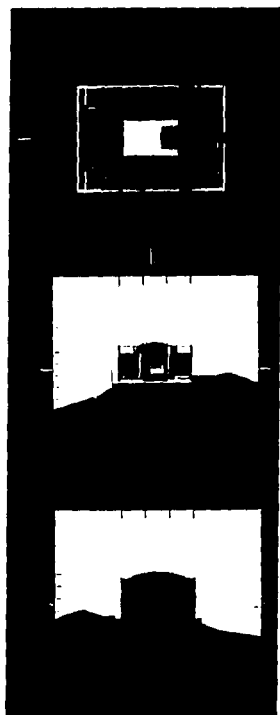
Loc: Tlahuac, Ciudad de México.

Fecha: 1994-1995

Proy: Luis Méndez Jiménez, César Pérez Becerril y Enrique Ruiz Gutiérrez

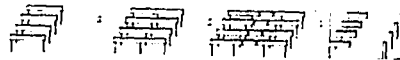


Centro de Operaciones de
Emergencia de los Ángeles
Loc: L.A., E.U.A.
Fecha: 1995
Proy: BTA



**ESTRUCTURAS
DE VIGAS**

VIGAS DE UN CLARO



VIGAS CONTINUAS



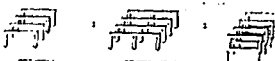
VIGAS ARTICULADAS



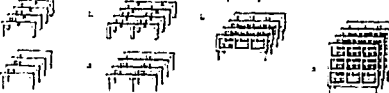
VIGAS EN VOLADIZO

**ESTRUCTURAS
DE PÓRTICOS**

PÓRTICOS



PÓRTICOS DE VARIOS
VANOS

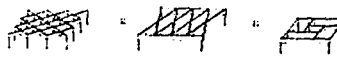


**ESTRUCTURAS
DE RETÍCULA
DE VIGAS**

RETÍCULAS HOMOGENEAS



RETÍCULAS ESCALONADAS

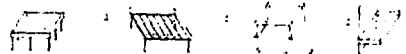


RETÍCULAS
CONCÉNTRICAS

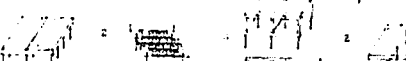


**ESTRUCTURAS
DE LOSAS**

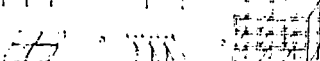
LOSAS MACIZAS



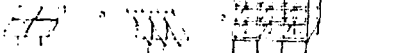
LOSAS NERVADAS



LOSAS RETÍCULADAS



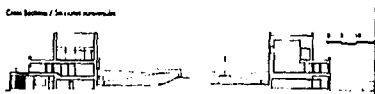
LOSAS EN VOLADIZO



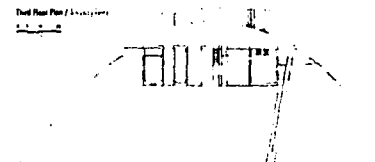
Museo de fotografia Shoji Ueda
Loc: Tottori, Japan
Fecha: 1995
Proy: Shin Takamatsu



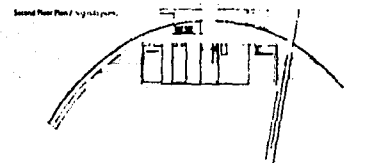
Longitudinal Section / Section 1-1



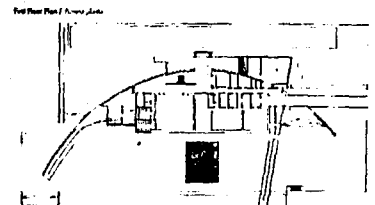
Cross Section / Section 2-2



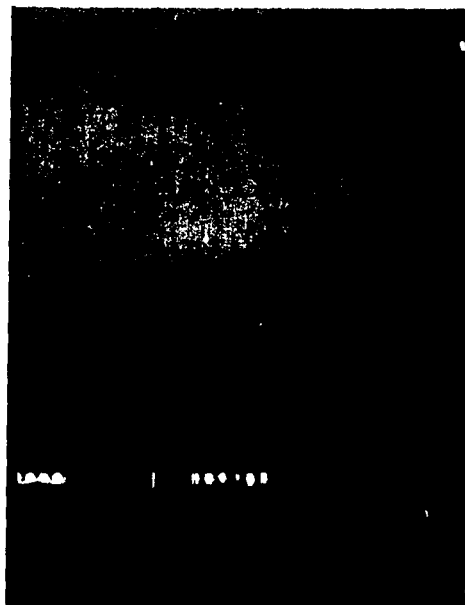
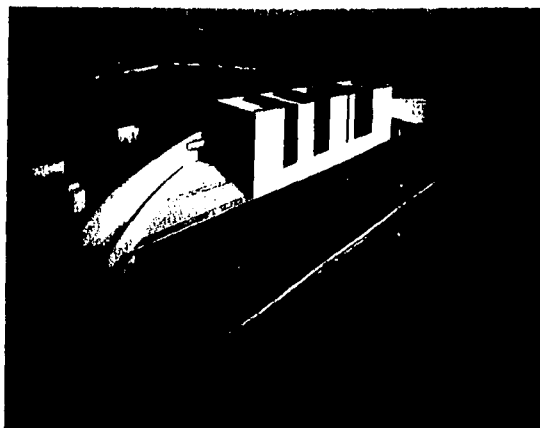
Third Floor Plan / 3rd Floor



Second Floor Plan / 2nd Floor



First Floor Plan / 1st Floor



Museo de la laguna de Fukushima
Loc: Toyo Saka, Niigata, Japan
Fecha: 1997
Proy: Jun Aoki

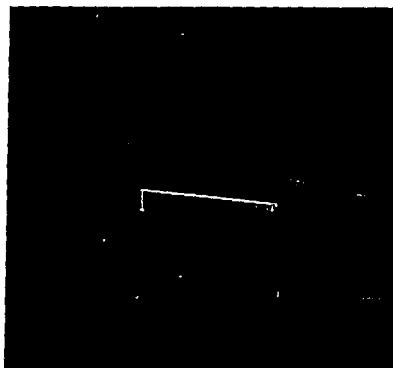
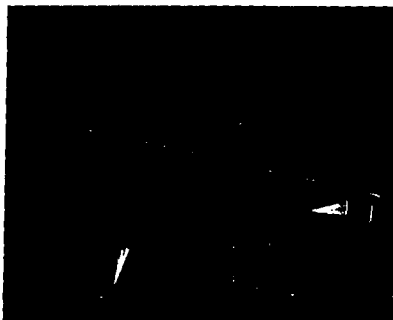


Centro Internacional de Arquería

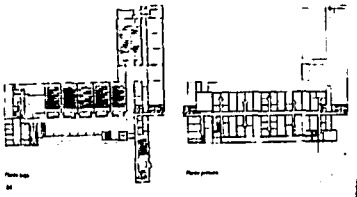
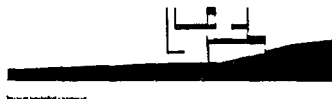
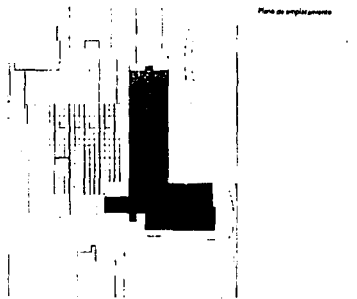
Loc: Homebush Bay, Sidney, Australia

Fecha: 1996

Proy: Stutchbury Pape



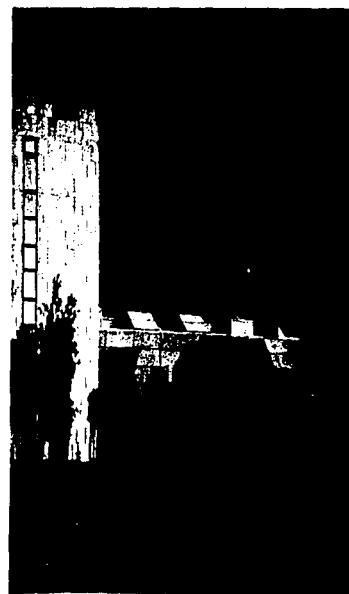
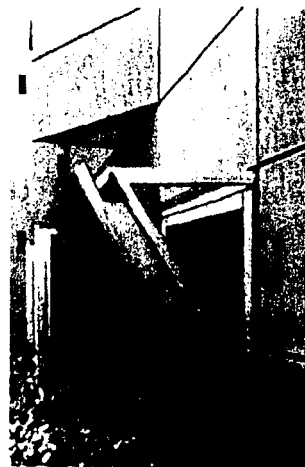
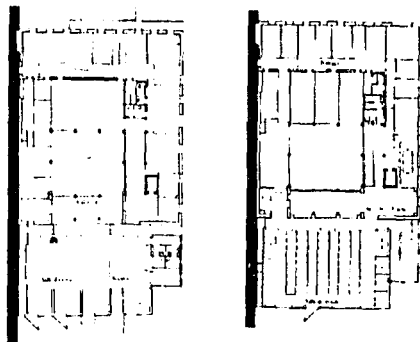
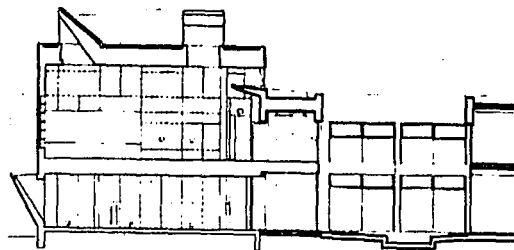
Facultad de Periodismo
Loc: Pamplona, España
Fecha: 1994
Proy: Vicens/Ramos



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Centro de Archivos de Ultramar
Loc: Aix En Provence, Francia.
Fecha: 1996
Proy: Lacoste, Robain, Guieysse

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Termina de Autobuses

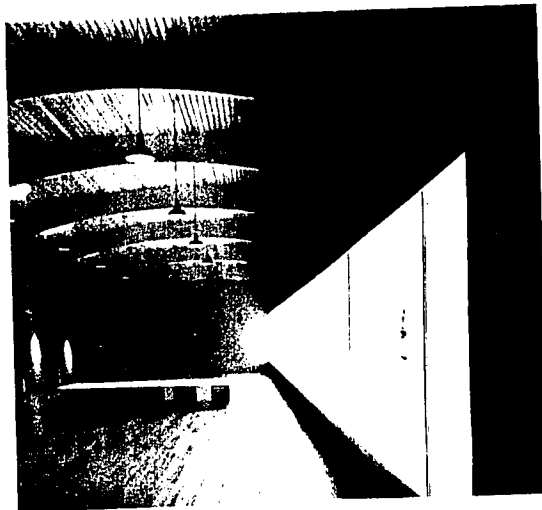
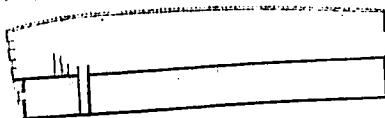
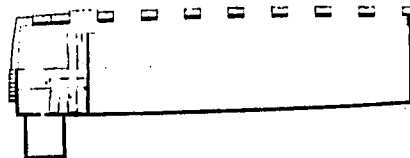
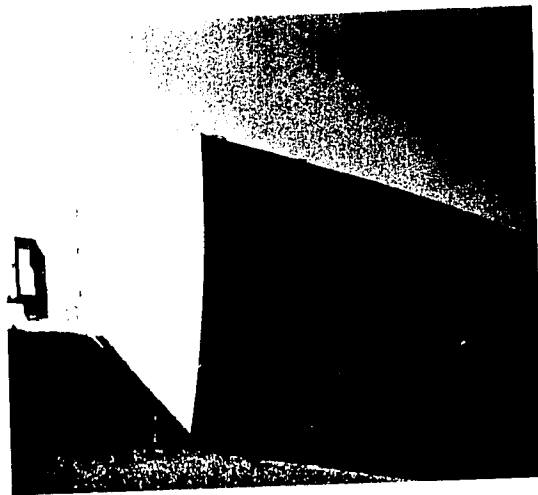
Loc: Jalapa, Veracruz

Fecha: 1990

Proy: Murillo-Berman y Asoc.



Almacén y Sala de Exposición Holzaltenried
Loc. Hergatz, Alemania
Fecha: 1995
Proy. Carlo Baumschlager, Dietmar Eberle



**ESTRUCTURAS
DE ARMADURAS
PLANAS**

DE CUERDA SUPERIOR

DE CUERDA INFERIOR

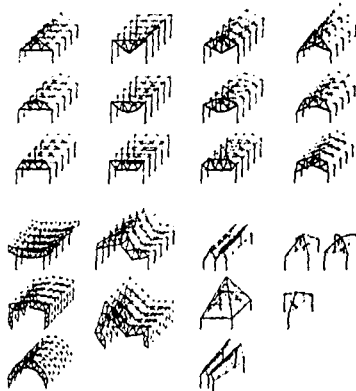
DE DOS CUERDAS

SOBRE ELEVADAS

ARMADURAS LINEALES

ARMADURAS PLEGADAS

ARMADURAS CRUZADAS



**ESTRUCTURAS
DE ARMADURAS
CURVAS**

DE CURVATURA SIMPLE

DE DOBLE CURVATURA

EN FORMA DE CÚPULA

EN FORMA ESFÉRICA



**ESTRUCTURAS
DE MALLAS
ESPACIALES**

PLANAS

PLEGADAS

CURVEADAS

LINEALES

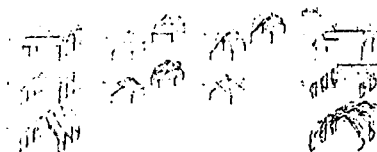


**ESTRUCTURAS
DE LÁMINAS
PLEGADAS**

PRISMÁTICAS

POLIÉDRICAS

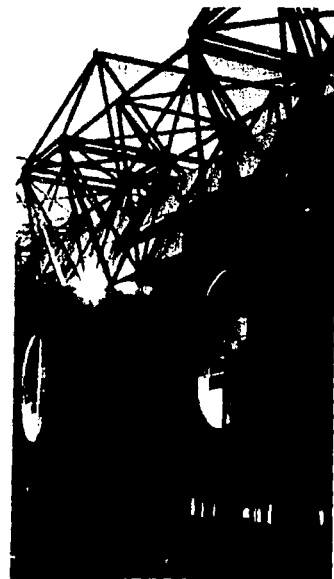
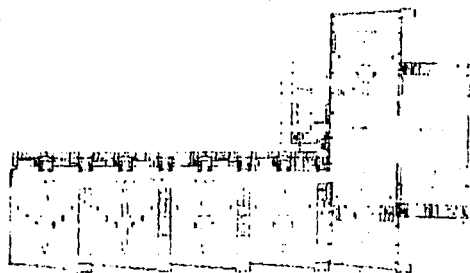
INTERSECCIONADAS



Angar de Ensamblaje de Airbus

Loc: Toulouse, Francia

Proy: Cardete y Huet, Calvo y Tran Van

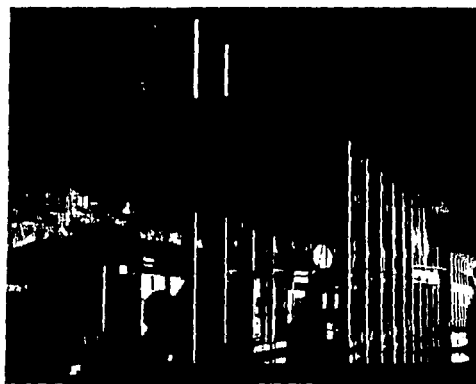
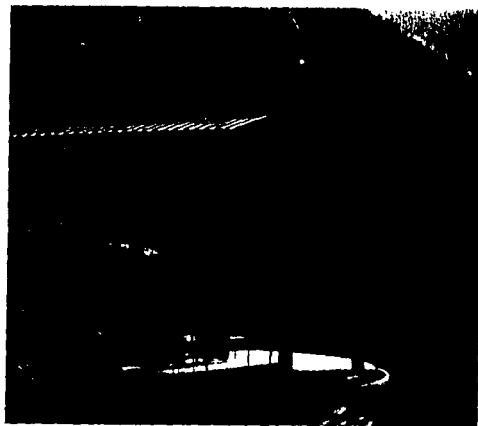
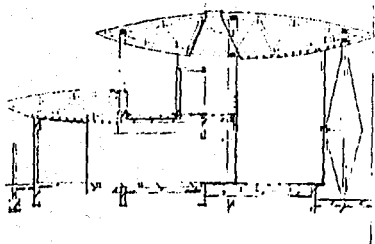
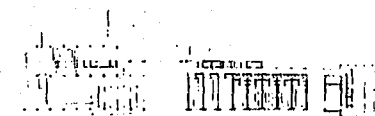


Centro para Visitantes Yusuhara

Loc: Takaoka, Prefectura Del Kochi, Japón

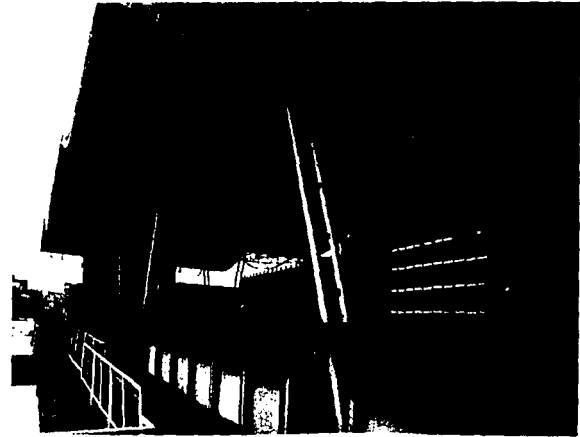
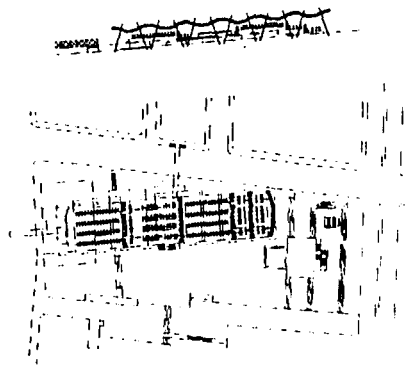
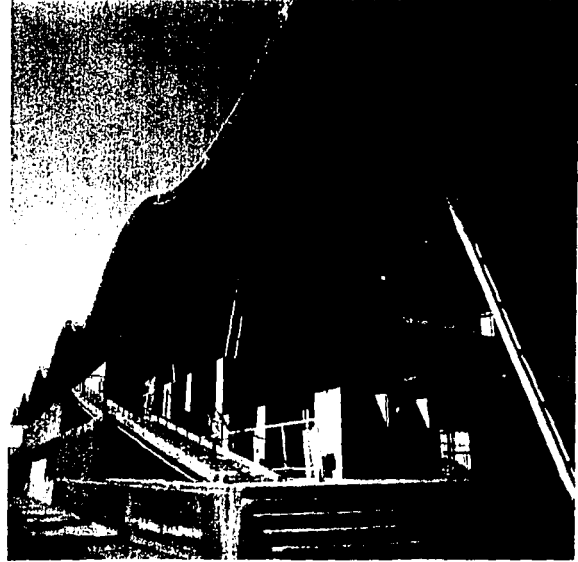
Fecha: Marzo 1994

Proy. Kengo Kuma



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Mercado Pino Suárez
Loc: Ciudad de México
Fecha: 1992
Proy: Félix y Luis Sánchez



Estaciones Del Metro Línea A

Loc: Ciudad de México

Fecha: 1991

Proy: Nuño, Mc Gregor, Broid, Sáenz.

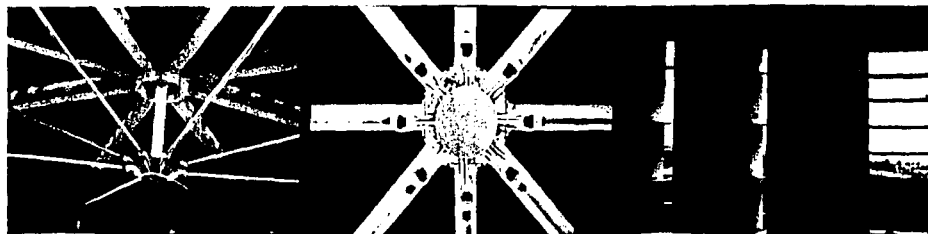
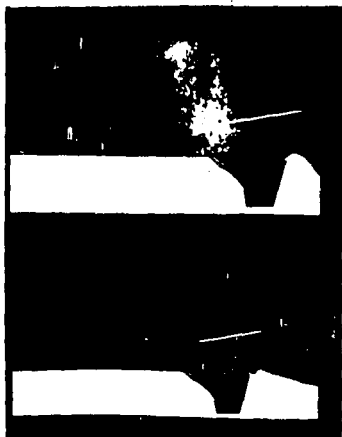
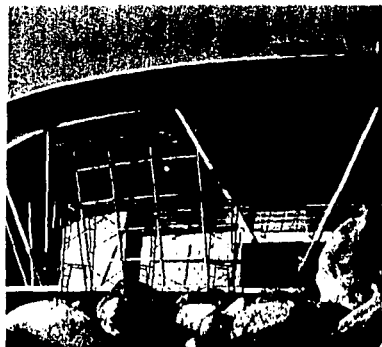


Laboratorios Augen Ópticos

Loc: Ensenada, B.C., México

Fecha: 1998-2000

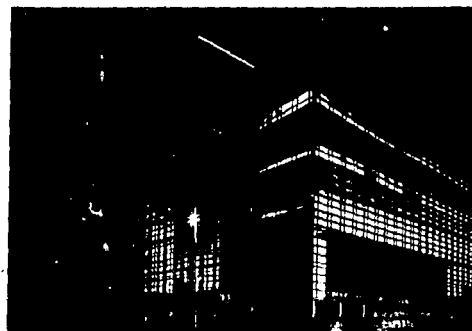
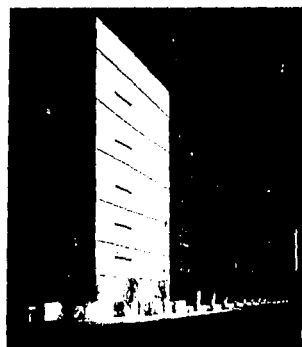
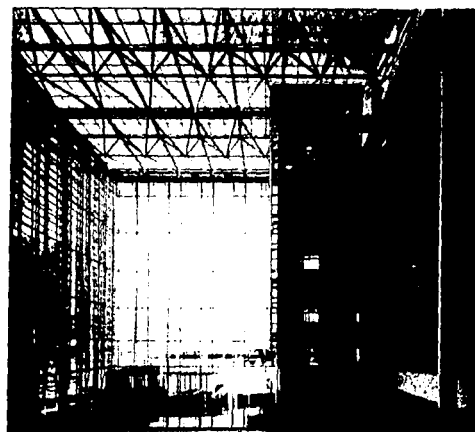
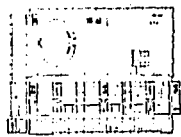
Proy: Alberto Kalach



Juzgado de Phoenix

Loc: Phoenix Arizona, Eeuu

Proy: Richard Meier

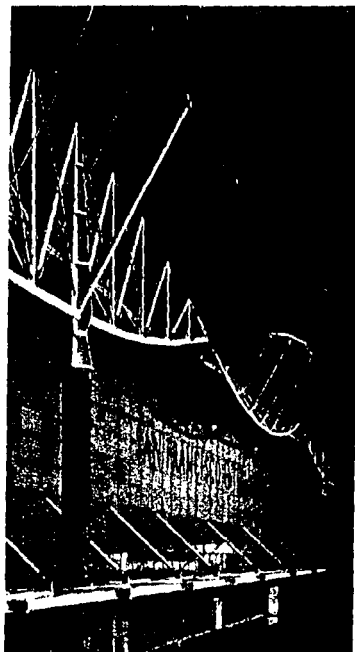
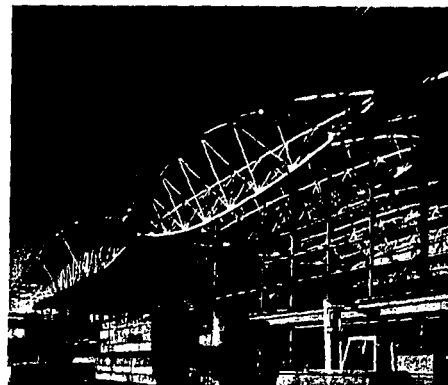
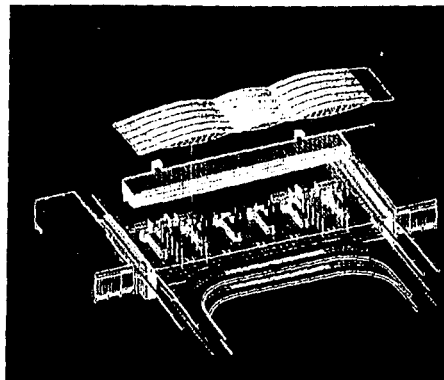


Nueva Terminal Internacional del Aeropuerto de San Francisco

Loc: California, E.U.A.

Fecha: 1993-2000

Proy: SOM, del Campo & Willis



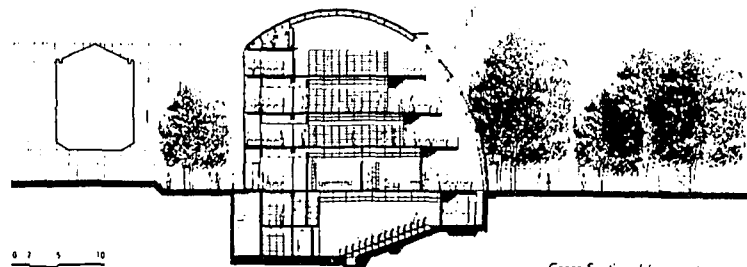
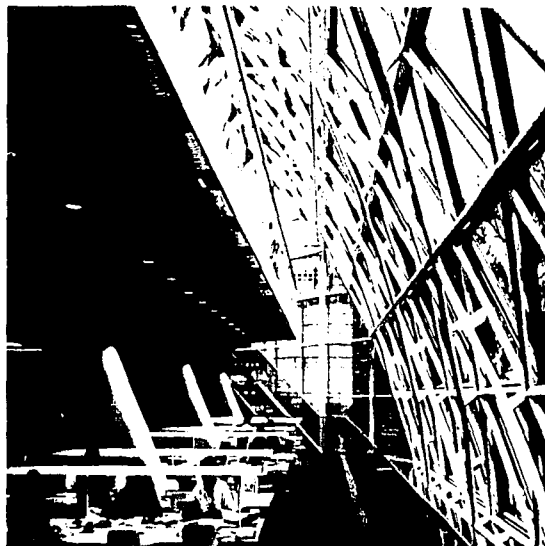
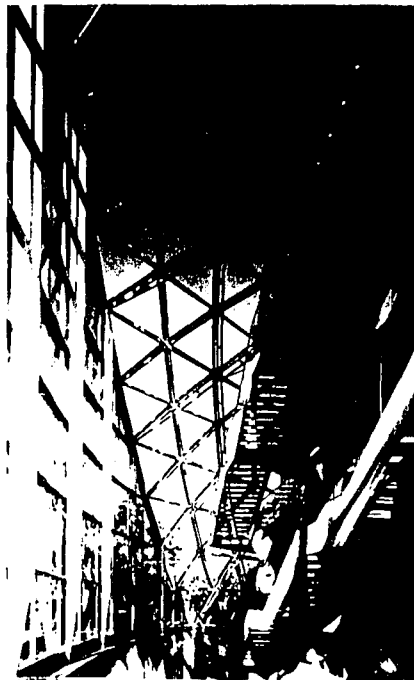
Facultad de Leyes, Universidad de Cambridge

Loc: Cambridge, Reino Unido

Fecha: 1995

Proy: Norman Foster & Partners

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN



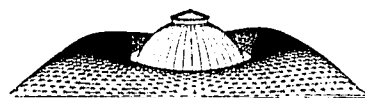
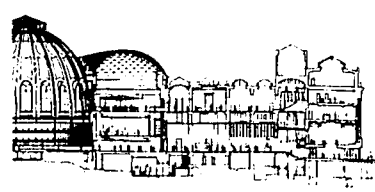
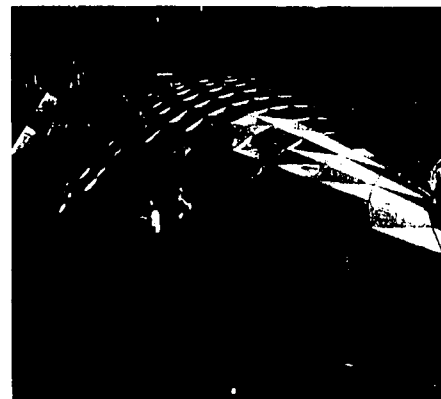
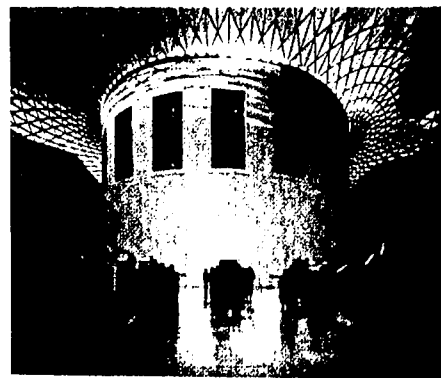
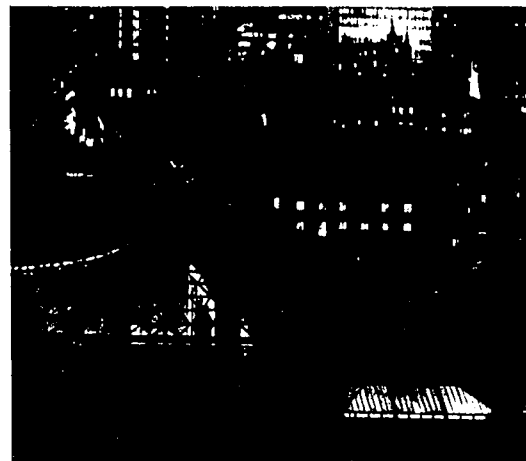
Cross Section / Sección Transversal

Cubierta para el patio del Museo Británico

Loc: Londres, Reino Unido De La Gran Bretaña.

Fecha: 2000-

Proy: Norman Foster & Partners

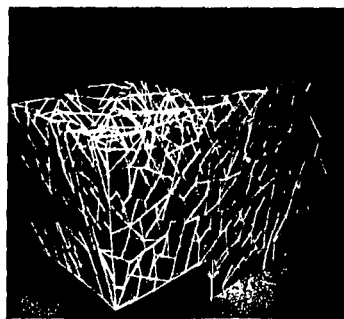
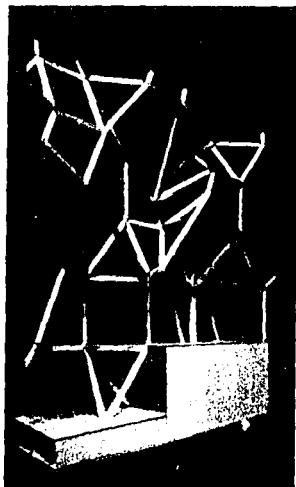


Federation Square

Loc: Melbourne, Australia

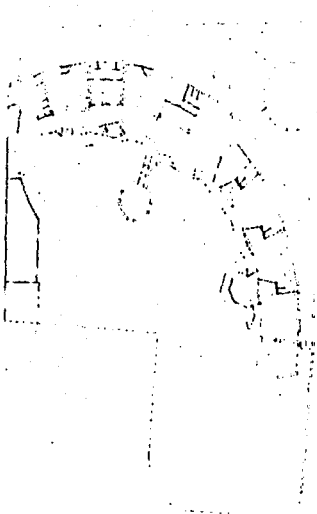
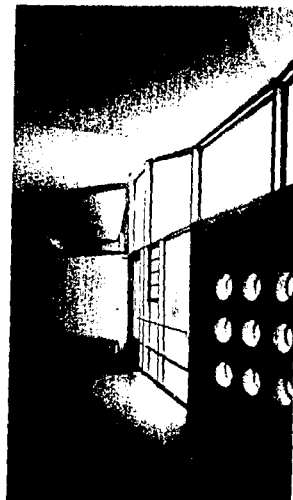
Fecha: 1997-2001

Proy: LAB



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Jardín de Niños Público
Loc: Frankfurt, Alemania
Fecha: 1993
Proy. Toyo Ito & Associates

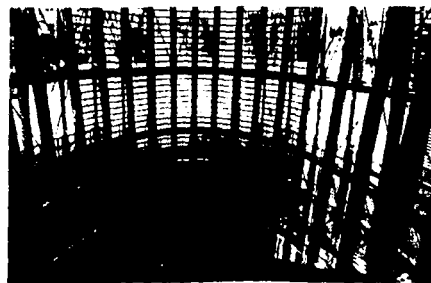
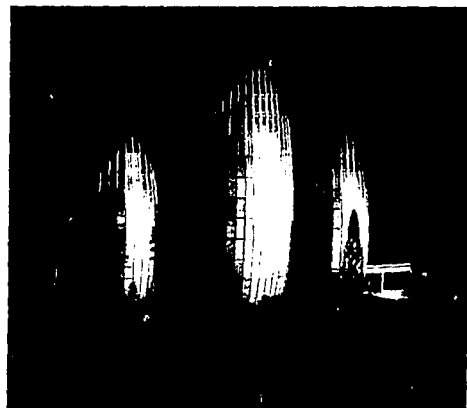


Centro Cultural Jean Marie Tjibaou

Loc: Noumea, Nva. Caledonia.

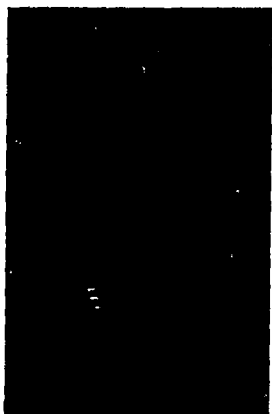
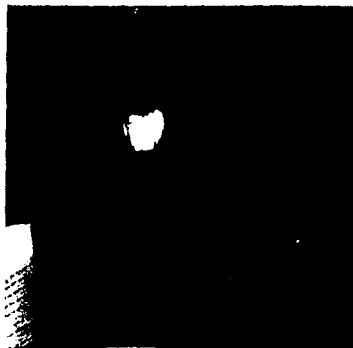
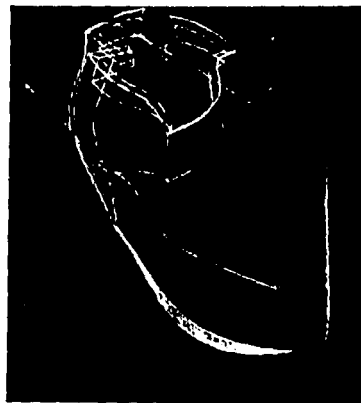
Fecha: 1991-1998

Proy: Renzo Piano



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Museo Guggenheim
Loc: Bilbao, Euskadi, España.
Fecha: 1997
Proy: Frank O. Gehry



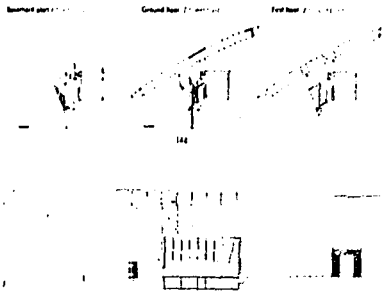
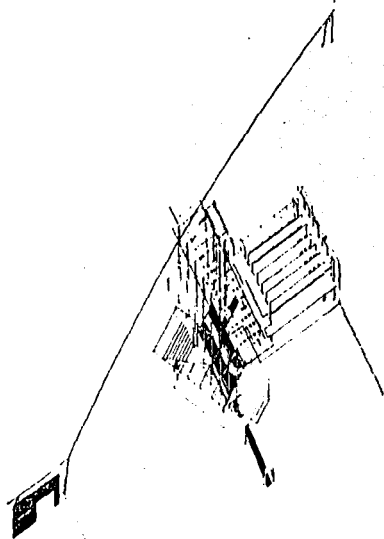
Instituto de Arquitectura de Holanda

Loc. Rotterdam, Holanda

Fecha: 1993

Proy. Jo Coenen

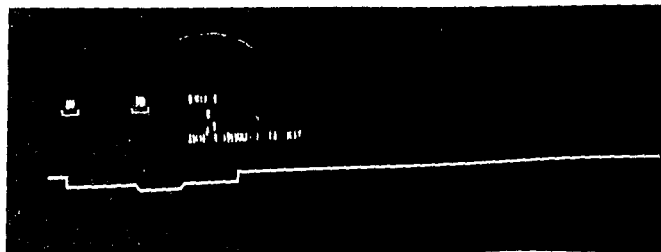
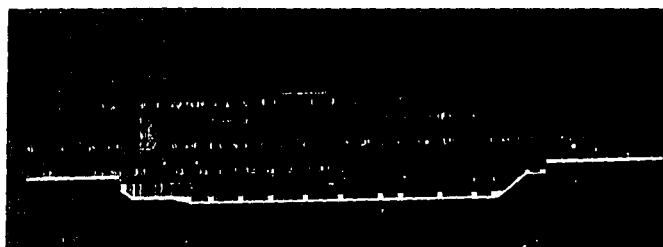
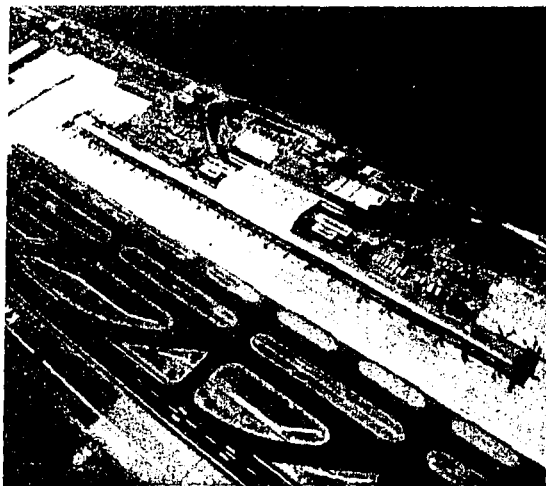
Axonomic projection / Axonometría



Cross section



Aeropuerto Kansai
Loc: Osaka, Japón
Fecha. 1994
Proy: Renzo Piano



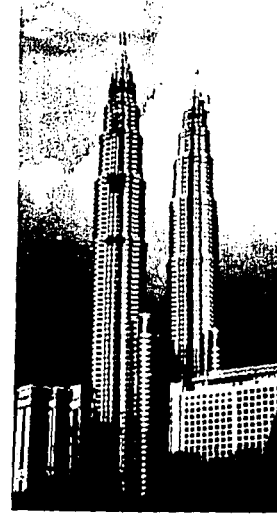
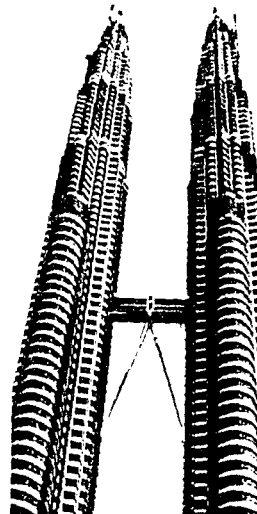
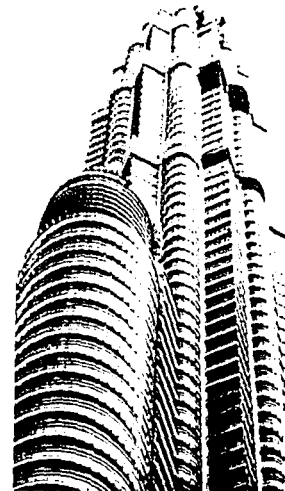
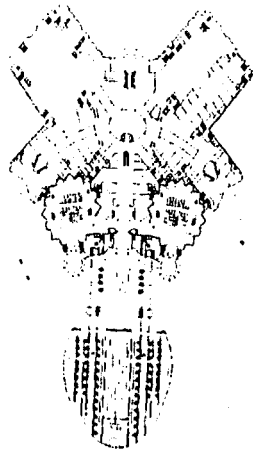
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Torres Petronas

Loc: Kuala Lumpur

Fecha: 1996

Proy: Cesar Pelli & Asociados



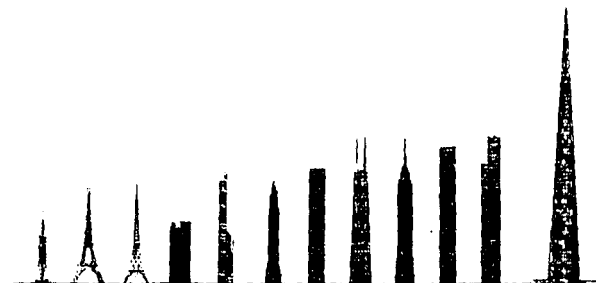
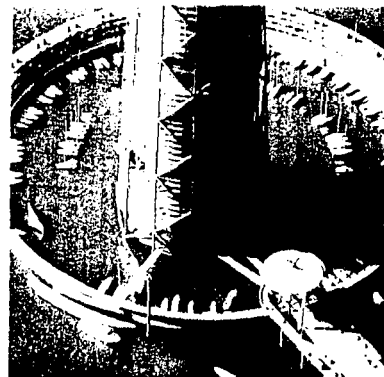
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Torre Millenium

Loc: Tokio, Japón.

Fecha: 1990 (proyecto)

Proy: Foster & Partners



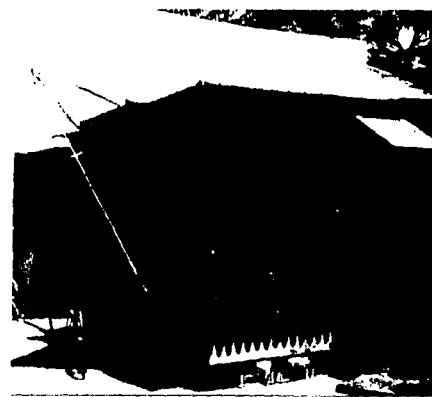
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Viviendas temporales para los afectados del terremoto de Kobe

Loc: Nagata-ku, Kobe, Japón

Fecha: 1995

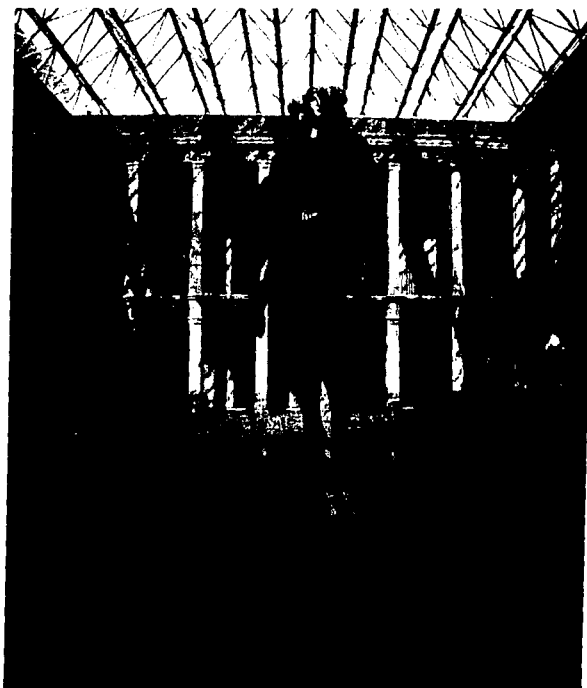
Proy: Shigeru Ban



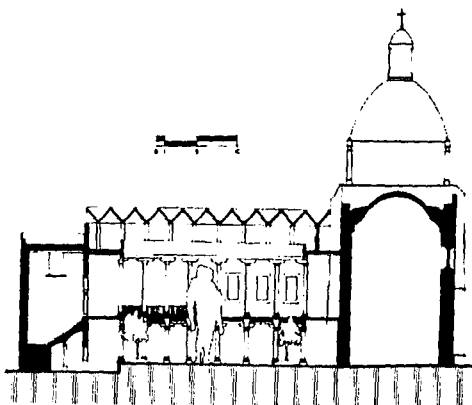
TESTIS CON
FALLA DE ORIGEN



Museo José Luis Cuevas
Loc: Ciudad de México
Fecha: 1992
Proy: Alejandro Rivadeneyra



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

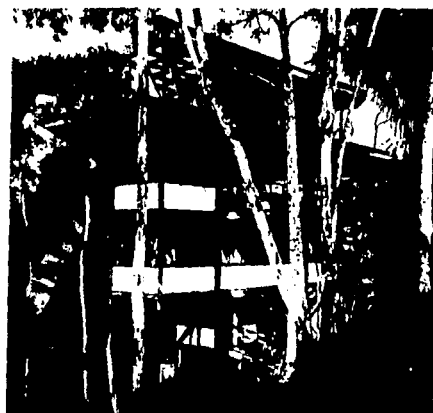


Acayaba House

Loc: Guarujá, Sao Paulo, Brasil.

Fecha: 1996-1997

Proy: Marcos Acayaba.



Bibliografía

MOORE, F. Comprensión de las estructuras en la arquitectura. México, Ed. Mc Graw Hill, 2000; 286 págs.

El texto está dirigido a estudiante y otros lectores, con objeto de introducirlos a los conceptos de soporte estructural en los edificios y enfatizar la importancia de integrar la estructura y el diseño arquitectónico. Comienza con el análisis de la teoría estructural en mecánica y resistencia de materiales, y posteriormente describe los diferentes sistemas estructurales que existen clasificados por su forma, a saber: Sistemas armados, Sistemas de marcos, Sistemas funiculares, Sistemas de cascarones. Más adelante hace un análisis de los diferentes materiales usados en la construcción de estructuras y sus condiciones. Todas las explicaciones se apoyan sobre diagramas conceptuales y casos de estudio ilustrativos, el autor aborda también análisis sencillos de fórmulas.

GERHARD W., P, GATZ, K. Edificios de hormigón. Barcelona, Ed. GG, 1969; 223 págs.

Estudio sobre la configuración, estructura y técnica de la construcción en concreto armado. La primera parte de la obra esboza una excelente panorámica sobre el desarrollo de la construcción en este material, en una visión retrospectiva y actualizada hasta el año de publicación. La segunda parte consiste en un análisis de numerosos ejemplos de edificios construidos con concreto armado reproducidos con fotografías y gráficos, abundando en las posibilidades técnicas de este material para cada ejemplo.

FABER, C. Las estructuras de Candela. México, CECSA, 1970; 255 págs.

Análisis amplio y detallado del trabajo del arquitecto Candela con estructuras de cascarón de concreto armado. Revisión de dichos proyectos en orden cronológico, se incluyen explicaciones técnicas y extractos de los cálculos reales limitados al razonamiento estático –el método usual de Candela–. Gráficos, fotografías y dibujos extraordinarios.

FAEGRE, T. Tents, architecture of the nomads. Nueva York, Ed. Anchor Press, 1979; 167 págs.

Estudio profundo sobre la arquitectura vernácula de tiendas. Materiales, métodos de construcción, análisis histórico y amplias descripciones sobre las condiciones y condicionantes que rodean a las tiendas del medio oriente, de la región mongola, de Siberia, de la región inuit y de la región lapona

ROLAND, C. Frei Otto: Estructuras. Barcelona, Ed. GG, 1965; 168 págs.

Con un prólogo de Félix Candela, esta obra muestra una semblanza del arquitecto Otto y un amplio y detallado examen de los estudios estructurales, proyectos, ingenios experimentales y obras acabadas que se realizaron entre 1953 y 1967 por él mismo y sus colegas. Los principales tipos de estructuras descritos son redes de cables y membranas. El autor examina, a su vez, el potencial que este tipo de estructuras pueden tener a futuro.

DENT, N.R. Arquitectura neumática. Barcelona, Ed. Blume, 1975; 230 págs.

Estudio sobre los diferentes tipos de estructuras neumáticas, definiciones y diferenciación de cada uno de los tipos. Conceptos sobre materiales, posibles usos, cómo se calculan y revisión de varios casos de estudio, principalmente de la Expo '70.

DREW, P. Frei Otto: Form and structure. Londres, Ed. CLS, 1976; 170 págs.

Semblanza del arquitecto Frei Otto y revisión de su obra experimental y construida en estructuras de redes de cables, estructuras neumáticas y membranas. Estudio de conceptos teóricos y de numerosos ejemplos, extraordinarios gráficos y fotografías.

HERZOG, T. Construcciones neumáticas. Barcelona, Ed. GG, 1976; 191 págs.

Con la colaboración de Gernot Minke y Hans Eggers, se confecciona este manual para arquitectos que conforma una introducción ilustrada a las estructuras neumáticas. Se explican los fundamentos técnicos y se describen las ventajas de construir edificios que permiten cubrir grandes claros con esta técnica a bajo costo. Contiene un pequeño análisis histórico y la documentación de las principales estructuras neumáticas de las décadas de los 60 y 70. Incluye datos técnicos y diagramas de cálculo.

BORREGO, J. Space grid structures. Cambridge, MIT Press, 1968; 200 págs.

Tratado sobre estructuras tridimensionales. Revisión de varios métodos, materiales y tecnologías por medio de proyectos (casos de estudio). Explicación conceptual breve, imágenes y gráficos detallados.

SENOSIAIN, J. Bio Arquitectura. México, Ed. Limusa - Noriega editores. 1996; 191 págs.

Texto de investigación sobre los sistemas formales y estructurales de la naturaleza y como el hombre a copiado estos patrones a través de la historia para construir espacios habitables. El trabajo, además revisa estos conceptos desde la experimentación propia del autor con obras construidas de complejos habitacionales unifamiliares y plurifamiliares.

WILSON, F. Structure: the essence of architecture. Nueva York, Studio Vista/Van Nostrand Reinhold Co., 1971; 96 págs.

Descripción de la arquitectura como un "arte estructural". Conceptos básicos sobre estructuras, consideraciones generales. Revisión sobre las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre las estructuras de manera conceptual y lógica para concebir las formas estructurales, principalmente a base de imágenes y gráficos sumamente explicativos.

SIEGEL, C. Formas estructurales en la arquitectura moderna. México, Ed. CECSA, 1967. 310 págs.

Análisis conceptual de las formas constructivas desde su punto de vista estructural. Revisión de los problemas de la forma estructural sin abundar en su cálculo. Se ilustran varios esquemas generales y se ejemplifica con edificios de arquitectura moderna. Gráficos, dibujos y fotografías que explican e ilustran los conceptos.

SALVADORI, M. Why buildings stand up. The strength of Architecture. Nueva York, Ed. Norton, 1990; 323 págs.

Revisión y descripción de hitos estructurales en la historia, desde las pirámides hasta construcciones del siglo XX. Planteamientos generales al problema de una estructura, descripción del aspecto de función de una estructura, las fuerzas y esfuerzos que actúan en ella, sus condiciones de equilibrio, resistencia y estética y los materiales que se utilizan en la construcción de estructuras. Ilustraciones de conceptos teóricos y de ejemplos de construcciones.

SALVADORI, M., HELLER, R. Estructuras para Arquitectos. Buenos Aires, Ed. La Isla, 1978; 374 págs.

Texto dirigido a estudiantes de arquitectura, como apoyo en la comprensión del funcionamiento de las estructuras, las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre ellas, los requerimientos de equilibrio resistencia, durabilidad, estética y economía. Muestra una clasificación general de los tipos de estructuras que existen, los materiales que principalmente se utilizan para construir las, con un análisis de varios ejemplos históricamente importantes. Ilustraciones de conceptos teóricos y de ejemplos de construcciones.

SANDAKER, B., EGGEN, A. The structural basis of Architecture. Nueva York, Whitney Library of Design, Pub. Watson- Gupill, 1992; 224 págs.

Dualidad estructural: lo técnico y lo estético; Las cargas y fuerzas que afectan a las estructuras; resolución de fuerzas, equilibrio estático, momentos de las fuerzas; Las Armaduras, ejemplos históricos, fuerzas, esfuerzos y elasticidad, armaduras en Oriente y Occidente, el Centro Pompidou, R. Piano y Rogers, Estructuras tridimensionales; La Viga, historia y prehistoria, representación del problema, momentos y cortantes, vigas de Utzon, la Casa de la cascada de F.L. Wright, vigas continuas y vigas Gerber, red de vigas y losa; La Columna, en el umbral de la Acrópolis, el capitel, cómo trabaja una columna, columnas cortas, esbeltez, el descubrimiento de Euler; El Marco rígido: interacción entre columna y viga, la función del marco como forma estructural, fuerzas y esfuerzos, el Crown Hall; El Arco, indicador histórico, el carácter del arco y la bóveda, forma y función, reacciones de fuerzas, apoyo, momentos, ejemplos históricos, la bóveda y la luz; El Cable y el cascarón, estructuras de suspensión y cascarón, estática en cables, E. Saarinen, red de cables y lona, estructuras de cables en París y Tokio; Detalles estructurales, la Pirámide del Louvre, concreto Noruego, los detalles de Mies van der Rohe, Santiago Calatrava.

PEARCE, P. Experiments in form. Nueva York, Ed. Van Nostrand Reinhold, 1980; 146 págs.

Fundamentos de diseño tridimensional. Principios fundamentales de estructura modular para las bases del diseño a partir de modelos copiados de la naturaleza. Experimentos y estudios de caso para problemas estructurales básicos. Referencia a obras constructivas de estructuras notables en el siglo pasado.

PEARCE, P. Structure in nature as a strategy for design. Cambridge, The MIT Press, 1978; 245 págs.

Estudio de las formas naturales desde niveles moleculares hasta desarrollar estructuras masivas. Geometría básica, a partir de modelos naturales, de formas estructurales. Experimentos, ejercicios y casos de estudio.

KEPES, G. La estructura en el arte y la ciencia. México, Ed. Novaro, 1965; 189 págs.

Compilación de escritos de especialistas en los campos de la ciencia, la psicología, la ingeniería, la arquitectura, la lingüística, la crítica de arte, la escultura y la pintura, que plantean el concepto de estructura como nuevo principio ordenador en todos los ámbitos del pensamiento creativo y su aplicación práctica en nuestro tiempo. Atomismo, estructura y forma; Estructura, subestructura y superestructura; El descubrimiento de la forma; ¿Evoluciona la arquitectura hacia formas y características inmutables?; Estructura, construcción y tectónica; entre otros.

ENGEL, H. Sistemas de estructuras. Madrid, Ed. Blume, 1970; 280 págs.

Clasificación y estudio de fuerzas y esfuerzos de los sistemas estructurales: 1. Estructuras que actúan mediante su forma material (sistemas de forma activa o sistemas estructurales en estado de tracción o compresión simples). 2. Estructuras que actúan mediante la colaboración de los miembros en compresión y tracción (sistemas de vector activo o sistemas estructurales en estado de tracción y compresión, ejercidos simultáneamente). 3. Estructuras que actúan debido a la masa y continuidad de la materia (sistemas de masa activa o sistemas estructurales en estado de flexión). 4. Estructuras que actúan mediante su continuidad superficial (sistemas de superficie activa o sistemas estructurales en estado de tensión membrana). 5. Estructuras que actúan mediante transmisión vertical de las cargas (sistemas estructurales verticales).

ENGEL, H. Sistemas de estructuras. Barcelona, Ed. GG, 1997; 352 págs.

Edición ampliada y revisada. El texto explica los mecanismos de las estructuras constructivas y sus posibilidades para el diseño de edificios, fundamentalmente mediante ilustraciones. Presenta una clasificación de conocimientos básicos sobre formas estructurales, de manera comprensiva para los arquitectos.

FRANCIS, A.J. Introducción a las estructuras. México, Ed. Limusa, 1984; 316 págs.

Consideraciones generales, desarrollo histórico de las estructuras, flujos de los esfuerzos, materiales estructurales, cables y arcos, armaduras y vigas, presforzados, placas cascarones y estructuras de cables, edificios de pisos múltiples, cimentaciones, algunas fallas estructurales y sus lecciones.

COWAN, H.J., WILSON, F. Structural systems. Nueva York, Ed. Van Nostrand Reinhold Books, 1972; 256 págs.

Acercamiento histórico, cargas dinámicas y estáticas, fuerzas térmicas y de asentamiento, requerimientos de equilibrio y estabilidad, consideraciones generales sobre materiales estructurales, sus propiedades y factores de seguridad, el concepto del momento, composición y resolución de fuerzas, elementos estructurales, esfuerzos y deformaciones, uniones estructurales, tipos de sistemas estructurales de edificios de gran altura, consideraciones generales sobre cimentaciones, tipos de estructuras curvas y estructuras de grandes claros.

CRICHLLOW, K. Order in space. Cambridge, Ed. Thames & Hudson, 1969; 120 págs.

El material contenido en este libro representa una forma de acercarse al orden en el espacio. Es un instrumento en el diseño, en general, basado en patrones y geometría; obtenido de la matemática elemental y los patrones en la naturaleza.

ALLEN, E. Stone shelters. Cambridge, MIT Press, 1969; 203 págs.

Estudio sobre la construcción de estructuras con piedra, principalmente en la región de Murcia, Italia. Análisis del contexto histórico y geográfico. Análisis del desarrollo de algunas de estas estructuras, ejemplos de arquitectura vernácula de localidades como Alberobello, Massafra, y Cisternino. Croquis, fotografías, plantas y cortes.

AMBROSE, J. Análisis y diseño de estructuras. México, Ed. Limusa, 1998; 844 págs.

Aspectos básicos sobre estructuras, consideraciones generales, funciones y elementos arquitectónicos, características y clasificación de los sistemas estructurales, orígenes de las cargas, cargas o fuerzas estáticas y dinámicas, fuerzas térmicas y de asentamiento, reacciones, esfuerzos y deformaciones, diseño con respecto al comportamiento estructural, consideraciones generales sobre materiales estructurales.

Estructuras de madera: aspectos generales, vigas, viguetas y cubiertas, columnas, sujetadores y conexiones, estructuras especiales de madera.

Estructuras de acero: consideraciones generales, vigas, viguetas y cubiertas, columnas, conexiones, armaduras especiales de acero.

Estructuras de concreto: consideraciones generales, flexión, cortante, adherencia y su generación, sistemas estructurales de concreto, columnas, muros, cimentaciones, estructuras especiales de concreto.

Cimentaciones de edificios: consideraciones generales, propiedades del suelo y comportamiento de las cimentaciones, cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas, problemas especiales de cimentaciones.

BIBLIOGRAFIA DE APOYO:

MIRAFUENTES, J. Velarias de acero. Tesis de Maestría en Arquitectura, México, UNAM, 1989; 136 pp.

RISEBERRO, B. Historia dibujada de la arquitectura. Madrid, Ed. Celeste, 1979; 271 pp.

TIETZ J. Historia de la arquitectura del siglo XX. Barcelona, Ed. Könemann, 1998; 120 pp.

MILLAIS, M. Estructuras de edificación. Madrid, Ed. Celeste. 1996; 334 pp.

MANSBRIDGE, J. Historia gráfica de la Arquitectura. Buenos Aires, Ed. Victor Lerú. 1968; 191 pp.

ARNAL, L. BETANCOURT, M. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. México, Ed. Trillas, 4ta. Edición 1999.

HITCHCOCK, H.R. ET AL. Historia de la arquitectura. México, Ed. Novaro. 1967; 348 pp.

- NORWICH, J.J. ET. AL. The world atlas of architecture. Nueva York, Ed. Portland House. 1984; 408 pp.
- NORWICH, J.J. ET. AL. Gran arquitectura del mundo. Madrid, Ed. Blume. 1981; 288 pp.
- BAGENAL, P., MEADES, J. Great Buildings. Nueva York, Galahad Books. 1980; 192 pp.
- GOMBRICH, E.H. The story of art. Londres, Ed. Phaidon. 1972; 498 pp.
- YARWOOD, D. The architecture of Europe. N. York, Ed. Hastings House. 1974; 598 pp.
- GARDINER, S. Historia de la arquitectura. México, Ed. Trillas. 1994; 151 pp.
- BARDI, P.M. Viaje a través de la arquitectura. Barcelona, Ed. Noguer. 1971; 125 pp.
- Pearman, H. Contemporary world architecture. Londres, Ed. Phaidon. 1998; 511 pp.
- Enciclopedia monográfica de ciencias naturales. Tomos 1 "Minerales y Rocas/ Fósiles". Tomo 2 "Plantas inferiores y superiores". Tomo 3 "Invertebrados e insectos". Tomo 4 "Agnatos y peces/ anfibios y reptiles". España, Aguilar ediciones; 1974.
- GRASSE, P.P. Encyclopedia of the animal world. N. York, Ed. Larousse, 1975; 640 pp.
- WITFOHT, H. Puentes. Ejemplos internacionales. Barcelona, Ed. GG, 1975; 320 pp.
- CHING, F.D.K. Diccionario visual de arquitectura. Barcelona, Ed. GG, 1997; 357 pp.
- TOYNBEE, A. A study of History. Nueva York, Weathervane Books, 1972; 576 pp.
- MARQUINA, Ignacio. Arquitectura Prehispánica. INAH 1990, .
- ROTH, L. Entender la arquitectura. Barcelona, GG, 1997; 560pp.
- GÖSSEL, P., LEUTHÄUSER, G. Arquitectura del siglo XX. Colonia. Taschen, 1991; 431 pp.
- TRACHTENBERG, M., HYMAN, I. Architecture from prehistory to posmodernism, the western tradition. Nueva York, H.N. Abrahams, Inc., 606 pp.
- ZERBST, R. Antoni Gaudí. Colonia. Tachen, 1988; 239pp.
- MARTIN, R. Historia del arte. Tomo 1 al 8. 1Barcelona, Salvat editores. 1976; 255 pp. págs 227 a 254.
- GOWING, L. Enciclopedia de las bellas artes. Tomos 1 al 5, Edt. Cumbre. 1984; 154 pp.
- ROSENTHAL, W. La estructura. Blume, 178pp.
- La arquitectura antigua de China. Facultad de Arquitectura de la Universidad de Qinghua, Beijing. Corporación China de Comercio Internacional del Libro. AADCH
- STIERLIN, H. Arte y esplendor del mundo. América Precolombina. México, Promexa. 1985; 95 pp.
- STIERLIN, H. Arte y esplendor del mundo. India. México, ed. Promexa. 1985; 95 pp.
- STIERLIN, H. Arte y esplendor del mundo. Persia. México, ed. Promexa. 1985; 95 pp.
- STIERLIN, H. Arte y esplendor del mundo. Arabia. México, ed. Promexa. 1985; 96 pp.
- STIERLIN, H. Arte y esplendor del mundo, Grecia. México, ed. Promexa. 1985; 95 pp.
- HUSSEY, J.M. The Byzantine World. Nueva York. Harper; 1961; 170pp.
- CHILTON, J. Space grid structures. Oxford. Architectural Press, 2000. 180 pp.

Bibliografía recomendada

CHING, F.D.K. Building construction illustrated. Nueva York, Ed. Van Nostrand Reinhold, 1975.

Materiales: propiedades estructurales, propiedades físicas, características de forma y dimensión, propiedades visuales, durabilidad y resistencia, acabados y mantenimiento, métodos de manufactura.

Estructuras: forma y geometría, requerimientos de cimentación y soporte, cargas y esfuerzos a resolver, fuerza y rigidez de los materiales, elasticidad de los materiales, tipos de conexiones.

Construcción: implicaciones modulares, detalles constructivos, elementos de las estructuras.

DIAZ PUERTAS, D. Introducción a las estructuras de los edificios. Buenos Aires, Ed. Summa, 1979; 256 págs.

Planteo general del problema estructural, materiales estructurales: definición, producción y clasificación, propiedades estructurales de éstos. Acciones de cargas y deformaciones, efectos de fuerzas sobre la construcción, clasificación y operaciones de fuerzas, vínculos de las estructuras, equilibrio de las estructuras, esfuerzos de sección e internos simples. Tensores, pilares, cables, arcos, estructuras macizas, vigas, losas estructurales, entramados estructurales, columnas, reticulares planos, sistemas aporticados. Modelos didácticos, y ejercicios para entender cómo funcionan las fuerzas que actúan sobre las estructuras.

ELDER, A.J., VANDENBERG, M. Construcción. Manuales AJ, Madrid, Blume Ediciones, 1974.

Consideraciones generales sobre estructuras (cerramientos), estudio lógico, las barreras físicas y ambientales, las necesidades humanas, acercamiento histórico, iniciación al diseño, dimensionamiento, funcionalidad, datos ambientales, tipos de muros exteriores, clasificación y estudio de cubiertas, subdivisión por métodos constructivos: forjados, tabiquería, cielorrasos.

GOMEZ, T. Diseño estructural simplificado. Guadalajara, Ed. U. De G., 1979; 458 págs.

Introducción a las estructuras y breves consideraciones generales; el proceso de cálculo de una estructura; las solicitaciones sobre éstas y las cargas verticales, teoría plástica; Fuerzas horizontales: viento y sismo; fuerzas cortantes horizontales; método del portal; flexocompresión; efectos de esbeltez en columnas; Vigas Vierendeel, su definición y comportamiento estructural, aplicación y soluciones, métodos de cálculo y variantes; el Arco, su definición, desarrollo histórico, tipos de arcos, apoyos; estructuras reticuladas; concreto y acero presforzado, clasificación, características de los materiales, anclajes y equipos de tensado, flujo de esfuerzos y cargas, problemas de diseño; estructuras Laminares de concreto: introducción, clasificación, estudio de esfuerzos y definición de sus tipos: plegaduras, bóvedas de cáscara cilíndrica, cúpulas, superficies de traslación, paraboloides hiperbólico, cubiertas colgantes.

HODGKINSON, A. Estructuras. Manuales A J., Barcelona, Blume Ediciones, 1976.

Tipología estructural, diseño y materiales; descripción general de los tipos de estructuras; seguridad en las estructuras, movimiento de los edificios, protección contra el fuego; vigas tipo, materiales y análisis; cimentaciones, descripción y análisis de los distintos tipos; Materiales: concreto, madera y acero, propiedades, características, aplicaciones estructurales, uniones, cálculo sencillo.

HUNTINGTON, W.C., MICKADEIT, R.E. Building Construction. Nueva York, Ed. Wiley, 1941; 471 págs.

Materiales y tipos de construcciones. Códigos y estándares de construcción; Cargas y esfuerzos estructurales, elementos constructivos, costos y selección de materiales; Tipos de suelo y tipos de cimentaciones; el Concreto; la Mampostería; los Metales; la Madera y los plásticos; protección térmica y de humedad. Nota: este documento contiene una parte gráfica sumamente precisa.

LIN, T.Y., STOTESBURY, S. D. Conceptos y sistemas estructurales para arquitectos e ingenieros. México, Ed. Limusa, 1991; 615 págs.

El aspecto estructural en el proceso del diseño arquitectónico; requerimientos y solicitaciones sobre las estructuras; Estimación de fuerzas de conjunto en las formas de edificios; formas esquemáticas de edificios como sistemas estructurales totales; formas de los edificios concebidas como estructuras sólidas; Subsistemas horizontales y verticales, losas y vigas, sistema reticular, armaduras espaciales, columnas de acero y concreto muro cortante, marcos rígidos, voladizos o cantiliver; Edificios de gran altura, marcos rígidos, estructura tubular, sistemas especiales; Sistemas de arco, suspensión y cascarón; Subsistemas de cimentación.

MOISET, D. Intuición y razonamiento en el diseño estructural. Escala, 1992.

Consideraciones sobre la intuición estructural; El equilibrio, los vínculos; La sollicitación, la resistencia; La rigidez; La estabilidad del equilibrio, pandeo; La eficiencia; La seguridad; Obras y ejemplos específicos en la historia de la construcción; Reflexiones y consideraciones generales sobre estructuras.

OLVERA, A. Análisis de estructuras. México, CECSA, 1972; 599 págs.

Métodos de análisis y cálculo numéricos y gráficos para los siguientes tipos de estructuras: pórticos, estructuras continuas, arcos, muros de sostenimiento, vigas, cables, armaduras, cúpulas. Algunos ejemplos de estructuras como casos de estudio.

PETRIGNANI, A. Tecnologías de la arquitectura. Barcelona, Ed. GG, 1973; 538 págs.

Estructuras de cimentación. Estructuras del vuelo del edificio; estabilidad y forma; estructuras de concreto armado y acero. Cubiertas. Criterios de diseño y de cálculo, ejemplos y casos de estudio; materiales y sus métodos constructivos.

SCHMITT, H. Tratado de construcción. Barcelona, Ed. GG, 6ta. Edición, 1978; 635 págs.

Elementos, estructuras y reglas fundamentales de la construcción. Cimentaciones, protección de las obras, muros, techos o pisos, escaleras, terrazas, estructuras de las obras, cubiertas. Especificaciones sobre materiales y reglamentaciones, gráficos conceptuales y detallados.

TOBAR, A. Cimientos, Estructuras, Cerramientos. Escala, 1995.

Tratado breve sobre generalidades de la construcción, estudio de mecánica de suelos y de estructuras clasificadas por sus materiales. Ejemplos aplicados a la construcción, con especificaciones y gráficos detallados.

WERNER R., H. La estructura. Barcelona, Ed. Blume, 1975; 159 págs.

Aspectos fundamentales de las estructuras desde la visión que ofrece el ramo de la construcción. Leyes de fuerzas y esfuerzos, explicaciones gráficas de éstos lógicas y detalladas. Revisión de los tipos de estructuras desde su clasificación por materiales, incluye básicamente concreto y acero. Contiene ilustraciones muy explicativas y claras.

ANGERER, F. Construcción laminar. Barcelona, Ed. GG, 1964; 83 págs.

Estudio de los fundamentos, elementos y bases geométricas de la construcción laminar (estructuras cuyos elementos determinantes son superficies o "láminas"). Explicaciones lógicas y conceptuales apoyadas con gráficos claros e ilustraciones.

BARDOU, P., ARZOUMANIAN, V. Arquitecturas de adobe. Serie "Tecnología y Arquitectura", Barcelona, GG, 1979; 185 págs.

Descripción física de las propiedades del adobe, distintas técnicas de utilizarlo, y estudio de varios ejemplos característicos en Nuevo México, Europa y África, entre otros. Dibujos, imágenes y gráficos de gran calidad.

RUDOFISKY, B. Arquitectura sin arquitectos. Buenos Aires, Ed. Universitaria de Buenos Aires, 1973; 156 págs.

Publicación que acompañó la exhibición "Arquitectura sin arquitectos" realizada en el Museo de arte Moderno en 1964, muestra diversos ejemplos de arquitectura vernácula en diferentes materiales, como son la piedra, el adobe, la madera y el tabique, entre otros. Magníficas ilustraciones con una breve semblanza.

CATALANO, E.F. Estructuras de superficies alabeadas. Buenos Aires, Ed. Universitaria de B.A., 1962; 30 págs.

Estudio de varios ejemplos de combinaciones geométricas que permiten las superficies alabeadas. Compendio de láminas con el desarrollo geométrico y formal de tales ejemplos, y estudio sobre cómo sirven de base para el diseño de estructuras.

OTTO, F., vers. en español FOLGUERA, F. Cubiertas colgantes. Barcelona, Ed. Labor, 1962, 170 págs.

Estudio de varios tipos de cubiertas colgantes; conceptos básicos generales acerca de cómo se construyen cómo se calculan qué fuerzas y esfuerzos actúan sobre ellas y qué materiales utilizan las membranas, las redes de cables, los puentes colgantes, y las cubiertas colgantes de mediados del siglo pasado. El estudio echa mano de gráficos explicativos y de ejemplos de proyectos y obras construidas.

QUARMBY, A. Materiales plásticos y arquitectura experimental. Barcelona, Ed. GG, 1976; 215 págs.

La obra contiene un análisis histórico del desarrollo de los plásticos y otros materiales químicos. Analiza, también, tecnología de estos materiales y la extensión de sus aplicaciones, la estructura de éstos y sus propiedades, así como una revisión de sus procesos de facturación. Revisa el interés que se generó de los años 60 en estos materiales para la concepción de estructuras neumáticas, estructuras colgantes y para mobiliario, se incluyen varios ejemplos de obras arquitectónicas construidas bajo estos principios.

HORNBOSTEL, C. Materiales para construcción. México, Limusa, 1999; 1021 págs.

Esta obra contiene información detallada acerca de aproximadamente 2000 materiales para la construcción y relativos a la construcción. Obra de consulta dirigida a arquitectos e ingenieros constructores, contiene detalles de uso, fabricación y aplicación, así como de tamaños y dimensiones. Básicamente, constituye un estudio técnico, apoyado con explicativas imágenes.

Centro de Investigaciones Arquitectónicas de la División de Estudios Superiores de la E.N.A. Estructuras espaciales laminares. México, U NAM, 1975; 98 págs.

Documento preparado para el curso de actualización impartido por el arquitecto José Mirafuentes que contiene información práctica y técnica para el diseño de estructuras neumáticas y tensigrity. Colaboración de Gemot Minke.

MIRAFUENTES, J. Estructuras contemporáneas de madera. México, Centro de Investigaciones Arquitectónicas de la División de Estudios Superiores de la E.N.A. Serie Manuales sobre estructuras laminares, no. 8, UNAM, 1976; 84 págs.

Estudio sobre las posibilidades que ofrece la construcción de estructuras laminares en madera, se analizan los diferentes tipos de estructuras que se pueden abordar, los distintos métodos constructivos y cómo es posible proyectar estas estructuras. Análisis de varios casos de estudio y numerosos ejemplos con gráficos y fotografías. Información conceptual y técnica.

**Tabla
ordenadora de
ejemplos
estructurales y
su contexto
histórico**

Haz doble click en el icono



Hoja de cálculo de
Microsoft Excel