

EL ARCO:

DEL PANTEÓN DE ROMA (80 d. C.) A LA
GALERÍA DE LAS MÁQUINAS DE PARÍS (1889)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TFG. CÓDICO: MES_F0017

PRESENTADO POR: ANA AMPARO ASENSI FUSTER

DIRIGIDO POR: JOSÉ MONFORT LLEONART

RESUMEN

La memoria que se presenta trata de la evolución del ARCO como sistema estructura y constructivo a lo largo de la historia de la arquitectura desde la Antigüedad hasta nuestros días, incluyendo sistemas derivados como la BÓVEDA y la CÚPULA.

En el transcurso de esta evolución se estudiará tanto el método tradicional que empleaban los antiguos maestros de obras, basado en la intuición y en la experimentación, como el renacimiento en el que supone un cambio en la manera de ver el mundo gracias al estudio de la proporción, la geometría y el dibujo para llegar hasta el método científico aplicado desde finales del siglo XVIII.

Palabras clave: arco, bóveda, cúpula, método tradicional vs método científico.

RESUM

La memòria que es presenta tracta de l'evolució de l'ARC com a sistema estructural i constructiu al llarg de la història de l'arquitectura des de l'Antigor fins al nostres dies, incloent sistemes derivats com la VOLTA i la CÚPULA.

En el transcurs d'aquesta evolució s'estudiarà tant el mètode tradicional que empraven els antics mestres d'obres, basat en la intuïció i en l'experimentació, com el renaixement en el que suposa un canvi en la manera de veure el món gràcies a l'estudi de la proporció, la geometria i el dibuix per arribar fins al mètode científic aplicat des de finals del segle XVIII.

Paraules clau: arc, volta, cúpula, mètode tradicional vs mètode científic

ABSTRACT

The report herein displayed deals with the evolution of the ARCH as a structural and constructive system throughout the history of architecture, from Antiquity to the present day, including derived systems as DOME and VAULT.

In the course of this development, it will be studied both the traditional method employed by the old master builders, based on intuition and experimentation, such as the renaissance, which entails a change in the way we see the world, through the study of proportion, geometry and drawing, to reach the scientific method applied since the late eighteenth century.

Keywords: arch, vault, dome, traditional method vs scientific method

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1-3
2. ORÍGENES DE LA ARQUITECTURA	
2.1. MESOPOTAMIA, EGIPTO Y OTROS PAISES.....	4-11
2.2. GRECIA.....	11-12
2.3. PERIODO HELENÍSTICO.....	12
2.4. ROMA.....	13-17
3. EDAD MEDIA	
3.1. PERIODO BIZANTINO.....	18-22
3.2. PERIODO PALEOCRISTIANO.....	22-24
3.3. PERIODO ISLÁMICO.....	24-26
3.4. PERIODO ROMÁNICO.....	27-33
3.5. PERIODO GÓTICO.....	33-39
4. PERIODO RENACENTISTA.....	40-48
5. PERIODO BARROCO	49-51
6. PERIODO NEOCLÁSICO.....	52-53
7. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	54-58
8. CONCLUSIÓN.....	59
9. BIBLIOGRAFÍA.....	60-62
10. INDICE DE ILUSTRACIONES.....	63-70

1. INTRODUCCIÓN

“El arco es el mayor invento tensional del arte clásico” afirmó Eduardo Torroja en su libro “Razón y Ser de los tipos estructurales”. Y cierto es porque el arco sigue impresionando a la humanidad en nuestros días, aunque ésta ha tardado mucho en acostumbrarse tanto a su forma como a su resistencia.

Suele decirse que existe una gran diferencia entre “arco” y “columna”. De la segunda se afirma que es pureza y arte. Sin embargo, del arco se piensa que es técnica e ingeniería. Pero ninguno de los dos elementos constructivos son exclusivamente o lo uno o lo otro, porque el arco también es arte y la columna técnica. Lo que tienen en común es su forma de trabajar: ambos trabajan a compresión.

La columna tiene la virtud de ser más sencilla de construir que el arco, el cual necesita de un andamio llamado cimbra para que sus dovelas aguanten hasta que la clave sea colocada.

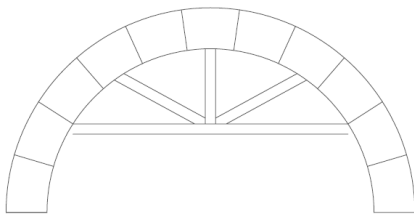


Figura 01. El arco



Figura 02. La columna

La construcción del arco clásico romano demuestra la complejidad de la puesta en obra del mismo frente a la columna: primero se construye la cimbra; luego se empieza a colocar las piedras por un lado y por otro hasta llegar a colocar la central; se descimbra; se aguanta la estructura ya que la dovela empuja hacia abajo pero las dos de al lado contrarrestan el empuje y así sucesivamente hasta llegar a unos estribos o machones que son los que resisten toda la estructura del arco. Solo hay equilibrio en ese preciso momento: el arco entra en acción cuando la clave es colocada. En cambio, la columna se forma tan solo por la colocación de los materiales unos encima de otros de forma vertical.

“Conocer el empuje de los arcos para poder dimensionar adecuadamente sus estribos ha sido el problema central de la construcción en fábrica desde sus orígenes hasta la actualidad”¹

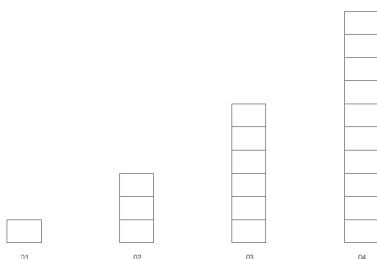


Figura 03: Proceso de ejecución de la columna

Otra gran cuestión es la relativa a la creación del arco: su origen está algo indeterminado. Pudo ser una casualidad ya que en la Antigüedad no se sabía cómo era la forma de trabajo. Las construcciones de arcos se hacían intuitivamente en muros de sillares para dar lugar a aberturas en estancias a modo de puertas curvas que

hoy día llamamos huecos. La forma del arco no era intencionada sino un resultado final, de ahí que se denomine “falso arco” a estas aperturas.

Para crear este hueco, se hacían acercando cada una de las hileras cada vez más hacia el centro hasta que los dos muros se juntaban en la hilera más alta del hueco y ésta pudiera continua.

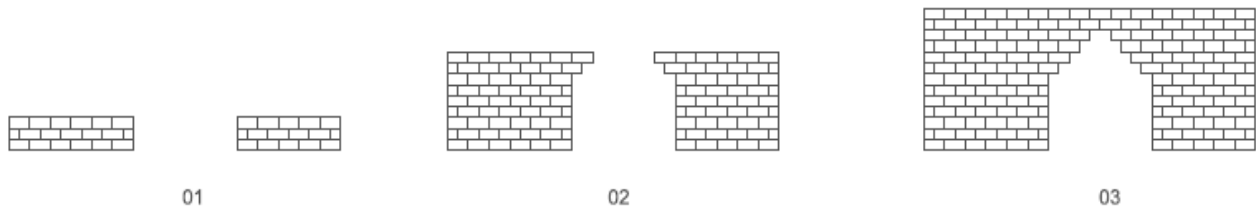


Figura 04: Proceso ejecutivo de la formación de la puerta en forma de arco

Este tipo de arcos se encontraban en las zonas de Mesopotamia y Egipto posiblemente nacidos por imitación de la naturaleza (no habían otros antecedentes constructivos) y en las cuevas que construían el refugio de los primeros hombres sedentarios.

En esta época inicial por tanto el cálculo se basaba en la experiencia, es decir, en ejemplos ya construidos y en los que, pasado un periodo de tiempo, colapsaban. De éstos, conseguían sus medidas o proporciones para no cometer los mismos errores. De las que se mantenían, las analizaban y las usaban como prototipos de equilibrio y grosor.

A veces, empleaban estructuras auxiliares para poder contrarrestar el empuje que hacían los elementos estructurales principales de cubrición como lo son la bóveda, cúpula o el arco.

La importancia de los maestros de obra en los orígenes era fundamental ya que sólo ellos sabían organizar y dirigir un trabajo tan arduo desde el cimbrado, la construcción hasta el descimbrado. Cabe decir que este método llamado tradicional de ahora en adelante se hacía sin recursos teóricos ni tratados. Estaba basado en la experimentación, el aprendizaje autodidacto y en la prueba-error. Tenemos ejemplos de edificios que han sufrido modificaciones como el Panteón o Santa Sofía y que tardaron en construirse varios siglos. Podemos decir que estos maestros sabían perfectamente lo que hacían.

Más adelante, en época medieval, con la construcción de las grandes catedrales se estudiaba precisamente cómo hacerlas: se realizaban croquis, dibujos, ideas previas, etc. Fue un gran alarde para dicha etapa de modo que a estos arquitectos y constructores se les reconocía como genios. Este método se le suele llamar método tradicional de fábrica.

Entrados ya en la época de la Revolución Industrial, se podía hacer un cálculo previo resistente basándose en la Teoría de las Estructuras incipiente. Este cálculo apareció a finales del siglo XVII, se desarrolló durante el siglo XVIII y finalmente se aplicó en el XIX con la aparición de los nuevos materiales: hierro y vidrio.

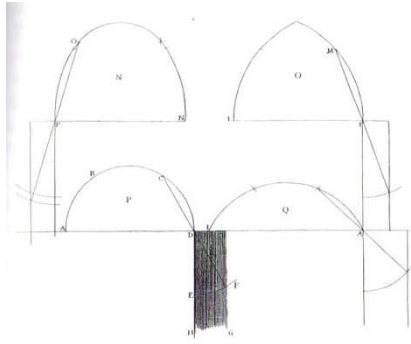


Figura 05: La regla geométrica n°1: Tratado de Derand

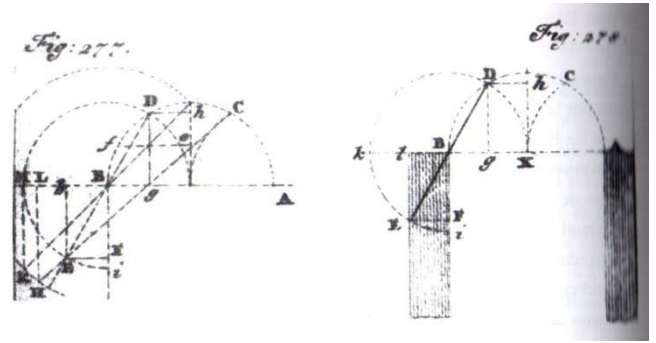


Figura 06: Tratado Schübler: recoge reglas de cálculo de estribos

Es importante señalar que tanto el cálculo tradicional como el científico tenían un mismo objetivo, que es el de buscar el procedimiento más adecuado aunque sus caminos eran bien distintos. El tradicional se basaba en buscar soluciones específicas. No era lo mismo la construcción en Roma como la construcción gótica. El cálculo científico buscaba una solución genérica, que sirviera de modelo a cada caso. Un referente o arquetipo que abarcan todas las soluciones, naciendo así el concepto de modelo.

Ahora bien, antes de seguir con el estudio de los arcos en tanto que elementos formales, sería interesante explicar la evolución del mismo y eso implica remitirnos a los orígenes de la arquitectura: Mesopotamia, Egipto y Anatolia.

En este recorrido, se recapitularán los ejemplos más representativos donde se hará hincapié en el sistema constructivo formado por ARCO, BÓVEDA Y CÚPULA.

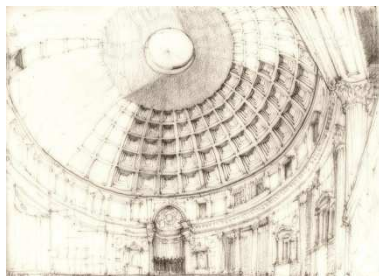


Figura 07: Boceto del Panteón



Figura 08: Puente de hierro (Ironbrigde)

2. ORIGENES DE LA ARQUITECTURA.

2.1. MESOPOTAMIA, EGIPTO Y OTROS PAISES

Las primeras edificaciones que se realizaron en la Antigüedad tuvieron lugar tras el cambio de conducta de la civilización, alrededor del año 10000 a.C., cuando ésta pasó de ser nómada y vivir en cuevas de forma esporádica a un tipo de vida sedentaria. Esto significaba que vivían en lugares largas temporadas donde tenían una vida organizada y comunitaria para la cual necesitaban cobijarse de forma más acomodada para protegerse tanto del calor como del frío y llevó a la construcción de las primeras cabañas.

“Se dice que la arquitectura primitiva es la única arquitectura que no ha sido influida históricamente sino que fue la naturaleza su maestra”²

La mención a la cita es un hecho verdadero y también curioso ya que en la Antigüedad no tenían registros de documentos ni edificios construidos para guiarse a partir de una base. La única guía que tenían por expresarlo de una manera abierta era la propia madre naturaleza, que había existido, lógicamente desde siempre. Por eso, se dice comúnmente que la naturaleza es la maestra de la arquitectura primitiva.

Ahora bien, no todas las civilizaciones pensaban de la misma manera. En algunas civilizaciones primitivas se puede constatar que las construcciones que hacían eran a escala humana, es decir, para su vida cotidiana; pero en otras civilizaciones se empezó la construcción de edificios con una escala descomunal para adorar a los Dioses a los que en cada lugar tenían se les tenía devoción. Se trataba de recintos de grandes proporciones para que el pueblo pudiera ir allí a orar.

Se observa pues, que la arquitectura nace en la Prehistoria pero que, año tras año, siglo tras siglo, época tras época, fue evolucionando conforme lo hacían los conocimientos y necesidades del ser humano.

Las primeras construcciones que se realizaron eran muy básicas ya que consistían en cabañas simples para refugiarse. Éstas simulaban cuevas puesto que era lo único que conocían por haber habitado en dichos recintos cubiertos. Fue en Mesopotamia y Egipto donde las primeras civilizaciones empezaron a construir edificios más complejos e innovadores.

Alrededor del octavo milenio a.C., en Jordania, se establecieron los primeros poblados de la Antigüedad. Dichos poblados estaban ejecutados en piedra y en barro. Las plantas tenían forma circular. Las cuevas gozaban de una forma abovedada, de ahí es donde se empieza a intuir el inicio sencillo de lo que hoy en día se conoce como arco.

No obstante, no se trata de conversar sobre las primeras aldeas que existieron en el pasado, sino hacer hincapié en que en la época de la Antigüedad se puede percibir que en ocasiones se levantaban refugios en forma de “arco” sin que ellos supieran cómo trabaja y funcionaba estructuralmente dicho elemento constructivo.

Por consiguiente, uno de las primeras edificaciones de la prehistoria que queremos destacar al respecto es en un poblado neolítico en Jirokitia (Chipre).

En esta ocasión, no se empleó el arco sino “una cúpula” como cubierta. Las casas eran de planta circular y estaban cubiertas con cúpulas de adobe apoyadas en una subestructura de piedra.

Otro ejemplo destacable es una cabaña en la Mesopotamia inferior. Dicha cabaña estaba hecha de juncos, un nuevo material más flexible (especie de caña de bambú) que hacía que la cubierta tuviera un acabado abovedado.

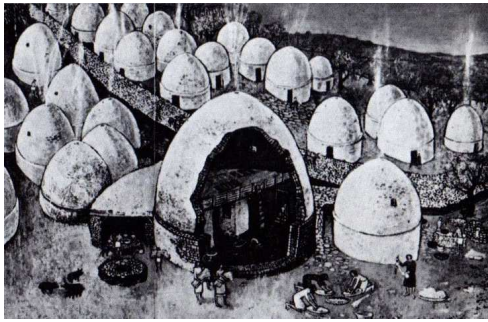


Figura 09: Poblado neolítico en Jirokitia

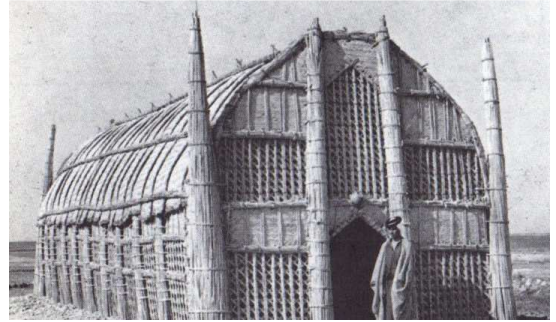


Figura 10: Tienda de cabaña, Mesopotamia

Así pues en Mesopotamia, se empezó a percibir que el sistema estructural que se manejaba en ocasiones a la hora de construir era el arco, bóveda y cúpula, sin embargo no se sabía en ese momento como funcionaba dicho elemento constructivo.

Más tarde, hacia mediados del III milenio a.C. Egipto se convirtió en una potencia donde el comercio fue muy próspero gracias a la presencia de la vía de comunicación del río Nilo. Este territorio estaba dividido en Alto y Bajo Egipto, que más tarde se unirían políticamente llamándose el Reino de los dos Países aunque eran diferentes en lo que se refiere a las tradiciones y a la cultura.

Por un lado, en el Alto Egipto, había poblaciones de aldeas donde los hombres estaban asentados y vivían en familia, aunque también existían nómadas que emigraban hacia el Nilo desde la Estepa. Este tipo de habitantes iban en busca de caza y prado para coexistir.

El modelo de construcción más importante que había en Egipto era la de tipo funerario. Los egipcios tenían la creencia de que después de morir, el espíritu que habita en el cuerpo debía de estar en paz para que más tarde se elevara a un lugar mejor. Todo ello provenía de un ritual y una tradición antiguos.

Algunos ejemplos donde se puede observar este tipo de arquitectura realizada con un sistema abovedado o en arco son: la tumba de la reina Merneith en Abidos, El conjunto funerario de Tosortro (Imperio Antiguo) en Saqqara (Menfis), la tumba de Sennedyem en Deir el-Medina, Tebas oeste (Imperio Nuevo) y la tumba rupestre de Sirenporwe II, en Assuran.

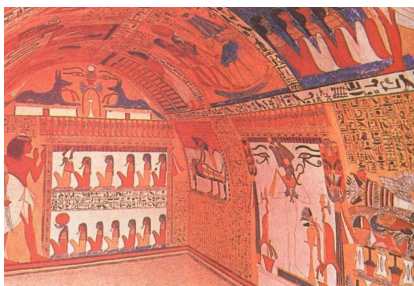


Figura 11: La tumba de Sennedyem

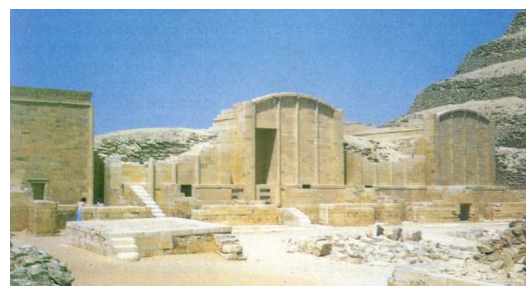


Figura 12: Conjunto funerario de Tosortro, en Saqqara

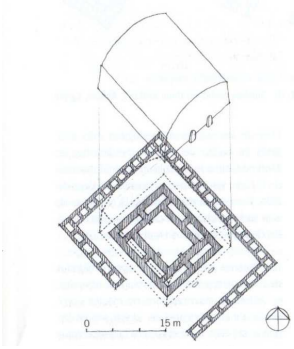


Figura 13: Tumba de Merneith, Abidos



Figura 14: La tumba de Sirenpowe II, Assuran

Ahora bien, no sólo en la arquitectura funeraria se percibía el sistema constructivo que estaba formado por el arco, bóveda o cúpula, sino también se podía contemplar en los templos.

Un ejemplo concreto es el templo de Amon Karinak en la entrada a la Sala de los Anales de Thut-Mose III.

En realidad no era exactamente una puerta en forma de arco, sino que más bien se trataba de sillares puestos unos encima de otros desplazándose un tanto en cada hilada para así crear un acceso. A este tipo de puerta se la conoce con el nombre de falso arco, concepto mencionado en la introducción (Figura 04).



Figura 15: Entrada de los Anales de Thut-Mose III

En Europa, las primeras construcciones arquitectónicas que se consideran como tales serán las tumbas donde se hacía memoria de los miembros de los clanes que perecían, tal y como ocurría en Egipto.

Las tumbas consistían en unas cámaras a las que se accedía por un pequeño pasadizo. Dichas tumbas también se llamaban “tumbas cámara” o “tumbas pasadizo”.

Uno de los ejemplos de tumba pasadizo es en Île Longue, en el sur de Bretaña, Francia hacia el 4100 a.C.

“En este caso los techos de las cámaras estaban acartelados con losas de piedra, desplazadas cada vez más hacia el centro del espacio hasta que se encontraban en el punto más alto, formando una “bóveda falsa”.”³

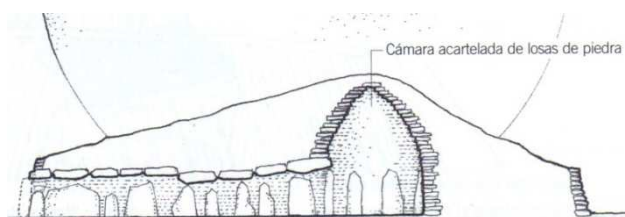


Figura 16: Tumba pasadizo en Île Longue, Francia

Hacia finales del siglo del III milenio a.C. las civilizaciones que habitaban cerca del río se beneficiaron de un desarrollo más rápido. En Mesopotamia, los elementos culturales divergentes y la necesidad de tener redes comerciales en grandes geografías dificultaron la aparición de un poder central estable, pero se creó una nueva zona económica que condujo al apogeo de importantes ciudades comerciales que se enriquecieron rápidamente. Allí, los templos se construían sobre montañas artificiales.

En cambio, Egipto, pudo conservar su riqueza porque fue capaz de proteger su dominio de los invasores. En consecuencia, Egipto y Mesopotamia rivalizaban en riquezas.

Los primeros clanes que se asentaron en Mesopotamia fueron las dinastías de los obeidas y los sumerios aunque pronto fueron ayudados por los acadios del norte, que más adelante se convertirían en sus rivales. A partir del II milenio a.C., los acadios dominaron las cercanías de Bagdad actual y posteriormente el norte. Por consiguiente, los primeros dominadores en Mesopotamia fueron los acadios, cuyo gobernante Sargón I de Acad, soberano de Umma (2334-2279) a.C. llegó a gobernar toda Mesopotamia.

Pero tres siglos después, la dinastía Acadia fue derrocada por tribus procedentes de las montañas del noreste, con lo cual, Mesopotamia pasó a depender de los reinos del sur de Súmer quienes fueron capaces de volver a los pueblos de las montañas y reunificar el reino que había bajo la soberanía de Ur.

Estos reyes, que formaban parte de la III Dinastía (2112-2004) a.C., adoptaron muchas de las innovaciones creadas por Sargón. Los soberanos de Ur definieron la monarquía como un privilegio que emanaba del cielo. Por esta razón, se decía que los gobernadores eran los administradores de los Dioses que les conferían protección y guía.

Uno de los templos más impresionantes de la época era el Zigurat de Ur. Todavía se conservan restos de él y está situado a 42 Km del sur de Babilonia. Los dibujos de la reconstrucción muestran que el templo era similar a una pirámide egipcia, pero ésta estaba rodeada de un recinto amurallado. La presencia del arco se encontraba en las entradas a los templos y también en las murallas.

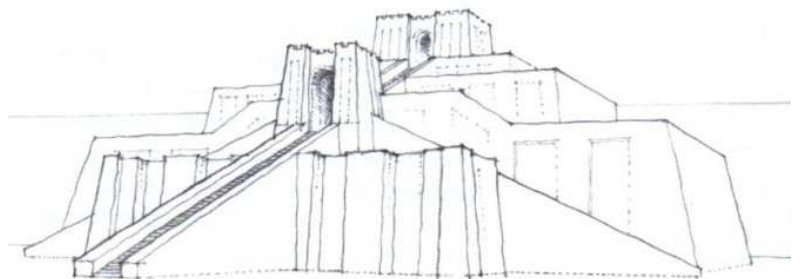
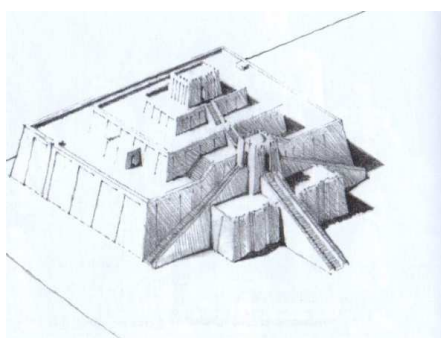


Figura 17 y 18: Templo de Zigurat den Ur

Tras la caída de Ur, los diferentes clanes fueron agrupados por gobernadores independientes de Ashnunnak, y por consiguiente, hubo una unificación de Mesopotamia bajo Hammurabi de Babilonia.

Algunas ciudades de Mesopotamia fueron invadidas por civilizaciones de procedencia desconocida. Los pueblos mitanni y los casitas (dinastía III de Babilonia) invadieron Mesopotamia desde el norte y el este. La gente se empezaba a desplazar hacia el este a lo largo de la costa Mediterránea. No se sabe el motivo de este desplazamiento masivo hacia 1700 a.C., pero se especula que quizás surgió del colapso de la civilización del valle de los ríos Indo y Ghagger-Hakra.

Los nuevos pobladores llamados hititas se establecieron en Anatolia y fundaron una nueva capital con muchos templos. Gracias al transporte mediante camellos pudieron abrir nuevas rutas comerciales a través del desierto.

Más tarde, los hititas y los egipcios dominaron las rutas comerciales y fue cuando en Egipto en particular hubo un periodo notable de construcción de templos.

La agitación que había en Mesopotamia en esa época permitió que las culturas mediterráneas ganaran en importancia especialmente a nivel económico: los minoicos en Creta, los micénicos en Grecia y en el Peloponeso donde se alcanzó una riqueza gracias a los minerales y a los mercaderes. El comercio fue un nuevo sustento para la economía.

Los hititas invadieron Anatolia sobre 1600 a.C. y establecieron su capital en Hatusa donde se encontraban las mejores rutas comerciales. Desde ahí se expandieron hacia oriente donde se enfrentaron a los egipcios. La economía de los hititas estaba basada básicamente en la agricultura. Pero también fue importante la explotación de cobre, bronce y el hierro (éste más tarde).

Al igual que en Mesopotamia, los hititas también tenían un lugar de ceremonia para los Dioses. De ellos, se podían encontrar lugares sagrados en terrenos exteriores.

La capital de los hititas, Hatusa, era una ciudad de forma no rígida. Tenía una relación abierta formada por edificios más o menos independientes. Entre los edificios se abrían plazas en lugares escogidos para hacer reuniones.

La ciudad de Hatusa estaba protegida con una muralla de doble cortina, siendo el exterior de menor altura que el interior. Los hititas cuidaron con bastante esmero las puertas de las murallas. Destacaron por su forma arquitectónica.



Figura 19: Puerta de los leones

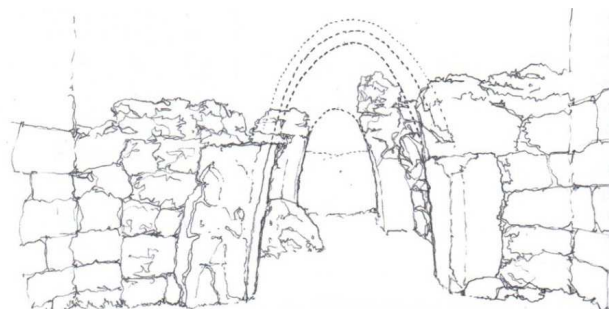


Figura 20: Puerta del Rey.

Alrededor del año 2000 a.C. los micénicos se establecieron en Grecia donde establecieron un orden social a finales de la Edad De Bronce, como los hititas.

Tras separarse de los minoicos, los micénicos se extendieron por las islas del Egeo hasta el Mediterráneo occidental. Su poder estaba basado en el comercio con Sicilia, Egipto y Cerdeña. La cultura de los minoicos fue trasladada después a la de los micénicos, heredando elementos de asociados a la decoración mural y a las técnicas de construcción. Aunque es cierto que los micénicos tenían una arquitectura distinta.

A finales del la Edad de Bronce, se perpetuó la práctica de que los reyes fueran enterrados en las afueras de la ciudad. Estos en en colmenas, o también llamadas tholos, símbolos de riqueza y poder.

Uno de los ejemplos es el llamado Tesoro de Atreo.

De planta circular de unos 15 m de diámetro, está excavada en la colina. El corredor tiene unas dimensiones de 36 m de longitud y 6 m de anchura. La cubierta está hecha con una falsa cúpula. Esta está construida con sillares bien labrados. Todo el conjunto está cubierto de tierra formando una colina.

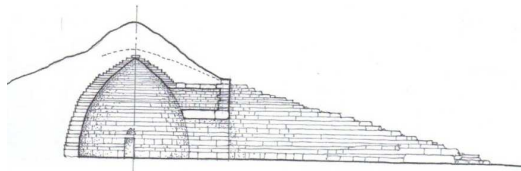


Figura 21: Tholo llamado Tesoro de Atreo

En Mesopotamia y en el Mediterráneo oriental había bastante agitación hacia el año 1500 a.C. En este periodo una serie de grupos colonizadores llegaron a Cerdeña. Estos colonos llevaron consigo técnicas constructivas avanzadas. Una de ellas fue la fortificación de planta circular posada sobre una colina dominando el llano y teniendo una buena visual sobre el paisaje. En este lugar podemos encontrar una serie de construcciones llamados *nuraghe*. Este término deriva de la palabra *nur*, que significa “montón hueco”. Tienen una ejecución excelente y su estructura es más que correcta.

Un ejemplo bien conservado se encuentra cerca de Palmavera.

Consta de dos torres con una altura de 20 m. Contienen unos espacios que están cubiertos por dos bóvedas falsas, no muy distintas a los tholos o tumbas. Estas tienen una escalera de caracol que llega a la cubierta.

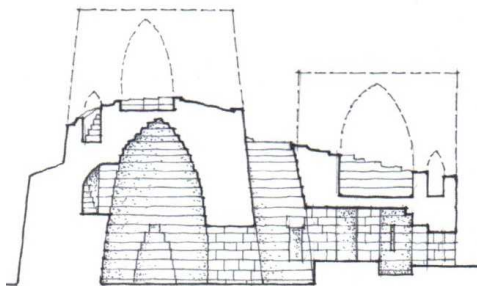


Figura 22: Fortificación en Palmavera

Se ven los primeros espacios donde se trabaja la falsa cúpula y sistemas abovedados falsos. Apilaban sillares unos encima de otra, corriendo un poco cada vez la fila hacia el centro.

Estas construcciones son una imitación sensible de las cuevas, a la naturaleza.

En esta época, Europa y Asia sufrieron el paso a la Edad de Hierro, pero el material metálico también hizo cambiar la arquitectura en dichos continentes. En cambio, como Egipto no pudo producir hierro a gran escala sobre el 700 a.C. acabó siendo derrotada por los asirios.

Tiempo después, tuvo lugar un vacío político por lo que se crearon varios centros en dicha época: Italia, Etruria, Grecia, los Dorios, Turquía, los Jonios, Egipto, los nubios. Gracias a la aparición del hierro, en la costa del Mediterráneo y en los alrededores de la Jerusalén nacieron nuevas ciudades.

Más tarde, los dorios invadieron el territorio micénico y dominaron las costas y puertos del Mediterráneo. Su poder se extendió hacia el oeste del Mediterráneo, hacia Italia y Sicilia. Tanto Sicilia como Italia se hicieron muy poderosas económica y culturalmente por lo que se le dio el nombre de Magna Grecia sobre el año 500 a.C. Por ello no es de extrañar que en estos lugares se encuentren restos de arquitectura que después en Grecia se desarrollarían más a fondo.

Hacia el siglo VII a.C. los etruscos tenían mucho poder en la zona intermedia de la península italiana. Aunque Grecia empezó a invadir el sur de Italia, éstos pudieron dominar su zona y alcanzaron su gran poder en el VI a.C. hasta que fueron derrotados por los romanos.

Aunque el urbanismo de las ciudades etruscas se haya perdido, han perdurado hasta hoy en día murallas y puertas de entradas en algunas ciudades como Roma, Cortona, Perugia...

Un ejemplo es la puerta de la ciudad de Perugia donde se ve el uso del arco.



Figura 23: Puerta de entrada a la ciudad de Perugia.

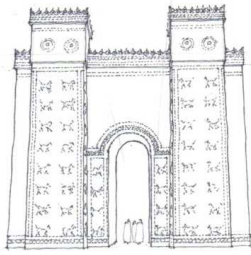
El arco tal y como lo conocemos hoy en día nació en Etruria y fue destinado a ejercer un gran impacto en la arquitectura del futuro.

Este elemento constructivo junto con la bóveda fueron introducidos por ellos y más tarde se convertirían en dos de los principales sistemas constructivos en la arquitectura romana.

Incluso en Roma existen algunas construcciones que fueron levantadas por los etruscos. Algunas de estas construcciones son el arco Máximo, la cloaca Máxima, el sistema de alcantarillado, etc.

Hacia el año 560 a.C. empezó un nuevo periodo, llamado periodo neobabilónico. Este es el último capítulo de la historia de la arquitectura mesopotámica. Una vez derrotados los asirios, los babilónicos entraron en Egipto y empezaron hacer grandes fortunas. Llegaron a su máximo esplendor en el reinado de Nabucodonosor II.

La ciudad que crearon tenía forma rectangular y estaba defendida por una doble muralla y un foso conectado al río. Pero Nabucodonosor II extendió más la ciudad y construyó una segunda muralla. El principal acceso de ésta era por el Norte, por una calle ancha llamada Camino Procesional, y la entrada a la ciudad tenía lugar por la puerta Istar. De construcción complicada, esta entrada era en forma de arco con torres a sus lados. Dicha puerta está reconstruida en el Museo de Berlín.



Figuras 24 y 25: Puerta de Istar



Figuras 26 y 27: Puerta reconstruida

2.2. GRECIA

En el campo del pensamiento, en muchas partes de estos territorios, se empezó a desarrollar el sentido ético de la vida. En Grecia, por ejemplo, los filósofos Sócrates, Platón, Aristóteles y otros más hacían debates sobre la democracia, filosofía y la ley. Cabe decir que la élite formaba parte en los debates.

Después de la caída de los imperios asirio, egipcio y babilónico, los jefes de estas civilizaciones buscaron una forma más estable de gobierno que equilibrase la religión y el poder.

Con la experiencia de la democracia, Atenas fue la ciudad europea donde impulsó esta idea y la que llevó a otras ciudades a experimentar este tipo de gobierno.

Los griegos son los pioneros en utilizar la lógica para construir, es decir, con la razón. Anteriormente se puede decir que se basaban en su fe.

La arquitectura griega se basaba generalmente en un sistema estructural porticado. Los griegos no utilizaron ni el arco ni la bóveda para la construcción. Para ellos, la forma de construir se basaba en la proporción, la modulación. Su manera de construir se parecía más a la ejercida pero con la diferencia de que los griegos la explotaron hasta el máximo y se limitaron a perfeccionar este sistema porticado hasta el extremo. No utilizaron otro sistema, no quisieron desarrollar otro. Esta forma estructural se culmina con una cubierta a dos aguas.

Aunque hay excepciones porque es cierto que en algunos poblados si existen construcciones donde han utilizado el sistema estructural del arco.

Un ejemplo es el Santuario de Olimpia en el Peloponeso



Figura 28: Santuario de Olimpia. Puerta

“Así se llega a la conclusión de que los griegos crearon un nuevo modo de arquitectura basado en unas formas racionales que les conducían a considerar la casa y el templo en relación con el hombre que los usaba”⁴

Así pues, podemos concluir que en Grecia nació una nueva arquitectura: una arquitectura lógica, inteligible, humana y uniforme.

2.3. PERIODO HELENÍSTICO

Aunque casi siempre la Historia de la Arquitectura suele pasar directamente de Grecia a Roma, se ha considerado que hay que nombrar la arquitectura helenística que es el periodo que hace de transición de una época a otra. Esta transición ocurre tras la muerte de Alejandro Magno (323 a.C.) y acaba más o menos tras la muerte de Augusto (14 d.C.)

En esta época, tanto el arte como la arquitectura se difundieron por el Mediterráneo. Ello llevó primero hacer una arquitectura griega clásica y luego una arquitectura distinta, ya que empezarían a investigar añadiendo nuevos sistemas.

Los griegos colonizaron Sicilia y una parte extensa de la Península Itálica. Tras la muerte de Alejandro Magno, los imperios colonizados fueron repartidos. Es ahí cuando se empezó a desarrollar una arquitectura de nueva planta. Con las ideas de lo que conocían, es decir, la arquitectura griega clásica puede decirse que la fusionaban con la arquitectura autóctona de la zona donde se hallaban. Empezaron pues a tener interés en adoptar otras soluciones y en experimentar nuevas técnicas. Esto resultó un éxito, por lo que poco a poco la arquitectura griega (columna, dintel) fue cambiando hacia la del arco, bóveda plana y otras técnicas.

Así pues, como conclusión, la importancia que tuvo el arte helenístico es que fue capaz de crear un estilo importante después de la época griega. Fue fundamental ya que crearon nuevas soluciones y técnicas constructivas que más tarde serían estudiadas por su técnica innovadora.

Pero todo este imperio helenístico fue derrocado por los romanos. Los romanos cogieron los nuevos sistemas constructivos (arco, bóveda...) que empezaron a estudiar el anterior imperio y trataron de superarlos en tamaño.

2.4. ROMA

Con el desarrollo económico de Roma, toda la zona del Mediterráneo oriental decayó ya que no se construyó nada interesante durante el siglo I a.C. En cambio, cuando Roma pasó de ser una República a Imperio, empezó a expandirse y a enriquecerse.

La arquitectura romana se desarrolló gracias a los emperadores Augusto a Trajano. Construyeron templos, foros y villas.

“Los orígenes de Roma están envueltos en las nebulosas de la leyenda y el mito.”⁵ Aunque se han encontrado restos arqueológicos donde habían estado anteriormente los etruscos.

Gracias a la arquitectura tradicional etrusca y a las novedades aportadas, se abre una nueva etapa en la construcción. Durante el siglo II a. C. se desarrolló la mejor técnica del arco con dóvelas. Un ejemplo de la ingeniería civil es el Puente Fabricio de Roma y el acueducto de Nîmes, éste último para dotar el abastecimiento de agua a la ciudad.

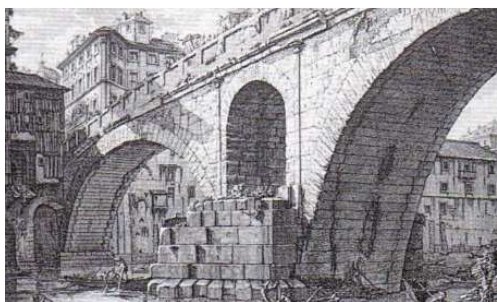


Figura 29: Puente Fabricio, Roma



Figura 30: Acueducto, Nîmes

El arquitecto Marco Vitruvio, en el siglo I a.C. “codificó los órdenes y las proporciones de columnas y entablamentos de tal forma que desde entonces se aplicaron sus reglas de un modo inflexible.”⁶

En la época donde Augusto fue emperador de Roma, se invirtió mucho capital en la arquitectura. Augusto reconstruyó casi toda la ciudad. Hizo calles, mejoró las infraestructuras y remodeló el Foro Romano. Después de su muerte en el año 14 d.C., las construcciones públicas fueron disminuyendo y las residencias lujosas fueron las que empezaron con su apogeo.

Un edificio público es el famoso Coliseo de Roma (72 – 80 d.C.), también conocido como anfiteatro del Flavio.

Similar al templo de Fortuna de Palestina. Es un gran edificio ovalado, con un perímetro de la elíptica de 524 metros. Tiene una ornamentación sencilla, y el sistema de columnas y arcos permite un gran equilibrio en la estructura y tamaño del edificio. “Los arcos tienen un perfil conseguido mediante la moldura que separa cada arco de su pilastra portante, aligerando su imagen pese a las dovelas macizas de que está compuesto.”⁷ Las columnas parece que sean más estructurales que los arcos, pero no es así.

Constaba de 80 arcadas en la planta baja. Los corredores del anfiteatro tenían una cubrición abovedada.

5. Ching, Francis D. K. / Jarzombek, Mark M. / Prakash, Vikramaditya; Una historia universal de la arquitectura: Volumen 01; página 148

6. Ching, Francis D. K. / Jarzombek, Mark M. / Prakash, Vikramaditya; Una historia universal de la arquitectura: Volumen 01; página 106

7. Ching, Francis D. K. / Jarzombek, Mark M. / Prakash, Vikramaditya; Una historia universal de la arquitectura: Volumen 01; página 161



Figura 31: Reconstrucción del Coliseo



Figura 32: Coliseo de Roma, exterior

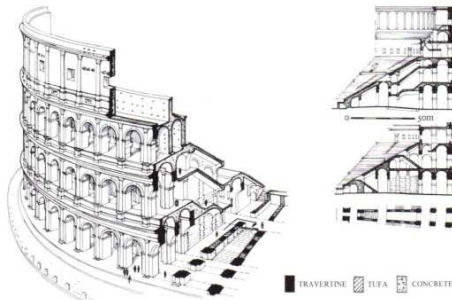
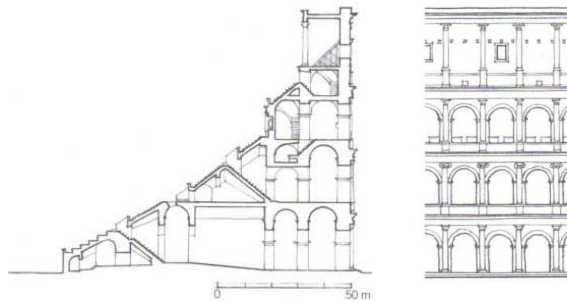


Figura 33: Axonometría seccionada



Figuras 34 y 35: Sección y alzado del Coliseo

A principios del siglo II, en tiempos de Trajano y más tarde de Adriano, Roma se encontraba en su mayor esplendor, por lo que continuó su extensión. Se empezaron a programar importantes proyectos arquitectónicos. Tanto Trajano como Adriano impulsaron la construcción. Trajano hizo mucha obra pública. En algunas de sus construcciones las cubiertas estaban cubiertas de bóvedas realizadas con opus cementun.

Un ejemplo de ello son los mercados de Trajano. Este es el primer gran proyecto. En él se encontraba una librería, un aula Magna...

El aula Magna está cubierta con bóvedas de arista y está apoyada con contrafuertes laterales como las futuras iglesias románicas.

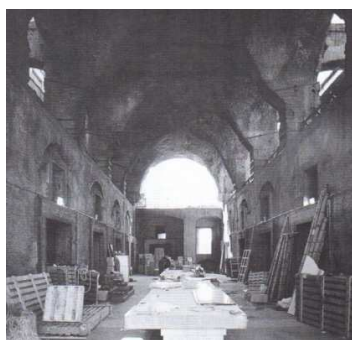


Figura 36: Ruinas del mercado Trajano

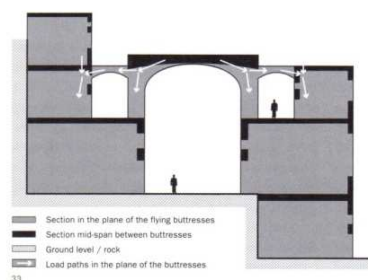


Figura 37: Actuación de las cargas en el mercado

En esta época, Roma edificó muchísimos monumentos desde termas, hasta ciudades. Su arquitectura se extendió desde Inglaterra hasta el norte de África y desde España hasta Oriente Próximo.

Sobre este periodo de la historia, Roma se extendió por toda Europa, y todo el Mediterráneo, creando nuevas construcciones y también restauraciones. Cuando gobernó Adriano se hicieron numerosas obras. Tenía

un carácter bastante diferente al de Trajano. Adriano era un enamorado de la arquitectura, por eso todo lo que hizo construir tenía una forma más cercana.

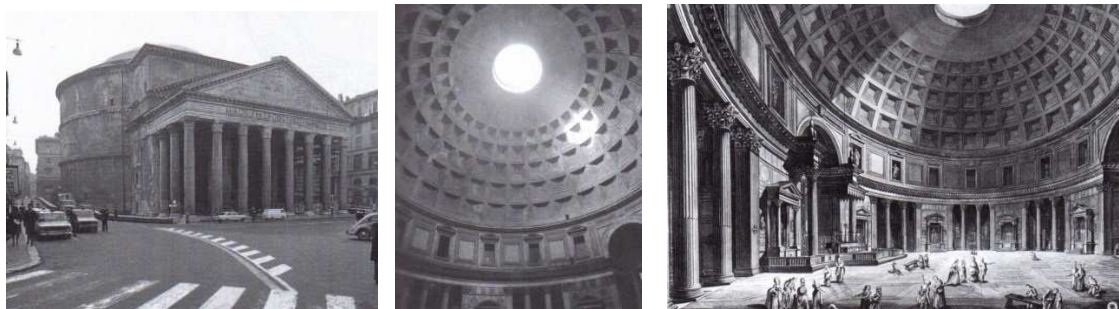
Uno de los edificios más representativos de esta época y en el que el sistema constructivo abovedado es la principal estructura, este es el Panteón (118 – 125 d.C.)

Fue una arquitectura innovadora que hizo que fuese considerado un edificio importante y majestuoso durante muchos siglos. Los romanos ya habían trabajado con cúpulas, pero no con un tamaño como el de ésta. Deriva del interés matemático de los griegos, de la geometría del espacio de los egipcios. Es un interés que Adriano llevó desde Alejandría a Roma.

El primer hombre que resolvió el problema de medir el volumen de una esfera y de un cilindro y su relación fue Arquímedes.

“La cúpula está formada por anillos de casetones que disminuyen su tamaño y profundidad a medida que se aproximan al óculo, sin llegar a morir en su embocadura, sino algo alejados de ella, dejando un espacio liso a su alrededor.”⁸

La parte inferior es de hormigón, también llamado opus cementun, revestida de ladrillo. Estos tienen huecos para poder aligerar el peso. La presión hacía el terreno hace que existan unas bóvedas curvas donde descargan toda la carga como se observa en la figura 40. El grosor de la cúpula en el tambor es de 6,15 m y se reduce a solo 1,5 m al llegar al óculo. Tiene un diámetro de 8,3 m y éste está abierto a la intemperie.



Figuras 38, 39 y 40: El panteón de Roma visto desde el exterior e interior

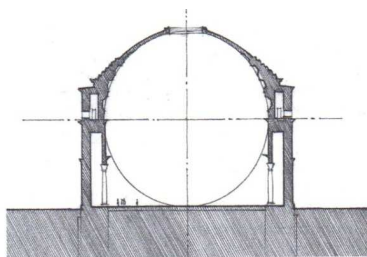


Figura 41: Sección y esfera de Arquímedes

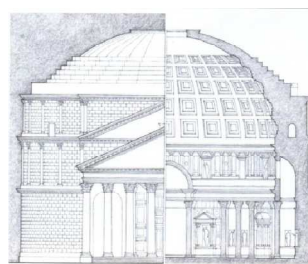


Figura 42: Sección y alzado del panteón

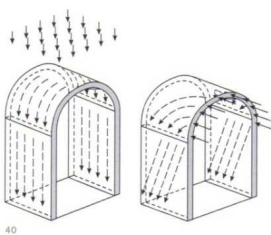


Figura 43: Presión de cargas hacia el terreno

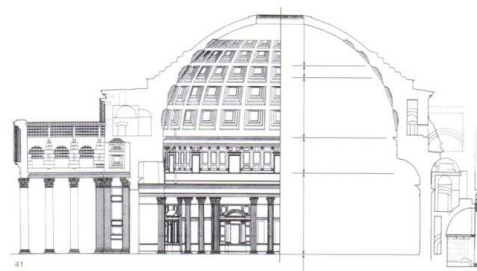


Figura 44: Sección del Panteón

Aunque por aquel entonces se empezaba a trabajar con el arco como sistema constructivo, los arquitectos aún estaban experimentando con esta nueva técnica. En el Coliseo, por ejemplo, habían empezado a experimentar con la articulación compleja de arcos con columnas adosadas. Proyectaron algunas construcciones con esta misma técnica, pero a veces iban más allá y construían edificaciones interesantes como el arco de Trajano en Timgad.

“El arco central está flanqueado por otros dos más pequeños, coronados por edículos y flanqueados por sus columnas. Los dos lados están organizados mediante enormes columnas que llegan hasta la parte alta de los edículos y que, con la ayuda de impostas, se elevan a una altura en que los arcos salvan los edículos.”⁹

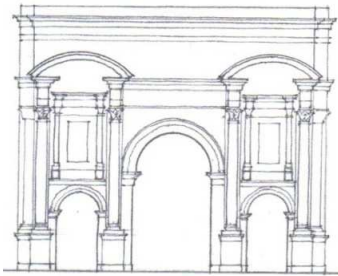


Figura 45: Arco de Trajano, en Timgad.

Por otro lado, en esta época romana, se construyeron un sinnúmero de baños públicos, también llamados termas que eran de propiedad estatal. Dichas termas ofrecían un ambiente social.

Una de las más conocidas fueron las termas de Caracalla (211 – 216 d.C.)

Edificio de 200 x 114 m. Fachada principal austera. El frigidario estaba cubierto por tres bóvedas de arista. El punto más importante era el caldario, sala circular de 35 m de diámetro, con ventanas en los muros y con un óculo en la cúpula. Esta terma es semejante al Panteón por su cúpula con óculo.

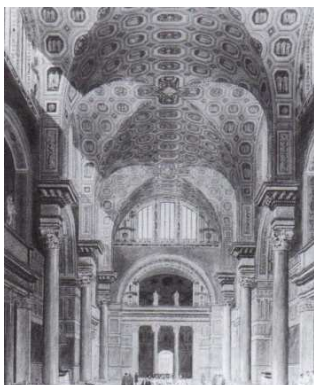


Figura 46: Interior termas

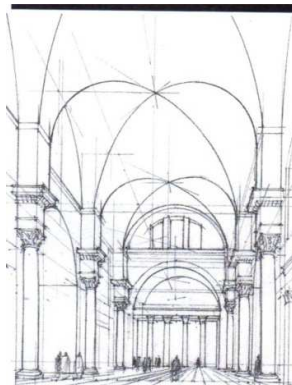


Figura 47: Cónica termas



Figura 48: Zona del Caldario

A principios del siglo V, se produjo un ajuste en la arquitectura ya que los romanos se encontraban en un período de transformación por la aparición de una nueva religión.

Constantino acabó con la represión del cristianismo y fundó una nueva ciudad llamada Constantinopla en la que se impuso una religión híbrida (cristiana y pagana). Aunque después de su muerte la cristianización supuso la destrucción de algunos templos y altares para establecer una nueva arquitectura. Una arquitectura más

adecuada a las necesidades derivadas del cristianismo. Esta arquitectura se centró tanto en Roma como en Jerusalén.

Aunque el cristianismo fue reconocido como religión del estado sobre el año 326, el paganismo no tuvo un fin inmediato. El cristianismo empezó como una de las diversas religiones alternativas helenísticas. Esta religión que empezó a florecer sobre el siglo V d. C. sería reprimida a finales del siglo VII d. C. Pero antes de que lo fuera, se construyeron bastantes lugares para dar culto: las basílicas.

Una de las basílicas más famosas es la basílica de Constantino, en Roma (308 – 325 d.C.)

Construcción de 3 vanos de 25 m de ancho, 35 m de alto y 80 m de largo. La estructura es de hormigón abovedada. Consta de 3 naves. La central, la más alta y con una bóveda de arista y contrarrestada por 2 naves laterales de tamaño menor mediante bóveda de cañón.



Figura 49: Interior basílica de Constantino

3. EDAD MEDIA

Tras la caída del Imperio romano se puso fin a un estilo de arquitectura dotado de grandes construcciones y con una gran experiencia a sus espaldas. Europa tardaría siglos en encontrar una arquitectura como lo fue la romana.

Como ya se ha comentado anteriormente, antes de que el imperio romano fuera invadido sufrió la penetración de una nueva religión que acabó con la cultura pagana. El emperador Constantino liberó el cristianismo, y este, poco a poco, empezó apoderándose del imperio romano. No solo influyó en la cultura sino también en la arquitectura de los últimos tiempos, por eso surgió un nuevo estilo llamado paleocristiano.

Hubo dos tipos de arquitectura muy distinta, por un lado la arquitectura constantiana, desarrollada en Roma, Occidente y la Tierra Santa y por otro la de Siria, Anatolia, Georgia...

En la cristiana (constantiana) se creó un nuevo templo llamado basílica y como complemento de ella se crearon los baptisterios: edificios con planta circular u octogonal, cubiertos con cúpula hemisférica.

En Oriente, entre los siglos III y VII, es decir, hasta la invasión musulmana, se desarrollaron escuelas de arquitectura paleocristianas, que adquieren características propias.

Más tarde, los bizantinos continuaron con la tradición antigua del Imperio Romano de Oriente. En Occidente en cambio, los invasores bárbaros destruyeron la base de la arquitectura romana (pagana y cristiana).

Por eso en Europa, entre los siglos IV y V, la arquitectura fue algo confusa. El paleocristianismo empezó en los siglos III al IV y en el V, tras convertirse al cristianismo adoptaron ideas arquitectónicas de épocas pasadas.

Pero poco a poco empezó a vislumbrarse una nueva arquitectura llamada románica, por lo que se dice que Europa se vistió de novedad. Abundaban las catedrales e iglesias. Este fue un periodo de mucha creatividad. Entre los siglos XII y XIV en Francia se produjo un cambio en la arquitectura empleando simultáneamente la bóveda de crucería y el arco ojival. En consecuencia, las iglesias se liberaron del muro tradicional que hacía de función sustentante, concentrando las presiones en los pilares. Esto condujo a la apertura de grandes ventanales. Este nuevo periodo se conocería como el gótico.

3.1. PERIODO BIZANTINO

Fue una época de gran importancia que se puede decir que deriva de un perfeccionamiento del arte romano. El periodo de la arquitectura bizantina sirvió para mejorar las tipologías constructivas como las cupulares que se fueron perfeccionando poco a poco hasta llegar a la primera mitad del siglo XV.

Esta arquitectura bizantina se inició en Constantinopla en el siglo V. y se trató de una arquitectura compleja ya que tuvo bastantes influencias.

También se desarrollaron nuevas formas arquitectónicas empleando el ladrillo para la construcción de cúpulas y el hormigón se quedó en el olvido.

Como ya se ha comentado, Constantino dio paso a la cristianización del imperio. Él quería un imperio cristiano pero con elementos paganos, en cambio, para Justiniano, el cristianismo era tan sagrado como la reconstrucción de Roma.

Por lo tanto, para él, solo existía una religión e hizo demoler todos los templos paganos. No quería que hubieron diversas ideologías, solo aceptó el cristianismo. Por otro lado, durante su mandato, recuperó Italia y el Norte de África. Se crearon puentes, acueductos, iglesias, ciudades y mercados.

Los bizantinos a su vez adoptaron las ideas de los romanos, es decir que se inspiraron en su arquitectura. Pero hay que saber, que en las estructuras romanas abovedadas existían unos problemas que se quedaron sin resolver. Uno de ellos es el de los empalmes geométricos entre los diferentes tipos de bóvedas. Los romanos lo que hacían era usar cada tipo de bóveda por separado y preferían evitar las intersecciones recíprocas. Así pues, la bóveda cilíndrica se usaba en espacios cuadrados y rectangulares. El otro problema era la de articulación física de las estructuras. El uso de la bóveda lo que hace es transformar todos los esfuerzos en esfuerzos a compresión, y para sacar el mayor provecho del sistema es necesario que la estructura esté diferenciada en cada parte.

En cambio, los bizantinos asumieron esos problemas y lo resolvieron con éxito. El problema de los empalmes geométricos entre bóveda y pies derechos se resolvía con la solución de la invención de las pechinas esféricas. Además, en la época de Justiniano se desarrolló la mejor arquitectura del bizantino. Incluso se llamó la Edad de Oro. En este periodo, en la arquitectura bizantina se investigó y se ensayó la manera de integrar el edificio longitudinal con el de un edificio con cúpula.

La ciencia se elevó a lo más alto para hacer de la construcción más una disciplina más perfeccionista. “De oriente se aprendió la ciencia de voltear bóvedas y cúpulas usando de ingeniosos recursos, cuales el uso de piezas de cerámica, hueca encajada entre sí, lo que permitía construir arcos de grandes luces y de muy poco peso”¹⁰ Los bizantinos perfeccionaron el sistema griego incorporándole la bóveda y la cúpula.

Un ejemplo de la arquitectura en época de Justiniano es la Iglesia de los Santos Sergio y Baco.

La estructura circundante es totalmente independiente de la estructura que sostiene la cúpula, es decir, que existen dos estructuras independientes. Algo inusual en la arquitectura bizantina. En torno a la cúpula se articula la nave y las naves laterales tienen forma de anillo.

“En el centro del espacio se alza una cúpula de 16 gallones apoyada sobre 8 pilares de dos alturas, apantalladas en los espacios intersticiales por pares de columnas en ambos niveles. Esas pantallas son alternadamente planas en las direcciones de los principales ejes y curvas en las esquinas”¹¹

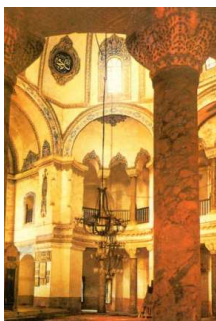


Figura 50: Vista interior de la Iglesia

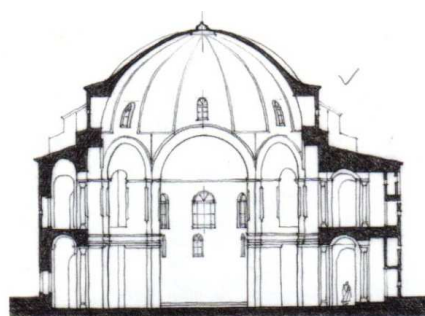


Figura 51: Sección de la Iglesia Santos Sergio y Baco

10. Bassegoda; Historia de la arquitectura; página 150

11. Ching, Francis D. K. / Jarzombek, Mark M. / Prakash, Vikramaditya; Una historia universal de la arquitectura: Volumen 01; página 261

Otro ejemplo bastante conocido y que se resuelve con las mismas características que la anterior, es decir, cúpula en la nave central, y a su alrededor los arcos y pilares hacen que la cúpula se sostenga es la Iglesia de San Vital, en Rávena.

Construida en el siglo VI. La zona central está apoyada por pilares en los cuales las crujías de doble altura se exponen al exterior.



Figura 52: Exterior

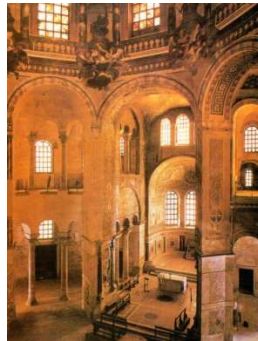


Figura 53: Interior

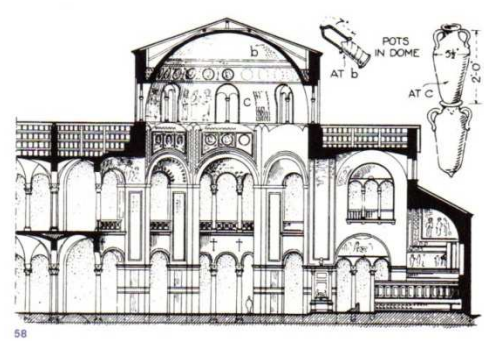


Figura 54: Sección

Otro ejemplo, el más espectacular y grandioso que se puede encontrar en la época bizantina es la Basílica de Santa Sofía.

Construida a lo largo de cinco años (532 – 537) se creó mediante una estructura cupulada. El centro de iglesia es un cuadrado de 30 metros de lado. Se levantan cuatro pilares en cada esquina que soportan los arcos, entre lo que otras tantas pechinas sostienen una cúpula de consta de 40 nervios. La cúpula es de mampostería. Las ventanas que perforan la base de la cúpula son las responsables de darle una apariencia en la cual parezca que flote. Los arcos situados en la parte este y oeste están cerrados con una serie de columnas y ventanas en la cual parece que dichos arcos no existieran permitiendo ve el interior de los edificios de tres ábsides a ambos lados.

Las bóvedas de ladrillo son delgadas y ligeras, y aún existen muchas dudas sobre la estática que rige la integridad del edificio, ya que las semicúpulas parecen demasiado delgadas para sostener tanta carga, aunque la combinación de las semicúpulas, cuartos de cúpula y los grandes pilares resultaron suficientes. A partir del siglo VIII, se añadieron contrafuertes en el exterior para evitar problemas mayores.



Figura 55: Exterior



Figura 56: Interior

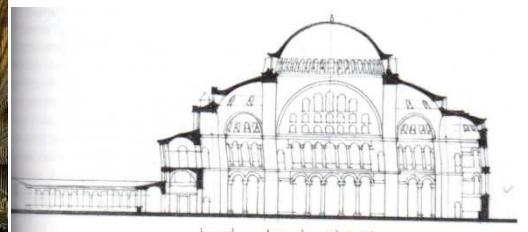


Figura 57: Sección

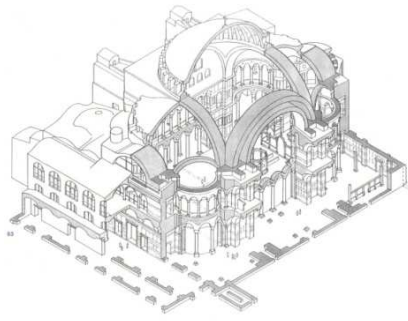


Figura 58: Axonometría

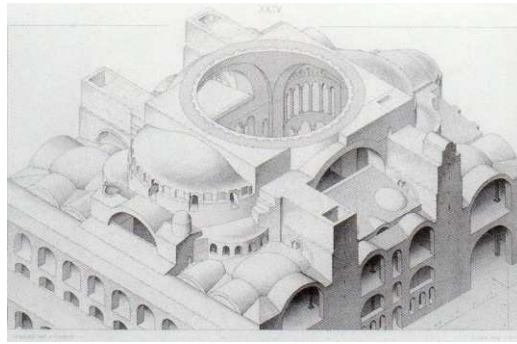


Figura 59: Axonometría

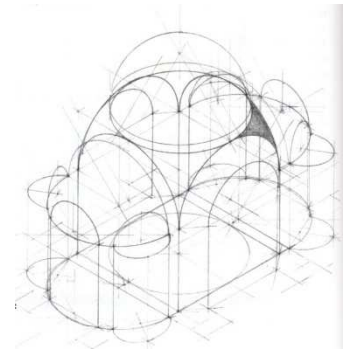


Figura 60: Axo. Geométrico

“Las cúpulas bizantinas, aprendida su técnica tanto de los romanos como de los orientales, son ejemplos de construcción sin el uso de cerchas o cimbras, con el empleo de cilindrán de terracota encajados ente sí y recibidos con mortero de cal”¹²

Así pues, se observa que los bizantinos abandonaron la piedra como materia principal sustituyéndola por el ladrillo.

Más tarde, a principios del año 800 d.C. el imperio bizantino tuvo un periodo de decadencia. Resurgió a mediados de los 800 d.C., en tiempos de Basilio I (867 – 886 d.C.). Tanto la arquitectura como la cultura mejoraron y se desarrollaron, pero la mayoría de las construcciones estaban hechas para la élite. Pero estos nuevos proyectos fueron considerados diferentes porque se asemejaban a la arquitectura occidental. La iglesia bizantina adoptó una forma bastante característica. Se trataba de centros religiosos con forma de cúpulas apoyadas sobre cuatro columnas situadas en las esquinas.

Un ejemplo es la iglesia de Koimesis en Nicea.

Una cúpula sobre pechinas se alza sobre las claves de las bóvedas de cañón y apoyada en un tambor de poca altura, la cual esta perforada por pequeñas ventanas en dirección a los 4 puntos cardinales. Además, la intersección de la cruz griega está cubierta por una cúpula y las naves por bóvedas de cañón.

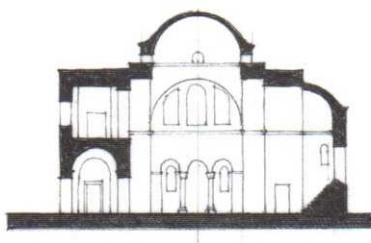


Figura 61: Sección de la Iglesia

Ya a finales de la arquitectura bizantina en el siglo XV, se construyó la Catedral de San Marcos en Venecia.

Con planta de cruz griega y 5 dobles cúpulas. Estos se prolongan con bóvedas de cañón. La cúpula interior es de media naranja por lo que se logra un efecto de mayor altura mediante una segunda cúpula.

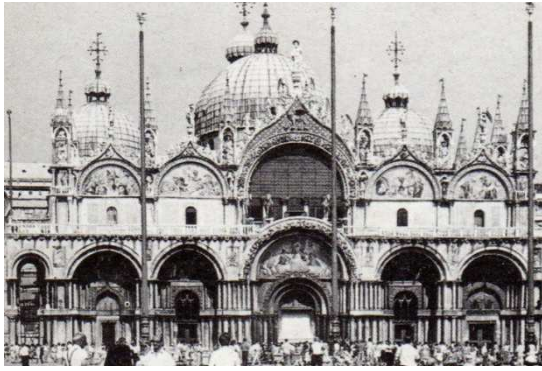


Figura 62: Vista exterior

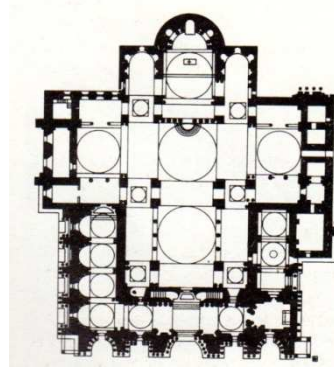


Figura 63: Planta

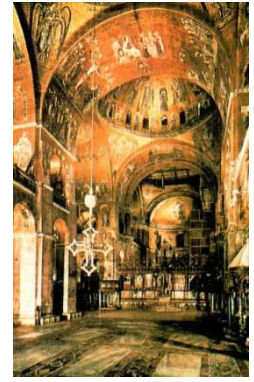


Figura 64: Vista interior

3.2. PERIODO PALEOCRISTIANO

Roma, sin presencia militar tuvo que defenderse sola. Fue entonces cuando los romanos eligieron como nuevo defensor a Odoacro, hasta que en el año 800 Carlomagno fue coronado.

No hubo una arquitectura cristiana como tal hasta el siglo IV. Anteriormente, lo que sucedía en realidad era que los cultos religiosos se celebraban en las propias casas. Así pues, la basílica romana evolucionó a partir de las casas romanas en las que se practicaba la religión cristiana. Finalmente, la basílica adquirió muchísima importancia ya que Constantino la impuso como modelo en todas las iglesias.

En este periodo ya utilizaban el arco para casi todas sus obras, sobre todo en las iglesias, pero lo hacían fundamentalmente en la separación entre naves.

Un ejemplo donde se puede observar que utilizaban los arcos y también columnas es en la construcción de Santa Sabina (425 – 432 d.C.) en Roma.

Se aprecia que existen tres naves siendo la central la más alta. Entre ellas, se encuentran los arcos con sus columnas donde se aguanta el muro de las naves. Aparece la solución de apoyar arcos sobre las columnas sin usar fragmentos de entablamento. En esta época aún se cubría la basílica con techumbre de madera y no con una bóveda, solución que se desarrollará más adelante.

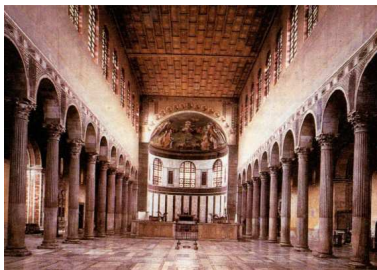


Figura 65: Interior Santa Sabina

Otro ejemplo es la basílica de San Pedro de Roma (319 – 322 d.C.)

En vez de tres naves, esta basílica constaba de cinco naves separadas sobre columnas. Los arcos apoyan en las columnas y la cubierta aún es plana y de madera.

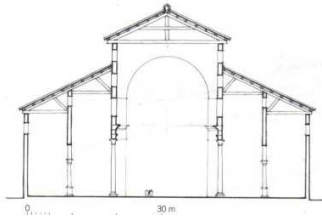


Figura 66: Sección basílica de San Pedro

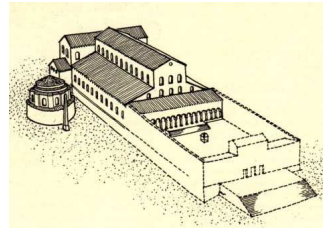


Figura 67: Axonometría basílica de San Pedro

Aparte de las basílicas, se ha comentado que poco a poco fue apareciendo una nueva arquitectura adosada a las basílicas eran los baptisterios. Pronto se convirtió en un elemento reconocible en el mundo de la arquitectura.

Uno de los primeros baptisterios y también de los más famosos es el Baptisterio de Rávena (400 -450 d.C.)

Forma ortogonal. Cubierta en forma de cúpula y esta se sostenía a un entramado de arcos que recorría todo el baptisterio.



Figura 68: Cúpula del Baptisterio de Rávena



Figura 69: Interior Baptisterio de Rávena

Aunque ya no era tan frecuente, aún existían edificios destinados al culto a los fallecidos, es decir, arquitectura funeraria.

Un ejemplo es el Santo Stefano Rotondo, en Roma (470 d.C.)

De planta circular de 75 m. de diámetro, tiene una altura de 23 m con 22 columnas arquitrabadas y sobre la parte central se cierra como cubierta una cúpula.

Los arcos son la base de la estructura y transmiten toda la carga hacia el suelo. Los arcos están sometidos a compresión por lo que aumenta la carga que soporta. En este edificio, el arco y la columna se juntan y esto hace que haya un mayor espacio (sea más abierto)



Figura 70: Vista aérea

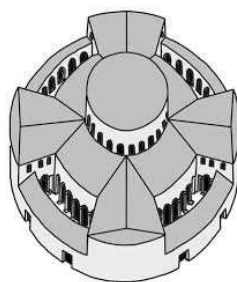


Figura 71: Axo. Cubierta

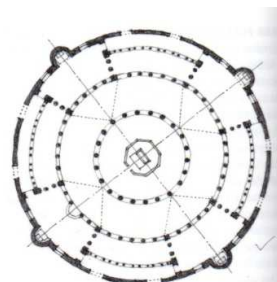


Figura 72: Planta

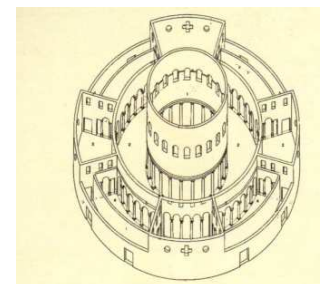


Figura 73: Axonometría

Como conclusión, se observa que en este periodo existen dos etapas en las cuales se utilizan dos sistemas constructivos. En la primera etapa utilizan el arco, pero solo como separación entre las naves. Y en la segunda etapa se observa que en la construcción de baptisterios y más tarde en la arquitectura funeraria la cúpula ya formaba parte del sistema constructivo.

Es una técnica compleja, pero llamativa que ya en periodos futuros, los arquitectos la utilizarán con frecuencia para hacer mayores catedrales e iglesias.

3.3. PERIODO ISLÁMICO

El poder islámico empezó a ser importante a partir del momento en que Mahoma empezó a ser un fuerte orador y empezó a tener seguidores. Poco a poco el Islam se extendió llegando a Asia occidental, norte de África y finalmente a España. Tras el nuevo gran imperio se produjo un nuevo estilo. Las principales construcciones de la arquitectura islámica son la mezquita, el palacio y las termas.

Los musulmanes no buscaban nuevas formas estructurales sino que se limitaban a copiar la forma estructural de los países conquistados. Por ejemplo, en las mezquitas, cuyos antecedentes eran del tiempo egipcio y la basílica paleocristiana; para los palacios se fijaron en las casas griegas y romanas; para las termas, en cambio, estudiaron sólo a los romanos.

Cuando los árabes fundaron su primera dinastía llamada Omeya en los siglos VII y VIII, su capital fue Damasco, imitaban la arquitectura de los bizantinos. Los Abasides en los siglos VIII al XI, su capital Bagdad, tuvieron inspiración arquitectónica de los persas. Los Aglabides, capital en Túnez, se inspiraron de la arquitectura romana. Y durante la dinastía Seljúcida, en los siglos XI al XIII, se construyeron grandes mezquitas cubiertas con cúpulas sostenidas por nervios en el interior. En este caso, emularon la solución del gótico.

Así pues, después de señalar en qué estilo arquitectónico se inspiraron los islámicos, se va ver unos ejemplos donde estos se reflejan. Estos ejemplos se realizaron con el sistema constructivo del arco, bóveda y cúpula.

Tras la conquista de Palestina y Jerusalén en el siglo VII el califa Abd al-Malik hizo construir un edificio llamado la Cúpula de la Roca.

Acabada en el 692, la cúpula tiene 20 m de diámetro y está apoyada en un tambor que descansa sobre un doble sistema de pilares y columnas. La cúpula es de madera y su planta tiene forma octogonal. Encierra un doble deambulatorio. El externo consta de 24 arcos apoyados en 8 pilares y 16 columnas, y el interno de planta circular con otros 16 arcos que recaen sobre 4 pilares y 12 columnas.



Figura 74: Vista exterior

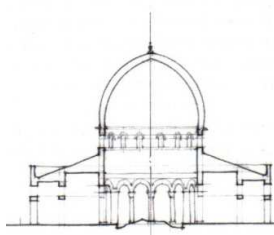


Figura 75: Sección

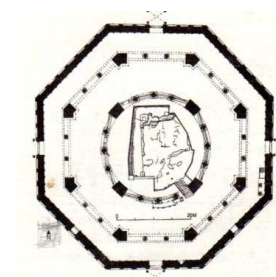


Figura 76: Planta

Aunque los arcibes carecían de una cultura potente, tras invadir territorios y conquistarlos fueron muy poderosos, como les pasó a los romanos y a los griegos.

De los Indios asimilaron las matemáticas, de los persas sus sistemas constructivos, de los bizantinos la técnica del abovedamiento y de los armenios, las canterías.

Se fundaron bibliotecas y mezquitas. Una de las mezquitas es la Gran mezquita de Omeya, en Damasco (709 – 715 d.C.)

La estructura se apoya sobre dos filas de columnas, y unos grandes arcos de medio punto, los cuales sostienen una segunda columnata más pequeña sobre la que se apoyan vigas de madera de la techumbre.



Figura 77: Vista exterior

Otro ejemplo de mezquita es la de Ibn Tulun en Fustat, el Cairo (876 – 905 d.C.)

De planta cuadrada con doble arquería en 3 de sus lados, entre sus pilares y arcos existen unos vanos mediante los cuales se aligera el aspecto macizo.



Figura 78: Vista exterior

Una de las mezquitas emblemáticas del Islam es la conocida la gran mezquita de Córdoba (784 – 978 d.C.)

Esta mezquita está inspirada en la de Omeya, en Damasco. La cubierta está apoyada en un sistema de dos niveles de arcos de herradura que aglomeraba el sistema de contrafuertes. Las dovelas de los arcos son de piedra blanca y ladrillo rojo. El arco inferior actúa como arco de entibo al atirantar toda la estructura superior, que está compuesta por otro arco que soporta la cubierta. El alminar fue rematado por una cúpula.



Figura 79: Vista interior, columnatas

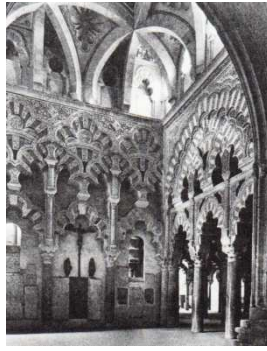


Figura 80: Vista interior

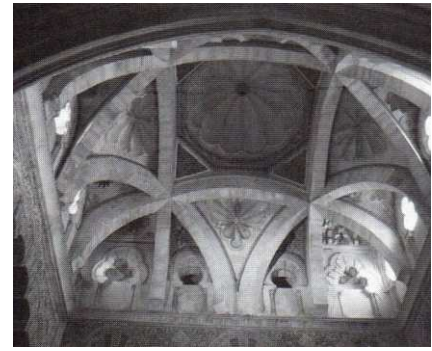


Figura 81: Detalle cúpula

Otra mezquita importante es la mezquita de Qayarawan, Túnez (siglo IV d.C.)

Sobre los soportes se hallan arcos de herradura. El mirab está cubierto de una cúpula gallonada sobre un cuerno de trompas concebidas como nichos, formando arcos lobulados.



Figura 82: Vista aérea

También se hallan numerosas construcciones de mausoleos. Un ejemplo es el Mausoleo de Ismail.

Realizado entre el año 913 y 943, es de forma cúbica, reforzada con columnas y rematada con una cúpula sobre trompas flanqueadas por 4 cúpulas pequeñas. Cada fachada está abierta por un arco.

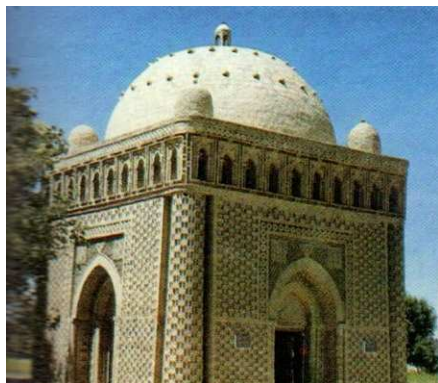


Figura 83: Vista exterior

Se puede observar que estos son ejemplos en los cuales las estructuras son complicadas y las bóvedas, arcos y cúpulas empiezan a formar parte del sistema constructivo así como sus diferentes tipologías.

3.4. PERIODO ROMÁNICO

Hay que esperar hasta el siglo IX para ver el primer intento del resurgimiento del imperio romano.

Carlomagno fue el primer emperador que intentó hacer resurgir este imperio romano en occidente, en los países de Francia, Alemania y el norte tanto de Italia y España. Pero las invasiones normandas, húngaras y sarracenas acabaron con la unidad carolingia y con un aumento del poder feudal y religioso. Y en el último cuarto del siglo IX se dividió el imperio, y a comienzos del siglo X se fundó la dinastía alemana de los otones. Ya hacia el siglo X nacería el estilo románico que fue base en todos los desarrollos arquitectónicos de Occidente. En Europa, se crearon un sinfín de monasterios por los señores feudales, lo que hizo que Europa empezase a salir de su declive y a resurgir con poder.

La península ibérica fue invadida en sus dos terceras partes de territorio por los musulmanes. La parte donde no llegaron fue en el reino de Asturias, donde se mantuvo el cristianismo.

Una de las obras más importantes es Santa María del Naranco.

No tenía una forma tradicional, pues se trataba de una sala alargada abovedada. El espacio estaba libre a ambos lados definidos por arcadas bien ejecutadas. Se cubre con bóveda de cañón y arcos fajones que descansan en contrafuertes que están en el exterior. Este fue un sistema que más adelante, en la época románica y gótica se usó más y formaría parte de uno de los mayores hallazgos de la arquitectura.

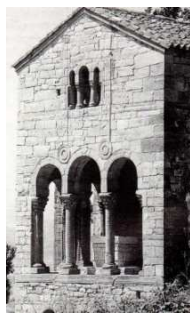


Figura 84: Exterior



Figura 85: Interior

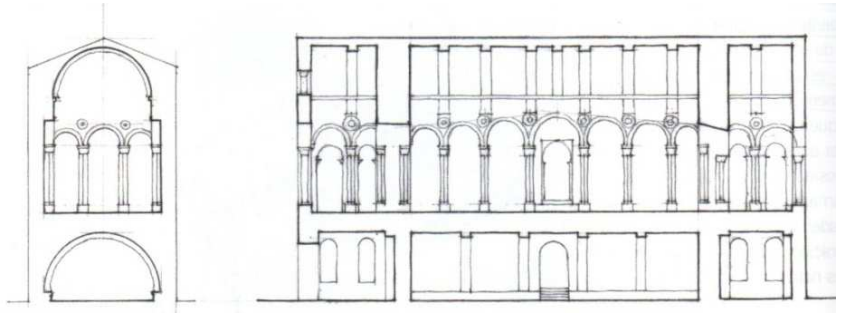


Figura 86: Secciones transversal y longitudinal

El reino de Carlomagno se extendió mucho y el resultado fue la expansión de grandes obras arquitectónicas.

Las iglesias tenían una volumetría sencilla y compacta. Las ventanas estaban rematadas por arcos. Se trataba de una arquitectura potente y maciza. Se introdujo como una innovación en las iglesias el sistema abovedado.

Este tipo de iglesias se pueden ver por ejemplo en la Abadía de Farfa, Italia.

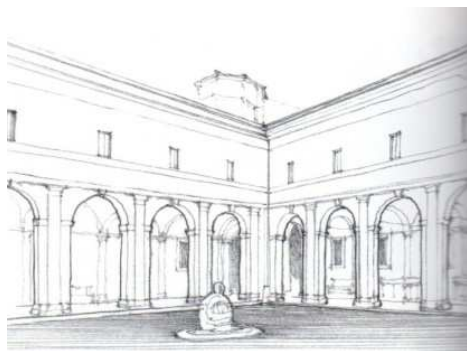


Figura 87: Vista exterior

Aunque el ejemplo más importante de esta época es la del Palacio Real de Aquisgrán, Alemania (786 – 805 d.C.)

La capilla es de planta octogonal rodeada de una galería. La planta baja está definida por 8 arcos que soportan una cornisa que separa el nivel inferior del superior. Sobre la cornisa, los huecos estaban definidos por una arcada que servía de pantalla entre los arcos altos ascendentes y una bóveda de arista. Para contrarrestar los empujes laterales de la cúpula, los arquitectos añadieron bóvedas laterales a nivel de galería.



Figura 88: Vista exterior

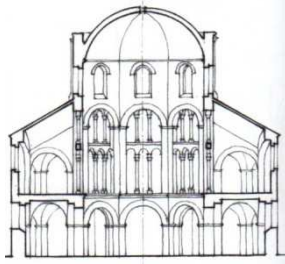


Figura 89: Sección



Figura 90: Detalle arcos

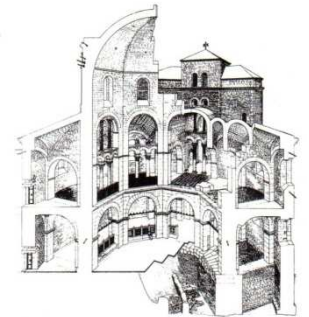


Figura 91: Axonometría

Otro ejemplo es la Iglesia de San Ciriaco de Gernorode (959 – 965 d.C.)

En este edificio, los arquitectos vieron que el gran muro que separaba las ventanas altas de los arcos, el intercolumnio tan característico del prerrománico, se difuminaba del efecto claroscuro de la arcada.

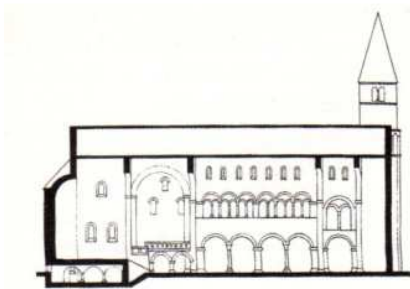


Figura 92: Sección

Poco a poco, van manifestándose las proporciones acerca del sistema constructivo que tardarían tanto los arquitectos románicos como góticos.

Bajo el mandato de Carlomagno, toda la parte occidental estaba dominada por los obispos y jueces. Pero tras su muerte, el imperio se dividió y tras las invasiones de los vikingos y musulmanes, Europa se debilitó.

Ya en el año 1000 empezó a mejorar poco a poco gracias al sistema feudal que se había asentado en la mayor parte en Europa. Pero por esta época, el poder se había desplazado desde Francia hasta el reino de la dinastía de los ottonos. El imperio germánico deseaba ser el heredero del imperio carolingio. Aunque tenían conexiones con Roma, los ottonos también admiraban Constantinopla. Incluso se llevaron a arquitectos, artesanos y canteros del imperio bizantino para que hicieran una arquitectura diferente a la que estaban acostumbrados.

Para poder controlar todo su imperio, los reyes ottones cambiaron la fundación de los monasterios con los mercados.

Hubo un gran incremento de actividad en el sector comercial aunque también había competencia entre las ciudades de Alemania, lo que produjo un rápido aumento en la producción arquitectónica.

La época en la que se inscribe la arquitectura románica fue una época de investigación, prueba y búsqueda. Se desarrolló una arquitectura que consistió en mejorar los problemas constructivos haciendo multitud de ensayos hasta llegar a una solución adecuada. Pero los ensayos arquitectónicos se hicieron en sobre todo en construcciones religiosas y acabaron resolviéndose y mejorando un sinnúmero de problemas. Los arquitectos de esta época tenían conocimientos en las disciplinas de geometría y aritmética.

El edificio más común de esta época románica fueron las iglesias y catedrales. Normalmente, “la nave principal es el ámbito tectónica y espacialmente activo de la construcción, puesto que las naves laterales actúan como estructuras de descarga, función a la que contribuyen macizos contrafuertes.”¹³ La separación entre naves están comprendidos los arcos.

En la iglesia románica se cambió el estilo de cubierta. En vez de emplear techumbre plana y de madera se cambió a bóveda de cañón reforzada con arcos fajones. Pero tuvieron una serie de problemas que solucionaron con el paso del tiempo haciendo ensayos e investigaciones puesto que en un principio solo disponían de referencias occidentales paleocristianas. Una solución fue utilizar bóvedas de arista en los espacios cuadrados de los tramos de las naves laterales.

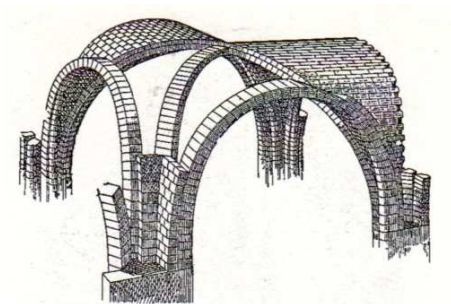


Figura 93: Detalle bóveda arista

Es la intersección de dos bóvedas de cañón y ellas están en perpendicular, es decir, una está girada de la otra 90 grados.

Para cubrir el crucero, es decir, la intersección de la parte longitudinal y transversal de la iglesia se hacía con una cúpula semiesférica.

Un ejemplo de Iglesia románica es la iglesia de Saint-Savin-Sur-Gartempe, en Francia

La nave está cubierta con bóveda de cañón seguido semicircular. Esta se apoya sobre columnas con capiteles.



Figura 94: Vista aérea



Figura 95: Vista interior

Otra iglesia construida de esta manera es la Catedral de Spira, Alemania (1040 – 1137 d.C.)

Para poder sostener la bóveda central, las naves laterales actuaban como contrafuertes para así poder contrarrestar los empujes de la bóveda. Además, el alzado de la nave lateral estaba definido por una serie de arcos altos, como un acueducto romano. Hay que señalar la presencia de la columna adosada, que se levantaba desde el suelo hasta la base de la bóveda, a 32 m de altura, la bóveda a mayor altura de la época. Con esta gran variedad de sistemas de abovedamiento se consiguió una gran variedad de soluciones en los apoyos como pilares cilíndricos, pilares cuadrados, columnas, pilares compuestos de formas rectas, etc.



Figura 96: Vista aérea



Figura 97: Vista interior

Este proceso de búsqueda e investigación no se consideró como una meta, sino un camino hacia la meta que llegó con la aparición de la arquitectura gótica, siglo XII.

Así pues, la arquitectura románica se formó con la herencia de los bizantinos, los bárbaros y componentes clásicos.

A principios del siglo XII, el románico había encontrado ya en principio todas las soluciones a sus retos arquitectónicos. Así que llegó el momento de dar la mejor solución con la que se resolvería todos los problemas planteados hasta el momento. Se empezaron a construir iglesias con arcos fajones separando los tramos, y entre ellos bóvedas por aristas que estaban reforzadas por arcos de piedra formando lo que más tarde se llamó nervadura.

Durante los siglos XI y XII se produjo un gran aumento de peregrinos, por lo que también se produjo un incremento de la construcción de catedrales.

Uno de los lugares al que más gente acudía en peregrinación era el Santo Sepulcro de Jerusalén.

Fue construido por las órdenes de Constantino en el 335 d.C. y demolido por los persas. Después, en las cruzadas fue otra vez reconstruido dando algunas modificaciones.

En la nueva iglesia fue añadida una nave de dos crujías que vuelca al patio. La iglesia estaba cubierta por una cúpula con un óculo central.



Figura 98: Vista aérea



Figura 99: Vista interior

Otro ejemplo de iglesia de peregrinación es la de Saint-Sernin, en Toulouse. (XI – XIII d.C.)

Se inició en 1075. Consta de cinco naves. Cuando se empezó a levantar el crucero ya rondaba el siglo XIII, por lo que el sistema fue de arcos apuntados de estilo gótico iniciático.



Figura 100: Vista interior

En el siglo IX el Rey Carlos III firmó la paz con los normandos ya que estaban siendo invadidos por estos. Los normandos se adaptaron enseguida e impulsaron la arquitectura románica.

Conquistaron el sur de Italia, Sicilia, el norte de África e Inglaterra. La construcción que se fomentaba en esa época eran las catedrales.

Una de las catedrales más famosas de Inglaterra en el siglo XI y XII fue la Catedral de Durham (1093 – 1133 d.C.)

Inglaterra trasladó las técnicas constructivas francesas a sus tierras. La importancia de esta catedral es la bóveda nervada y los arcos ojivales empleados en ellas. Se trata de una catedral románica. Redujeron los muros a gruesos esqueletos de arcos. “Los arcos no eran meras interrupciones en la continuidad de la pared, sino que

estaban definidos de un modo regular con anillos constituidos por medias columnas adosadas y cordones salientes horizontales.”¹⁴

También se le considera un antecedente de la arquitectura gótica por la fusión de la bóveda nervada con el arco apuntado.

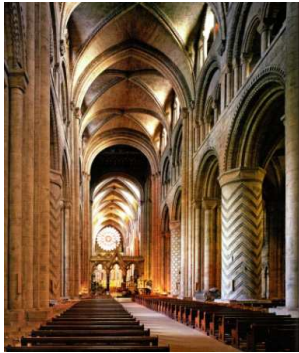


Figura 101: Vista interior

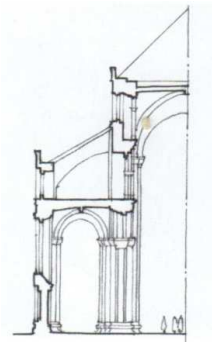


Figura 102: Sección parcial

A principios del siglo XI, una serie de plagas hizo que Italia se debilitara, y fue cuando los obispos empezaron a tener mucho poder. Con esta nueva sociedad que se iba tejiendo, se hizo que la arquitectura reflotara como se hizo en los tiempos de los romanos. Se empezaron a construir iglesias y baptisterios.

Una de las catedrales que se construyeron en Italia en esta época románica fue la Catedral de Módena, empezada en 1099.

Esta catedral comparada con las otras románicas tiene una estructura más ligera. El edificio estaba articulado mediante arcadas ciegas.



Figura 103: Sección parcial

Otro ejemplo es la Catedral de Pisa, fundada en 1063 y consagrada en 1118.

De volumen ligero. No tiene casi aberturas. Típica arquitectura románica. Planta de cruz latina con cinco naves y tres en el transepto. Está coronada por una cúpula en el crucero.



Figura 104: Vista exterior

Finalmente cabe señalar, que de todas las bóvedas que se investigaron y buscaron, la llamada de arista tenía la gran ventaja de que las fuerzas se concentraban en cuatro puntos que se deslizaban por las aristas de las dos bóvedas de cañón. Entonces, si esos cuatro puntos se hacían resistentes, no era necesario construir muros para que se sostuviera la bóveda. Esto llevaría más adelante a provocar la solución gótica, la bóveda se sostiene sobre cuatro columnas.

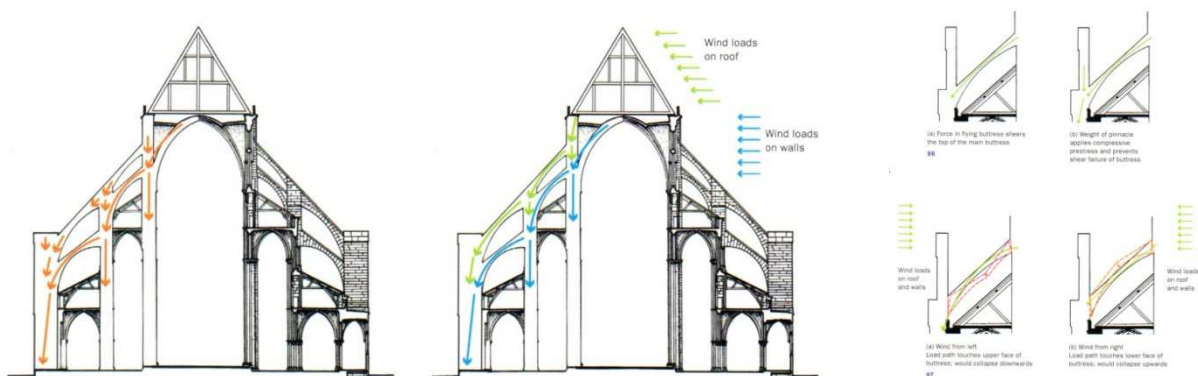
3.5. PERIODO GÓTICO

El siglo XIII, en pleno periodo gótico, tuvieron lugar una serie de situaciones diversas y cambiantes. Se construyeron un sinnúmero de catedrales e iglesias de carácter austero y sencillo y ya en la Alta Edad Media, en tan solo 100 años más, la ubicación de nuevas catedrales, consiguieron señalar en el mapa múltiples ciudades desde Inglaterra a Italia y de España a Alemania.

Entre los siglos XII y XV hubo un gran cambio social: en las ciudades empezó a ganar poder la gente de señorío: nobles y burgueses mientras que fueron apareciendo a otro nivel los gremios donde los artesanos se agrupaban según quehaceres. Para mostrar la grandeza de cada gremio se levantaron iglesias con las que demostraban su culto a la virgen.

El gótico fue en realidad la meta de toda investigación en una búsqueda por encontrar el sistema constructivo ideal. Fue surgiendo con el proceso evolutivo desde las bóvedas de arista, también llamadas románicas a un tipo de bóvedas que se aguantaban sobre cuatro puntos en forma de columnas. En este momento se empezó a llamar a la estructura del edificio “esqueleto”, ya que básicamente no se necesitaban muros entre las distintas naves. El resto de la edificación se rellenaba para proteger el espacio interior de la intemperie.

El problema de este método tenía que ver con el empuje que llega a través de las nervaduras y pasa hacia las columnas porque este empuje llega con inclinación y la solución se alcanza al colocar contrafuertes que contrarresten el empuje, al igual que sucedía en el arte románico. También se podía contrarrestar con un arbotante, es decir, con un pilar y un arco que los uniera.



Figuras 105 y 106: Diagrama de actuación de las cargas con los contrafuertes y arbotantes

Se entendía que el arco ojival era una solución mejor que la del arco de medio punto porque reducía los empujes laterales y así permitía una mayor verticalidad en la construcción y también cubrir una mayor luz.

Pero no fue este cambio el único que permitió hacer más esbeltas las construcciones, sino que también fue la aparición de la bóveda de crucería, que es la intersección de dos bóvedas de cañón reforzada por nervios diagonales cruzados en la clave. El peso de toda la plementería de la bóveda es soportado por los nervios y derivado después en dos direcciones: una vertical concentrada en los nervios diagonales y la otra lateral hacia los contrafuertes.

El primer ejemplo de bóveda de crucería gótica es la de la Abadía de Saint-Denis (1144)

La entrada tenía lugar por un portal triple cuya puerta central tenía un mayor tamaño que las laterales, como ocurría en los arcos de triunfo. Las bóvedas de crucería y los arbotantes aparecían combinados con armonía junto con las agujas, el rosetón, los haces de columnas, los arcos ojivales y la luminosidad interior. En cuanto a su formación, consta de dos niveles: en el inferior se emplean bóvedas de aristas y en la superior, el sistema constructivo es una doble fila de soportes cilíndricos todos abovedados con bóveda de crucería.



Figuras 107: Vista exterior

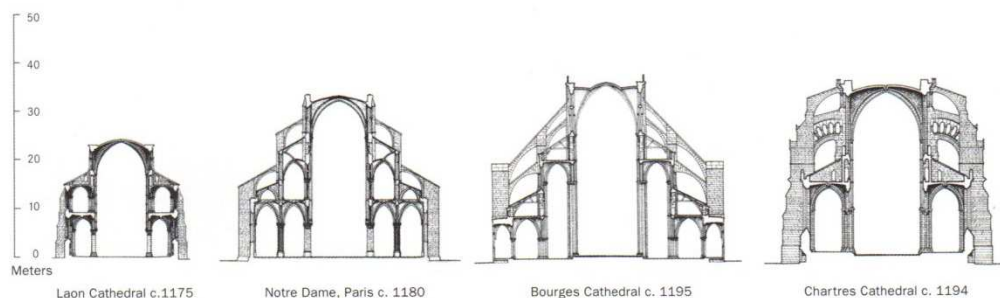


Figuras 108: Vista interior

Después de esta catedral, se abriría un nuevo campo en el sistema constructivo que duraría tres siglos.

Después de que se construyera la Catedral de Saint-Denis, se abrieron dos periodos arquitectónicos en Francia. El primero llamado gótico preclásico, periodo que duró todo lo que quedaba del siglo XII en el que siguieron construyéndose bastantes catedrales con este sistema: “el contrarresto de las bóvedas se hacía mediante contrafuertes, las bóvedas eran sexpartitas, es decir, que cada tramo se dividía en porciones mediante seis nervaduras que concurrían en la clave”¹⁵

La parte interior se dividía en cuatro franjas compuestas por columnas y arcos para separar la parte central de la lateral.



Figuras 109: Evolución de las catedrales en el primer periodo del gótico francés

Las catedrales que se construyeron con estas características son muchas pero de las más famosas encontramos la de Laon, Nôtre-Dame de Paris y la de Chartres.



Figuras 110: Catedral de Laon

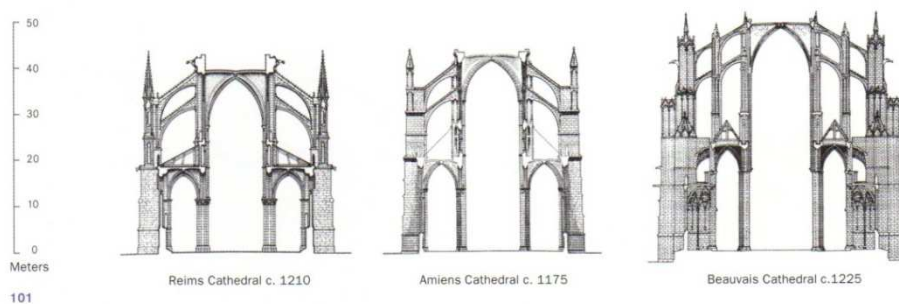


Figuras 111: Nôtre-Dame París



Figuras 112: Catedral de Chartres

La segunda etapa llamada gótico clásico fue un periodo que duró todo el siglo XIII durante el cual las catedrales fueron más perfeccionadas. Se empleaban atrevidos arbotantes, sus bóvedas eran cuatripartitas, es decir, de cuatro nervios. En la parte interior se diferenciaban tres franjas pero en esta etapa ya no se componían de columnas y arcos, sino de haces de nervaduras formando pilares compuestos y arcos ojivales.



Figuras 113: Evolución de las catedrales en el segundo periodo del gótico francés

También construyeron muchas catedrales, pero las más famosas son la de Reims y Amiens.



Figuras 114: Catedral de Reims



Figuras 115: Catedral de Amiens

La catedral de Amiens es una combinación de las Catedrales de Chartres y Bourges pero más vertical que ésta. Está realizada mediante la integración de los pilares en el crucero, la introducción de cuatro linternas en el triforio y los altos arcos.

Cabe decir que las catedrales no fueron los únicos monumentos religiosos. También se fundaron monasterios, aunque éstos eran más modestos en escala, más sencillos y austeros ya que no destacaban por su originalidad ni eran de proporciones atrevidas. Se solían ubicar en el campo, lejos de la zona urbana.

Un ejemplo es la Abadía de Nôtre-Dame en Fontenay, Borgoña, fundada en 1119.

El espacio de la nave está cubierto con bóvedas de cañón de arco apuntado y arcos torales. Gracias a estas bóvedas de cañón este espacio posee unas cualidades acústicas extraordinarias.



Figuras 116: Vista exterior



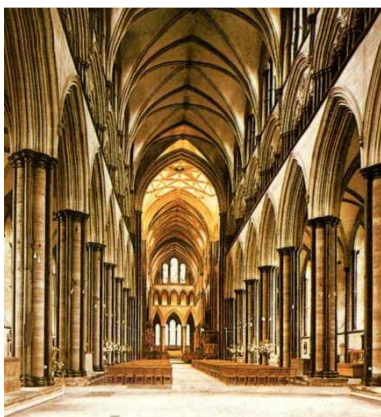
Figuras 117: Vista interior

Esta forma de construir se difundió con gran rapidez por toda Europa. Se hicieron numerosas construcciones, entre ellas caben destacar aparte de las catedrales, puentes, fortalezas y edificios civiles. Y las técnicas constructivas que se mejoraron en el siglo XII y XIII no variaron durante los siglos XIV y XV.

En las Islas Británicas sin embargo, los normandos durante este periodo románico ya habían utilizado las nervaduras en la construcción de las catedrales, lo que supuso que allí las catedrales fueran muy interesantes como pasa con la Catedral de Durham.

En Inglaterra, se puede dividir el gótico en tres fases. El primer periodo es el llamado Early English. En este periodo, la arquitectura gótica se nutrió de elementos normandos, como por ejemplo los arcos muy apuntados en lanceta, la multiplicación de arquivoltas, el pilar con columnitas adosadas, la continuidad y horizontalidad de los triforios y la torre internada sobre el crucero. Se trata de unas construcciones de aspecto diferente a la arquitectura francesa. Algunas de las catedrales más famosas son la Catedral de Sallisbury (1120 – 1266)

Con una elevación de tres pisos, dispone de arquerías de separación de las naves en arcos lanceta.

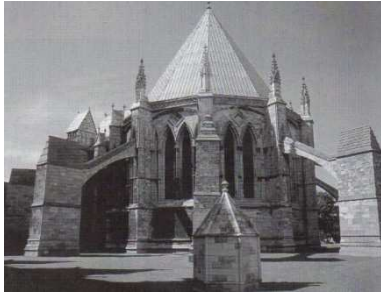


Figuras 118: Catedral de Sallisbury

Otro ejemplo es la Catedral de Lincoln (1230 – 1250)

Sus contrafuertes están separados del muro exterior pero forman parte del proyecto por lo que en realidad están integrados. Estos contrafuertes se representan mediante una torre que aporta el contrapeso necesario y

unos arcos también llamados arbotantes que transfieren el esfuerzo lateral a la torre. Gracias a este tipo de contrafuerte, el interior de la catedral se pudo ordenar y convertir en una unidad espacial.



Figuras 119: Detalle de los contrafuertes



Figuras 120: Vista interior

El segundo periodo es el llamado Decorated Style: en este periodo se trató de hacer una arquitectura más decorativa y con molduras más curvas.

Un ejemplo es la Catedral de York.



Figuras 121: Catedral de York

Y el tercer y último periodo es el llamado Perpendicular Style. En este periodo predominan las líneas rectas: líneas verticales y horizontales se entrecruzan formando una cuadrícula. Nervios que arrancan desde el suelo hasta la bóveda. Bóvedas complicadas llamadas en abanico y arcos menos apuntados, más rebajados.

Algunas de las catedrales más famosas son la de Gloucester, King's College de Cambridge y la Abadía de Westminster.



Figuras 122: Catedral Cloucester



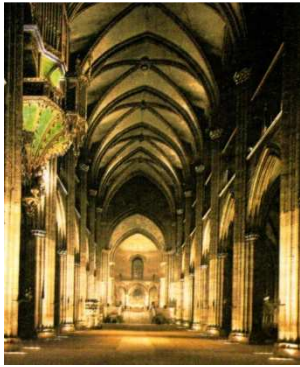
Figuras 123: Cambrigde



Figuras 124: Abadía de Westminster

No se puede decir que por utilizar la decoración este estilo sea una degeneración del estilo gótico, sino que lo que se debe destacar es que hay interés por integrar la decoración en la estructura.

En Alemania, un claro ejemplo de que el estilo francés penetró en Alemania fue con la Catedral de Estrasburgo, en Alsacia (1176 – 1439) y la Catedral de Ulm iniciada en 1377



Figuras 125: Catedral de Estrasburgo

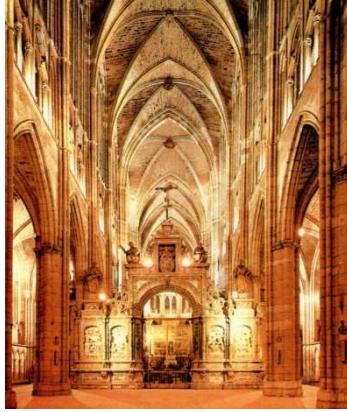


Figuras 126: Catedral de Ulm

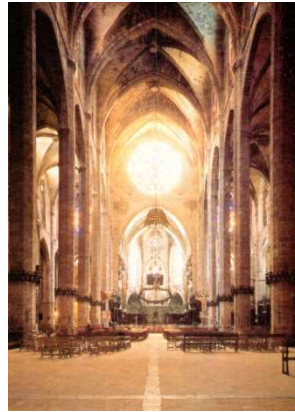
En España destacan la Catedral de Burgos, Toledo, León, Palma de Mallorca y Santa María del Mar.



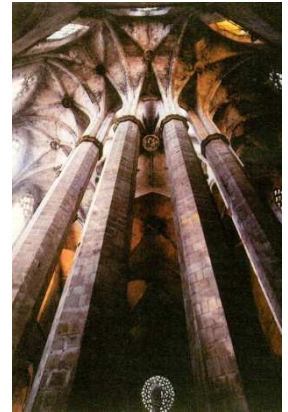
Figuras 127: C. Burgos



Figuras 128: C. Toledo



Figuras 129: C. Palma



Figuras 130: C. del Mar

La Catedral de Toledo (1226) tiene una cubierta con bóvedas de arista. Se dice que hubo influjos islámicos lo que se puede ver en algunos elementos. Uno de ellos son los arcos lobulados de triforio ciego.

En la Catedral de Santa María del Mar (1328 – 1384) se utilizaron contrafuertes en vez de arbotantes. Constaba de tres naves, las laterales alcanzaban casi la misma altura que la central. De pilares octogonales y muy esbeltos.

Se denominó arquitectura tardogótica a aquella que tuvo lugar en los siglos XV y XVI. A este periodo se le conoce como periodo de decadencia. Se le considera así porque ya se atisbaba un cansancio por construir lo mismo una y otra vez, y con el mismo estilo. Hacía falta un cambio de ciclo por lo que se empezaron a lanzar nuevas investigaciones y búsquedas que llevaron a resultados sorprendentes. Uno de esos cambios de estilo puede reflejarse en la arquitectura española de Los Reyes Católicos y otro es el renacimiento italiano. Aunque el que destacó más sin duda alguna es el arte derivado del renacimiento.

Pero antes de centrarnos en el caso italiano, cabe hablar del periodo gótico italiano pues tuvo doble influencia. Por un lado el sistema constructivo del gótico clásico y por otro, la decoración y color de carácter bizantino.

Un ejemplo de ello es la Iglesia de la Santa Croce, en Florencia. Comenzada en 1295.

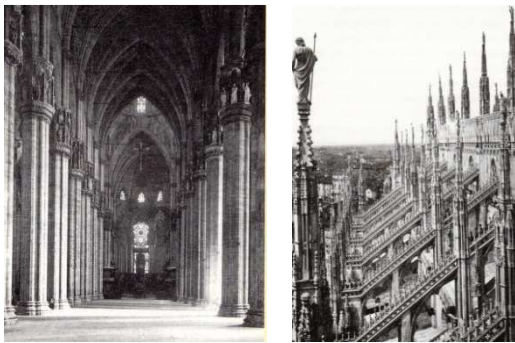
Semejante al espacio de una basílica. Las naves laterales están separadas de la central por pilares octogonales y arcos apuntados. En este caso, la cubierta es plana y de madera.



Figuras 131: Iglesia de la Santa Croce

Otro ejemplo y este el más importante es la Catedral de Milán (1386)

Extraña a la tradición de la arquitectura del gótico clásico francés, está más vinculada a la del gótico del centro de Europa como la de Estrasburgo y Colonia.



Figuras 132 y 133: Catedral de Milán

4. PERIODO RENACENTISTA

A principios del siglo XV, la península italiana estaba dividida en varios estados independientes y fue en ella donde surgieron las innovaciones más fructíferas de toda la historia, como por ejemplo el descubrimiento de la perspectiva, el conjunto de reglas matemáticas y el desarrollo de la ciencia.

El Renacimiento no fue un proceso de recuperación de la arquitectura antigua, sino una época donde se empezaron a poner soluciones técnicas como la de construir cúpulas sin la necesidad de proceso de cimbrado.

Para ello fue necesario aplicar las técnicas del método científico. El renacimiento fue una época dentro de la arquitectura en la que se investigó muestras y se buscó soluciones constantemente. Esta manera de pensar se expandió en toda Europa con gran rapidez. Aunque no fue hasta mediados del siglo XVI donde se empezaron a investigar nuevas técnicas de calidad repartidos en diferentes puntos del continente.

Algunos arquitectos y científicos empezaron a desarrollar, investigar y estudiar los nuevos criterios acerca de la construcción. Entre estos personajes cabe destacar a Leonardo da Vinci, a León Bautista Alberti, a Rodrigo Gil de Hontañón y a otros más, aunque hasta la segunda mitad del siglo XVII no surgirían los primeros conceptos sobre el cálculo científico de las estructuras abovedadas de fábrica.

A mediados del siglo XVIII se puede decir que el método científico había llegado a un gran desarrollo después de tanta búsqueda y estudio. Tanto fue así que, a efectos prácticos, ya se podían encontrar diversos métodos lo bastante estudiados como para ser usados. Se trataba de métodos que ya se habían publicado en tratados, en los cuales también aparecían una serie de tablas para que su uso fuera más sencillo.

Galileo Galilei fue uno de los personajes más importantes de esta época. Fue uno de los primeros científicos que pudo observar que el arco, concretamente en cuanto a su diseño, podría entenderse mediante las leyes de la estática. Pero no fue posible saber exactamente ninguna teoría acerca de la función que podía tener un arco hasta que éste fue estudiado por Leonardo da Vinci.

Posteriormente Robert Hooke dedujo la fórmula sobre los problemas físicos de resistencia de materiales en términos científicos. Fue también quien empezó a explicar en uno de sus libros que el arco se asemejaba a una catenaria invertida.

Este descubrimiento ocurrió tras haber colaborado con Christopher Wren en la construcción de la Cúpula de San Pablo, edificio que se explicará posteriormente.

En consecuencia, fueron apareciendo un sinfín de científicos y arquitectos que profundizarían más allá en el sistema constructivo del arco, para que a finales del siglo XVIII con la llegada de la Revolución Industrial y de los nuevos materiales se construyeron los primeros puentes de hierro con el arco como principal sistema constructivo. Un ejemplo sería el Iron Bridge.



Figura 134: Iron Brigde

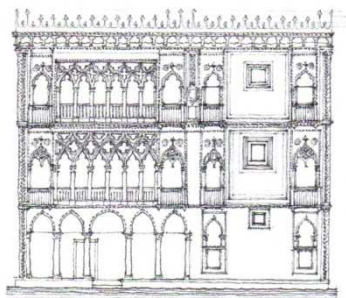
Con el renacimiento italiano es inevitable decir que de nuevo Italia fue la gran potencia económica. Tenían grandes negocios y las rutas comerciales llegaban hasta el Mediterráneo. Venecia llegó acuñar su propia moneda y en Florencia, los miembros de la familia Medici se convertirían en unos banqueros muy importantes. La mayoría de la construcción se desarrollaba en estas dos ciudades.

Londres y París se deterioraron a grandes pasos.

Después de la gran peste negra que sufrió Italia, sólo las ciudades de Venecia, Florencia, Milán y Nápoles pudieron salir del caos y fueron los que dominaron toda la zona. Venecia era un punto de la ruta de comercio ya que toda Europa occidental tenía que pasar por puerto de Venecia. Todos los cargamentos iban allí y después las mercancías eran repartidas por Europa con ayuda de las familias banqueras. Así pues, Florencia y Venecia fueron las grandes capitales donde más se construyó.

Existen un sinnúmero de obras de arquitectura en los canales venecianos. Uno de los más emblemáticos fue el Ca'd'Oro (Casa de oro)

La fachada constaba de tres hileras arcadas y en la planta baja se hallaba la típica hilera de arcos apuntados. En cambio, en las hileras segunda y tercera se puede observar un calado cuadrifoliado.



Figuras 135: Fachada

El gótico en Italia fue particular ya que no se expresó de la misma manera que en el resto de Europa. Mientras que en Europa, el gótico fue seguido por el tardogótico, en Italia éste no prosperó porque las innovaciones aplicadas remitían más a la arquitectura romana que al desarrollo del gótico. De ahí que naciera el renacimiento.

La arquitectura renacentista se inspiró en formas clásicas del imperio romano. Esto no significaba que se volviera atrás, ni que se quería imitar la arquitectura de la antigua Roma, sino que los nuevos arquitectos

estudiaban los edificios que en esa época aún estaban en uso por su belleza y construcción compleja. El renacimiento en realidad fue más un cambio en la práctica constructiva. Este cambio tuvo lugar gracias a que se encontraron manuscritos de Vitruvio en las bibliotecas que se estudiaba. Se empezó a trabajar los edificios desde la ciencia abandonando poco a poco el método tradicional. Las cuestiones de la arquitectura clásica romana y sus proporciones no fueron fáciles de resolver lo que llevó a grandes interpretaciones. El renacimiento se inspiró en el sistema de proporciones romanas que fue utilizada en todo momento.

También se diferenció entre arquitectura y artesanía. Por primera vez, la arquitectura pasó a formar parte de un campo de estudio diferenciándose de los gremios de artesanos y de los oficios.

Los arquitectos más reconocidos de esta primera etapa del renacimiento fueron Brunelleschi, Alberti y Giuliano de Sangallo.

Brunelleschi (1377 – 1446) inició su andadura con la Cúpula de Santa María de la Flor, Catedral de Florencia cuando ésta ya estaba casi terminada y solo quedaba un gran hueco en el que colocar la cúpula. Tenía la misma luz que en el Panteón de Roma, pero su altura era de sesenta metros. En ese espacio ya se había construido un tambor con grandes ventanales, lo que implicaba que los esfuerzos laterales no llegaban al terreno por vía de las bóvedas laterales como se había hecho en la basílica de Santa Sofía en Constantinopla. Brunelleschi se hizo con la posibilidad de trabajar en ella porque ganó un concurso de ideas gracias a su propuesta de un sistema constructivo innovador e ingenioso que además resolvía el problema del cimbrado de la cúpula durante las obras (no había madera lo suficientemente larga y resistente como para construirla sobre el octógono del tambor)

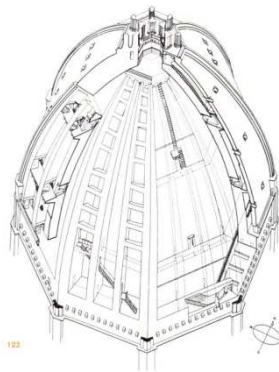
“Esto creó una estructura curva nervada en celosía, con un potente zuncho metálico en la base de la cúpula que absorbiera cualquier empuje horizontal residual, y construyó la celosía con ladrillos en espina de pez para asegurar una mayor cohesión.”¹⁶

Así pues, en la primera fase de construcción de la cúpula, no se utilizó ninguna estructura de apoyo ya que a medida que se ascendió, cada capa era más resistente que la hilera inferior. Sólo fue necesario el cimbrado en la última fase pero éste estaba suspendido de la propia cúpula.

La cúpula no se cerró del todo sino que se dejó un óculo de siete metros de diámetro y para evidenciar que los nervios trabajan a compresión se construyó sobre él una linterna.



Figuras 136: Vista exterior



Figuras 137 y 138: Detalles construcción de la cúpula

Algo muy típico en Italia eran las construcciones de las logias: galerías techadas y abiertas a uno o a ambos lados de la calle.

Un ejemplo es la logia destinada a los servicios públicos, como por ejemplo la del Hospital de los Inocentes, en Florencia (1419 – 1445). También construido por Brunelleschi.

Aunque estaba basado un prototipo medieval, presentaba un estilo nuevo aunque con una gran inspiración de la arquitectura clásica. La fachada constaba de una larga hilera continua de arcos y columnas. Los arcos son de medio punto, como en la época romana.



Figuras 139 y 140: Fachada de las logias

Otra obra fundamental de Brunelleschi es la Iglesia de San Lorenzo, en Florencia (1419 – 1428)

Se trataba de un sistema cupulado y es un claro ejemplo de cómo este arquitecto se inspiró en la arquitectura clásica.

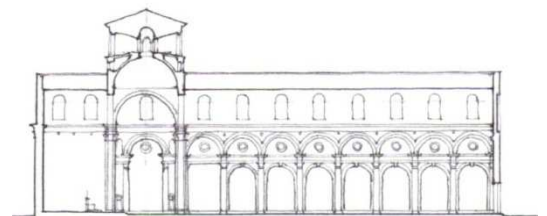
Desde el exterior de la iglesia se puede observar que en el centro de la intersección de la misma existe una cubierta por cúpula sobre pechinas.



Figuras 141: Vista exterior



Figuras 142: Vista interior



Figuras 143: Sección longitudinal

Otro arquitecto famoso en el renacimiento que estudió más a fondo la arquitectura clásica y que se inspiró en Vitruvio es León Bautista Alberti.

En un principio, para Alberti, el prototipo de iglesia era un conjunto de varias naves separadas por arcos apoyados sobre columnas. Pero esta idea la sustituyó al diseñar una iglesia donde se unen todas las naves en una sola.

Un ejemplo de ello es la Iglesia de San't Andrea de Mantua que fue una gran novedad.

Constaba de una única nave con bóveda de cañón y su fachada era típicamente renacentista. Se basaba en un arco de triunfo que también se lleva a las fachadas interiores. El problema principal fue como coordinar la

fachada con la gran bóveda de cañón. Como Alberti no quería tocar la fachada, decidió un hueco en arco que protegiese la ventana del nivel superior.

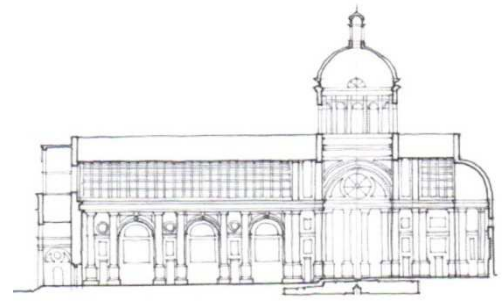
En la parte del crucero construyó una cúpula y no dispuso naves laterales. Todas las capillas se cubrían con cúpulas.



Figuras 144: Fachada



Figuras 145: Detalle bóveda



Figuras 146: Sección longitudinal

Alberti, aparte de ser un magnífico arquitecto, también fue un investigador de la arquitectura clásica cuyo fin era el de entender mejor los criterios en los cuales se basaba la construcción de la época.

Con todo lo aprendido, escribió un tratado que fue publicado más adelante, basándose en las reglas de estructuras y observaciones constructivas desarrolladas hasta entonces. Dichas reglas las agrupó en diferentes temas, siendo redactadas de forma sencilla y facilitando por tanto su entendimiento.

Uno de los temas desarrollados en su tratado es el arco. Alberti distinguía tres tipos de arco: el de medio punto, el rebajado y el apuntado. El primero al que hace referencia es el de medio punto, considerándolo el más estable y resistente.

El segundo tipo, el arco rebajado, tenía como característica principal el empuje que produce. Lo que Alberti proponía para que dicho arco eliminara el empuje era la colocación de tirantes de hierro. Aunque lo más práctico a la hora de fabricar este tipo de arcos era situarlos dentro de los muros para que pudieran resistir su empuje.

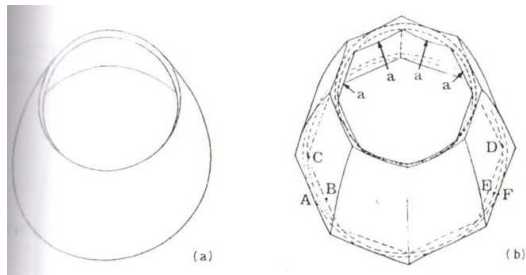
El tercer y último tipo era el llamado arco apuntado, cuya característica más potente era el hecho de poder resistir grandes cargas verticales, y en particular si esas fuerzas recaían en la clave del arco.

Otro tema que Alberti explicaba en su tratado fue el referido a las bóvedas, siendo su objetivo diferenciar el esqueleto resistente de la obra del resto del edificio, que era un simple relleno. Comparaba el edificio con un animal, comparación a la que se recurre muy a menudo en la época renacentista. Así pues para Alberti el esqueleto y nervios del edificio son los huesos del animal y la plementería es el relleno para cubrir el edificio.

El tercer y último tema al que hace referencia el tratado de Alberti son las cúpulas. “Alberti explica el funcionamiento estructural de las cúpulas esféricas diciendo que se componen de “arcos” y “cornijas” (cornisas), y efectivamente este hecho es el que determina su comportamiento estructural, pues la cúpula se vuelve autoportante por efecto de las compresiones resistidas por los anillos, y puede construirse sin cimbra, o llevar un óculo en su coronación”¹⁷

Durante sus investigaciones también llegó a la conclusión de que la cúpula poligonal era autoportante.

17. Huerta, Santiago; Arcos, bóvedas y cúpulas: geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica; página 186



Figuras 147: Cúpula semiesférica y cúpula poligonal

Así pues, tras los conocimientos que Alberti aportó sobre este sistema constructivo, se empezaron a perfeccionar y a estudiar más profundamente dichos criterios, hasta llegar a conceptos que serían a ser utilizados en el método científico.

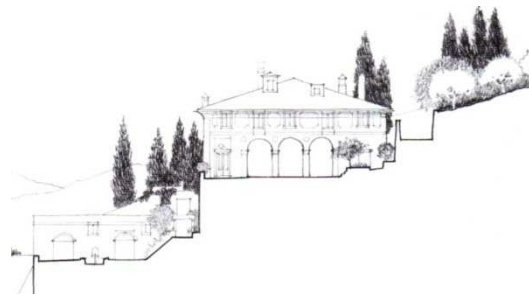
Volviendo a los Medici, a una familia banquera con mucho nivel adquisitivo, éstos quisieron tener una vivienda un poco alejada de la ciudad y se convirtieron en la primera familia que se construyó una villa a las afueras.

En este ejemplo se puede observar cómo se utilizaba el elemento estructural del arco y bóveda. Se la conocía como la villa Medici y fue construida por Giuliano de Sangallo en 1485.

Sobre una plataforma abovedada, disponía de una sala principal estaba cubierta por una bóveda de cañón.



Figuras 148: Fachada



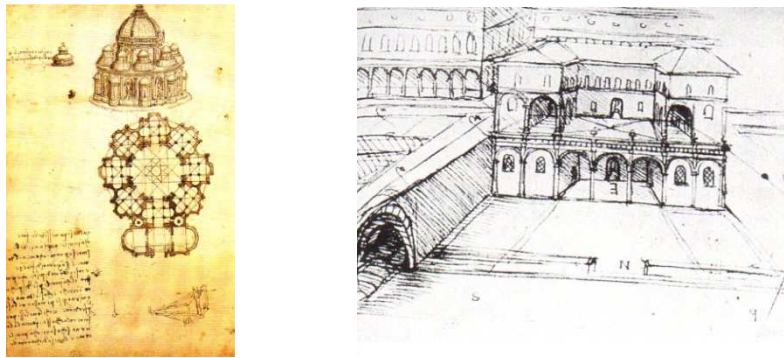
Figuras 149: Sección

El siglo XVI dejó de ser una época idealista y filosófica por un lado y por otro dejó de ser una época centrada en la construcción por y para los burgueses.

Además, tuvo éxito la reforma protestante que promovió Lutero, teólogo y sacerdote alemán. Sus nuevas ideas se expandieron rápidamente, con lo cual la iglesia católica empezó a estar amenazada. El Papa Pablo III hizo un intento de revivir el esplendor de la antigua Roma y mandó hacer una serie de construcciones para protegerse.

En esta segunda etapa del renacimiento, los arquitectos con más renombre fueron: Bramante, Miguel Ángel, Rafael y Leonardo da Vinci de nuevo.

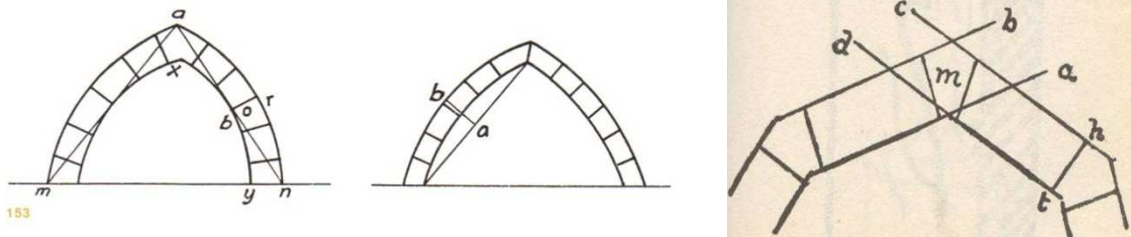
Entre el periodo de Rafael y Miguel Ángel hay que destacar a Leonardo da Vinci (1452 – 1519). Fue un hombre de ciencia. Inventó máquinas que solo en el siglo XX pudieron realizarse. Como arquitecto no construyó nada pero sí que proyectó edificios cupulares.



Figuras 150 y 151: Bocetos de edificios

Además escribió algunos manuscritos sobre el estudio de los arcos.

Él consideraba que el arco surgía de una fuerza realizada por dos lados débiles, segmentos de círculo que no se derrumbaban porque cada uno impedía la caída del otro, convirtiéndose en una sola fuerza. Por esta razón el arco se mantiene en constante equilibrio, ya que ambos lados se empujan constantemente.



Figuras 152 y 153: Diagramas de equilibrio

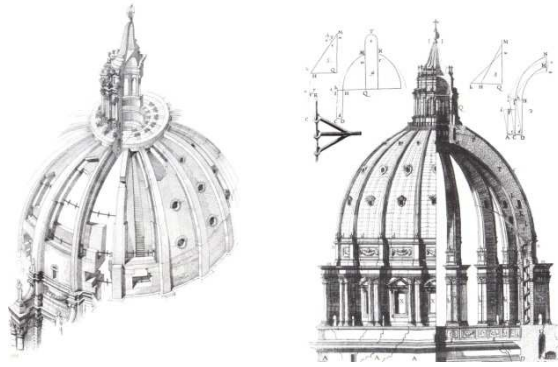
En Roma, en el siglo XVI se estaba construyendo la basílica de San Pedro. El proyecto lo empezó Donato Bramante. Después de que se construyeran los pilares centrales para posteriormente colocar la cúpula, se dedujo que su proyecto era demasiado grande. Entonces, sus sucesores decidieron reducir su tamaño aunque no hicieron gran cosa hasta que en 1546 el Papa Pablo III puso al frente de esta gran construcción a Miguel Ángel (1475 – 1564).

La basílica tardó muchísimos años en construirse y por eso pasaron bastantes generaciones de arquitectos por su ejecución, aunque la base del proyecto seguía siendo el diseño de Miguel Ángel. En un principio, la cúpula iba a ser más baja, como la del Panteón de Roma, pero en el transcurso de la obra, el nuevo jefe de la obra propuso realzarla para tener un aspecto semejante a la cúpula de Brunelleschi, en Florencia.

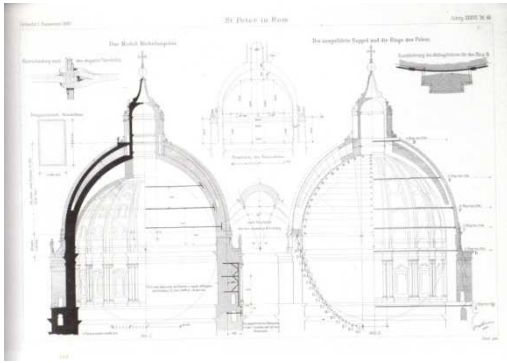
Más tarde, a inicios del siglo XVIII se cambió la idea de Miguel Ángel y el nuevo arquitecto Maderno amplió la basílica.



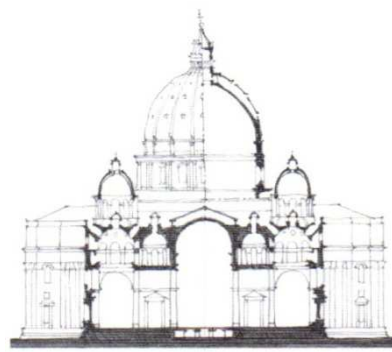
Figuras 154: Vista aérea



Figuras 155 y 156: Detalle cúpula



Figuras 157: Detalle cúpula



Figuras 158: Sección

La variedad de arquitectos maestros que hubo en Italia hizo que el renacimiento se difundiera por Europa. Se difundió sólo la forma, pero el ideal de belleza se quedó en Florencia.

Con la desaparición de los últimos maestros italianos, la arquitectura entraba en una etapa en la que los propios arquitectos abandonaban el afán de ser genios y se centraron en recoger el conocimiento del oficio que habían dejado como legado los anteriores arquitectos. Eso dio lugar al manierismo que significa “*alla maniera*” de los maestros. Los arquitectos adoptaron una actitud más humilde y lo que hicieron fue estudiar e investigar las variantes formales de la arquitectura y sus procesos.

En el siglo XVI Venecia empezaba a debilitarse porque existían otras rutas comerciales más económicas, aunque pudo mantener su poder económico gracias a sus tierras fértiles.

Uno de los arquitectos famosos de esta época, la de manierismo fue Andrea Palladio.

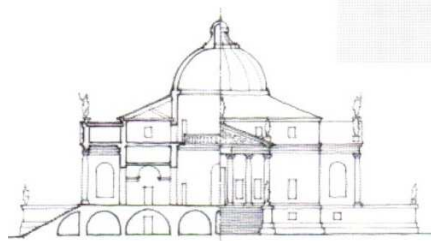
Proyectó numerosos proyectos como villas, palacios e iglesias. Viajó a Roma donde pudo estudiar mejor los edificios antiguos y que más tarde publicaría en sus libros. Fue famoso por hacer grandes villas.

Su proyecto más famoso fue la Villa Rotonda (1566), situada cerca de Vicenza, Italia.

Esta obra es interesante ya que proyectó una rotonda central en cuyo centro había un óculo cubierto que después fue rematado por una cúpula.



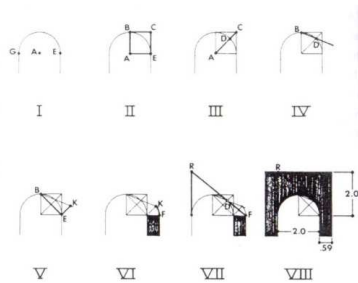
Figuras 159: Vista exterior



Figuras 160: Sección

Cuando el manierismo se expandió fuera de Roma y llegó al resto de Italia y ahí, a Francia, Alemania, empezó a sufrir cambios. En Inglaterra, Países Bajos y España no hubo tanta influencia.

En España, el arquitecto Rodrigo Gil Hontañón empezó a indagar sobre los elementos que componían la bóveda y su proceso constructivo. Estudió detenidamente diferentes reglas sobre los estribos para los arcos y bóvedas. Sus estudios fueron bastante complejos, porque buscaba una regla en forma de “receta” para que fuese más fácil de interpretar. Añadió además una serie de dibujos geométricos para explicar el procedimiento.



Figuras 161: Regla geométrica para calcular estribo de arco medio punto



Figura 162: Regla geométrica para el arco de medio punto

También, fue capaz de unir teorías góticas con las proporciones del cuerpo humano estudiado en el Renacimiento.

5. PERIODO BARROCO

La arquitectura barroca fue una de las más brillantes y también de las maldecidas. El barroco desvelaba un mundo misterioso que a la gente le daba miedo y fue comprendida más tarde.

El sistema estructural pasó a segundo plano siendo lo primordial la decoración de la arquitectura, es decir, que existía mucha más ornamentación. Aunque no es solo la ornamentación lo que hace este nuevo estilo. También existen nuevas formas. La arquitectura barroca buscó otras formas a la hora de construir los edificios, abandonando la forma circular, esférica y rectangular y dando paso a una geometría diferente. Estas formas fueron las elipses, trapecios e hiperboloides. Se dejó atrás la simetría aunque siguieron inspirándose en el mundo Romano.

Los grandes arquitectos del siglo XVII fueron Gian Lorenzo Bernini (1598 – 1680) y Francesco Borromini (1599 – 1667).

Las iglesias que proyectaba Bernini provenían de la imitación del Panteón de Roma. Un ejemplo es la Iglesia de Sant'Andrea al Quirinale.

De planta elíptica y cubierta por una cúpula, en la que existen nervios. Es una arquitectura simple, aunque con una diferencia respecto + que es la ornamentación y se da en esta época.

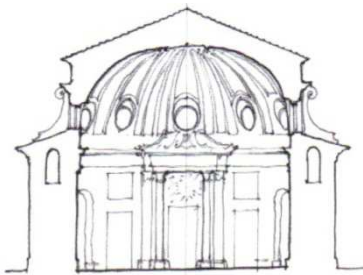


Figura 163: Sección

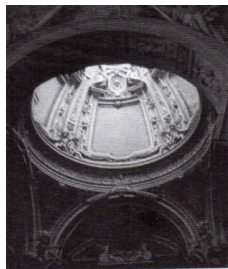


Figura 164: Detalle cúpula

Borromini fue un arquitecto que jugó mucho con las curvas y contracurvas. Proyectó varias iglesias. Una de las más famosas es la Iglesia de Sant'Ivo alla Sapienza (1643 – 1648)

La iglesia cuenta con una cúpula renacentista. Se componía de un tambor que servía de base de la cúpula. El tambor era descomunal comparado con la cúpula que apenas se veía. El templete era grande. La cúpula estaba coronada por una linterna decorada que a la vez estaba rematada por una espiral.



Figura 165: Vista exterior

En esta época, los franceses demostraron su poder y riqueza construyendo grandes proyectos arquitectónicos. La mayoría de ellos fueron mansiones y palacios, aunque también se construyeron edificios públicos como los hospitales.

Uno de los primeros hospitales es el Hôtel des Invalides (1671 – 1676) cuya basílica es lo más destacable.

Está coronada por una cúpula de estilo barroco francés, también llamado rococó. Alcanza la mayor altura gracias a la introducción de un ático entre el cimborrio y la cúpula.

Existen dos cúpulas, la cúpula inferior está cortada por un plano horizontal, donde aparece un óculo y con ello se puede observar la segunda cúpula. La cúpula superior se apoya sobre un armazón ligero de madera. Esta división de la cúpula en cáscaras se aleja de la de San Pedro.

En este caso, está dividida para crear dos efectos, el primero es el de crear una ilusión en el interior y el segundo sirve para realzar la visibilidad en el exterior.



Figuras 166: Vista exterior

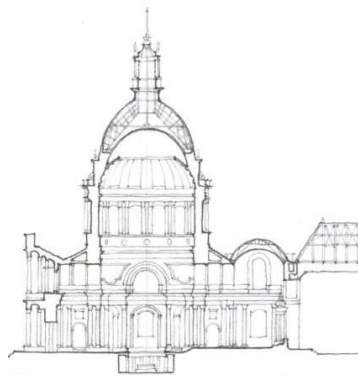
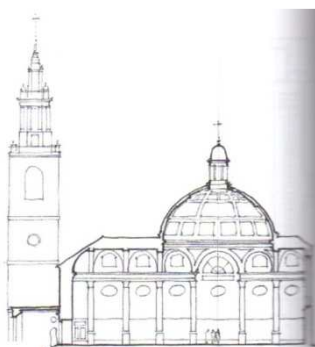


Figura 167: Sección

En Inglaterra, mientras tanto, a mediados del siglo XVI, Enrique VIII había destruido los monasterios e iglesias católicas y creado la iglesia anglicana. A mediados del XVI hubo varios brotes de peste. Se quemaron millares de casas y decenas de iglesias. Más tarde, después de todos los incendios tuvieron que empezar a reconstruir la ciudad.

Una de las iglesias que reconstruyeron fue la Iglesia del Saint Stephen, Walbrook (1672 – 1680)

La cúpula está apoyada sobre ocho arcos que a su vez se apoyan en columnas.



Figuras 168: Sección

Este tipo de iglesia es un antecedente de la Catedral de Saint Paul, una de las más famosas de Londres, Inglaterra.

Tras la destrucción de la catedral por el incendio y después de pensar en un sinfín de ideas y construir muchas maquetas, la versión definitiva fue dada en el último cuarto del siglo XVII (1675 – 1709)

Tiene una gran cúpula una de las más grandes del mundo en aquella época.

Para disimular las naves laterales, se creó un segundo piso ciego donde se ocultaban los contrafuertes de las bóvedas.

La cúpula es semiesférica con una estructura de madera cubierta de plomo. La cúpula se apoya en una estructura en forma de cantería. Para que diera más impresión de altura, las dos cúpulas se encajaron.

Las columnas que sostienen las dos cúpulas están un poco inclinadas hacia el centro.

Se puede decir que esta cúpula estaba inspirada en la cúpula de la basílica de los inválidos ya que la cúpula interior tiene un óculo para ver la cúpula exterior que está pintada.

El arco de cantería, es decir, la que es formada por la inversión de una cadena suspendida, es la ideal de una bóveda u arco, ya que son autoportantes y no necesitan lo contrafuertes.



Figuras 169: Vista aérea

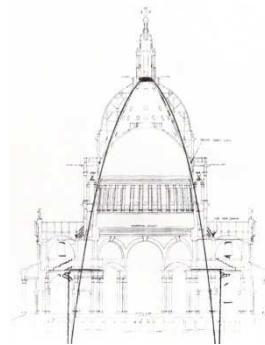


Figura: 170: S. forma catenaria



Figuras 171: Axonometría

6. PERIODO NEOCLÁSICO

El neoclasicismo nació por la necesidad de simplificar la arquitectura. El estilo barroco y rococó en algunos países estaba demasiado visto y el exceso de decoración tanto pictórica como estructural promovió una necesidad de sencillez.

Por consiguiente, a finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX Europa sufrió el movimiento filosófico, también conocido como la Ilustración. En esta época se crearon nuevos edificios para el gobierno y la burocracia.

Gracias a la liberación de Grecia por los otomanos en 1829, se empezó a investigar la arquitectura clásica gracias a las excavaciones arqueológicas que se estaban haciendo en lugares como Pompeya y Herculano y por lo tanto se impulsó el movimiento neoclásico. Este nuevo estilo ganó importancia a medida que avanza el siglo XIX.

Los arquitectos tenían tanta ansia en imitar el estilo clásico que en vez de hacerlo, lo que acababan haciendo fue una arquitectura arqueológica, ya que ellos no fueron conscientes de estas ruinas de mármol blanco, en antaño tenían unos colores vivos porque los griegos policromaban las columnas y frontones.

La arquitectura neoclásica fue una arquitectura que estuvo envuelta en el siglo de las Luces y la academia. En esta época la arquitectura se plasmaba en libros y se convirtió en la arquitectura oficial de nuevos países que empezaban a tener un gran poder. Uno de ellos fue Estados Unidos después de independizarse de Inglaterra.

Uno de los primeros edificios del neoclásico, pero que aún tenía toques barrocos es la Iglesia de Sainte Geneviève, París 1757.

La cúpula estaba inspirada por la catedral de Saint Paul de Londres y el frontón por el Panteón de Roma. La cúpula, aunque parezca que sea doble, se trata de una cúpula triple. La cúpula exterior está hecha de piedra con láminas de plomo. En el interior, se puede observar que la cúpula es de casetones. Además está cortada horizontalmente por lo que se puede ver que se abre un óculo. Entre la cúpula exterior y la cúpula interior, se construyó una tercera cúpula. Su forma es semiovalada. En ella se apoya la linterna de piedra que pesa cinco toneladas.

El principal objetivo era que la estructura fuera ligera como en las catedrales góticas. Sus cinco bóvedas están apoyadas por columnas.



Figura 172: V. exterior

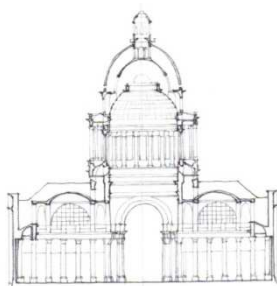


Figura 173: Sección

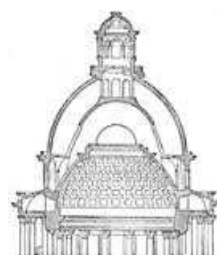


Figura 174: D. cúpula



Figura 175: Axonometría

A finales del siglo XVIII, los arquitectos Ledoux y Boulée fueron considerados arquitectos revolucionarios, más que nada por sus formas e ideas arquitectónicas. Dos proyectos distintos y que nunca se había visto hasta entonces fueron el Cenotafio de Isaac Newton, de Boulée: el proyecto era una gran esfera, y ella está apoyada sobre dos cilindros; y el proyecto de la casa para el guardabosque, de Ledoux.

Se trataba de una arquitectura utópica: proyectos radicales, mucho más irracionales que lo que ellos después construía.

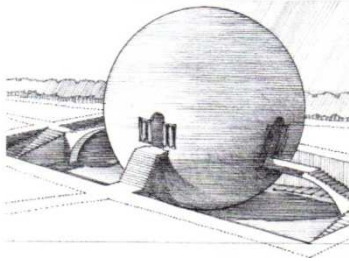


Figura 176: Casa del guardabosque

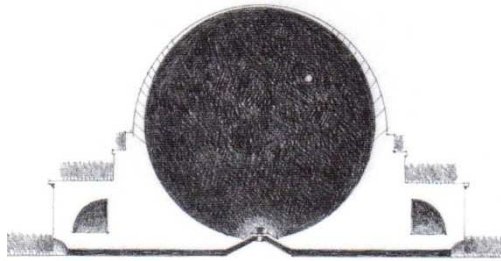


Figura 177: Cenotafio de Isaac Newton

7. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Como se ha nombrado anteriormente, tras la Revolución Industrial, que concluyó entre los años 1820 y 1840, la arquitectura fue afectada por la aparición de nuevos materiales para la construcción. Esto condujo a un gran avance en las técnicas.

“El hombre empezaba a entender que el mundo se rige por unas leyes que pueden ser determinadas. El campo de intervención, que comenzó siendo teórico, pasó de manera rápida a las experiencias prácticas”²⁰

Los arquitectos no se enteraron de que había una ciencia que estaba evolucionando que les rodeaban y no le prestaron atención hasta finales del siglo XVIII. En esa época hubo dos hechos importantes: el primero fue el descubrimiento del hierro como nuevo material para las estructuras y el segundo el uso del vidrio para las grandes superficies.

El hierro empezó a ser empleado en el campo arquitectónico a principios del siglo XIX y el material principal de las nuevas construcciones como por ejemplo Le Ponts des Arts y la Cúpula de la halle aux blés.



Figura 178: Ponts des Arts



Figura 179: Cúpula de la halle aux blés

Poncelet fue una de las primeras personas que comprobó que el arco era una estructura hiperestática. Para este tipo de estructuras era necesaria una solución de ecuaciones de compatibilidad y una ley que relacionara las deformaciones con las tensiones.

En el último cuarto del siglo XVIII, Coulomb siguió con la hipótesis de Hire de intentar lograr de forma analítica dar un valor mínimo de grosor a un arco. Si reducimos dicho valor, el arco acabaría colapsándose.

Entre 1830 y 1840 se estaban desarrollando a la vez por diversos ingenieros la teoría de la línea de los empujes. Uno de ellos es Moseley que explica la estabilidad que tiene un arco.

En 1815, el arquitecto Schinkel (1781 – 1841) fue un arquitecto influyente de ideales neogriegas. Una de sus grandes obras es el Altes Museum, en Berlín (1822 – 1830)

Es Inspirado por el Panteón de Roma. En la parte central de la planta hay un espacio circular donde le cubre una cúpula con casetones. En el centro de la cúpula existe un óculo. El óculo está cubierto de vidrio.

20. Bassegoda; Historia de la arquitectura; página249

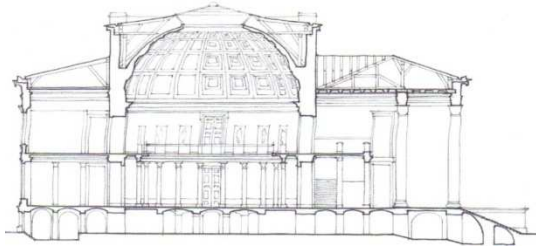


Figura 180: Sección



Figura 181: Vista interior

En Estados Unidos, hubo un arquitecto de renombre que se inspiraba también en la arquitectura neoclásica. El arquitecto fue William Thornton (1759 – 1828). Su edificio más famoso fue el Capitolio de Washington (1793 – 1859).

Se trata de un edificio con una cúpula central. La cúpula está hecha de acero estructural y se apoya sobre un tambor. Como se puede observar, esta cúpula está inspirada en la de San Pedro de Miguel Ángel.



Figuras 182 y 183: Vistas exteriores del Capitolio

Otro arquitecto que estaba a favor del nuevo material y por ello de utilizarlo fue Henri Labrouste (1801 – 1875). Lo demuestra con el gran proyecto el cual es la Biblioteca de Sainte-Geneviève, en París (1840 – 1850)

La estructura es metálica, gracias a lo cual se pueden construir finos arcos y esbeltas columnas. El edificio se cubre con dos bóvedas de medio cañón metálicas. Para indicar el hierro como material en el interior, articuló los pernos extremos de los tirantes con placas redondas, donde se encuentran en los riñones de las arquivoltas. Gracias a este nuevo material, el espacio es más diáfano y se amplía su uso.



Figura 184: Vista exterior



Figura 185: Vista interior

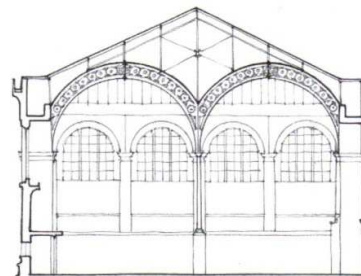
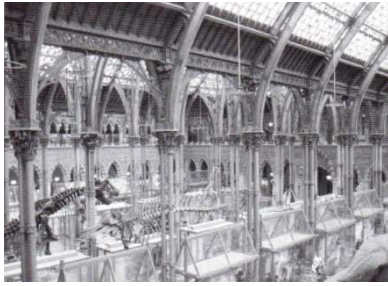


Figura 186: Sección transversal

También hay que citar a los arquitectos Deane y Woodward.

Proyectaron el interior del Museo de historia natural de la universal de Oxford (1853). Se utilizó el hierro visto, con estilo gótico.



Figuras 187 y 188: Vistas interiores del museo

En Inglaterra también se construyó el Pabellón Real de Brighton, de John Nash (1818 – 1822).

Era de estilo hindú. La estructura de las cúpulas era de hierro fundido y el resto del edificio de acero. Fue una de las primeras construcciones con forma de esqueleto metálico.



Figura 189: Vista exterior

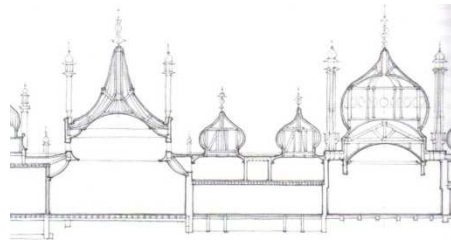


Figura 190: Sección

Con la utilización de estos nuevos materiales, se inauguró por primera vez una exposición de arquitectura ingenieril. Se trataba de diseñar y construir naves con luces grandes y con nuevos materiales como eran el metal y el vidrio. La primera exposición fue en París en 1801, pero cuando se celebró en Londres en 1851, hubo un edificio que destacó: el Crystal Palace.

El cálculo de todo el proyecto fue encargado a Joseph Paxton. Era un especialista en invernaderos de vidrio y en acero. El edificio estaba compuesto por elementos sencillos y ligeros. Eran cables tensores que arriostraba la estructura. Daba la sensación de que estaba tejido ya que los elementos a tracción y a compresión estaban a la vista. Fue una gran innovación porque por primera vez se levantaba un edificio a base de piezas prefabricadas de pequeñas dimensiones, que se fundían o atornillaban in situ.



Figura 191: Vista exterior

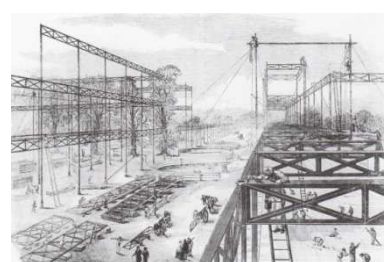


Figura 192: Construcción del Crystal

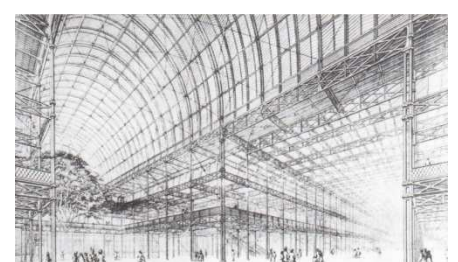


Figura 193: Visto interior

Del acero se decía que era un material idóneo para crear espacios diáfanos con grandes luces, por lo que las nuevas estaciones ferroviarias serían de este material.

Un ejemplo es la estación de St. Pancras, Londres (1863 – 1876)

Luces de 80 m. Esta luz desafiaba a lo que siempre se había querido hacer en la arquitectura y no se podía hacer.

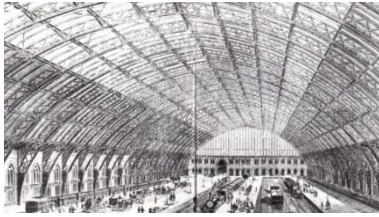


Figura 194: Vista interior

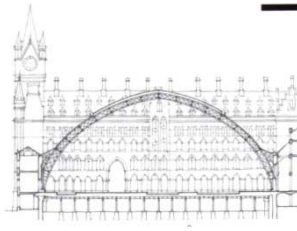


Figura 195: Sección

Estos nuevos edificios tenían grandes luces. También utilizaban el sistema del de la bóveda, arco o cúpula para poder conseguir así un mayor espacio. Un ejemplo de ello es la galería de máquinas de la exposición universal de París en 1889.



Figura 196: Vista exterior

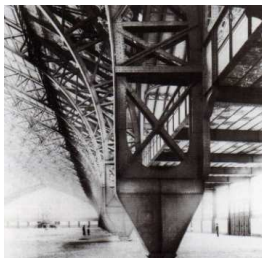


Figura 197: Detalle

Las técnicas constructivas eran muy buenas y los materiales de primera calidad. Este nuevo estilo y material fue criticado por los racionalistas, aunque también habían otros arquitectos y constructores que solo tenían halagos porque se trabajaba de una manera muy minuciosa y detallada, hecho que más adelante se fue perdiendo.

Esto hizo que a finales del siglo XIX los artesanos empezaron a estar amenazados por el auge de la industria.

A finales del siglo XIX hubo tantos cambios que la arquitectura también necesitaba renovarse y más aún con los nuevos materiales y sistemas que surgían.

De los grandes arquitectos del último cuarto del siglo XIX que fueron grandes creadores, destacamos a Antonio Gaudí (1852 – 1926).

Los principios estructurales de Gaudí, que estaban basados en el uso de la geometría de superficies regladas no cabían en la mente de todos ya que muchos no veían más allá del cubo y el rectángulo.

Además, investigó la arquitectura clásica y le asombró la técnica de los romanos: cómo cogieron las experiencias de los etruscos y los orientales para la construcción de las bóvedas, arcos y cúpulas. Entonces, Gaudí prosiguió su investigación a partir de ella y llegó a formas algebraicas como el paraboloides hiperbólico, la helicoides...

Ya en pleno siglo XX, la arquitectura fue nombrada como movimiento moderno. El movimiento moderno está vinculado con la aparición de nuevos materiales, tales como el hormigón, acero y vidrio.

Finalmente se aprecia que todas las investigaciones que se hicieron con estas nuevas teorías fueron para comprobar si los métodos antiguos empíricos podían mostrar que aunque eran imperfectos los resultados fueron correctos.

A comienzos del siglo XX con la aparición del hormigón y el hierro, la forma de construir un arco dejó de ser tratada mediante piezas a ser trabajada de forma continua.

Por lo tanto, los arcos continuos no poseían las propiedades mecánicas y estructurales de los arcos de fábrica, así que su teoría sería mucho más sencilla.

Se creó una nueva tipología estructural derivada del hormigón armado. La tipología laminar de hormigón o también llamada cáscara de hormigón. El elemento es una lámina fina. Con esta nueva tipología muchos arquitectos cambian la forma de trabajar y empiezan a trabajar con líneas curvas. Así pues, el sistema constructivo de arcos, bóvedas, cúpulas y esferas se empieza a masificar.

Un gran maestro y conocedor de esta tipología fue Félix Candela. Estaba relacionado con la invención del paraboloides hiperbólico también conocido *hypar*. Utilizó esta forma geométrica por dos motivos: la primera fue porque se trataba de una superficie reglada y el segundo motivo fue porque el paraboloides ya tiene una fórmula algebraica definida y sencilla.

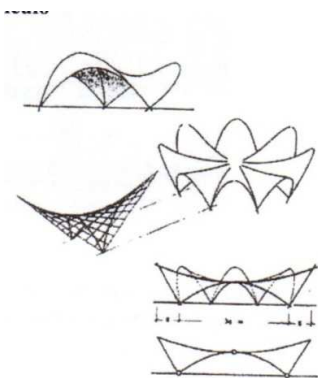


Figura 198: Superficies reglada

Son muchas las obras en las que utilizaba esta fórmula algebraica, pero la más conocida fueron sin duda el Restaurante de los Manantiales, en Xochimilco 1958

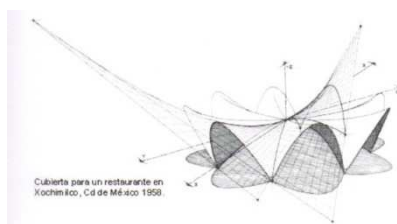


Figura 199: Idea restaurante

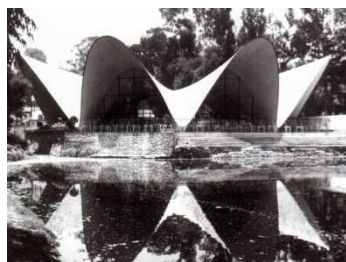


Figura 200: Vista exterior



Figura 201: Vista interior

8. CONCLUSIÓN

Como se ha visto a lo largo de la memoria, se ha hecho un recorrido por diferentes obras representativas de la historia de la Arquitectura en las que el principal sistema estructural empleado es el arco. El arco ha existido desde la Antigüedad, decíamos. Dicha afirmación es cierta, porque el arco se encuentra ya en restos arqueológicos de edificios que datan de Época Clásica.

Se ha visto en esta investigación que los maestros constructores, tanto del periodo antiguo, como los de la época medieval, empleaban una serie de reglas para obtener las proporciones y dimensiones de los edificios; reglas que han permanecido a lo largo del tiempo en poder de estos mismos maestros, para evitar la difusión, más allá de su gremio, de los estudios e investigaciones realizadas. También es cierto que de estas dos etapas (antigua y medieval), se conserva muy poca documentación en tratados o dibujos. Los mismos constructores puede que guardaran como un tesoro preciado sus conocimientos.

Se ha observado que los primeros documentos publicados sobre la materia no se encontraron hasta llegado el periodo renacentista, entrado el siglo XV. Los tratados eran estudios sobre las construcciones que se habían realizado en la Antigüedad. Los arquitectos, ingenieros y científicos investigaron cómo trabajaban tanto el ARCO, como la BÓVEDA y la CÚPULA, si bien los primeros tratados se basaban en estudios gráficos, más bien de tipo teórico que práctico.

A finales del siglo XVII, los estudios gráficos en los tratados realizados por arquitectos, en lo que se refiere al trabajo del arco, comenzaron a estudiarse con mayor profundidad, hasta poder llevarlos al ámbito práctico. No obstante, esto no ocurrió hasta finales del siglo XVIII, tras la Revolución Industrial.

Con la Revolución Industrial, que supuso un “antes” y un “después” en las materias de Ciencia y Arquitectura, empezaron a aparecer nuevos materiales como el hierro y el vidrio, lo que llevó a una mayor demanda constructiva. Asimismo, el cálculo científico comenzó a ser aplicado a los sistemas estructurales de arcos, bóvedas y cúpulas. Al poder calcular y predecir el comportamiento de los elementos estructurales, aparecieron nuevas y diferentes formas arquitectónicas, construcciones que la sociedad no estaba acostumbrada a ver.

Se ha constatado, además, que, con la aparición del cálculo científico, mejoraron las construcciones y sus condiciones técnicas. Sin embargo, el hecho de que el cálculo se basase en una serie de reglas numéricas definidas claras, podía llevar la desventaja acarreada de que “cualquier persona” pudiera ejercitarse como constructor sin la experiencia de los antiguos maestros de obras.

Para concluir, sólo decir que, a día de hoy, con la continua aparición de nuevos materiales, aún se desconoce lo que podría dar de sí este increíble invento constructivo.

9. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS :

Addis, Bill; Building: 3000 Years of Design Engineering and Construction; Phaidon; 2007

Alcina Franch, J. / Barandiarán, I. / Bendala Galán, M. / Elvira, M.Á / García-Ormaechea, C. / Jiménez, J. / Olmos, R. / Padró, J.; Historia del Arte: El mundo antiguo; Alianza Editorial; 1996

Bango Torvinso, I. / Borrás Gualis, G. M. / Cervera Fernández, I. / Delgado Valero, C. / Kim, S.-H. / Núñez Rodríguez, M. / Sureda, J. / Yarza, J.; Historia del Arte: La Edad Media; Alianza Editorial; 1996

Bérchez, J. / Bozal, V. / Bustamante García, A. / Camacho Martínez, R. / Checa Cremades, F. / Marías, F. / Ramallo, G. / Valdivieso, E.; Historia del Arte: La Edad Moderna; Alianza Editorial; 1997

Brihuega, J. / Hernando Carrasco, J. / Ramirez, J. A. / Raquejo Grado, T. / Reyer, C. / San Martín, F. J. / Solana, G.; Historia del Arte: La Edad Contemporánea; Alianza Editorial; 1997

Bassegoda Nonell, Juan; Historia de arquitectura; editores técnicos asociados; 1976

Benevolo, Leonardo; Introducción a la arquitectura; Celeste Ediciones; 1992

Choisy, Auguste; El arte de construir en Roma; Instituto Juan Herrera: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid; 1999

Huerta, Santiago; Arcos, bóvedas y cúpulas: Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica; Instituto Juan Herrera: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid; 2004

Lloyd, Seton / Müller, Hans Wolfgang; Arquitectura de los orígenes; Aguilar; 1989

Patetta, Luciano; Historia de la arquitectura (Antología crítica); Celeste Ediciones; 1997

Solà-Morales, Ignasi / Llorente, Marta / Montaner, Josep M. / Ramon, Antoni / Oliveras Jordi
Introducción a la arquitectura, Conceptos fundamentales; Edicions UPC; 2006

Torroja Miret, Eduardo; Razón y ser; CSIC; 2000

Ching, Francis D. K. / Jarzombek, Mark M. / Prakash, Vikramaditya; Una historia universal de la arquitectura: Volumen 01; Editorial Gustavo Gili S.L.; 2011

Ching, Francis D. K. / Jarzombek, Mark M. / Prakash, Vikramaditya; Una historia universal de la arquitectura: Volumen 02; Editorial Gustavo Gili S.L.; 2011

APUNTES:

Apuntes Historia de la Arquitectura 2; Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia

ENLACES INTERNET:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_\(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_(arquitectura))

[https://www.ecured.cu/Arco_\(Arquitectura\)](https://www.ecured.cu/Arco_(Arquitectura))

[http://enciclopedia.us.es/index.php/Arco_\(arquitectura\)](http://enciclopedia.us.es/index.php/Arco_(arquitectura))

<https://estudiandoloartistico.wordpress.com/2014/10/31/elementos-estructurales-de-la-arquitectura-el-arco/>

<https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Arco>

<http://es.slideshare.net/miguel2424/arco-arquitectura>

<http://arquitecturaenconstruccion.blogspot.com.es/2008/06/historia-del-arco.html>

<http://www.taringa.net/posts/info/1119156/Arco-construccion-arquitectura.html>

<http://histarcon.blogspot.com.es/search?q=coliseo>

https://www.ecured.cu/Coliseo_de_Roma

<http://www.arqhys.com/contenidos/romano-coliseo.html>

<http://historiadelartearquitectura.blogspot.com.es/2010/12/coliseo-romano.html>

<http://es.slideshare.net/rurenagarcia/escritos-sobre-arquitectura-de-leonardo>

<https://sekcastillohistoriadelarte.files.wordpress.com/2012/10/arquitectura-s-xix.pdf>

<http://oa.upm.es/549/1/X->

[1740_PDF._Huerta_1990._Dise%C3%B1o_estructural_de_arco,_b%C3%B3vedas_y_c%C3%BApulas_en_Espa%C3%B1a,_ca._1500_-_ca._1800x.pdf](http://oa.upm.es/549/1/X-1740_PDF._Huerta_1990._Dise%C3%B1o_estructural_de_arco,_b%C3%B3vedas_y_c%C3%BApulas_en_Espa%C3%B1a,_ca._1500_-_ca._1800x.pdf)

<http://celula95culturaydiseno.blogspot.com.es/2014/11/revolucion-industrial-y-arquitectura.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_en_hierro

10.INDICE DE ILUSTRACION

Fig. 1	El arco (Elaboración propia)	1
Fig. 2	La columna (Elaboración propia)	1
Fig. 3	Proceso de ejecución de la columna (Elaboración propia).....	1
Fig. 4	Proceso ejecutivo de la formación de la puerta en forma de arco (Elaboración propia).....	2
Fig. 5	La regla geométrica nº 1: Tratado de Derand (Arcos, bóvedas y cúpulas).....	3
Fig. 6	Tratado de Schübler: recoge reglas de cálculo de estribos (arcos, bóvedas y cúpulas).....	3
Fig. 7	Boceto del panteón (http://hdimagelib.com/pantheon+sketch).....	3
Fig. 8	Puente de hierro (http://www.designingbuildings.co.uk/w/images/e/e5/Ironbridge.jpg)....	3
Fig. 9	Poblado neolítico en Jirokitia (Arquitectura de los orígenes).....	5
Fig. 10	Tienda de cabaña, Mesopotamia (Arquitectura de los orígenes).....	5
Fig. 11	La tumba de Sennedym (Arquitectura de los orígenes).....	5
Fig. 12	Conjunto funerario de Tosortro, en Saqqara (Arquitectura de los orígenes).....	5
Fig. 13	Tumba Merneith, Abidos (Arquitectura de los orígenes).....	6
Fig. 14	La tumba de Sirenpowe II, Assuran (Historia del arte: el mundo antiguo).....	6
Fig. 15	Entrada de los Anales de Thut-Mose III (Arquitectura de los orígenes).....	6
Fig. 16	Tumba pasadizo en Île Longue, Francia (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	6
Fig. 17	Templo de Zigurat den Ur (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	7
Fig. 18	Templo de Zigurat den Ur (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	7
Fig. 19	Puerta de los leones (Arquitectura de los orígenes).....	8
Fig. 20	Puerta del Rey (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	8
Fig. 21	Tholo llamado Tesoro de Atreo (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	9
Fig. 22	Fortificación en Palmavera (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	9
Fig. 23	Puerta de entrada a la ciudad de Perugia. (Una historia universal de la arquitectura Vol.1)....	10
Fig. 24	Puerta de Istar (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	11
Fig. 25	Puerta de Istar (Historia del arte: el mundo antiguo).....	11
Fig. 26	Puerta reconstruida (Arquitectura de los orígenes).....	11
Fig. 27	Puerta reconstruida (Arquitectura de los orígenes).....	11
Fig. 28	Santuario de Olimpia, Puerta (http://www.grecotour.com/olimpia-grecia).....	12
Fig. 29	Puente Fabricio, Roma (Historia del arte: el mundo antiguo).....	13
Fig. 30	Acueducto, Nîmes (Historia del arte: el mundo antiguo).....	13
Fig. 31	Reconstrucción del Coliseo (Building: 3000 years of design engineering and construction)....	14
Fig. 32	Coliseo de Roma, exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	14
Fig. 33	Axonometría seccionada (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	14
Fig. 34	Sección y alzado del Coliseo (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	14
Fig. 35	Sección y alzado del Coliseo (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	14

Fig. 36	Ruinas del mercado Trajano (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	14
Fig. 37	Actuación de las cargas en el mercado (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	14
Fig. 38	El panteón de Roma visto desde el exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1)...	15
Fig. 39	El panteón de Roma visto desde el interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1)...	15
Fig. 40	El panteón de Roma visto desde el interior (Building: 3000 years of design engineering and construction)	15
Fig. 41	Sección y esfera de Arquímedes (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	15
Fig. 42	Sección y alzado del panteón (Building: 3000 years of design engineering and construction)....	15
Fig. 43	Presión de cargas hacia el terreno (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	15
Fig. 44	Sección del Panteón (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	15
Fig. 45	Arco de Trajano, en Timgad (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	16
Fig. 46	Interior termas (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	16
Fig. 47	Cónica termas (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	16
Fig. 48	Zona del Caldario (Building: 3000 years of design engineering and consruction).....	16
Fig. 49	Interior basílica de Constantino (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	17
Fig. 50	Vista interior de la Iglesia Santos Sergio y Baco (Historia del arte: Edad Media).....	19
Fig. 51	Sección de la Iglesia Santos Sergio y Baco (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	19
Fig. 52	Iglesia San Vital: Exterior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	20
Fig. 53	Iglesia San Vital: Interior (Historia del arte: Edad Media).....	20
Fig. 54	Iglesia San Vital: Sección (Building: 3000 years of design engineering and consruction).....	20
Fig. 55	Basílica Santa Sofia: Exterior (Historia del arte: Edad Media).....	20
Fig. 56	Basílica Santa Sofia: interior (Building: 3000 years of design engineering and construction)....	20
Fig. 57	Basílica Santa Sofia: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	20
Fig. 58	Basílica Santa Sofia: Axonometría geométrica (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	21
Fig. 59	Basílica Santa Sofia: Axonometría (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	21
Fig. 60	Basílica Santa Sofia: Axonometría geométrica (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	21
Fig. 61	Iglesia de Koimesis: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	21
Fig. 62	Catedral San Marcos: Vista aérea (Historia del arte: Edad Media).....	22
Fig. 63	Catedral San Marcos: Planta (Historia del arte: Edad Media).....	22
Fig. 64	Catedral San Marcos: Vista interior (Historia del arte: Edad Media).....	22
Fig. 65	Interior Santa Sabina (Historia del arte: Edad Media).....	22

Fig. 66	Sección basilica de San Pedro (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	23
Fig. 67	Axonometría basílica de San Pedro (Historia del arte: Edad Media).....	23
Fig. 68	Cúpula del Baptisterio de Rávena (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	23
Fig. 69	Interior Baptisterio de Rávena (Historia del arte: Edad Media).....	23
Fig. 70	Santo Stefano Rotondo: Vista aérea (http://www.aklesiasuite.com/english/itinerary/santo-stefano-rotondo/).....	23
Fig. 71	Santo Stefano Rotondo: Axonometria cubierta (https://es.wikipedia.org/wiki/Santo_Stefano_Rotondo#/media/File:SStefanoRotondoVsec.png)	23
Fig. 72	Santo Stefano Rotondo: Planta (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	23
Fig. 73	Santo Stefano Rotondo: Axónometría (Historia del arte: Edad Media).....	23
Fig. 74	Cúpula de la Roca: Vista exterior (Historia del arte: Edad Media).....	24
Fig. 75	Cúpula de la Roca: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	24
Fig. 76	Cúpula de la Roca: Planta (Historia del arte: Edad Media).....	24
Fig. 77	Mezquita de Omeya: Vista exterior (Historia del arte: Edad Media).....	25
Fig. 78	Mezquita Ibn Tulun en Fustat: Vista exterior (Historia del arte: Edad Media).....	25
Fig. 79	Mezquita de Cordoba: Vista interior, columnata (Historia del arte: Edad Media).....	26
Fig. 80	Mezquita de Cordoba: Vista interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	26
Fig. 81	Mezquita de Cordoba: Detalle cúpula (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	26
Fig. 82	Mezquita de Qayarawan: Vista aérea (Historia del arte: Edad Media).....	26
Fig. 83	Mausoleo de Ismail: Vista exterior (Historia del arte: Edad Media).....	26
Fig. 84	Santa Maria del Naranco: Exterior (Historia del arte: Edad Media).....	27
Fig. 85	Santa Maria del Naranco: Interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	27
Fig. 86	Santa Maria del Naranco: Sección transversal y longitudinal (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	27
Fig. 87	Abadia de Farfa: Vista exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	27
Fig. 88	Palacio Real del Aquisgran: Vista exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	28
Fig. 89	Palacio Real del Aquisgran: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	28
Fig. 90	Palacio Real del Aquisgran: Detalle arcos (Historia del arte: Edad Media).....	28
Fig. 91	Palacio Real del Aquisgran: Axonometría (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	28
Fig. 92	Iglesia San Ciriaco de Gernorode: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	28
Fig. 93	Detalle bóveda arista (Historia del arte: Edad Media).....	29
Fig. 94	Iglesia de Saint-Savin-Sur-Gartempe: Vista aérea (http://www.mirebalais.net/article-10427055.html).....	30

Fig. 95	Iglesia de Saint-Savin-Sur-Gartempe: Vista interior.....	30
	(https://es.wikipedia.org/wiki/Abad%C3%ADa_de_Saint-Savin-sur-Gartempe#/media/File:Saint-Savin_nef.jpg)	
Fig. 96	Catedral de Spira: Vista aérea.....	30
	(http://footage.framepool.com/es/shot/571685917-catedral-de-espira-cupula-torre-de-iglesia-lugar-de-culto)	
Fig. 97	Catedral de Spira: Vista interior	
	(http://antonioheras.com/patrimonio_humanidad/europa/index1004.html).....	30
Fig. 98	Santo Sepulcro de Jerusalén: Vista aérea	
	(http://www.guiasdeviajeonline.com/search/label/Jerusalen?updated-max=2013-06-27T09:38:00-07:00&max-results=20&start=12&by-date=false).....	31
Fig. 99	Santo Sepulcro de Jerusalén: Vista interior	31
	(http://cn.depositphotos.com/13162917/stock-photo-interior-of-the-church-of.html)	
Fig. 100	Iglesia Saint-Sernin: Vista interior (Historia del arte: Edad Media).....	31
Fig. 101	Catedral de Durham: Vista interior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	32
Fig. 102	Catedral de Durham: Sección parcial (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	32
Fig. 103	Catedral de Módena: Vista aérea (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	32
Fig. 104	Catedral de Pisa: Vista exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	32
Fig. 105	Diagrama de actuación de las cargas con los contrafuertes y arbotantes	
	(Building: 3000 years of design engineering and construction).....	33
Fig. 106	Diagrama de actuación de las cargas con los contrafuertes y arbotantes	
	(Building: 3000 years of design engineering and construction).....	33
Fig. 107	Abadía de Saint-Denis: Vista exterior	34
	(http://www.culturaltravelguide.com/saint-denis-basilica-cathedral#lightbox[auto_group1]/4/)	
Fig. 108	Abadía de Sain-Denis: Vista interior.....	34
	(https://www.colourbox.com/image/paris-interior-of-saint-denis-cathedral-image-3408798)	
Fig. 109	Evolución de las catedrales en el primer periodo del gótico francés (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	34
Fig. 110	Catedral de Laon (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	35
Fig. 111	Nôtre-Dame París	
	(http://tuyendinh75.blogspot.com.es/2013/10/world-clock.html).....	35
Fig. 112	Catedral de Chartres (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	35
Fig. 113	Evolución de las catedrales en el segundo periodo del gótico francés	
	(Building: 3000 years of design engineering and construction).....	35
Fig. 114	Catedral de Reims.....	35
	(https://en.wikipedia.org/wiki/Reims_Cathedral#/media/File:Reims_Cathedrale_Notre_Dame_interior_002.JPG)	
Fig. 115	Catedral de Amiens (Historia del arte: Edad Media).....	35

Fig. 116	Abadía de Nôtre-Dame: Vista exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	36
Fig. 117	Abadía de Nôtre-Dame: Vista interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	36
Fig. 118	Catedral de Sallisbury (Historia del arte: Edad Media).....	36
Fig. 119	Catedral de Lincoln: Detalle de los contrafuertes (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	37
Fig. 120	Catedral de Lincoln: Vista interior (Historia del arte: Edad Media).....	37
Fig. 121	Catedral de York (Historia del arte: Edad Media).....	37
Fig. 122	Catedral Cloucester (Historia del arte: Edad Media).....	37
Fig. 123	King's College de Cambridge (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	37
Fig. 124	Abadía de Westimster (Historia del arte: Edad Media).....	37
Fig. 125	Catedral de Estrasburgo (Historia del arte: Edad Media).....	38
Fig. 126	Catedral de Ulm (Historia del arte: Edad Media).....	38
Fig. 127	Catedral de Burgos (Historia del arte: Edad Media).....	38
Fig. 128	Catedral de Toledo (Historia del arte: Edad Media).....	38
Fig. 129	Catedral de Palma de Mallorca (Historia del arte: Edad Media).....	38
Fig. 130	Catedral del Mar (Historia del arte: Edad Media).....	38
Fig. 131	Iglesia de Santa Croce (Historia del arte: Edad Media).....	39
Fig. 132	Catedral de Milán (Historia del arte: Edad Media)	39
Fig. 133	Catedral de Milán (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	39
Fig. 134	Iron Brigde (http://www.designingbuildings.co.uk/w/images/e/e5/Ironbridge.jpg)....	41
Fig. 135	Ca'd'Oro (Una historia universal de la arquitectura Vol.1).....	41
Fig. 136	Cúpula Santa María de la Flor: Vista exterior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	42
Fig. 137	Cúpula Santa María de la Flor: Detalle constructivo de la cúpula (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	42
Fig. 138	Cúpula Santa María de la Flor: Detalle constructivo de la cúpula (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	42
Fig. 139	Hospital de los inocentes: Fachada de la logia (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	43
Fig. 140	Hospital de los inocentes: Fachada de la logia (Historia del arte: Edad Moderna).....	43
Fig. 141	Iglesia San Lorenzo: Vista exterior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	43
Fig. 142	Iglesia San Lorenzo: Vista interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	43

Fig. 143	Iglesia San Lorenzo: Sección longitudinal (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	43
Fig. 144	Iglesia San't Andrea de Mantua: Fachada (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	44
Fig. 145	Iglesia San't Andrea de Mantua: Detalle bóveda (Historia del arte: Edad Moderna).	44
Fig. 146	Iglesia San't Andrea de Mantua: Sección longitudinal (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	44
Fig. 147	Alberti: Cúpula semiesférica y cúpula poligonal (Arcos, bóvedas y cúpulas).....	45
Fig. 148	Villa Medici: Fachada (Historia del arte: Edad Moderna).....	45
Fig. 149	Villa Medici: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	45
Fig. 150	Leonardo da Vinci : Bocetos de edificios (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	46
Fig. 151	Leonardo da Vinci : Bocetos de edificios (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	46
Fig. 152	Leonardo da Vinci : Diagrama de equilibrio (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	46
Fig. 153	Leonardo da Vinci : Diagrama de equilibrio (http://es.slideshare.net/rurenagarcia/escritos-sobre-arquitectura-de-leonardo)..	46
Fig. 154	Basilica de san Pedro: Vista aérea (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	47
Fig. 155	Basílica de san Pedro: Detalle de cúpula (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	47
Fig. 156	Basílica de san Pedro: Detalle de cúpula (Building: 3000 years of design engineering and construction)	47
Fig. 157	Basílica de san Pedro: Detalle de cúpula (Building: 3000 years of design engineering and construction)	47
Fig. 158	Basílica de san Pedro: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	47
Fig. 159	Villa Rotonda: Vista exterior (Historia del arte: Edad Moderna).....	48
Fig. 160	Villa Rotonda: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	48
Fig. 161	Rodrigo Gil: Regla geométrica para calcular estribo de arco medio punto (Arcos, bóvedas y cúpulas).....	48
Fig. 162	Roddigo Gil: Regla geométrica para arco de medio punto (Arcos, bóvedas y cúpulas).....	48
Fig. 163	Iglesia Sant'Andrea al Quirinale: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	49
Fig. 164	Iglesia Sant'Andrea al Quirinale: Detalle Cúpula (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	49

Fig. 165	Iglesia Sant'Ivo alla Sapienza: Vista exterior (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	49
Fig. 166	Basílica de los inválidos: Vista exterior (Historia del arte: Edad Moderna).....	50
Fig. 167	Basílica de los inválidos: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2...).....	50
Fig. 168	Iglesia Saint Stephen: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	50
Fig. 169	Catedral de Saint Paul: Vista aérea (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	51
Fig. 170	Catedral de Saint Paul: Sección forma catenaria (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	51
Fig. 171	Catedral de Saint Paul: Axonometría (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	51
Fig. 172	Iglesia de Sainte Geneviève: Vista exterior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	52
Fig. 173	Iglesia de Sainte Geneviève: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	52
Fig. 174	Iglesia de Sainte Geneviève: Detalle cúpula (interior).....	52
Fig. 175	Iglesia de Sainte Geneviève: Axonometria (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	52
Fig. 176	Casa para el guardabosque (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	53
Fig. 177	Cenotafio de Isaac Newton (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	53
Fig. 178	Ponts des Arts.....	54
	(https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_las_Artes#/media/File:Pont_des_Arts_vue_depuis_le_quai_rive_droite.jpg)	
Fig. 179	Cúpula de la halle aux blés (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	54
Fig. 180	Altes Museum: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	55
Fig. 181	Altes Museum: Vista interior (http://www.leonardfrank.com/Worldheritage/Museuminsel9.jpg).....	55
Fig. 182	Capitolio de Washington: vista exterior del Capitolio (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	55
Fig. 183	Capitolio de Washington: vista exterior del Capitolio (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	55
Fig. 184	Biblioteca de Saint-Geneviève: Vista exterior (Historia del arte: Edad Contemporánea).....	55
Fig. 185	Biblioteca de Saint-Geneviève: Vista interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	55
Fig. 186	Biblioteca de Saint-Geneviève: Sección (Una historia universal de la arquitectura	

	Vol.2).....	55
Fig. 187	Museo de historia natural de la universal de Oxford: Vista interior (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	56
Fig. 188	Museo de historia natural de la universal de Oxford: Vista interior (https://en.wikipedia.org/wiki/Oxford_University_Museum_of_Natural_History#/media/File:Pitt_Rivers_Museum_Interior,_Oxford,_UK_-_Diliff.jpg)	56
Fig. 189	Pabellón Real de Brighton: Vista exterior (Historia del arte: Edad Contemporánea)...	56
Fig. 190	Pabellón Real de Brighton: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	56
Fig. 191	Crystal Palace: Vista exterior (Historia del arte: Edad Contemporánea).....	56
Fig. 192	Crystal Palace: Construcción del Crystal (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	56
Fig. 193	Crystal Palace: Vista interior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	56
Fig. 194	Estación St. Pancras: Vista interior (Building: 3000 years of design engineering and consttruction).....	57
Fig. 195	Estación St. Pancras: Sección (Una historia universal de la arquitectura Vol.2).....	57
Fig. 196	Galería de máquinas de la exposición universal de París: Vista exterior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	57
Fig. 197	Galería de máquinas de la exposición universal de París: Detalle (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	57
Fig. 198	Superficies regladas (Apuntes HQ2).....	58
Fig. 199	Restaurante los Manantiales: idea restaurante (Apuntes HQ2).....	58
Fig. 200	Restaurante los Manantiales: Vista exterior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	58
Fig. 201	Restaurante los Manantiales: Vista interior (Building: 3000 years of design engineering and construction).....	58