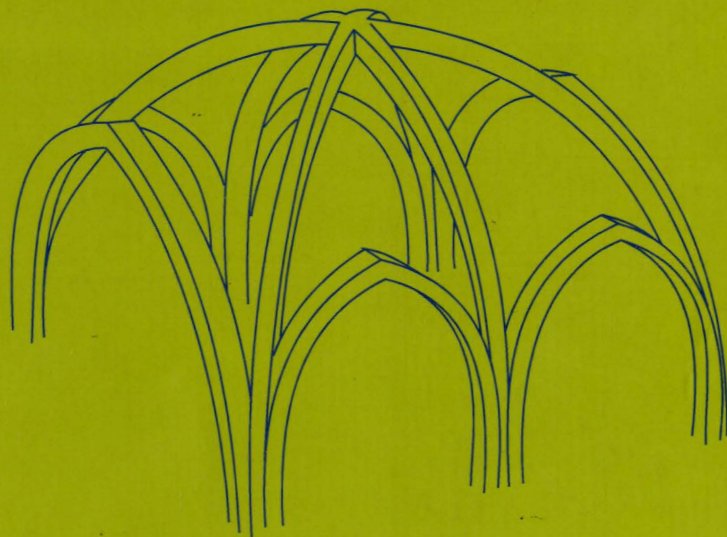


Antonio Castro Villalba

# Historia de la construcción arquitectónica



Antonio Castro es Arquitecto y profesor titular del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC. Premio Extraordinario de Doctorado con una tesis sobre el sistema constructivo gótico, imparte la asignatura de Historia de la Construcción en la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), un curso de doctorado sobre Intervención en el Patrimonio Histórico y una asignatura opcional sobre Patologías y Sistemas de Intervención. Director de la revista Correo de la Construcción, ha sido asesor del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya y ha proyectado y dirigido restauraciones en edificios históricos.

# Historia de la construcción arquitectónica

Antonio Castro Villalba

# Historia de la construcción arquitectónica

Primera edición: septiembre de 1995  
Segunda edición: septiembre de 1999  
Reimpresión: febrero de 2001

Diseño de la cubierta: Manuel Andreu

© Antonio Castro, 1995

© Edicions UPC, 1995  
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL  
Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona  
Tel.: 934 016 883 Fax: 934 015 885  
Edicions Virtuals: [www.edicionsupc.es](http://www.edicionsupc.es)  
A/e: [edicions-upc@upc.es](mailto:edicions-upc@upc.es)

Producció: Copistería Miracle, s.a.  
Rector Ubach 6-10, 08021 Barcelona

Depósito legal: B-7.067-2001  
ISBN: 84-8301-327-4

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

## Prólogo

Este libro es el resultado de once años de docencia de la Historia de la Construcción Arquitectónica en la ETSAB, y eso, creemos, le ha imprimido un cierto carácter.

Forma parte de los conceptos que habitualmente se manejan en la tarea didáctica relacionar la “buena arquitectura” con unos sistemas constructivos coherentes, de manera que aparece imprescindible ese vínculo en lo que es exigible a los proyectos actuales. Esta evidencia, planteada aquí de forma amplia y sin matices, ha sido la apoyatura más firme sobre la que han fundamentado su trabajo los mejores proyectistas y constructores de todos los tiempos, pero eso no parece tenerse en cuenta.

Nervi, para definir su procedimiento proyectual, afirma: “En primer lugar la búsqueda del esquema técnica y económicamente mejor, y, después, el estudio paciente y apasionado de los diversos elementos estructurales, a fin de afinar sus formas, siempre con el respeto más riguroso a las exigencias estáticas y constructivas... Ni esta fe mía en la natural expresividad estética de una buena solución constructiva me ha traicionado nunca, ni he encontrado excepciones a la misma examinando obras arquitectónicas recientes o del pasado. Por lo cual creo poder afirmar que una buena organización estructural, estudiada con amor en su conjunto y en sus detalles, es la condición necesaria, si no del todo suficiente, de una buena arquitectura”.

Se puede matizar y polemizar, casi interminablemente, en torno a esta teoría, pero suponiéndole una parte razonable de verdad, justo la proporción que permite defender la ilusionada dedicación al proceso proyectual entendido como previo al proceso constructivo, es imprescindible, a nuestro juicio, incorporar la Historia de la Construcción Arquitectónica como parte del bagaje cultural de cualquier arquitecto.

Es evidente que en el conocimiento del desarrollo de la arquitectura a través de la historia se encuentran las mejores referencias para llenar de intención los complejos, confusos y a veces faltos de aliento, proyectos actuales. Se podría recurrir, si no fuera por la obviedad del planteamiento, a numerosas citas que, con mayor autoridad de la que nosotros podemos exhibir, reforzarían esta tesis. Incluso en el momento actual esta necesidad de recuperar las referencias históricas es uno de los puntos de partida básico en el trabajo creador de las nuevas tendencias. La posición de Blake en contra de un racionalismo sin referencias no difiere de la de otros arquitectos que, como Venturi, Jencks o Portoghesi -por nombrar sólo a los que desde distintas posiciones han intentado explicar el fenómeno de la posmodernidad-, ven el momento presente como un retorno al pasado, a la historia, a los orígenes. Es necesario matizar esta situación, pues siempre acechan, si no se establecen las necesarias cautelas, los historicismos y *revivals*, muy peligrosos para el desarrollo coherente de una arquitectura adecuada al momento actual.

A pesar de estas razones, en todo el proceso de enseñanza de la Historia de la Arquitectura, o se ignoran los procesos constructivos asociados a cada estilo, o se transmiten las versiones más inmediatas sin establecer ninguna reflexión sobre ellas. Prácticamente desde mediados de la década de los veinte del presente

siglo, el bagaje histórico imprescindible para la formación de los arquitectos se ha centrado en los aspectos estilísticos y artísticos, sin que se rozaran apenas los aspectos técnicos, o simplemente de oficio, que posibilitaban, condicionándola, la arquitectura de cada época.

De esa forma, quizás inconscientemente, se ha seguido ahondando en la brecha entre la arquitectura y sus técnicas que ha sido la base de la aparición de algunas de las variantes más estériles, mientras insistimos una y otra vez en la necesidad de entender el proyecto como algo global, en el que el sistema constructivo se debe incorporar indisolublemente a la correcta definición de espacios y formas.

Evidentemente ésta es una contradicción grave. Nada de lo proyectado se justifica sin contemplar el proceso constructivo que lo ha hecho posible, por lo mismo que la relación estricta e inmediata entre el proceso constructivo y la forma es otra manera de falsear la Historia de la Arquitectura.

No se debe aceptar que en la formación de los arquitectos aparezca una laguna tan profunda. Es necesario rastrear los datos que permitan establecer, dentro de lo que sea razonable, los límites que la necesidad de construir fija a la arquitectura en las distintas etapas históricas, a la vista de las posibilidades concretas de cada periodo, para así interpretar mejor el resultado del balance arquitectura-construcción en cada época. De esa forma, a nuestro criterio, es posible entender y desarrollar con mayor fundamento el proceso actual y se establece una de esas cautelas imprescindibles sobre el uso de los repertorios históricos a que nos hemos referido antes.

Parece obligado, además, recuperar una de las líneas más interesantes del estudio de la arquitectura, que debe posibilitar a los arquitectos constructores aportar una mayor coherencia a las explicaciones que, manejadas casi exclusivamente por historiadores y críticos de arte, se entendían, y aún se entienden, como intocables en la valoración de la arquitectura de época.

Atendiendo a su relación con nuestras circunstancias, empezamos en la construcción arquitectónica griega y acabamos donde se origina la polémica sobre la situación actual del diseño arquitectónico y su relación con el proceso constructivo.

Estas tareas son fundamentales a nuestro entender y son las que justifican este trabajo.

La historia es una ciencia especulativa y crítica, y la de la construcción no se escapa a estas circunstancias. Ese riesgo lo hemos asumido en la esperanza de sugerir aportaciones más que en la de oficiar de intérpretes.

Barcelona, 10 de Julio de 1995

## Indice

1	Requisitos de la fábrica .....	9
2	Construcción arquitectónica griega .....	25
3	Construcción arquitectónica romana .....	45
4	Construcción arquitectónica paleocristiana .....	77
5	Construcción arquitectónica bizantina .....	87
6	Construcción arquitectónica posromana en Occidente .....	117
7	Construcción arquitectónica islámica .....	157
8	Construcción arquitectónica románica .....	189
9	Construcción arquitectónica gótica .....	213
10	Construcción arquitectónica en el Renacimiento .....	233
11	Construcción arquitectónica precientífica .....	269
12	Construcción arquitectónica en el s. XIX .....	301
	Bibliografía .....	341

## 1. Requisitos de las fábricas

### 1.1 El concepto básico

En las explicaciones usuales de los sistemas constructivos asociados a cada estilo arquitectónico lo habitual es encontrar unas interpretaciones estereotipadas que, con mayor o menor fundamento, adscriben de forma inmediata determinadas técnicas a determinadas épocas, o a determinadas intenciones. Este sistema puede ser correcto cuando se trata de visiones globales de la Historia de la Arquitectura, pero es insuficiente si de verdad queremos profundizar en las razones que justifican la génesis y evolución de los estilos y las formas. Aplicando unos criterios más relacionados con el trabajo concreto de proyectar y construir, que es en definitiva el de los arquitectos, y teniendo en cuenta las servidumbres recíprocas, es posible aproximarse con mayores garantías a la correcta interpretación del balance existente entre arquitectura y construcción, ya que, sea cual sea la influencia que sobre el proyecto ejerce un sistema constructivo, éste debe estar presente, y seguro que en cualquier caso ha estado, como uno de los datos de ese proyecto.

Como punto de partida para el desarrollo de esta Historia de la Construcción consideramos necesario sentar unos criterios que nos permitan “juzgar” la intención real de los constructores en cada caso. Analizaremos los requisitos que deben plantearse en la construcción de un edificio para, a partir de ellos, establecer una cierta metodología que nos permita, en la medida de lo posible, deslindar esas intenciones.

La razón de centrarnos fundamentalmente, para la exposición de estos criterios, en los aspectos estructurales y de durabilidad de los edificios es simple. Se trata del trabajo más inmediato en cualquier construcción y, a la vez, en el que más difícil ha sido obtener

unos criterios suficientes que garanticen *a priori* la estabilidad de lo construido. La construcción de todos los demás elementos que forman parte de un edificio, fundamentalmente los acabados, suele ser un trabajo mucho más relacionado con situaciones concretas que sería necesario desarrollar en cada caso y en el que se ha llegado, en cualquier época, a soluciones de una sorprendente brillantez, ya que se corresponden con tecnologías específicas para las que sólo hace falta una cierta capacidad de observación y un conocimiento práctico del comportamiento de los materiales utilizados. Por el contrario, la construcción de una estructura, y se puede considerar un muro como el inicio de ese trabajo, se trate de la época que se trate, está sujeta a una serie de condicionamientos de validez universal y son necesarios unos conocimientos de orden más abstracto.

Al margen de la importancia que pueda tener la datación de una fábrica, datación que plantea unos problemas cuya solución exacta corresponde a la arqueología y a sus técnicas, a pesar de lo cual es difícil decidir indubitadamente la fecha de ejecución, ya que casi todas han sido objeto de intervenciones y modificaciones, es de más interés intentar el análisis de las intenciones de los constructores de la época para relacionarlas con el resultado, entendido éste de forma amplia, es decir, para poder establecer un juicio crítico sobre el balance entre las ambiciones del proyecto y las necesidades de ejecución, tal y como se manifiestan en la obra acabada.

El concepto básico es que ninguna decisión sobre la ejecución de cualquier fábrica puede tomarse por omisión, y que todas están relacionadas entre sí. Cada paso corresponde a una decisión que raramente es casual y que condiciona el resultado. Es necesario que

alguien decida, como un acto de voluntad positivo, todos y cada uno de los pasos que son necesarios para materializar un edificio. Es necesario determinar las medidas, tanto las generales de la planta como las particulares de cada elemento, a la vez que debe elegirse cada ladrillo, o cada piedra, o cada pieza de cualquier otro material, entre otros y colocarse de una manera determinada y no de otra.

Desde el muro de obra vista de ejecución más esmerada de la figura 1.1, hasta el amontonamiento de piedras aparentemente caótico de la figura 1.2, todo lo que se construye responde a unas exigencias previas que de alguna forma son intemporales.

De conceptos distintos, dictados por necesidades distintas, resultan fábricas distintas. En ningún caso se podría asignar a cada una de ellas un nivel de calidad o una cronología basándonos en la técnica empleada, ya que ejemplos parecidos se encuentran con muchos siglos de diferencia en regiones muy distantes entre sí, aunque lo que está muy claro es que en cada caso se pretendió conseguir una finalidad distinta y que el trabajo se orientó en esa dirección.

## 1.2 Los datos

Sea cual sea el material y la técnica empleados, durante la ejecución hay que manejar, consciente o inconscientemente, dos tipos de datos. Unos se refieren a la forma y los otros a las técnicas de ejecución.

### 1.2.1 De la forma

En cualquier caso, dando por sentada la validez casi universal de la base ortogonal, lo que no significa que sea la única de referencia, serán necesarias las dimensiones en las tres direcciones del espacio. Antes o durante la ejecución, el que construye o el que proyecta, tomarán la decisión de llegar hasta un punto determinado y no más allá o más acá. Tanto se puede tratar de una decisión previa como instantánea o coyuntural, pero toda obra tiene unos límites físicos concretos, sean cuales sean los motivos que los justifiquen. Esos

límites pueden venir determinados en función de razones tan complejas como se quieran, relacionadas o no con el hecho constructivo, pero son en cualquier caso un dato cierto a determinar.

El proceso lógico debe contemplar tres condiciones previas que consideraremos en principio de forma muy amplia:

1. En primer lugar se debe pensar en un edificio que sirva, mejor o peor, para el fin propuesto desde el punto de vista de su funcionamiento.
2. En segundo lugar es imprescindible que no se caiga, por lo que hay que tener en cuenta unas normas mínimas de estabilidad, entendiendo este extremo como la posibilidad de dar forma física durable al proyecto, al menos durante el tiempo necesario para que se cumplan las funciones previstas para el edificio. Este concepto puede influir poderosamente: parece que la idea de eternidad justificó el extraordinario esfuerzo de las pirámides y las fallas, por ejemplo, se construyen para ser quemadas a los pocos días de su construcción.
3. Por último se debe suponer, como una tendencia general, la voluntad de obtener unos determinados resultados estéticos, por remota que a veces nos pueda parecer esta intención.

Es posible suponer un paralelismo inmediato entre estos tres requerimientos y la tríada vitruviana, aunque el caso es que se pueden aplicar a casi todas las cosas que produce la industria humana: utilidad; resistencia, que es lo mismo que durabilidad; y belleza, o intención de obtenerla.

Todos estos requisitos se manejan consciente o inconscientemente siempre que se proyecta o construye algo, desde un alfiler a un edificio, y cuanto mayor sea el "desequilibrio" del proyecto en uno u otro sentido, tanto más estricta será la prioridad que se plantee durante la construcción.

De no tener constancia manifiesta e indubitada, y en muchos casos a pesar de tenerla por boca del proyectista, de todas las intenciones y requisitos previos tenidos en cuenta en el momento de concebir el edificio, la realidad de la obra evidencia una serie de extremos

de cuyo análisis es posible deducir parte de esas intenciones, de los requerimientos exigidos y, sobre todo, de las prioridades que se consideraron, tanto en su concepción como en su desarrollo material.

Lo que se pretende es establecer en cada caso en qué medida estuvieron presentes las servidumbres o posibilidades de la construcción, condicionando el resultado, en el momento en el que el proyectista, sea cual sea el nombre que en el proceso se dé al que tiene la idea previa imprescindible, concibió cada edificio considerado, así como cuantos de los requerimientos exigidos por la necesidad de construir, fundamentalmente los debidos a la estabilidad, fueron tenidos en cuenta tanto en la concepción del proyecto como en las exigencias planteadas en el desarrollo de los trabajos. De la consideración de estos detalles se puede deducir, en alguna medida, hasta qué punto se consideran las cuestiones relacionadas con la estabilidad en el proyecto, o, simplemente, con otros condicionantes de índole formal.

Con respecto al primer requisito enunciado, o sea, el que pretende definir un edificio que sirva al fin propuesto, hay que aceptar que las formas generales del volumen arquitectónico dependerán de las posibilidades estructurales del sistema encargado de materializarlo. Es inútil proyectar un edificio inconstruible, aunque a veces haya ocurrido, y valga como ejemplo la aparente insensatez de la planta original de Santa María de la Flor en Florencia.

En un principio es necesario saber sobre qué bases se establecen las dimensiones del proyecto, aunque sólo sea para poder abrir los cimientos. Sobre las generales en planta se pueden argumentar bastantes justificaciones; desde la existencia de modelos canónicos a la aplicación estricta de unas medidas que resuelvan el problema del espacio, las razones dependen más de la arquitectura que de la construcción, siempre que el sistema a emplear permita una razonable posibilidad de ejecutar el proyecto. Existen casos paradigmáticos en los que hubiera sido imposible la definición mínima necesaria para el inicio de los trabajos sin esa razonable posibilidad. Ctesifonte (Fig. 5.11), el Panteón de Adriano (Fig. 3.49) y la Mezquita Azul de Estambul (Fig. 7.12) son ejemplos evidentes de esta situación. A Ctesifonte, aunque aparece casi aislado, se le deben

suponer antecedentes hoy desaparecidos, ya que es difícil imaginar ese esfuerzo sobre un proyecto absolutamente *ex novo*.

En el caso de Santa María de la Flor (Fig. 10.29) se puede imaginar que, o bien Arnolfo di Cambio, que proyectó la planta, disponía de un sistema para cubrir la impresionante luz de 43 m o, por el contrario, que fue una exageración poco razonable. En todo caso puede ser un indicio sobre la posible existencia de una cierta curiosidad sobre los sistemas romanos de construir previa al Renacimiento, en el efervescente clima de la Florencia del s. XIV, ya que el único antecedente detectable es el Panteón de Agripa, de una luz ligeramente superior.

Por lo que respecta a la Mezquita Azul de Estambul, para poder iniciar con una cierta garantía los trabajos, es decir, para replantear los cimientos con unas dimensiones determinadas, fue necesaria la experiencia previa de la construcción, por parte de Sinán, de tres mezquitas, la Shazadé, la Suleymaniyé y la Selimiyé, para que Mehmed Agha pudiera construir, cien años más tarde, y por encargo expreso del sultán Ahmed I, un edificio genuinamente islámico que pudiera rivalizar con Santa Sofía.

Esta necesidad de tener definido el sistema estructural desde el inicio supone, en el caso de las estructuras góticas por ejemplo, otro dato de importancia en el momento de considerar todos sus condicionamientos, a la vista de la existencia de variaciones sustanciales en el sistema estructural durante el transcurso de los trabajos.

Cabe pensar, a la vista de la evolución que sufren algunos esquemas estructurales, que el procedimiento más habitual ha sido la superación en un sentido concreto de los límites que la obra anterior demostró viables. A pesar de que este sistema parece el más razonable, deja entre interrogantes el problema de los primeros modelos, es decir, de los edificios que, por pequeños que sean, contienen todo el repertorio constructivo que va a permitir la evolución posterior. La aparición de estos primeros modelos se puede justificar porque todos los esquemas acaban evolucionando hasta su límite -estético o estructural-, y que, una vez alcanzado éste, es necesaria la "invención" de otro nuevo, cuyas limitacio-



Fig. 1.1. Obra vista



Fig. 1.2. Margen en Garraf



Fig. 1.3. Valla de piedra en Garraf. La anchura es la mínima para el tipo de piedra

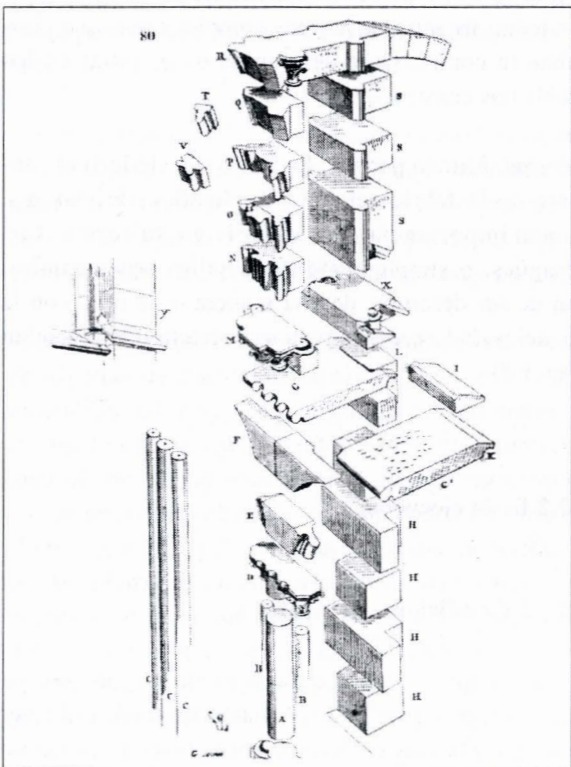


Fig. 1.4 Dibujo de Viollet le Duc para alféizar y jamba de una catedral gótica



Fig. 1.5. Muro en San Pedro de Arlanza

nes se encargará de superar la experiencia, siempre en la dirección que determine el momento cultural en el que se produzca esa evolución. En el caso gótico será el crecimiento en altura y una mayor diafanidad de los muros lo que se persiga, mientras que en el barroco será la progresiva complejidad del trazado la que obligará a los constructores.

Pero además de estas dimensiones generales de la planta, que en ocasiones no tiene más justificación que la desmesurada ambición del proyectista o del promotor, es necesario definir otras medidas de las que depende la estabilidad de la obra. Hay que definir el espesor de los muros, las dimensiones de los pilares, las aberturas, etc., y para todo ello, por muy empírico que sea el método, es necesario conocer el sistema con el que se van a construir todos estos elementos, para tener la mínima garantía de estabilidad. A pesar de que los métodos de dimensionado científico no se conocen hasta el s. XIX, seguro que existieron, y existen, otros de fundamento empírico cuya génesis y justificación ignoramos.

Cada una de las tres dimensiones básicas tiene un significado distinto:

**1.** La anchura puede venir condicionada por muchas consideraciones; desde la imprescindible resistencia a los proyectiles en el caso de muros de defensa, a la necesidad de aislamiento térmico en algunas construcciones situadas en zonas de clima severo, se pueden encontrar una gran variedad de justificaciones. Vitruvio recomienda, para los muros de defensa, la necesaria para que se puedan cruzar dos hombres armados, y según algunos autores, el exceso de anchura de algunas fábricas próximo-orientales se debe a que, debido a la escasez de maderas para andamios, las paredes necesitan la dimensión adecuada para trabajar desde ellas.

En cualquier caso ha de tener una dimensión mínima compatible con el material con el que se trabaja (Fig. 1.3) -no son pensables tabiques de 0,05 m fabricados con piedra de laja-, y su aumento supone, en general, una mayor capacidad resistente de la pieza.

**2.** La altura es la dimensión más comprometida. No es demasiado habitual que hoy los arquitectos puedan

decidir sobre ella. Normalmente viene fijada por unas normas muy estrictas que tienen que ver con unos mínimos decididos según criterios relacionados con la higiene y con consideraciones urbanísticas, pero hasta que no se produce esta relativa imposición, la determinación de la altura, cuando se superan los límites que dicta la estricta funcionalidad de la obra, es el reconocimiento de un límite en las posibilidades constructivas de un sistema, o en las ambiciones y el coste de un proyecto. Suele ser la dimensión en la que se intentan los mayores alardes y, como su crecimiento supone un aumento proporcionado del peso que debe resistir la fábrica, es la dimensión que se manifiesta más difícil de superar en cada sistema. De ella depende en gran parte la valoración del espacio resultante y su superación, es, además, una constante en las ambiciones proyectuales a lo largo de la historia en casi todos los estilos.

**3.** La longitud, excepto cuando es excesiva -y en esto cada sistema sabe lo suyo-, no plantea casi nunca problemas y se puede hacer corresponder a las necesidades del proyecto sin mayor complicación. Los problemas que puede plantear una fábrica se definen normalmente en su sección y al crecer a lo largo se deben tener en cuenta algunas precauciones, como los movimientos del conjunto, la rigidez o las dilataciones, pero no suelen interferir más que muy remotamente en la estabilidad del conjunto.

**4.** La relación entre las dimensiones también se debe decidir de forma exacta, ya que la influencia recíproca se deja notar en la práctica de forma inmediata. A partir de las características generales, aunque no únicas, de cada una de las dimensiones, uno de los interrogantes que se plantean constantemente en cualquier intento metodológico de Historia de la Construcción, es el de averiguar sobre qué datos se establecen, en cada época, la relación entre estas dimensiones. Nosotros sabemos hoy que unas dependen de otras según unos números muy concretos: la anchura tiene que ver con el peso soportado y con la capacidad resistente de la fábrica; el peso soportado, a su vez, depende de la altura y de las demás cargas, obligando la longitud a una serie de precauciones adicionales para conseguir la rigidez del conjunto. Pero no siempre ha sido así. A veces no es tan evidente el tipo de relación que nosotros establecemos en cada

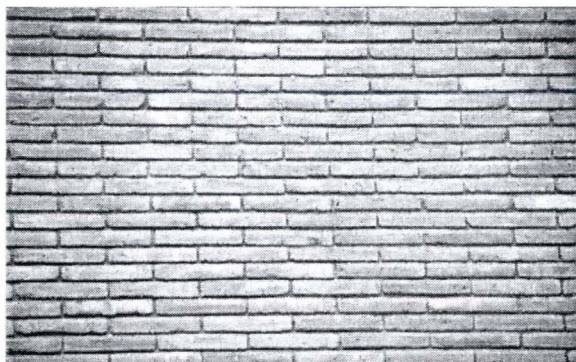


Fig. 1.1. Obra vista



Fig. 1.2. Margen en Garraf



Fig. 1.3. Valla de piedra en Garraf. La anchura es la mínima para el tipo de piedra

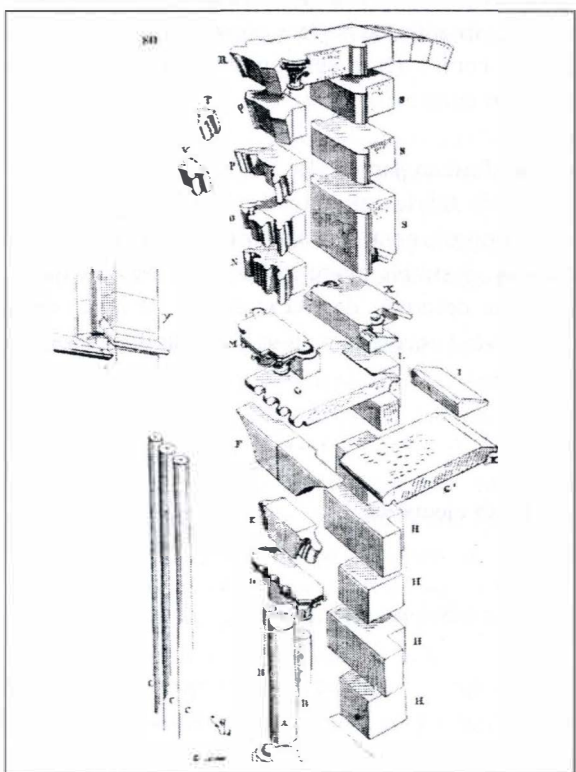


Fig. 1.4. Dibujo de Viollet le Duc para aljézar y jamba de una catedral gótica



Fig. 1.5. Muro en San Pedro de Arlanza

caso. Unas mayores necesidades resistentes, dentro de un mismo sistema y en una misma época, no se resuelven con mayores secciones, sino todo lo contrario, y de ello es una muestra destacable la progresiva elevación de las naves góticas, simultánea a la reducción de las secciones de las pilas y al calado de los muros hasta límites inverosímiles.

Ello puede ser un indicio de falta de sistema e, incluso, de falta de planteamientos rigurosos sobre los extremos más inmediatos de la estabilidad, con lo que todo, o casi todo, sería arquitectura y riesgo, quizás asumido por desconocimiento de su verdadera magnitud.

De todas formas, hoy tampoco es posible reducirlo todo a números. Existen una serie de situaciones en las que es necesario recurrir a la experiencia y a todo ese cúmulo de normas no escritas que se conocen como las “normas de la buena construcción” para decidir algunos aspectos de las relaciones entre las dimensiones, cuando se rozan los límites o se utilizan formas anómalas.

La cuestión estriba en deducir como se integran en el proyecto, en cada época, en la concepción global del edificio desde sus orígenes, lo que podríamos considerar medidas mínimas para garantizar la necesaria seguridad de lo construido, intentando constatar el grado de influencia que tiene en el resultado una correcta relación entre ellas.

La historia es abundante en ejemplos en los que la desproporción entre el sistema empleado y el resultado conseguido es muy notoria. En Santa Comba de Bande (Fig. 6.2.4) es evidente que en el aparejo del muro no interviene ninguna consideración sobre su capacidad resistente, más que sobrada en proporción con el espacio construido, y Borromini, en sus sucesivos proyectos para el Palacio Carpegna, desprecia la regularidad de los muros, llegando incluso a estrangular el que recinta el patio principal, con tal de conseguir la mayor amplitud de ese espacio, y regruesa otros para regularizar las estancias de las esquinas.

5. Para hacer posible la construcción se deben decidir otros datos sobre la forma. Dando por sentado, a la vista del material disponible hoy, que no existen sistemas de dimensionado exacto hasta que se pueden

cuantificar los pesos y la capacidad resistente de las secciones, cabe suponer una mayor capacidad de análisis y, por lo tanto, una mayor justeza en las decisiones, en lo referente a los aspectos más inmediatos de la estabilidad. Algunas cuestiones, como puede ser la colocación de refuerzos, opuestos a la dirección de los empujes, que se evidencia por ser el sentido en el que se producen los movimientos previos a la caída, por ejemplo, o, en otro orden de cosas, el aligeramiento de los pesos en las zonas más cargadas para evitar los aplastamientos que provocan las pesos muertos en los elementos sustentantes, pueden estar correctamente resueltos, e interferir o no en el aspecto arquitectónico del proyecto.

También hay que definir los puntos singulares -los zócalos, las cornisas, etc.-, y su posible aprovechamiento arquitectónico, y los que se refieren a la funcionalidad del edificio -las aberturas, las ventanas, las puertas, los pasos, etc.-, cuya situación, forma y dimensiones deben decidirse con el mismo rigor que el resto de los datos de la obra. Fue para la correcta definición de estos elementos, entre otros componentes del edificio, y por razones estéticas fundamentalmente, por lo que a partir del Renacimiento se establecieron toda una serie de normas complejísticas que obligaban la composición del conjunto sin entrar en los problemas constructivos.

Además, forman parte de los datos que definen el conjunto de la fábrica el resto de detalles, de mayor o menor importancia, que completan su forma. Los desagües, o simplemente los detalles ornamentales, han de ser descritos, de una manera o de otra, con la minuciosidad necesaria para su correcta interpretación (Fig. 1.4).

## 1.2.2 De la ejecución

### 1.2.2.1 Condiciones generales

No obstante, es de la lectura rigurosa del proceso de ejecución de donde mayores datos se pueden obtener sobre las intenciones de los constructores. El principio básico es que, como ya hemos indicado, la colocación de cada pieza -piedra, ladrillo o cualquier otro mate-

rial-, es un acto de voluntad positivo que no se puede tomar por omisión: se decide colocar esa pieza y no otra, y colocarla de una determinada manera, en general para el mejor fin de la obra, entendiendo por mejor fin aquel que garantice dentro de unos límites razonables la construcción del edificio y su adecuación al fin propuesto. Una ejecución intencionadamente deficiente y errónea queda fuera de nuestro interés y de nuestra capacidad de análisis.

En principio, las precauciones durante el proceso constructivo se establecen según tres niveles imprescindibles:

1. Es necesario la estabilidad inmediata de lo que se construye, o sea, que no se caiga durante la ejecución. Este extremo obliga a algunas precauciones y condiciona muchas de las técnicas que se han desarrollado a lo largo de la historia. Desde el establecimiento de tiempos de fraguado para los morteros de cal, al objeto de evitar el aplastamiento de lo construido, a la necesidad de disponer de lechos horizontales y regulares cada cierta altura para evitar los deslizamientos, o cualquier otra precaución que evite la caída de la obra, cada sistema ha conseguido definir lo necesario para hacer posible la construcción con los medios disponibles.

Los requisitos para la estabilidad de lo que se construye no han sido tan claros a lo largo de la historia como podríamos suponer. Lo estricto es el concepto: que la obra no se caiga durante los trabajos puede ser la prueba más segura de que está bien hecha, o algo parecido.

A pesar de lo que nosotros consideramos la obviedad de algunas de nuestras normas, no siempre se han entendido así y son innumerables los ejemplos de incorrecciones muy evidentes, como el inverosímil pilar de una *loggia* muy amplia, que casi no se apoya en un muro inexplicable en San Pedro de Arlanza (Figs. 1.5 y 1.6), y de fábricas en las que la nivelación de las hiladas, y otras precauciones que a nosotros nos parecen inexcusables no parece que formen parte del repertorio de las exigencias mínimas en algunas épocas (Fig. 1.7). Lo que sí se puede afirmar es que esas normas han sido bastante confusas hasta que no se podido tener en cuenta todos los extremos que intervienen en la calidad de una fábrica y, lo que es

más importante, nunca pudieron garantizar realmente la homogeneidad de lo construido.

2. Después, lo construido debe resistir los esfuerzos a que le obligan otros elementos, es decir, debe poder ser cargado sin que se caiga. En este aspecto la construcción tiene una ventaja con respecto a otras técnicas. El colapso de una pieza se produce por un movimiento y casi siempre es posible evitarlo usando algo que, simplemente, se oponga a ese movimiento, aunque ello no signifique que se conozcan las causas que lo provocan.

Así se debe entender el tratamiento de los refuerzos de las aberturas y las esquinas. Con respecto a las aberturas, su ejecución se ha visto condicionada por la técnica al uso en cada caso, aunque, debido fundamentalmente a la profundidad de la romanización, se pueden encontrar en todo el ámbito mediterráneo unas técnicas coincidentes para resolver el dintel; sin que quepa, en este caso, ninguna duda sobre el origen de esta solución, que es explícitamente recomendada por Vitruvio, se va a construir, prácticamente hasta nuestros días, en áreas geográficas muy distantes y en épocas muy distintas, casi la misma solución, un arco de descarga sobre el dintel plano, aunque a veces la interpretación del objetivo es más compleja y aparecen variantes de difícil justificación (Figuras 1.8 y 1.9).

Por lo que respecta a las esquinas ocurre algo parecido: se trata de puntos singulares que hay que reforzar. Bien sea por los esfuerzos provocados por la diferencia de cargas, bien por los asientos diferenciales de cada pared que en ella convergen, o, simplemente, por concentrarse en ese punto los movimientos debidos a las variaciones dimensionales de origen térmico, el caso es que normalmente se han trabajado con una mayor robustez que el resto de la fábrica (Fig. 1.10).

3. La ejecución debe procurar la durabilidad del edificio una vez construido y cargado. Las precauciones deben considerar no sólo el aspecto mecánico del edificio, sino su comportamiento ante la acción de agentes exteriores y las reacciones que se producen entre los elementos que lo constituyen. En el primer aspecto la mayor amenaza para una construcción la constituye el agua. Por una parte los materiales de construcción son solubles tarde o temprano, y por otra el agua ace-

lera o posibilita las reacciones químicas que degradan esos materiales, haciendo aparecer otros de características negativas. Éste es un problema que, por su obviedad, ha sido percibido desde siempre. Puede ser la justificación del peristilo de los templos griegos y a él dedica Alberti gran parte de sus recomendaciones sobre construcción. Los morteros utilizados hasta la aparición del cemento Portland eran de fraguado muy lento, por lo que era imprescindible, al menos durante los primeros tiempos de vida de la obra, proteger el conjunto de las escorrentías.

Para ello se generan una serie de detalles constructivos en la parte superior de las fábricas con cornisas y otras protecciones, o en su parte inferior enfatizando y robusteciendo el zócalo.

4. Pero los edificios sufren otras agresiones previsibles y deben construirse de la mejor manera para soportarlas. En el caso de muros de defensa, por ejemplo, será necesario que resistan la acción de las máquinas de guerra. Por razones obvias este extremo ha condicionado siempre la construcción, generando fábricas muy específicas. A partir del s. XVI se recomiendan unos sillares grandes para la parte inferior de los muros de defensa, de modo que no puedan ser removidos con palancas, mientras que la parte superior se debe fabricar con sillarejos para evitar que el impacto de las balas de cañón desmonte grandes paneles del muro. Como ésta se pueden encontrar otras justificaciones para las normas de ejecución habituales en una época determinada o para un tipo concreto de edificio.

#### 1.2.2.2 Condiciones particulares

Una vez se dispone de unas mínimas certezas sobre la viabilidad de lo que se va a ejecutar con un determinado sistema de construcción, la ejecución se ve condicionada por una serie de particularidades en cada caso:

1. Con unos materiales determinados se podrán efectuar unos trabajos concretos y solo éstos, o preferentemente éstos, aunque los criterios que definen la disponibilidad se han de entender en forma amplia: desde los relacionados con carencias imposibles de resolver, como puede ser la inexistencia de determinado tipo de

piedra en una distancia razonable, a la imposibilidad de disponer de algunos materiales, como el ladrillo, en lugares en los que escasea la leña necesaria para su cocido, o del mortero de cal en sitios en los que no existe caliza de ningún tipo. Normalmente estos conceptos están relacionados con la importancia de las obras a suministrar. Desde los impresionantes transportes megalíticos hasta el comercio internacional de hoy día, en cualquier época ha sido posible efectuar el aporte de los materiales necesarios, a veces en circunstancias que pueden parecer inverosímiles. Existen innumerables ejemplos de este tipo de trabajos a través de la historia, aunque existe un límite lógico que es necesario considerar.

También la disponibilidad se ve condicionada de forma muy importante por la existencia de construcciones o ruinas de otras épocas de las que sea posible obtener materiales ya trabajados, o que necesiten muy poca elaboración para su aprovechamiento. La recuperación ha sido una de las maneras más habituales de obtener materiales escasos o de difícil fabricación en todas las épocas, aunque este fenómeno se va a producir con mayor intensidad durante la Edad Media, hasta bien entrado el Renacimiento, con los restos romanos. Gran parte de las ruinas de la ciudad de Roma desaparecen en los hornos de cal del Renacimiento y en construcciones menores, lo que se evitó en muy poco grado cuando León X dictó la bula que excomulgaba a los depredadores.

La consideración de estas circunstancias puede servir para imaginar las razones de uso de algunos materiales. La escasez, el elevado coste u otros requerimientos han obligado a los constructores a establecer unas prioridades y unas tecnologías, que en su momento se entendieron lógicas, con todas las reservas necesarias al aplicar este término a un proceso constructivo. En general debemos considerar que se trabaja según unos criterios que pretenden el óptimo según los conocimientos o las exigencias de cada momento, lo que puede resultar muy revelador de las verdaderas intenciones, de sus prioridades y de los criterios con los que acometen los requisitos de durabilidad. La utilización de unos materiales concretos en algunas partes de la fábrica, el aprovechamiento de las posibilidades expresivas de otros en detrimento de la estabilidad, el mayor o menor cuidado de algunos detalles, etc., son



Fig. 1.6. Pilar en San Pedro de Arlanza



Fig. 1.7. Esquina de Santa María de Tarrasa. No hay justificación para el desorden del apoyo del muro

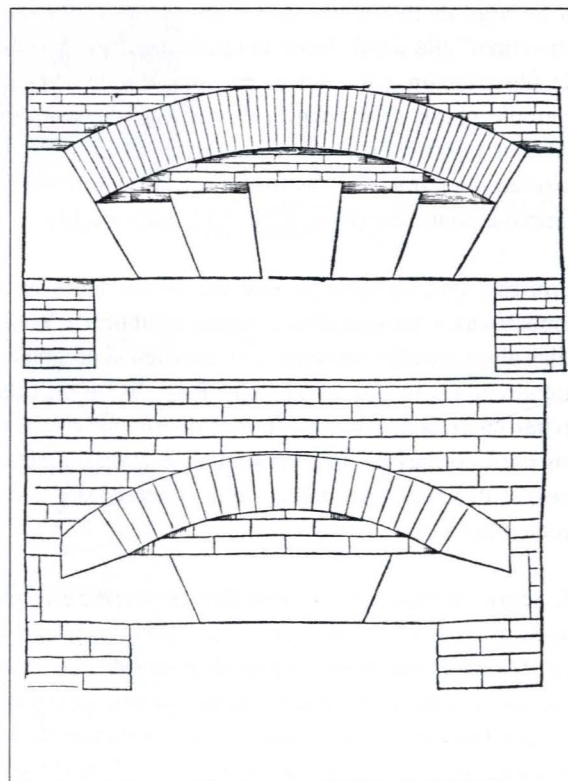


Fig. 1.8. Dibujos de arcos de descarga de S. Serlio

datos reveladores de esos criterios que en su momento se entendieron como acertados.

También se produce el aprovechamiento de materiales de unos sistemas constructivos en otros sobre la base de un simple mimetismo sin fundamento, lo que a la larga suele crear problemas que obligan a soluciones de adaptación que desvirtúan la intención de los modelos originales.

A partir de esas disponibilidades el material empleado condiciona el trabajo: no es posible construir una pirámide con piedra de laja o una catedral gótica con pórfido, pero, por la misma razón, existen una serie de técnicas casi ineludibles en la utilización de algunos materiales, técnicas a las que no es difícil llegar con un mínimo de experiencia en el trabajo y una cierta capacidad de observación. En este aspecto las coincidencias existentes en el manejo de algunos materiales en áreas geográficas muy remotas, o en épocas históricas muy distantes, no suponen casi nunca una influencia cultural, sino el reconocimiento de las mejores posibilidades de cada material concreto.

A lo largo de la historia las soluciones de recibido se "inventan" allá donde haya una persona con capacidad de observación e iniciativa. El *opus spicatum* es un ejemplo claro: se encuentra de forma espontánea en muchos lugares: en el norte de África, en el protorrománico, en China, en los márgenes del Garraf, en el Egipto antiguo, etc (Figs. 1.11, 1.12, 1.13 y 1.14).

Con este criterio sería posible dividir las fábricas en específicas e inespecíficas, según se aporte o no en ellas algún detalle concreto, o se trabajen simplemente atendiendo a lo que es posible. Esta división puede evitar falsas deducciones a la hora de establecer vínculos entre formas de trabajar similares, que en muchos casos se deben a la naturaleza de los materiales y a ninguna otra causa.

2. Sobre los materiales disponibles es posible efectuar trabajos de mayor o menor entidad para aumentar la calidad de lo construido, o para disponer de elementos que no se encuentran naturalmente. El primer estadio de ese trabajo puede consistir en el retoque de las caras de contacto y, a partir de ahí, se puede perfeccionar el proceso hasta conseguir las esmeradas fábricas

de sillares griegas o el *reticulatum* en su expresión más perfecta.

Este trabajo puede hacerse para obtener una mejor respuesta del conjunto a las solicitaciones a que está sometida la fábrica, como es el caso de los sillares de las pirámides, aparejados con una cierta inclinación hacia el interior para evitar el efecto de los terremotos, o bien un determinado aspecto estético, como en la simulación de los despieces de algunos palacios renacentistas.

Estas no son las únicas razones que se pueden contemplar. En algunos casos, la escasez de piedra, por ejemplo, puede obligar a un aprovechamiento de la existente mediante tallas irregulares en escuadra, o a otras soluciones que evidencian un total desinterés por el resultado con tal de que se cumplan unos requisitos mínimos, que quizás no se corresponden con los nuestros.

3. Según un criterio de comodidad, o de facilidad de ejecución, en el sentido de que, de todas las formas posibles y salvando los requisitos que se indican más adelante, en general se tiende a facilitar el trabajo, y más, como en este caso, cuando se trata de un esfuerzo físico continuado. En este aspecto es necesario, para la correcta valoración del resultado, tener en cuenta las circunstancias materiales en las que se desarrolla cada obra en cada periodo histórico. Aunque lo que nosotros denominamos hoy en día medios auxiliares no parecen haber sido problema, y buena prueba de ello son algunas realizaciones concretas de extraordinaria magnitud, existen una serie de condiciones ineludibles que complementan la visión real de lo construido en cada época.

4. Su aspecto final, su expresividad, el efecto estético que se puede conseguir con el trabajo. Puede tratarse simplemente de un cierto esmero en la ejecución de lo mínimo imprescindible para la construcción, atendiendo a sus cualidades resistentes, o el aprovechamiento de recursos que, en cada época, se han entendido con un determinado valor estético para el aspecto de los edificios. Este aspecto puede adoptar formas más libres cuando se produce la separación de funciones diferenciando las calidades del elemento resistente de su apariencia. Este sistema fue utilizado exhaustivamente por los romanos, desapareció en la Edad Media

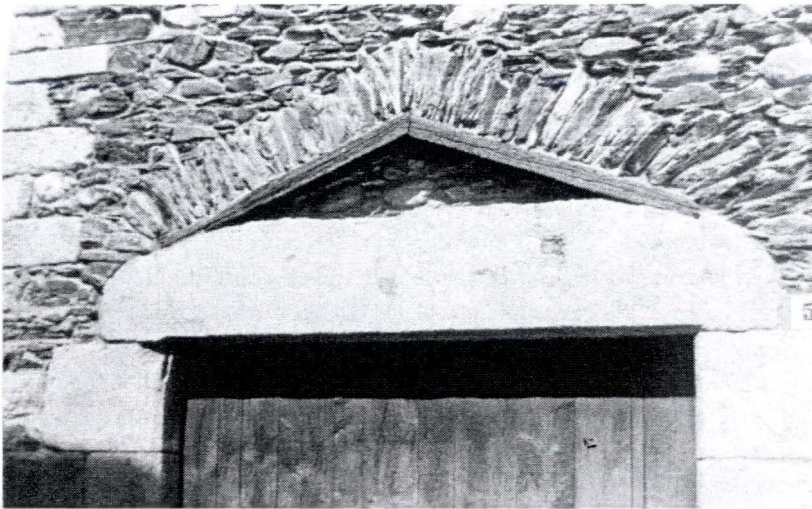


Fig. 1.9. Arco de descarga en Bourg Madame



Fig. 1.10. Esquina reforzada con grandes sillares



Fig. 1.11. "Opus spicatum" actual con material de derribo en Vilanova

y reapareció en el Renacimiento de forma que, con la incorporación de otros materiales y otras técnicas, dura hasta nuestros días. En estos casos el acabado, bien mediante aplacados, bien mediante tendidos, prima sobre la estructura, centrando el interés de los proyectistas en el resultado final aparente. Puig i Cadafalch opina que las fábricas renacentistas son “estructuras pobres ricamente vestidas”, en una frase que expresa perfectamente este concepto.

En estos casos la mecánica constructiva impuesta por todos los anteriores condicionamientos suele generar algunas contradicciones de orden menor: en cada época el problema se resuelve de forma específica y, para un mismo detalle, se genera todo un repertorio de soluciones para su construcción.

**5. Las posibilidades manuales del albañil.** Algunos de los datos implícitos son, en parte, el bagaje personal del albañil. Normalmente atienden a la regularidad y a la estabilidad inmediata de la obra y en su materialización se puede llegar a grados de habilidad sorprendentes. El trazado y la ejecución de las bóvedas a la catalana, habitual hace unos pocos años entre los albañiles autóctonos, es un prodigio de profesionalidad, similar, quizás, al de los tallistas de la época gótica. Esta habilidad sólo se consigue con la práctica reiterada de cada uno de los pasos necesarios para la ejecución a lo largo de periodos de aprendizaje dilatados.

Naturalmente este bagaje personal depende de la información que recibe el operario durante su formación y está normalmente relacionada con su habilidad y con las exigencias planteadas a su trabajo.

### 1.2.3 Las prioridades y su significado

No acaba en esta enumeración lo imprescindible para la ejecución de una fábrica. Durante la construcción es necesario resolver cuestiones derivadas de las contradicciones planteadas en el manejo de los datos anteriores. Alguien deberá establecer las prioridades y tomar decisiones cuando sea necesario posponer uno de los requerimientos por imperativo de otro, o efectuar cualquier otro manejo que posibilite la ejecución, teniendo en cuenta la idea previa.

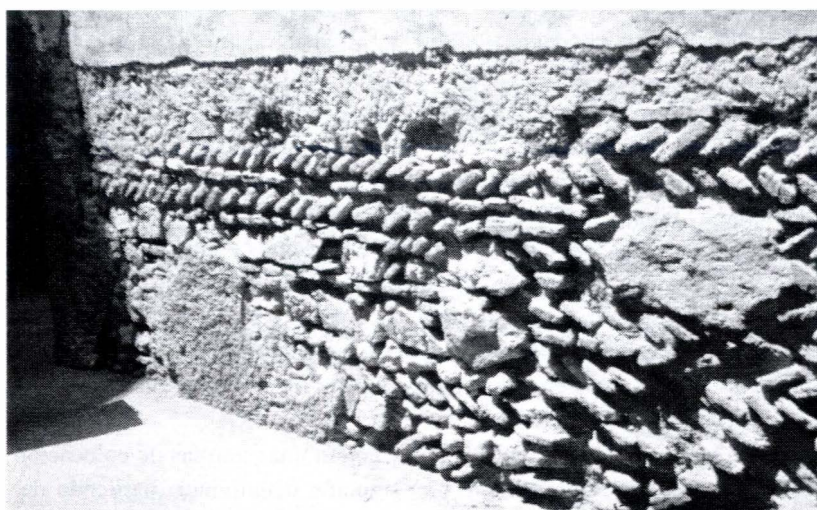
En este punto debemos entrar obligadamente en la dialéctica planteada en torno a la disyuntiva entre arquitectura y construcción. Según un criterio actual, primará la estabilidad sobre la estética cuando la realización de un detalle puramente formal amenace la estabilidad del conjunto, por lo que habrá que prescindir de él o modificarlo, y lo contrario, es decir, se podrá rebajar la capacidad resistente de un elemento para conseguir una determinada forma, cuando exista una cierta seguridad en la capacidad de trabajo del elemento afectado. Estas decisiones se basan en el conocimiento de esas capacidades resistentes, conocimiento que, de no poder efectuarse numéricamente, se fundamenta, con gran riesgo, en la experiencia.

Por lo tanto, una vez resueltos los problemas relativos a la técnica necesaria con los materiales disponibles, y la posibilidad de contar con medios auxiliares o de organizar el trabajo de la forma más rentable y productiva, debemos entender que la prioridad en la definición de las características de las fábricas corresponde a lo que pudiéramos llamar los aspectos constructivos, quedando los aspectos arquitectónicos y formales subordinados, por así decirlo, a éstos.

Y esto es así por que el trabajo acabado sufre indefectiblemente una primera inspección inmediata, rigurosa e inapelable que efectúa la gravedad. Podrán desconocerse las causas de un colapso, y éstas pueden ser realmente complejas, pero una fábrica debe resistir su propio peso durante la construcción como requerimiento inmediato, así como las cargas que recibirá conforme avancen los trabajos. Las fábricas ejecutadas con morteros de fraguado lento, como ejemplo de esta servidumbre, deberán crecer lentamente para conseguir que la parte ya construida resista el peso de la propia fábrica sin caer. En éste sentido existen recomendaciones explícitas en autores tan distantes como Alberti o Rondelet.

La segunda inspección se hace por parte del albañil, o del proyectista, sobre el veredicto de la primera. Si lo construido no se cae y se acepta, lo que puede suponer que el trabajo se continúe sin mayor preocupación, puede ser por las siguientes razones:

**a)** Porque el trabajo esté bien realizado y responda a todos los requisitos previos.



*Fig. 1.12. Pared de vivienda en Marrakech*



*Fig. 1.13. Valla próxima a la Alhambra*



*Fig. 1.14. Remate de valla en Kerkena, Túnez*

*b)* Porque el trabajo esté bien realizado en lo sustancial, aunque tenga defectos menores que a juicio de sus receptores no afecten a lo esencial del encargo o de la idea.

*c)* Porque sea deficiente, aunque en este caso se pueden establecer matizaciones según la gravedad de los defectos. Éstos pueden suponer, desde variaciones aceptables en la forma, a problemas relacionados con la estabilidad con un riesgo menor a criterio del que lo acepta.

*d)* Porque no haya otra posibilidad, aunque suponga una variación importante en la forma o un riesgo cierto de ruina, con lo que se vuelve al primer supuesto: en este caso la magnitud del riesgo asumido en la aceptación sólo se concreta por el comportamiento futuro de la fábrica.

De todas formas, en cualquiera de los supuestos anteriores las exigencias sobre la estabilidad, fundamentalmente las referidas en tercer y cuarto lugar, pueden estar perfectamente equivocadas como criterio, por desconocimiento de los requisitos mínimos por parte de los constructores.

Siempre hablamos de ruina instantánea o inmediata al proceso de construcción, es decir, la que se produce de forma escandalosamente clara por falta de resistencia de lo construido y provoca el colapso de la obra. Los colapsos posteriores que se producen como resultado de patologías progresivas pueden deberse a múltiples causas no relacionadas de forma directa con la capacidad resistente de la fábrica, como los deslizamientos del terreno, etc. Hoy en día, cuando nos es posible convertir en números casi todo lo que ocurre en una construcción, los motivos de esas patologías progresivas son en muchos casos de origen y evolución desconocidos, por lo que su inclusión desvirtuaría la validez de estas reflexiones. Nosotros hablamos de los casos en los que es posible un juicio inmediato y en los que la evidencia del defecto es palmaria.

En este sentido, cuando no existe un conocimiento numérico de la capacidad resistente de un elemento de fábrica, es decir, cuando no se ha cuantificado el trabajo que realiza o el que puede realizar, es evidente que en cualquier decisión, tanto de proyecto como de

ejecución, como en el caso en que haya que tomar decisiones sobre la prioridad de uno u otro concepto de entre los antedichos, primará, por sentido común inmediato, la constatación de la viabilidad en casos anteriores de soluciones parecidas, por remotas que sean las semejanzas. Se tratará de acercarse lo máximo posible a elementos construidos anteriormente en las nuevas soluciones, o de establecer con ellos similitudes que permitan aceptar el riesgo. Este sistema es el único posible si se pretende describir la evolución del sistema estructural gótico con un mínimo de lógica.

En definitiva, si se repiten unas normas de colocación y no otras, o una solución determinada partiendo del hecho apodíctico de que no se cae lo construido, en general se puede aceptar que la razón de su uso estriba en que forman un cuerpo de doctrina válido. Esto no significa que sean las únicas soluciones posibles en función de los materiales y las necesidades existentes, y desde luego no supone que sean las mejores -el concepto mejor es comparativo-, sino que son soluciones al uso, perfectamente válidas como manifiesta la pervivencia de algunas obras.

El principal problema que plantea este sistema, que es el que se ha utilizado casi exclusivamente a lo largo de la historia hasta que ha sido posible cuantificar *a priori* la capacidad resistente de los elementos, es la dificultad en la definición exacta de las condiciones de ejecución que garanticen la homogeneidad de lo construido, con objeto de que su similitud con las soluciones anteriores sea real. Nosotros manejamos una gran cantidad de datos para definir una fábrica y, desde las correctas dosificaciones de los morteros, hasta la calidad de las piezas cerámicas o pétreas, pasando por el espesor de las llagas, aplicamos unos criterios muy estrictos, en teoría, a nuestras especificaciones. El caso está en definir en cada proceso cuál es la profundidad de esas especificaciones. Por lo que podemos aportar, en la gran mayoría de ocasiones es realmente escasa. Se puede demostrar que a lo largo de la historia de los procesos constructivos, este extremo no se ha planteado de forma rigurosa, quizás afortunadamente, ya que produce una cierta inquietud pensar qué hubiera sido del gótico, por ejemplo, si se hubieran seguido a rajatabla los dictados del sentido común. En algunos casos, incluso cuando no se interfiere en lo que hemos llamado aspectos arquitectónicos, los

aspectos constructivos se han ejecutado sin el rigor que cabría suponer de la durabilidad de algunos de los ejemplos que consideraremos, o que nosotros exigiríamos.

El hecho de que con el paso del tiempo se hayan incorporado otros criterios supone que también se han incorporado otros conocimientos, ya que hemos de aceptar en general para algunos aspectos de la conducta humana, que se trata de optimizar el trabajo.

### 1.3 El objetivo

El objetivo de las reflexiones anteriores es suministrar a quien se preocupe de estos temas unas pautas que permitan acercarse a los edificios antiguos con un cierto ánimo analítico. Siempre ha estado presente, en el momento de proyectar, la necesidad de hacerlo coherentemente con el sistema constructivo que haya de servir para la ejecución de lo proyectado. En algún momento el proyectista ha tenido que decidir cómo va a construir su proyecto y esa decisión supone, o puede suponer, un límite ante la certeza de la inviabilidad de algunos aspectos de lo proyectado. ¿Cómo se hará? ¿Hasta dónde se puede llegar? ¿Qué hay que cambiar para que, o no se caiga, o no se eleven exponencialmente el coste y las dificultades?

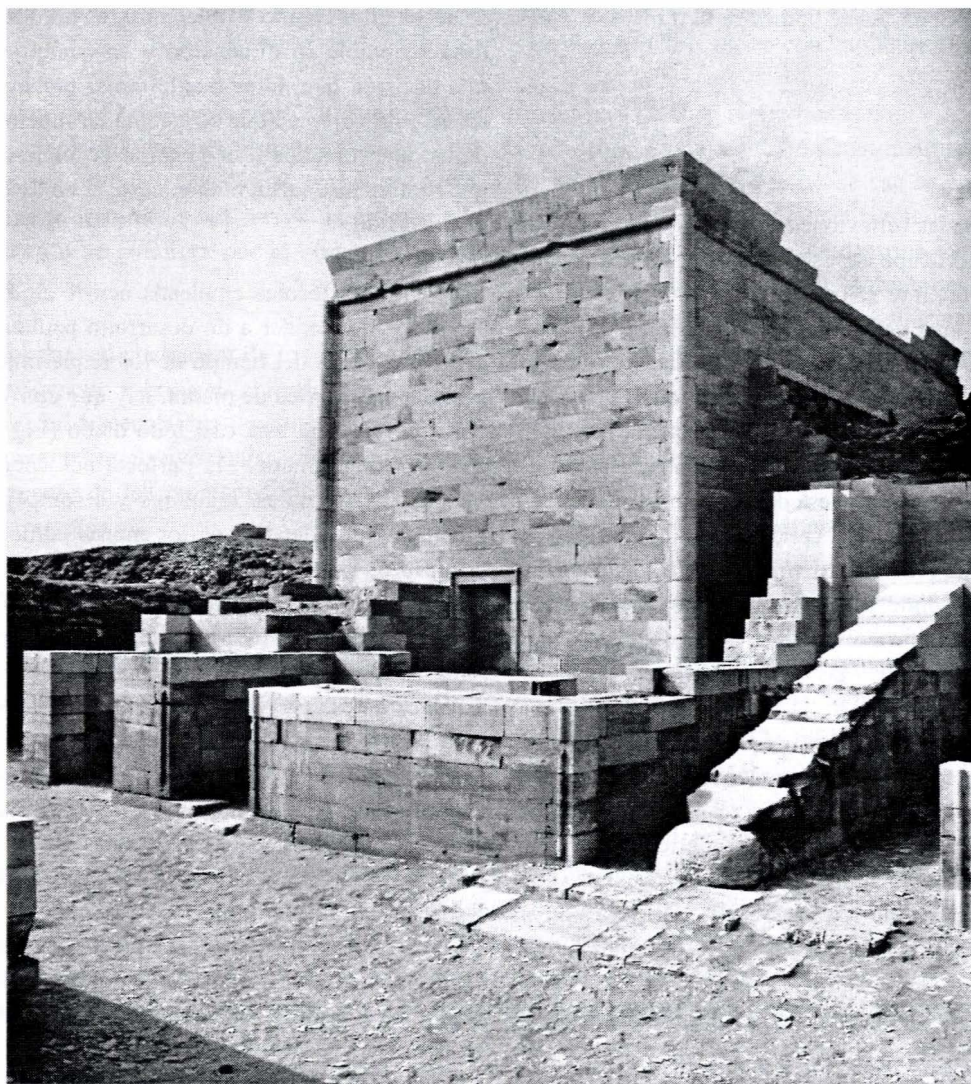
Estas dudas, expresadas en cualquier lenguaje, por primitivo que sea y por remotamente ciertas que puedan ser las expresiones utilizadas, forzosamente se han de producir en la construcción de una fábrica, sobre todo cuando se repite el modelo canónico, si existe, con alguna variación que sea sustancial, y deberá opinar sobre ellas, aunque sólo sea con su trabajo, quien deba construir. La única recomendación técnica de Miguel Ángel para la construcción de la cúpula de San Pedro fue la escueta frase “la práctica dirá cómo seguir”. Es

difícil imaginar lo que pensaron Fontana y Porta, los arquitectos que la construyeron, ante la curiosa afirmación.

Todo, además, pretende fundamentar la idea de que nada en una fábrica es casual. Las dimensiones no se pueden “no decidir”, aunque sí pueden ser equivocados los criterios que sirven para hacerlo según el fin último que debería ser prioritario. Cuando una obra se acaba en un punto y no en otro, es porque se considera aceptable su dimensión y en cualquier caso es una decisión que no se puede tomar por omisión. Es un acto de voluntad que se ejecuta en función de unos datos determinados. Por lo tanto no cabe considerar que se dimensiona, en ningún caso, si no es a través de una decisión.

Respecto a la técnica empleada ocurre algo parecido. Si hemos de atender a un desarrollo paulatino y progresivo a través del tiempo de los requerimientos exigibles a una fábrica de piedra, hay que convenir que a partir de Sakhara está casi todo dicho (Fig. 1.15). El caso es paradigmático: la perfecta colocación de los sillares (horizontales, regulares y a rompejuntas, sin llaga, etc), los detalles de los muros como elemento completo, recercados por arriba con una cornisa saliente, haciendo énfasis en los zócalos, etc, evidencian un altísimo grado de conocimientos sobre el tema. El problema es que Sakhara data de unos tres mil años antes de Cristo y desde entonces hasta hoy se han dado muchas veces una serie de condiciones que han obligado a los constructores a partir de cero. Cada vez que esto ha ocurrido, las variantes demuestran en cada caso el orden de preferencia y las intenciones, tanto técnicas como estéticas, de los constructores.

A lo largo de la historia de los procesos constructivos encontraremos todos estos requisitos y condicionantes actuando en cada caso según una serie de factores concretos.



*Fig. 1.15. Sahara*

## 2. Construcción arquitectónica griega

### 2.1 Los restos

Hablar de la construcción arquitectónica griega es fundamentalmente hablar de templos. A pesar de los avances de la arqueología, disponemos de una información muy superior sobre este tipo de edificios a la de cualquier otro, aunque queden restos y algún otro dato sobre ellos: atarazanas, stoas, restos de un *bouleuterión*, los llamados tesoros, de época muy anterior a la madurez clásica, y otros ejemplos dispersos. Pero es casi exclusivamente de los templos de lo que han quedado restos abundantes y suficientemente bien conservados.

A la vista de esta situación cabe hacer algunas reflexiones. Se hace difícil suponer que al lado de conjuntos monumentales, como la Acrópolis, se extendiera, para el desarrollo de la vida cotidiana una enorme masa de cabañas de madera o barro. ¿Dispuso Pericles de espacios dignos y suficientes para desarrollar su labor de gobierno? ¿No tuvieron nunca los constructores de la Acrópolis la tentación de trasladar a entornos más inmediatos y cotidianos esos materiales y esas técnicas? Quizás no.

Un contemporáneo describe Atenas, que contaba en aquel momento con 200.000 habitantes, de los que sólo 5.000 eran ciudadanos libres, como “seca, mal abastecida de agua”. Las calles no son más que miserables callejuelas viejas, las casas humildes (Fig. 2.1) con unas cuantas mejoras entre ellas. Al extranjero que llega por primera vez a la ciudad le cuesta trabajo creer que esta sea la Atenas de la que tanto se ha oído hablar”.

¿Tan distintos eran los conceptos sobre cómo construir los templos, en relación con los otros edificios, como

para que nada haya quedado de ellos? La esmerada sillería del Panteón, ¿no tuvo su versión cotidiana con la que materializar viviendas, edificios públicos y administrativos? ¿Tan concienzuda ha sido la labor de destrucción de estos restos, si es que han desaparecido así, como para que no haya quedado nada de esas construcciones que deberemos llamar menores?

Estas y otras muchas preguntas similares, se deben plantear a la arqueología, y quizás con unas investigaciones laboriosas y difíciles puedan ser contestadas algún día, pero, hoy por hoy, casi sólo es posible referirse a los templos como la manifestación más evidente de la construcción arquitectónica griega. En todo caso, por lo que sabemos, los otros restos no contradicen excesivamente los grandes conceptos que se evidencian en la construcción de templos, si no es por algunos arcos, elementos que nunca se integran en ellos. La excavación de los asentamientos está proporcionando información de gran valor sobre la posible organización de la vida cotidiana, pero todavía es necesario aportar demasiadas interpretaciones voluntaristas, de indudable interés, para una aproximación a estos temas.

### 2.2 El concepto básico

Desde el punto de vista constructivo, a lo largo de los casi doce siglos en los que se desarrollan los esquemas constructivos asociados a la arquitectura griega, el concepto básico es el de la ortogonalidad en el asiento de las piezas, tanto si se trata de las fábricas más primitivas, realizadas con fines defensivos, como en la esmerada colocación de los sillares de los últimos templos.

En las obras correspondientes a los s. XIII y XII adC., Casamatas de Tirinto (Fig. 2.2), o Puerta de Micenas (Fig. 2.3), se va a utilizar el apoyo ortogonal, o casi, de las piezas.

Puede que se trate de un exceso de racionalidad, pero en todo caso demuestra muy poca imaginación desde el punto de vista de la "lógica de la obra". Incluso cuando se trata de cubrir espacios con formas tan sugerentes como una circunferencia, trabajan en saledizo como en los denominados tesoros micénicos, cámaras subterráneas de planta circular y cubierta de perfil casi parabólico construidas en saledizo y cubiertas por tierra, formando una colina o *tholos*, de las que existen dos ejemplos clásicos: el llamado de Agamenón, o de Atreo, en perfecto estado, y el llamado de Clitemnestra, cuya datación parece ser sobre el 1.500 adC. en la denominada Edad de Bronce.

Es probable que el posterior recubrimiento de tierra se efectuara para mantener en su sitio los sillares que constituyen la bóveda, que al no estar acuñados pueden moverse con relativa facilidad.

En el Tesoro de Atreo (Fig. 2.4) parece que existe una cierta intención de establecer proporciones concretas: la altura es casi igual al diámetro de la planta: 13,5x14,5 m. La puerta (Fig. 2.5) es de grandes dimensiones en proporción 2:1: 5,4x2,7 m y la fábrica está constituida por 33 hiladas desiguales. El acceso se efectúa por un pasillo de 35 m de largo y 6 m de ancho cuyas paredes crecen desde el arranque hasta la entrada del recinto.

Con este sistema, en saledizo, se llega a construir el forjado de varios pisos en torres de defensa datadas hacia el año 1.200 adC. (Fig. 2.6). Es evidente que la fábrica del perímetro ha de ser de gran solidez ya que la verticalidad de los asientos deja al rozamiento entre los bloques la única cohesión del conjunto.

En esta primera época micénica los palacios se construían, según Kostof, "de cascotes por todas partes, fortalecida (la construcción) por una estructura maciza de maderas horizontales y verticales. En el exterior, los muros verticales se revestían de buena caliza. La práctica de usar piedra en capas delgadas para cubrir los muros, de materiales inferiores, pudo haberse co-

piado de los cretenses, que confiaban en este revestimiento, en su caso el alabastro, para producir un efecto de opulencia".

Este sistema, de entramado de madera relleno de cascotes, adobes, o simplemente barro, es común a muchas culturas. Parece que es el sistema que importaron los bárbaros y en China se encuentran ejemplos parecidos de mayor antigüedad. Era la construcción habitual para viviendas en la Edad Media, aunque con otra tipología arquitectónica.

## 2.3. Los templos

### 2.3.1 El concepto

El templo es un logro griego y un concepto distinto al palacio, habitual en otras culturas anteriores. A pesar de los avances de la arqueología a que nos hemos referido antes, todavía existen más dudas que certezas sobre su origen y evolución.

Son realmente escasos los datos sobre el periodo comprendido entre los S.XI al VII adC., denominada época oscura, y en el que posiblemente se consolidaron los conceptos que permitirían el desarrollo político y material de la *polis*, aunque recientes hallazgos confirman una duración de varias centurias para la planta definitiva: una *cella* central casi ciega rodeada de columnatas, cubierto todo ello por una entablamento ortogonal que soporta una cubierta a dos aguas. Varían las dimensiones de la *cella*, el número de columnas y la escala del edificio, pero su esquema básico se mantiene, y con tanto éxito que las "formas arquitectónicas griegas" han informado todas las formas arquitectónicas a lo largo de 2.500 años. Bien por identificación, bien por omisión consciente, casi todo ha estado resuelto alrededor de los conceptos griegos, con excepción, o por lo menos con una identificación difícil, de la Edad Media.

Los primeros templos tenían forma de herradura, levemente absidial, con una fachada rectilínea. Eran estructuras aisladas y existen ligeras variantes de plantas elípticas, cuadradas o rectangulares, pero siempre

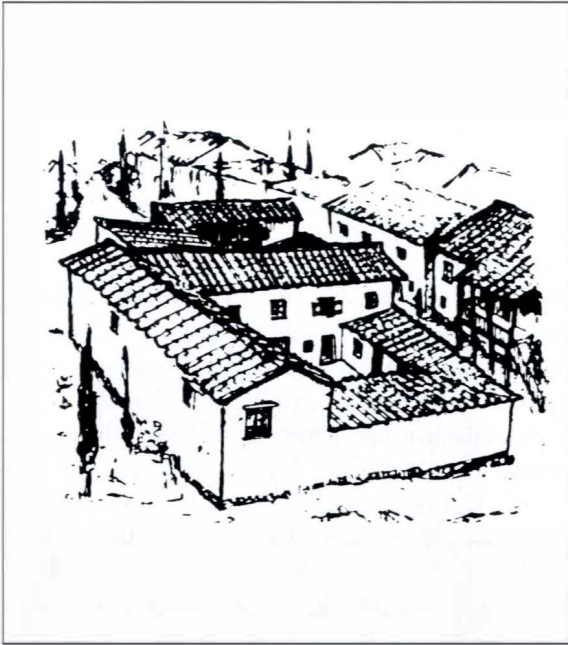


Fig. 2.1 Casas atenienses según Kostof

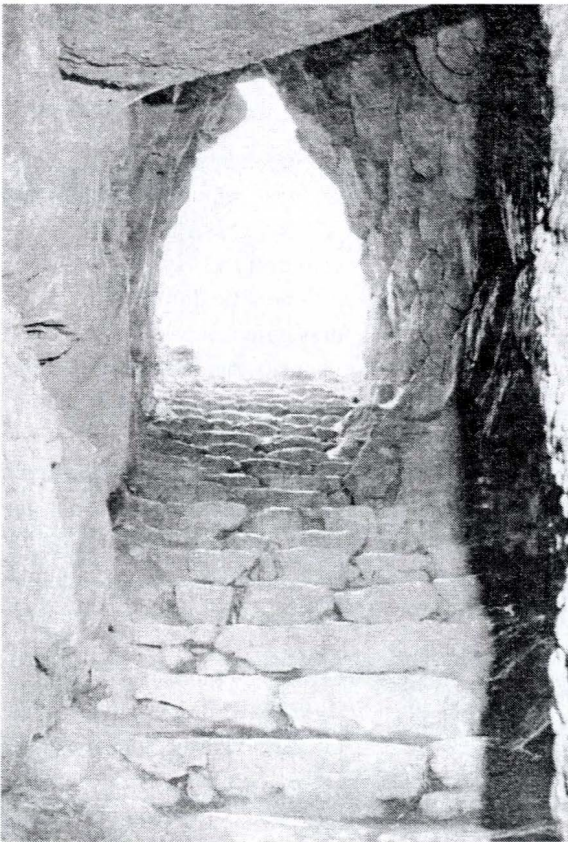


Fig. 2.2. Casamatas de Tirinto



Fig. 2.3. Puerta de las leonas. Micenas

cubiertas a dos pendientes, “despidientes de aguas”, como dice Alberti, según un sistema que se impone por su lógica en cualquier tiempo y lugar en cuanto es posible su construcción, con un pórtico en la entrada principal. Construidas con adobes y con cimientos de piedra y cascote, la cubierta se acababa con paja. Podían tener postes interiores para reducir la luz central y una frontón triangular en la fachada para cerrar el frente de la cubierta.

El templo de Apolo Dafnéforo, en Eretria, de 11,50 m de largo por 7,5 m de ancho, con una entrada de 2 m ante la cual se han encontrado las bases de dos columnas que posiblemente sostenían un porche, origen de los atrios posteriores, confirma la hipótesis de ese esquema.

Lo más probable es que de entre estos varios modelos se impusiera el de mayor efectividad y más equilibrada composición, basado en una sala de culto sellada del exterior, a la que se le añadió un peristilo, conformando la silueta más afortunada, quizás, de toda la Historia de la Arquitectura. En vez de abrir las paredes de la *cella*, ésta se rodea de una retícula arquitectónica (Fig. 2.7), lo que hace perder importancia al contenido pasando a primer plano la forma exterior como referencia visual, y se potencia esa concepción de objeto que adquiere el conjunto haciéndolo simétrico con respecto a sus ejes e igualando su aspecto desde cualquier punto de vista exterior.

El conjunto exterior de postes de madera uniformes convierte al misterioso lugar de culto en un monumento representativo de la ciudad, y de hecho, este avance conceptual es lo realmente revolucionario de estos primeros templos. Puede que todo derive de la necesidad de proteger la estructura de la *cella*, de adobes en una primera etapa, con unos aleros distanciados de los muros, lo que justificó las primeras formas, aunque también es probable que la enorme eficacia estética del resultado fuera lo que más influyó en considerarlo definitivo, tan definitivo que su evolución se efectúa sobre sí mismo, sin nuevas aportaciones que modifiquen su aspecto básico, cuando se comienza a construir con piedra alrededor del año 600 adC. Esta hipótesis no descarta otras sobre la forma, basadas en consideraciones de orden litúrgico y simbólico, que serían, en cualquier caso, mucho menos verificables.

No se conocen con exactitud las formas de los primeros templos en madera, pero lo mismo que sucede con los detalles del entablamento, arquivado y friso, parece evidente que las calidades visuales de ese material son muy distintas a las de la piedra, y se hace difícil trasponer de forma inmediata los materiales, sin un proceso de adaptación de formas y proporciones. Quizás los primeros modelos se utilizaron con una cierta intención metafórica. El templo es una creación artística que busca en la madera la inspiración, pero la madera no tiene la sólida pesantez de la piedra y el templo es una forma artificial muy elaborada, por lo que esta cuestión no pudo pasar desapercibida a sus constructores.

La robusta y equilibrada silueta de los últimos ejemplos clásicos no es “pensable” en madera, además de que el notable aumento de peso del material debió forzar la aparición de algunas modificaciones en su construcción y apariencia.

Es probable que la cubierta a dos aguas, con mayor pendiente en su origen, se corrigiera hacia una inclinación menos pronunciada, más estable visualmente y más en consonancia en sus dos lados con el peso de las columnas de piedra.

A pesar de que es posible suponer algunas influencias egipcias en los conceptos manejados en el tratamiento de la piedra por parte de los constructores griegos, existe una gran diferencia entre el equilibrio formal del templo griego y las obras de la otra ribera del Mediterráneo. En las obras egipcias prima el gigantismo sobre cualquier otra consideración, mientras en las griegas, aun en las etapas en las que el crecimiento es mayor, con columnas de altura superior a los diez metros, se mantienen las proporciones que confieren “solemnidad humana” al conjunto, solemnidad que falta en los templos egipcios, cuya prepotente capacidad expresiva puede que “aplaste” la referencia humana (Fig. 2.8).

Desde el punto de vista arquitectónico, el templo griego es una composición ideal y abstracta cuya perfección justifica que se introduzcan correcciones visuales para solucionar los aspectos conflictivos que plantea su construcción, soluciones que complican el proceso, por la aparición de piezas singulares en aras de una



Fig. 2.4. Tesoro de Atreo



Fig. 2.5. Entrada al Tesoro de Atreo

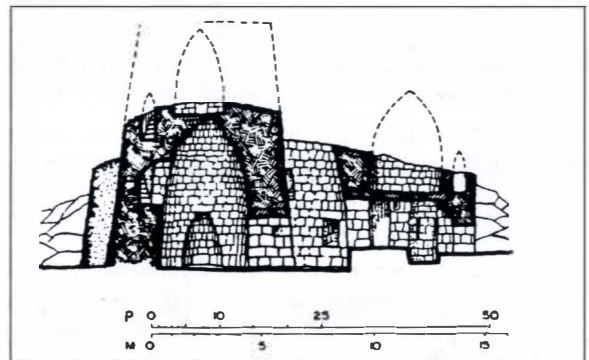


Fig. 2.6. Torre de defensa en Palmavera

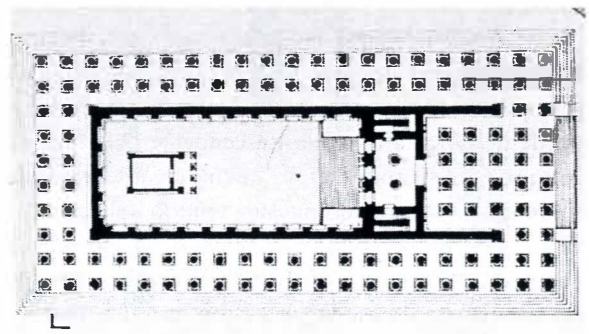


Fig.2.7. La cella se rodea de una retícula arquitectónica de columnas

“lectura” perfecta del monumento. La imposibilidad de resolver la entrega entre dos volúmenes prescindiendo del espesor obliga a “inventar” sistemas que minimicen su efecto sobre el conjunto (Fig. 2.9).

Nace y muere, al margen de algunos ejemplos en los que evidencia una versatilidad sorprendente, como el Erecteion, con unas formas completas, y se mueve en torno a dos tipos muy definidos: el dórico y el jónico, participando el corintio de detalles de ambos.

A pesar de la aparente unidad del conjunto, existen importantes diferencias de concepto entre el estilo dórico y el jónico. El dórico, lo dice Vitruvio, es un estilo desnudo y viril, mientras que el jónico es femenino.

El dórico, cuyos creadores fueron Trofonis y Agamedes en el templo de Apolo, en Delfos, se compone de columnas estriadas con éntasis, capitel plano, arquitrabe, friso con metopas y frontón (Fig. 2.10), y parece más “maderable” que el jónico, que desvía la visual hacia los extremos con el arquitrabe de tres piezas horizontales, la curvatura de los capiteles y las columnas sin éntasis (Fig. 2.11).

El primer templo que se construye con el esquema clásico, según se sabe hoy, es el Artemisión en Corfú, del s. VII, con una perístasis de 8x16 columnas, y quedan restos del Templo de Apolo en Corinto, probablemente coetáneo del anterior.

El conjunto se decora con paneles figurativos de terracota pintada, de origen probablemente asirio, y relieves de piedra cuyo contenido, relacionado con los valores morales y los mitos de la comunidad, estaba a cargo del arquitecto autor de la composición de las formas.

La permanencia de estas formas puede ser explicada por múltiples razones, entre las que, sin duda, se puede destacar la armonía trascendente del conjunto, aunque, por su reiteración, quepa establecer dudas sobre si ha conformado nuestro sentido del equilibrio visual, o si ha pervivido por adaptarse a ese sentido, generado en lo más profundo de nuestra esencia por las semejanzas o desemejanzas con la figura humana, como explícitamente señala Vitruvio. El caso es que

esa reiteración se produce a costa del sistema constructivo asociado. A lo largo de varios siglos, una forma en apariencia simple se construye con el mismo sistema. Lo único que evoluciona es el proceso constructivo, pretendiendo la perfección del resultado, por lo que los trabajos, en la mejor época, se ejecutan con una meticulosidad exquisita y la construcción acaba siendo una artesanía de lujo extraordinariamente cara: el Partenón costó 2.000 talentos, siendo el tesoro de la Liga de las Ciudades de 9.000 talentos y el precio de una trirreme 3 talentos. Su gran defecto fue que se evidenció restrictiva en el desarrollo de procesos constructivos distintos e incapaz de evolucionar.

Ante esta situación cabe plantearse, quizás con mayor énfasis que en otras etapas históricas, la relación entre construcción y arquitectura. La pregunta que se podían haber hecho los constructores es simple: ¿para qué cambiar o evolucionar si no cambian los modelos? O quizás la cuestión haya que plantearla al revés: si sólo sabemos construir con garantías de durabilidad con este sistema, ¿para qué cambiar el modelo? Más probable parece la primera hipótesis que la segunda. La humanidad ha conseguido, con las limitaciones de rigor, crear espacios adecuados y adaptados a sus aspiraciones y necesidades en casi todas las épocas.

Esta dependencia entre la tipología arquitectónica y el sistema constructivo, que depuró las formas de manera notable, ha generado, en su largo aprovechamiento a través de la historia, otros problemas. Dado el predicamento alcanzado por las formas griegas a lo largo de la historia, cuando se han reproducido en otros ámbitos culturales con supuestos distintos, lo que en un principio estaba perfectamente justificado como detalle constructivo útil, protegiendo al edificio de las escorrentías con el moldurado de la cornisa, se convierte en una forma contraproducente, si es que se puede utilizar este término, con sistemas constructivos inadecuados (Fig. 2.12).

El templo griego como estructura presenta unas servidumbres derivadas de la ortogonalidad absoluta en los asientos de las piezas en todo el edificio que manifiesta sus limitaciones cuando es necesario, por pequeñas que sean las dimensiones, cubrir cualquier luz. El resultado es una esquema trilitico -dos piezas como apoyos y otra superior como dintel, trabe o techo-, que

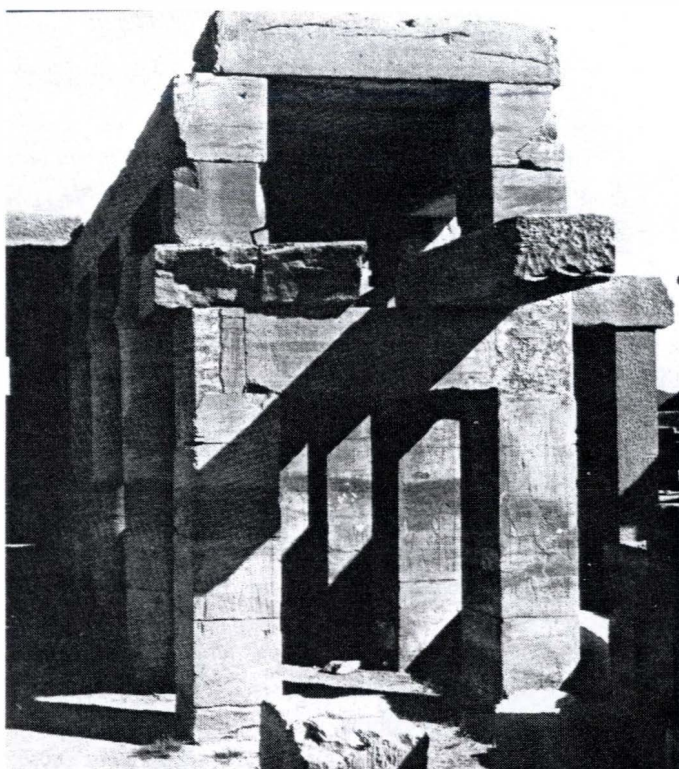


Fig. 2.8. Templo de Amón. Karnak

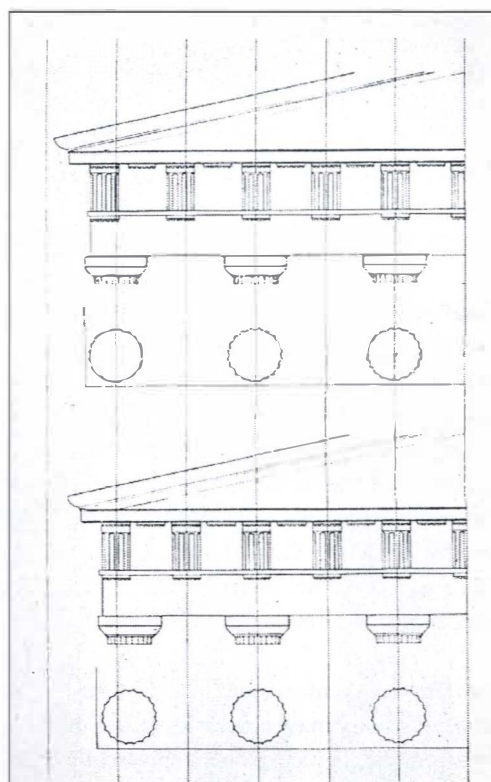


Fig. 2.9. Correcciones de esquina de las metopas dóricas

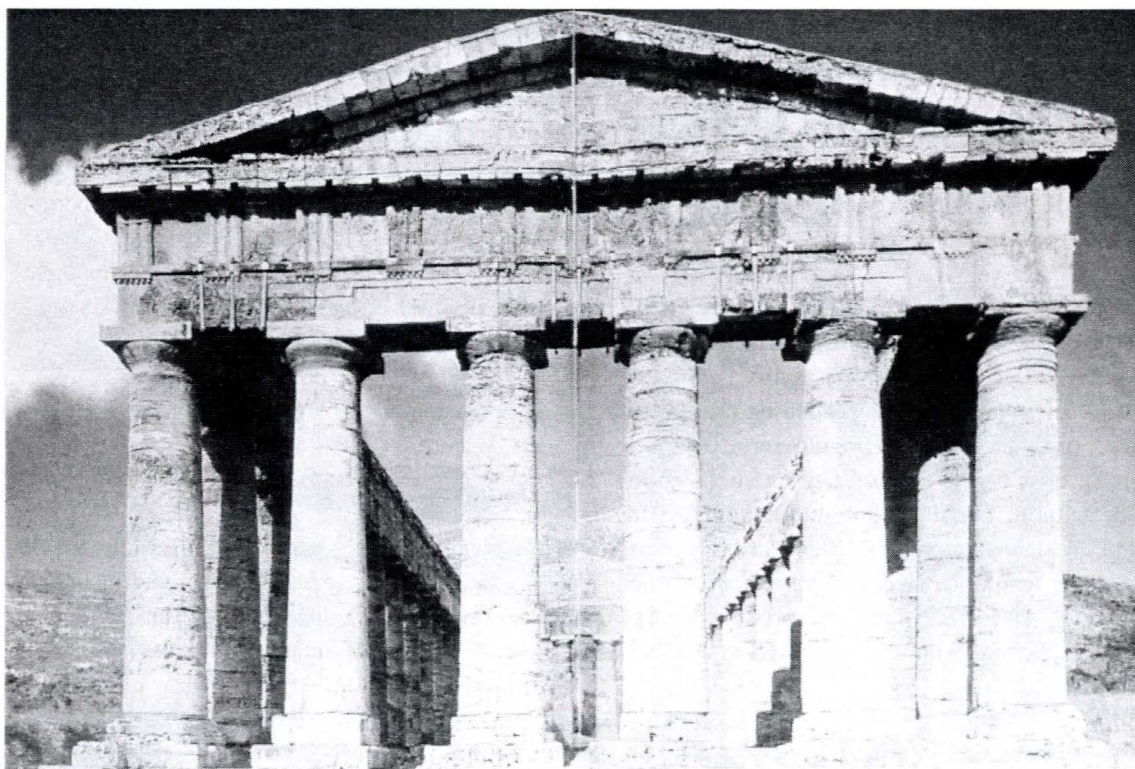


Fig. 2.10. Templo dórico

sirve cumplidamente a las especiales características arquitectónicas de los templos griegos, sea cual sea su escala, y que se concibe como un espacio estático que no necesita ser habitado, -los templos son para verlos y deambular en su entorno, no para estar dentro-, aunque ofrece muy pocas posibilidades y muchas limitaciones para cualquier otro tipo de edificios.

Este esquema limita las luces a la escasa capacidad de trabajo a flexión de la piedra, que además, queda sin trabar. El problema, cuya otra única variante consiste en recurrir a los elementos arqueados, arcos, bóvedas y cúpulas, ya que la madera no ofrece garantías de durabilidad suficiente y se deforma excesivamente con las cargas, no se resuelve de forma satisfactoria hasta mediados del s. XIX, cuando, con la incorporación a la construcción del hierro en perfiles, las luces pueden crecer casi indefinidamente.

En Grecia, como soluciones menores, es decir, para conseguir una mayor resistencia del dintel, se cambia el asiento de la piedra con respecto al lecho de cantera y se compone con dos o tres piezas, pero eso nunca originará soluciones de mayor envergadura.

Las limitaciones se manifiestan, no sólo en el espacio a cubrir, sino también en el número de plantas, que a duras penas puede llegar a dos. El nudo de la jamba inferior, los dos dinteles y la jamba superior, no queda resuelto en ningún caso. Cualquier movimiento, del conjunto, por pequeño que sea pone en peligro su estabilidad inmediatamente (Fig. 2.13).

Es casi seguro que los primeros templos fueron contruidos de adobe y madera y que posteriormente, en un proceso mimético de evolución muy matizada, se sustituyeran los elementos por su réplica en piedra, lo que, parece, pudo suceder en el ángulo nororiental del Peloponeso, en Corinto e Istmia, y en su zona de influencia cultural. Estrabón dice que llegó a ver la sustitución de algunas columnas de madera por otras de piedra, en el templo de Hera en Olimpia, en el año 173 adC. y también facilita el dato del proceso de sustitución de los adobes por sillares, *plinthoi*, a partir del s.VI.

El cambio hacia materiales duraderos y de mayor nobleza se completó con la invención de las tejas de

terracota como material para la cubierta. Estas tejas no estaban pegadas al tejado sino que se mantenían en su lugar por su propio peso.

### 2.3.2 La construcción de los templos

La construcción anterior a la etapa clásica se realiza, como ya hemos dicho, a base de adobes y madera. De las precauciones necesarias para evitar la acción de la lluvia en este tipo de fábricas se derivan casi todos los detalles del arranque de los muros y de la unión de la parte vista con la cimentación, mientras que de las cubiertas de madera se derivan los detalles de las cornisas, traveses y entablamentos, matizados todos ellos por el proceso de creación de la "silueta ideal".

Disponen, en el momento de mayor esplendor constructivo, de una industria artesana de lujo capaz de acometer grandes obras, siempre que estén dentro del modelo. Las piezas se marcan para su perfecto encaje y se sabe de destajos, con precios unitarios y condiciones de entrega muy ajustadas.

La mano de obra, abundante y especializada exquisitamente en la talla de mármol, hace posible la construcción de los templos. Procede de la migración del campo a las ciudades, producida cuando Solón condona las deudas de los campesinos que dejan de estar ligados forzosamente a la tierra. Esta situación permite a Pericles iniciar, bajo la dirección de su amigo Fidias, la polémica obra de la Acrópolis. Es en ese momento cuando se produce el esplendor y el límite de la arquitectura trilitica.

#### 2.3.2.1 Los cimientos

Una vez elegido el lugar para la construcción del templo, elección que no se supedita a ningún tipo de valoración paisajística, sino a la importancia litúrgica del lugar, se procede a sentar los cimientos que, desde los primeros ejemplos, se encuentran contruidos correctamente. Llegan hasta la capa de terreno firme y en ella fundan a base de zanjas corridas para los muros y de cimentaciones aisladas para las columnas.



Fig. 2.11. Estilo jónico

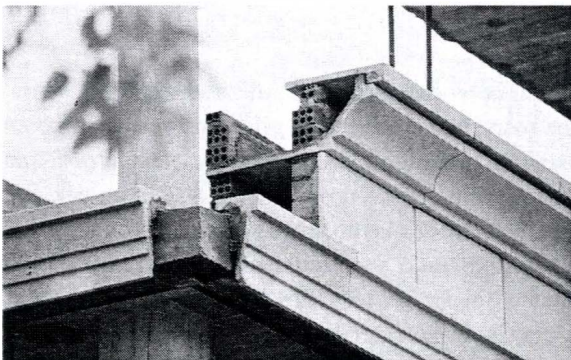


Fig. 2.12. Cornisa ornamental en edificio de oficinas en Barcelona

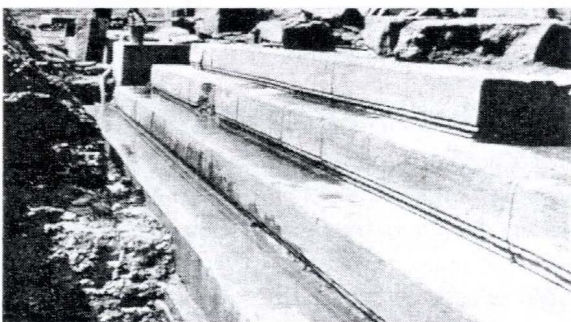


Fig. 2.14. Krepís del Templo de Apollo Claros

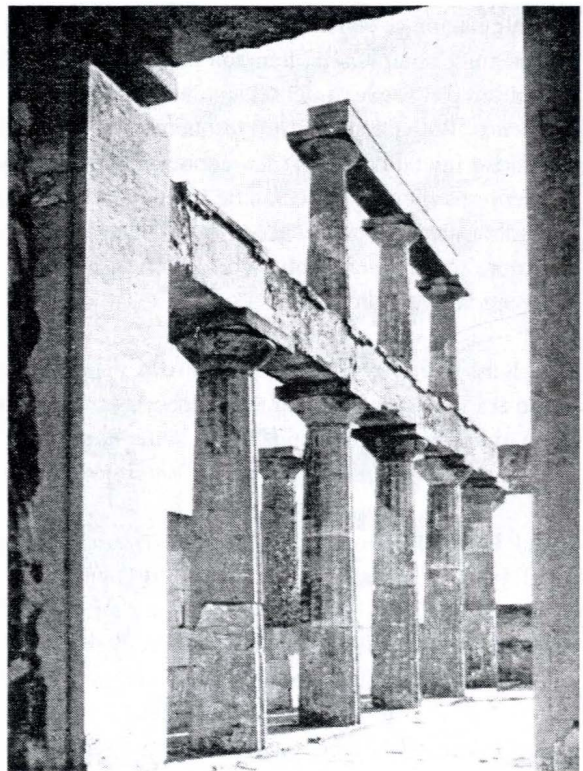


Fig. 2.13. Templo de Aphaia

Cuando el terreno es de calidad deficiente se hacen todos corridos, como en el templo de Himera (Himerión). Dos rectángulos, el interior para la *cella* y los muros y el exterior para el peristilo, a 2,5 m de profundidad.

Para cimentar utilizan piedras de menor calidad que el mármol, por ser éste escaso y caro. El relleno es de aparejo cuidadoso, sin mortero y sin excesivo cuidado en el centramiento de las cargas, pero respetando escrupulosamente el rompejuntas y la horizontalidad de los bloques.

Establecen en general una primera capa de hormigón de limpieza que debe evitar el ataque de microorganismos a la caliza enterrada. Plinio el Viejo describe el templo de Artemisa en Éfeso construido sobre una capa de lana y carbón de 6 a 7 cm de espesor, de la que se han encontrado restos. Sobre ella se extiende cascajo de piedra con algo de mortero de cal en los lugares en los que no se llega a la roca o al terreno consistente. Después se colocan unos sillares grandes (90x30x30 cm, llegando en algunos casos hasta 1,50 m) no tan acabados como los de la parte vista.

A continuación se construye una plataforma de organización muy complicada, llamada *eutinteria*, sobre la que el templo se eleva del terreno sin perder las proporciones. Probablemente este esquema responda a la necesidad inicial de apoyar los adobes sobre una base de piedra para evitar la acción de la lluvia. La *eutinteria*, sobresale muy poco del terreno y tiene una cierta curvatura hacia afuera, como corrección visual y, quizás, para facilitar el desagüe.

Para Kostof, en los primeros templos lo más sobresaliente era la terraza perimetral, que puede ser el origen de la *eutinteria*, y que suponía una rotunda referencia horizontal contrapuesta al caos de la naturaleza.

En el Partenón, los sillares de la *eutinteria* miden 12x3,5x1,5 pies, excepto en los ángulos en que son mayores, 15x 3,5x 1,5 pies. Sin llegar a usar en ella el mármol de gran calidad del resto de la obra exterior, se usa un material superior al de los cimientos.

Sobre la *eutinteria* crece la *krepís* o base (Fig. 2.14), en forma de peldaños. El esquema más usual es de dos

escalones más *estilobato*, aunque hay ejemplos de tres como el Templo de Apolo, de 36 cm y estilobato de 44 cm. Pueden tener distintas alturas, llegando, en el Partenón, a una dimensión que obligó a colocar peldaños entre ellos para poder subir hasta el templo. Se construye con sillares grandes y pueden tener unos rebajes que acusan la línea de sombra bajo el mampirlán. Parece obligado suponer, de acuerdo con la lógica de la obra, que se tomaran precauciones para evitar que estas acanaladuras se dañaran durante los trabajos, ya que es lo primero que se acaba.

En la parte de los muros de la *cella*, sobre la *krepís* aparece el *estilobato*, rematado por dos acanaladuras, y sobre éste el zócalo que va decorado. Las columnas se apoyan en unas losas rectangulares con la espera circular.

A veces usan *podium* en vez de *krepís* y construyen, como en el caso del Erecteión, muros de contención, *analemas*, perfectamente integrados en el diseño del conjunto (Fig. 2.15).

### 2.3.2.2 El muro

A pesar de la extraordinaria pulcritud de su ejecución, cabe sospechar que el muro griego no sea un muro en el sentido que nosotros damos a ese elemento. Es un pez muy raro porque posiblemente no sea un pez, sea un pájaro. Puede que no tenga nada que ver con el elemento resistente y aislante que pretenden ser, en mayor o menor grado, todos los muros en casi todas las etapas de la historia, sino un elemento escultural, que se corresponde más con la idea de templo-objeto que con la de templo-edificio, con la superficie perfectamente encajada y de impecable aspecto, la "aparición correcta", que es el requisito más importante que se plantean los constructores griegos.

Ejecutado sin mortero, con los sillares a hueso perfectamente acoplados mediante unas laboriosas y meticulosas operaciones de recibido, pretende representar una superficie lisa y regular continua sin que, por los resultados, se pueda percibir otra intención en su fábrica. No se debe descartar alguna influencia egipcia en el desarrollo de este concepto, habida cuenta de la



Fig. 2.15. Analema del Erecteión

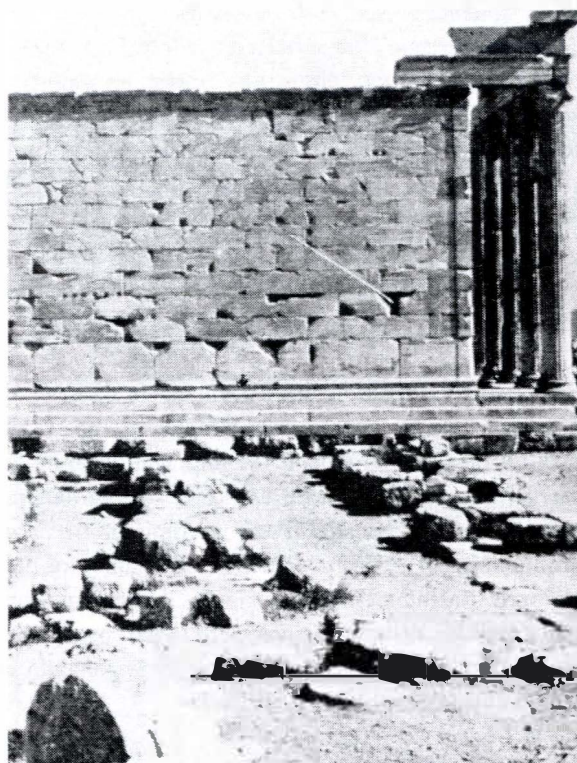


Fig. 2.16. En la primera hilada del muro del Erecteión, los ortostatos



Fig. 2.17. Aparejo del Erecteión desde el interior de la cella.

impresionante presencia del conjunto de Sakhara (Fig. 1.15), tan cercano al área helénica, aunque este tipo de relaciones están por demostrar siempre. En todo caso son coincidentes la gratuidad formal y el que la perfección del aparejo sólo se corresponda con una necesidad simbólica: en ambos casos recintan la nada. En Sakhara se simulan edificios y en la *cella* del templo griego reside, en el mejor de los casos, la estatua inanimada del dios correspondiente. Nada que aislar y muy poco que cargar.

Este sistema, cuyas razones últimas son difíciles de justificar para un constructor, también es otro límite que, quizás voluntariamente, se imponen los arquitectos griegos en función de esa relación permanente entre el sistema constructivo y su limitada tipología arquitectónica. A partir de ellos todo cambiará para siempre. Posiblemente los sistemas posteriores sean más cómodos, útiles y lógicos, pero la idea ha perdido, en muchos aspectos, entidad escultórica, ganando en racionalidad constructiva y utilidad.

Es posible que este concepto se pueda desarrollar debido a la existencia de excedentes económicos importantes y un extraordinario y sugerente material: el mármol blanquísimo de la cantera del monte Pentelión, a 16 Km de Atenas, cuya explotación a lo largo de cincuenta años permitió construir la Acrópolis.

El complejo muro-objeto se inicia sobre el *estilobato* con los *ortostatos*, unas piezas más grandes que el resto del aparejo y de talla cuadrada (Fig. 2.16). A continuación se colocan los sillares con algunas variantes mínimas en los aparejos, aunque fundamentalmente se puedan agrupar en dos tipos: los perpiñones, en los que los sillares pasan todo el espesor del muro (Fig. 2.17), y los alternativos a sogá y tizón, más tardíos (Fig. 2.18).

Se utilizan grapas y crampones para sujetarlos entre sí y para recibir las piezas de cubierta. Los egipcios las hacían de madera y los griegos de hierro emplomado o bronce, siendo este dato recogido por Alberti. A veces se utilizan tijas de un sillar a otro, o piezas de piedra en las caras laterales, y se utilizan aparejos especiales para los ángulos. Este sistema de bulonaje se emplea también en los entablamentos cuando se trata de obras de importancia (Fig. 2.19). Para conseguir un resulta-

do a primera vista tan simple son necesarias muchas precauciones. Es imprescindible que exista un apoyo perfecto en el contacto entre los sillares para evitar que las irregularidades supongan roturas en las aristas, por lo que es necesario efectuar correcciones sucesivas de la superficie a base de sanguina para conseguir ese apoyo.

Los sistemas de elevación deben ser muy cuidadosos, por medio de acanaladuras o de castañuelas, y el recibido se ejecuta a base de palancas de madera endurecida al fuego. Para el encaje definitivo de los sillares se desarrollan, a lo largo de varios siglos, toda una serie de recursos muy cuidadosos, imprescindibles para conseguir la perfección en el aspecto final: una entalladura en la cara superior de cada sillar, en la que se coloca una palanca, o sistemas similares, siempre de gran delicadeza (Figs. 2.20 y 2.21).

Los tambores de las columnas también se planean rotándolos sobre una superficie corregida y se encajan entre sí por medio de tijas o esperas de piedra más dura. Existen rastros de ese tratamiento en algunas ruinas.

Un sistema conceptualmente tan simple y perfeccionista plantea unos problemas de estabilidad importantes y de difícil solución. Por más perfectos que sean los contactos entre los sillares, corregidos muchas veces durante el recibido, el canto exterior es una zona muy débil, y si por cualquier circunstancia las cargas se centran en esa arista, lo que puede ocurrir durante la construcción, los esfuerzos sobre ella pueden llegar a ser muy importantes -infinitos si se considera la carga actuando directamente sobre ese punto de dimensión cero-, lo que provoca su rotura. Para resolver el asunto se recurre a varias soluciones, a cual más dificultosa de ejecutar: o bien dejan unas acanaladuras en ese canto durante el recibido y después planean la superficie, o dejan las juntas recrecidas para planearlas posteriormente hasta el nivel de las caras; pero, de cualquier forma, ese detalle supone un trabajo delicadísimo de control de la superficie final y un altísimo grado de profesionalidad en los tallistas.

La limpieza de la ejecución provoca problemas de durabilidad, al margen de la calidad de las piedras, por un hecho muy simple: a lo largo de la vida de cual-



Fig. 2.18. Aparejo a soga y tizón

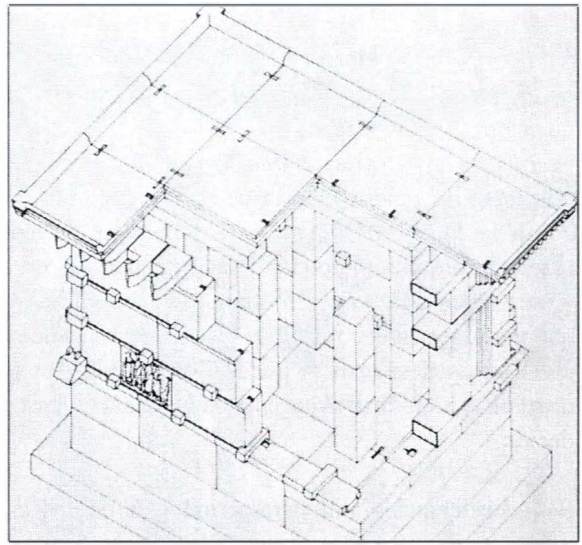


Fig. 2.19. Bulonaje del entablamiento del Templo de Niké

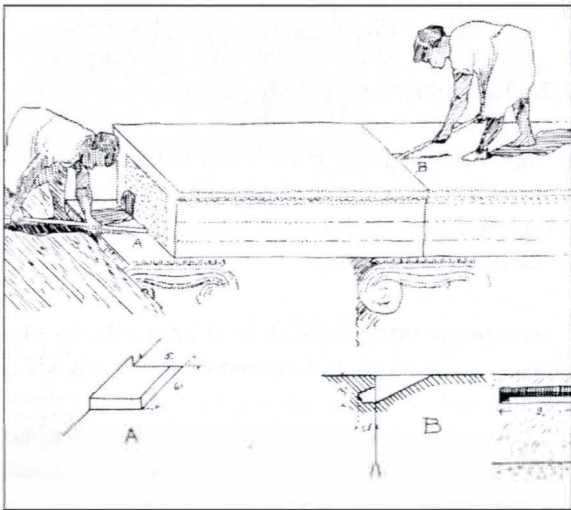


Fig. 2.20. Recibido de trabe con palancas

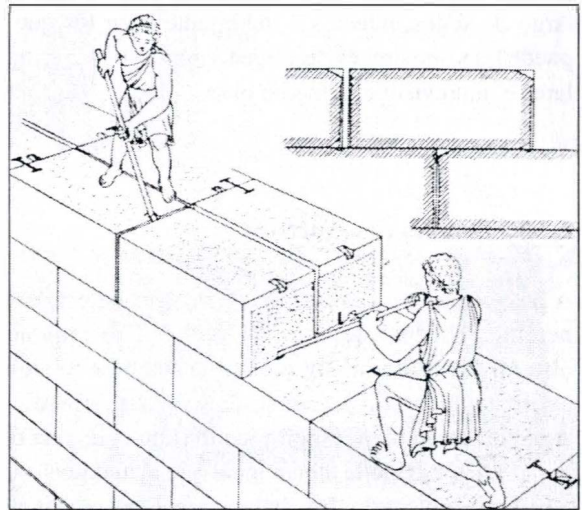


Fig. 2.21. Recibido de sillar con palancas

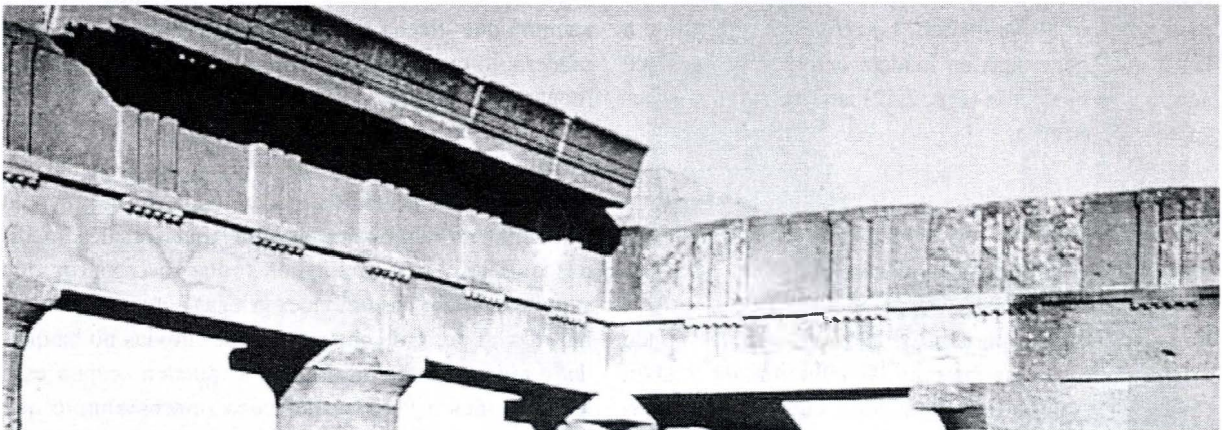


Fig. 2.22. Cornisa tallada en piedra dura

quier elemento compuesto de piezas y situado a la intemperie, los movimientos reiterados debidos a las dilataciones y contracciones, así como los sismos o cualquier otro tipo de vibraciones, provocan la separación de esas piezas, separación que, al acumular sus efectos a lo largo de siglos, pone en peligro al conjunto si se combina con otras causas. Este defecto se pretende resolver con los crampones y las grapas, pero en algunos casos esta solución complica el problema, ya que introduce en el corazón de los sillares un elemento metálico que, si resiste, puede llegar a rajarlos por tracción, y si no resiste los cuartea al dilatarse por oxidación.

Esta consideración vale para periodos de tiempo muy dilatados, en los que la acumulación de movimientos, reforzados por el relleno de las juntas con polvo y materiales acarreados pacientemente por el viento a lo largo de siglos, puede ser importante y en los que se pueden dar incidentes de origen vibratorio muy singulares e imprevisibles a medio plazo.

### 2.3.2.3 Detalles constructivos

A pesar de la tozudez con la que insisten en este exasperante concepto de muro, la realidad se impone y obliga a introducir algunos detalles directamente emparentados con la construcción más inmediata. Aunque sea un muro escultórico más que ninguna otra cosa, la intemperie le afecta igual que a cualquier otro, y hay que protegerlo. En algunos casos se colocan piedras más duras, aunque sean de más difícil talla, en los lugares más expuestos, como goterones o cornisas, para proteger al paramento. La referencia constante a las formas generadas en madera complica y encarece aún más la ejecución (Fig. 2.22) aunque salve la pureza de los conceptos.

### 2.3.2.4. La coronación del peristilo

La coronación del peristilo y del muro se corresponde a las formas necesarias para las cubiertas de madera (Fig. 2.23) A pesar de su gratuidad, cuando se construye en piedra, se trasponen casi exactas de las origina-

les, simulando, incluso, un mayor grueso de las trabes, y lo que por el exterior son unas vigas simuladas, por el interior es un muro aparejado (Fig. 2.24).

### 2.3.2.5. El entablamento

El entablamento desde el peristilo hacia el interior del templo se hace con el mismo esquema, cuya rigidez estructural, a pesar de que también se usan grapas y crampones, no permite grandes luces, aunque en algunos casos, como en el Erecteión, se llega a los 6 m. (Figs. 2.25). El espacio entre las trabes que ligan por la parte superior las columnas se cubre con grandes losas de piedra decoradas con casetones, encajándolas sobre las trabes con retallos.

### 2.3.2.6 Las cubiertas

Las cubiertas son a dos aguas. Es el sistema más simple de evitar goteras, aunque Kostof opina que se generan por la progresiva elevación necesaria para colocar una teja sobre otra.

Se mantiene la ortogonalidad en el apoyo de los elementos, y se organiza un esquema de soportes y vigas inclinadas que no tiene nada que ver con la triangulación de encaballados. El efecto inmediato de esta disposición es que no se suprimen los empujes horizontales que la inclinación de las vigas ejerce sobre los muros y trabes. Parece que en las escuadrías de las vigas se tenía en cuenta la proporción entre altura y anchura que flecha menos, para el mismo volumen de madera, lo que supone una cierta capacidad de experimentación.

En las atarazanas del Pireo (Fig. 2.26), edificio del que se tienen datos, las escuadrías reseñadas en el proyecto son de 0.67x0.75 m para las vigas transversales, medidas que se deben tomar con todos los reparos que supone trasladar las unidades griegas a nuestro sistema métrico. A pesar de que por razones obvias no ha quedado ninguna cubierta original se pueden aceptar esas dimensiones a la vista del peso impresionante que debían soportar. El esquema original es forzosamente

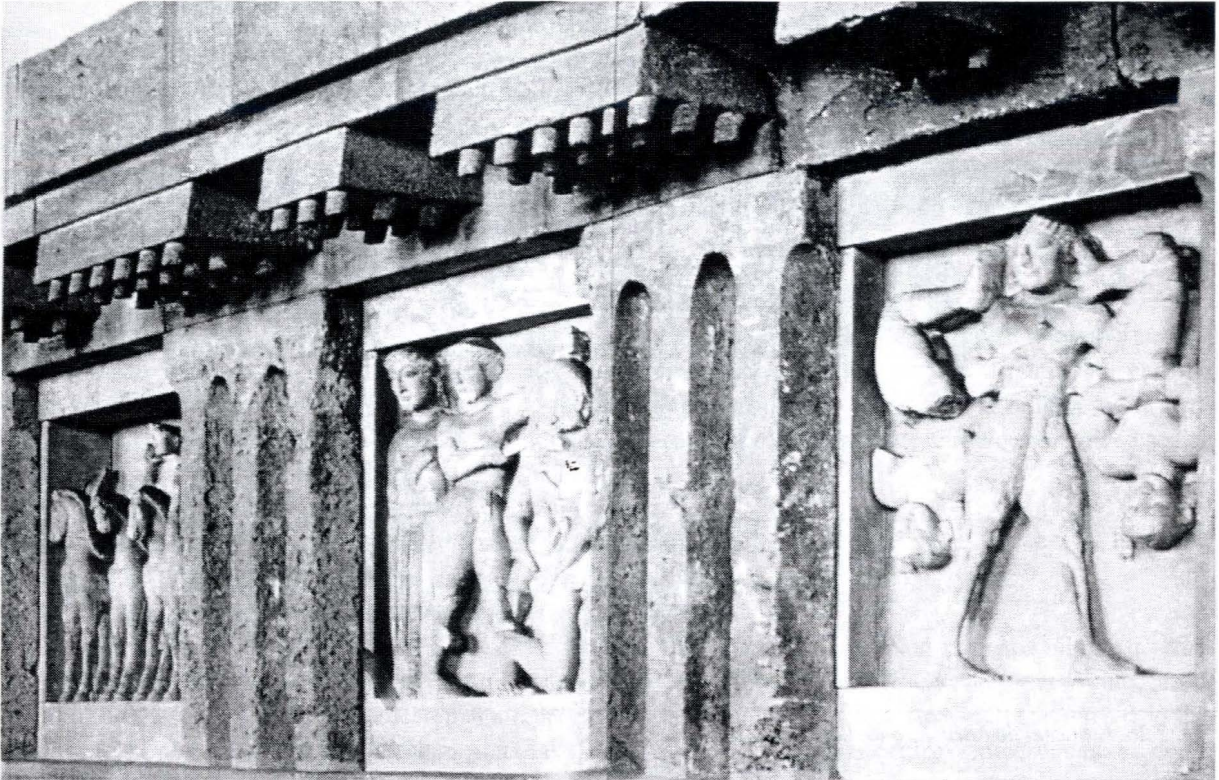


Fig. 2.23. Coronación del peristilo del Partenón

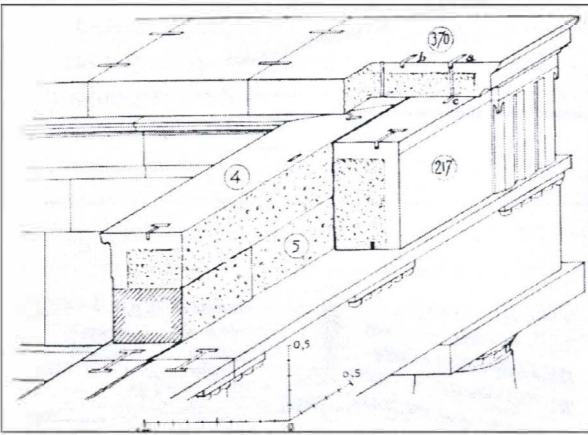


Fig. 2.24. Doblado interior de la trabe del Partenón

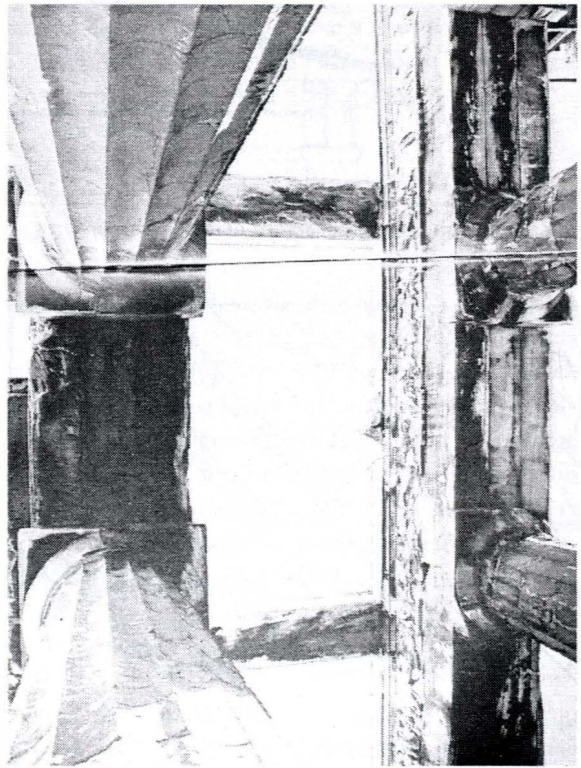


Fig. 2.25. Trabes del Partenón

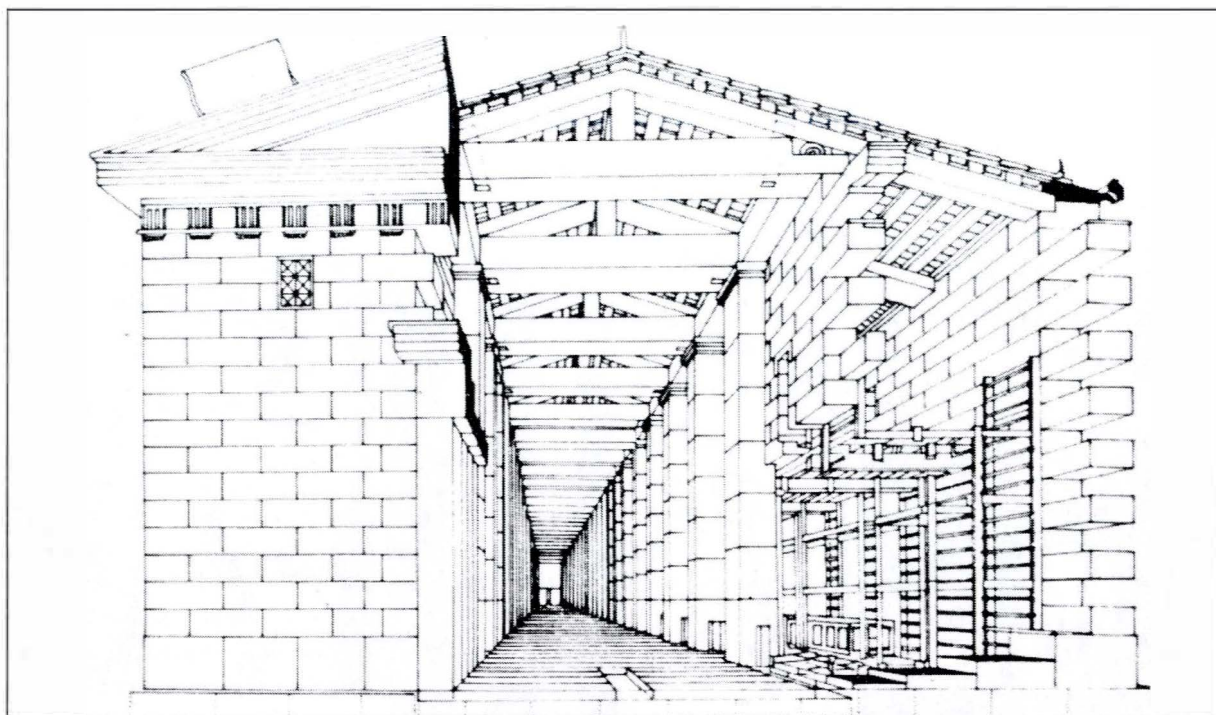


Fig. 2.26. Esquema de estructura de las Atarazanas del Pireo

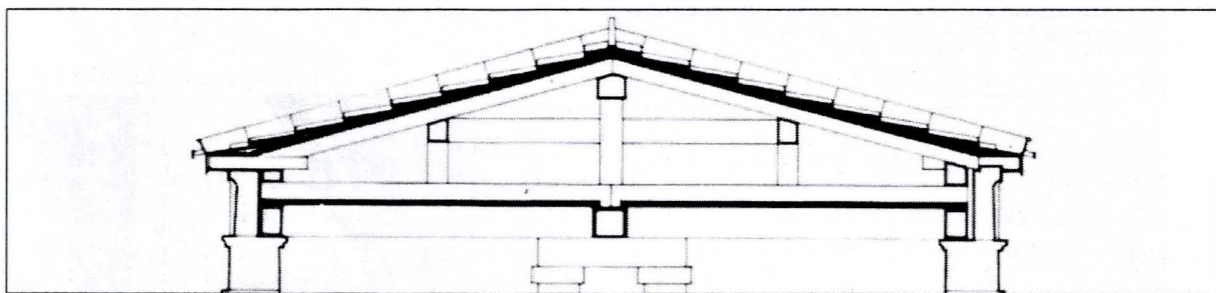


Fig. 2.27. Esquema de estructura de cubierta a dos aguas

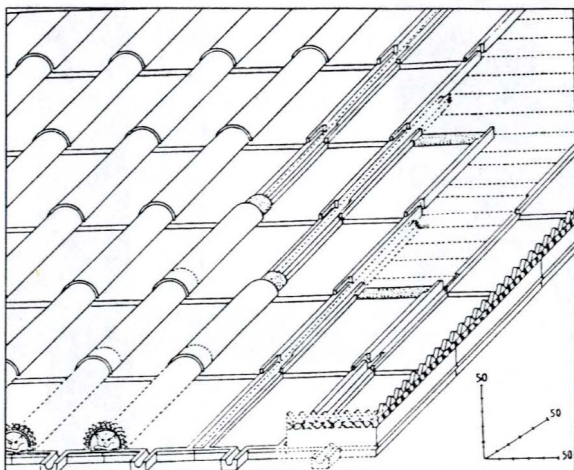


Fig. 2.28. Acabado de cubierta



Fig. 2.29. Restos del Bouleuterión

simple, (Fig. 2.27) y se coloca directamente sobre el entablamento. Las tejas, en un principio son unas piezas de terracota coloreada o de mármol, unas planas y otras curvas, recibidas sobre un lecho de arcilla. En el contorno se colocan *acróteras* para tapar las tejas curvas por delante, dando lugar a una forma que será exhaustivamente usada en los siguientes dos mil años (Fig. 2.28).

### 2.3.2.7 Los acabados

Por lo que sabemos se trata de obras para revocar o pintar con objeto de proteger el mármol, tan dificultosamente trabajado. Aún no está suficientemente definido ni el tipo de pintura, con mucho cuerpo en cualquier caso, ni la gama de color. En este aspecto conviene recordar que la civilización griega incorpora un componente cromático que nos es difícil asimilar a sus formas. Las estatuas, que hoy aparecen magníficas en su desnudez pétreo, parece que estaban pintadas de color carne y tenían ojos de vidrio y pelo natural. En la casi inmediata época romana ya se despintaron y lucen sólo la coloración que les presta el mármol. El Renacimiento consagra esta moda estética, a la fuerza, pues los restos que se encuentran están despintados, y así llegan hasta nosotros.

En el orden dórico se dejan sin pintar las columnas y el arquitrabe y se pintan las metopas y el frontón en colores rojos y azules, probablemente a base de yeso endurecido sobre un vehículo oleoso y pigmentos pétreos finamente molidos.

## 2.4 Otros edificios

Como hemos señalado al principio, la construcción arquitectónica griega destaca por su obsesiva dedicación a los templos. No obstante, existen otras ruinas, en número escaso, que permiten adivinar alguna actividad constructora más diversificada. El hecho es que de esas ruinas, excepto en el caso de los teatros y de las obras auxiliares de los estadios, apenas se pueden deducir datos que permitan la descripción del proceso constructivo.

### 2.4.1 Bouleuterión de Olimpia

Del edificio, dedicado según se cree a las reuniones de los consejos de ancianos, apenas quedan algunas gradas (Fig. 2.29) y la voluntariosa explicación que de ellas dan algunos autores. Es previsible que su esquema constructivo fuera similar al de los templos, con cubiertas apoyadas sobre entramados de madera y columnas de piedra, aunque el resto de la estructura probablemente fuera de materiales menos nobles. Capaz, según Kostof, para 700 personas, permite suponer, al menos, la existencia de una cierta actividad en la construcción de edificios de utilidad social.

### 2.4.2 Stoas

La *stoa* es un pórtico cubierto de uso múltiple, alternativa de la plaza descubierta, y puede ser el antecedente de las basílicas romanas. Aparecen contiguas a lo que hoy consideraríamos centros comerciales, es decir, agrupaciones de tiendas y establecimientos de atención al público, aprovechando su fachada posterior. Aunque sólo han quedado restos de los cimientos de este tipo de conjuntos, se supone que estaban contruidos con pilares de madera o piedra sobre los que descansaba una cubierta a una o dos aguas.

### 2.4.3 Teatros

Sólo quedan los restos, magníficamente conservados en algunos casos (Fig. 2.30), de las gradas y los cimientos del muro posterior al escenario. La técnica acústica es excelente y aún hoy es posible comprobarla: cualquier pequeño ruido en el escenario se recoge perfectamente en todo el anfiteatro, a pesar de la ausencia del muro posterior sobre el que se reflejaba la voz. Se construyen a media ladera, situación que justifica Vitruvio para evitar inundaciones y mejorar la acústica, a base de excavar la roca o de efectuar rellenos muy sólidos.

El escenario tiene un fondo muy pesado y se colocan entre las gradas unas ánforas afinadas con las notas musicales para mejorar el reverbero de la voz.

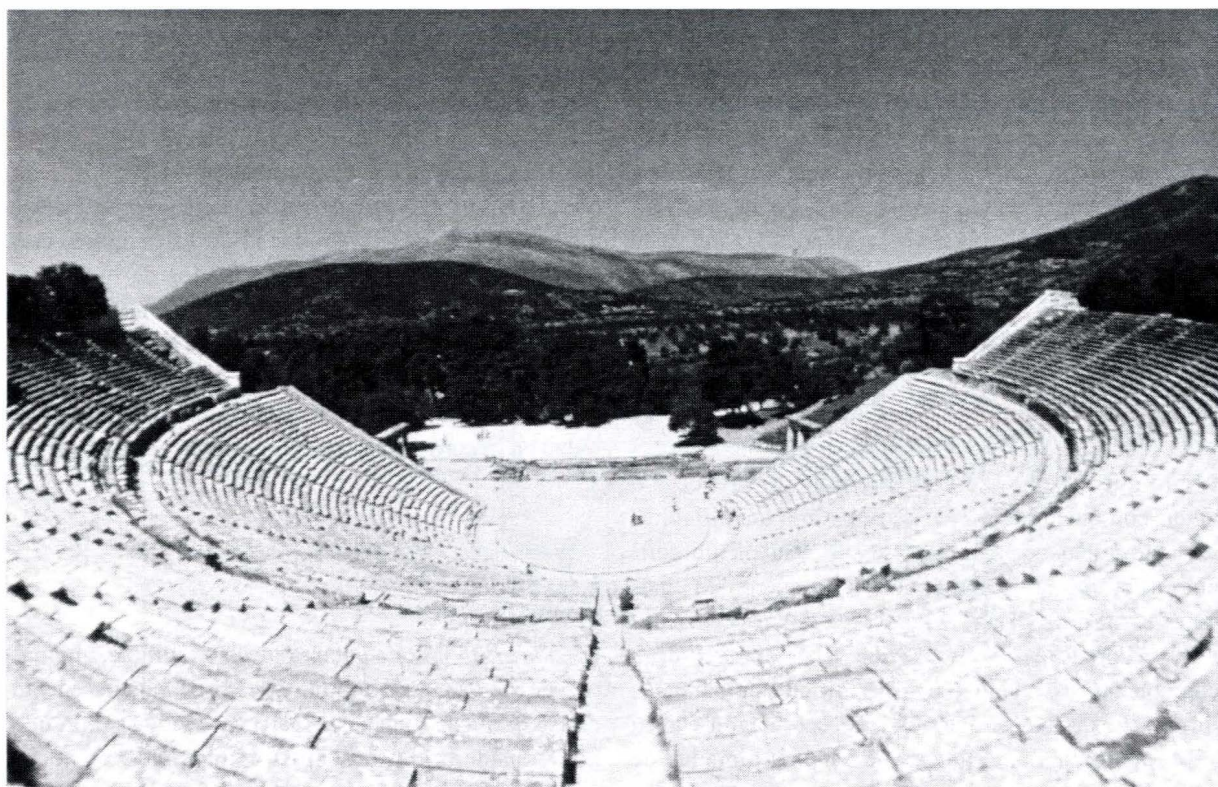


Fig. 2.30. Teatro de Epidauro



Fig. 2.31. Arco del estadio de Olimpia

#### 2.4.4 Estadios

Con la misma parquedad de restos que los otros edificios, se sabe que construyeron estadios en los que desarrollar actividades deportivas. Sorprendentemente, en ellos aparecen algunos ejemplos de arcos perfectamente labrados (Fig. 2.31) y aparejados en lo que se suponen eran construcciones auxiliares. En este punto cabe un interrogante sobre ese elemento y su marginación en la construcción de templos. El hecho de que, además, se tengan noticias de otros arcos de mucha luz, 13 m, como el de las Atarazanas del Pireo, hace suponer que su utilidad y su construcción eran perfectamente conocidas por los constructores griegos. Quedará siempre la duda de si fue el problema de las formas, poco adecuadas al rigor del diseño clásico, lo que desaconsejó su uso, o si se deshechó como recurso constructivo ante la dificultad de contrarrestar los empujes por medio de elementos que respondieran a unas proporciones canónicas.

#### 2.5 El legado griego

Esta forma de construir va a desaparecer con el final de la civilización helénica. Si se quiere buscar una fecha puede servir el año 323 en el que muere Alejandro el Magno y con él la presencia política de las ciudades griegas en la historia antigua, aunque aún se construirán así templos que se denominan helenísticos para diferenciarlos de los clásicos, sobre todo en la Magna Grecia, al sur de la península italiana. Estarán presentes en el nacimiento de otro gran sistema, el de la construcción arquitectónica romana, y de ellos se extraerán muchas sugerencias, pero el sistema constructivo habrá muerto, quizás para siempre. Lo que parece que goza de muy buena salud, demostrada a lo largo de 2.500 años, son las formas asociadas a este esquema, formas que lo limitaron y que, probablemente, fueron la causa de su muerte.



## 3 Construcción arquitectónica romana

### 3.1 El escenario

Con este nombre se conoce la construcción arquitectónica correspondiente a la Roma antigua. El hecho de ser el primer imperio geográfico de la historia, con una extensión territorial que englobaba casi todo el mundo conocido, obligó a sus administradores a superar cualquier límite y a crear una industria de la construcción sin precedentes.

Forzados por la necesidad de atender las demandas ingentes de la administración de sus territorios y ayudados por el carácter geográfico de su estructura, que los liberó de las servidumbres de cualquier área concreta y les permitió incorporar al tronco común de origen ingenieril y pragmático todos los sistemas útiles de otras culturas, los constructores romanos crearon casi todo el repertorio constructivo que ha funcionado, con variaciones debidas a las distintas mentalidades existentes en cada etapa histórica, durante diez y nueve siglos, hasta que las estructuras se pueden definir numéricamente y aparecen materiales auténticamente nuevos como el acero y el cemento Portland.

Cronológicamente sus sistemas constructivos se desarrollan desde la segunda centuria adC. hasta los inicios del s. IV, entendiendo estas fechas en toda su latitud y relatividad.

En su origen están en contacto con dos culturas arquitectónicas, la etrusca y la etapa helenística del arte griego, y ambas dejan su impronta en los esquemas romanos. De los etruscos permanece, entre otros conceptos, el de recubrimiento de los muros, las cubiertas de teja y madera y, lo que es más decisivo, una actitud muy favorable hacia el uso de los elementos arqueados. De la cultura helenística, sobre todo, las decisivas

formas clásicas. Modificada esta mezcla de forma sustancial por unos conceptos radicalmente distintos de los griegos en los que prima el pragmatismo, aparece como resultado la arquitectura romana y sus potentes sistemas constructivos.

La influencia de Grecia sobre algunos aspectos de la cultura romana es muy profunda: se habla griego entre las personas cultas hasta el s.I, la mitología griega se acepta sin apenas modificaciones, y las formas arquitectónicas helenísticas se asimilan casi directamente, pero si en su origen sirven para construir templos fundamentalmente, en Roma van a ser la base de todo tipo de edificios mediante un proceso de industrialización y adaptación totalmente original.

En el 214 adC. los romanos conquistan Siracusa, en el 192 vencen a Filipo V de Macedonia y en el 148 toman Corinto. Estas conquistas y su consiguiente botín de estatuas, vajillas, telas, pinturas, etc., producen un gran impacto, pero se manejan más como un cierto coleccionismo que como la asimilación de toda una cultura estética. Al principio se importan estatuas griegas auténticas, pero a la larga se acaba creando un mercado de copias de factura confusa, ya que el gusto romano no exige, apenas, pureza de estilo. Ésta será una inteligente característica del Imperio: los romanos copian, en casi todos los ámbitos, todo lo que consideran útil de cualquier cultura y lo adaptan a su conveniencia mejorando su uso, aunque con ello se pierda pureza en las intenciones. Igual que copian las estatuas copiarán los edificios sin que les preocupe excesivamente la calidad artística del soporte.

A partir de todos estos antecedentes se produce, durante las épocas de Sila y Julio César, la cristalización definitiva de las formas arquitectónicas y, con

todas las reservas, se puede decir que nace la arquitectura romana.

A pesar de esa relación tan directa con la cultura helénica, las diferencias de mentalidad y objetivos entre las ciudades-estado griegas y la organización imperial romana, debían irremediablemente reflejarse en los resultados concretos, por más que las formas se pretendieran iguales, o, por lo menos, se pretendieran inspiradas las unas en las otras.

La aparición de la nueva filosofía constructiva se produce, fundamentalmente, por tres razones.

### 3.1.1 Las necesidades políticas

Una organización tan compleja que propició la existencia de ciudades de grandes dimensiones -Roma llegó a tener más de un millón de habitantes-, y que se extendió a la totalidad del mundo conocido, debía atender un gran número de necesidades de infraestructura, tanto las necesarias para administrar los territorios dominados: vías -en tiempos de Caracalla la red sumaba más de 30.000 Km-, puentes, campamentos militares, almacenes, puertos, etc. como la relativa a la urbanización local: circos, acueductos, -algunos de grandes dimensiones, como el de Tarragona, de 35 Km, o el Cartago de 132 Km-, cloacas, templos, baños, capitolios, etc. Ello dio lugar a la creación, desde el principio, de una poderosa industria de la construcción, unificada en sus criterios y que impuso en todo su ámbito sus modos y sus objetivos.

Esta industria lo es desde antes de que dispusiera de materiales y métodos durables. Ello se debe a que si bien la forma política de imperio se produce casi coincidiendo con la era cristiana, desde el punto de vista de la complejidad administrativa es un imperio desde dos siglos antes. Quizás le faltaba la estabilidad que permitió reconsiderar los medios de construcción para hacerlos evolucionar hacia una mayor durabilidad y una mayor lógica en el aprovechamiento de los materiales, pero las necesidades de uniformidad, capacidad de satisfacer la demanda administrativa y bélica, aprovechamiento de los materiales, etc. ya estaban presentes en el proceso constructivo.

Esta capacidad industrial alcanzó cotas sorprendentes. Existen, desde la etapa republicana, almacenes de materiales de construcción con gran abundancia de género. Unos elementos tan singulares como las columnas de mármol egipcio del Panteón, pudieran proceder de las existencias de un almacén en el que se han encontrado otras muy similares, y en Ostia se han encontrado bloques de mármoles de distintas procedencias, marcados y numerados para su talla en lo que parece una actividad comercial cotidiana.

Toda esta actividad y estas necesidades obligaron a legislar algunos aspectos de la actividad constructora. Se establecieron unos servicios obligatorios como mano de obra, similares al servicio militar actual, para los componentes de los gremios o colegios que estaban, a cambio, protegidos por las leyes. También existía una reglamentación sobre materiales, al objeto de garantizar los suministros a las obras públicas, y cuando se vulgariza el uso del ladrillo, a partir del s. II, las medidas son normalizadas en todo el imperio, y se hace obligatorio el uso de sellos con la fecha de fabricación. Se produce entonces una decidida intervención de la autoridad estatal en la industria de la construcción y se puede seguir el proceso por el cual los hornos y las minas pasan a manos de la administración imperial, con lo que se facilitan y abaratan los grandes programas de obras públicas.

La ciudad de Roma, que alcanzó su máxima actividad constructora en tiempos de Adriano, dispuso de ordenanzas municipales y funcionarios dedicados a vigilar su aplicación y a mantener en servicio las obras públicas. (Faventino, que ha dejado una copia reducida de Vitruvio, fue responsable del alcantarillado), teniendo, incluso, cuarteles de bomberos.

Desde Julio César muchos emperadores son conocidos por sus programas urbanísticos. Se conocen planes de viviendas a través del testimonio de Tácito, y gracias a él, sabemos que Nerón limitó la altura de los edificios, desecó las marismas de Ostia con materiales de desecho, aprovechando el descenso de las naves que llevaban trigo a Roma, dictó normas contra incendios, colocando en los lugares públicos medios para su extinción, y puso guardias para vigilar que el agua no fuera monopolizada por algunos particulares, etc. No obstante, cuenta Tácito, había quien opinaba que la

antigua disposición de las calles y de las casas de Roma se compaginaba mejor con la salubridad, porque la estrechez de las calles y la altura de los edificios no dejaban entrar el calor del sol, mientras que después de las nuevas normas, los espacios libres estaban expuestos a mayor calor. Todos estos problemas, similares a los de cualquier ciudad actual, ya en el s. I, se complicaron a partir del s. II por un notable aumento de la población, que obligó a adecuar los edificios públicos y la normativa urbanística mediante enormes inversiones. Cuando Roma alcanza su mayor número de habitantes y los solares útiles escasean, se crece en altura y se regula el espesor de los muros para no desperdiciar terreno, fijándose la anchura de las calles y las tasas de mantenimiento de los servicios.

También tuvieron lo que hoy llamaríamos iniciativa privada y se construían, para alquilar en muchos casos, viviendas con programas parecidos a los actuales.

### 3.1.2 Las innovaciones tecnológicas

Parece evidente que con el sistema de construir griego era imposible atender a todo el inmenso programa constructivo romano. La solución tampoco estaba en las elementales fórmulas de los pueblos colonizados, aunque en ellas hubiera cosas aprovechables. Los constructores romanos debieron “inventar” casi todo, acuciados por las exigencias sociales y políticas, y en ese trabajo encontraron una inesperada ayuda en el polvo puzolánico, *pulvis puteolani*, “existente desde Cumas al promontorio de Minerva en Puteoli”, como indica Vitruvio, que mezclado con mortero de cal produce un material de características parecidas al hormigón actual. Este material, cuyas bases de uso fueron totalmente empíricas, pues los romanos jamás supieron la razón de su comportamiento, llegó a utilizarse de forma general en todo el imperio, aunque el resultado viniera condicionado por las características concretas que presentaba en cada zona, teniendo como referencia, sólo, el aspecto inmediato del material. Hoy sabemos que su aportación al proceso de fraguado del mortero de cal se debe a los silicatos que contiene, pero en la época romana sólo se podía establecer su comportamiento después de pruebas prácticas muy

rigurosas sobre las mezclas. Existió un cierto comercio organizado de las variedades más seguras -desde los años 41 a 54 Claudio lleva a Roma puzolana para construir el puerto de Ostia-, aunque la de los alrededores de Roma, en donde se encuentra mezclada con otros tipos de ceniza, se usaba normalmente a pesar de que se sabía de su poca consistencia. Los trabajos hidráulicos de Agripa durante la época de Augusto tuvieron que rehacerse veinte años más tarde.

Es necesario distinguir, desde el punto de vista de sus características y posibilidades como material de construcción, la argamasa, es decir, la mezcla de puzolana con mortero de cal, que tiene propiedades hidráulicas y alcanza una notable resistencia a la tracción, del mortero de cal simple que es importado de la Magna Grecia, donde se usaba desde muy antiguo. Puede que el descubrimiento del cocido de la cal fuera fortuito, por un incendio y el posterior aprovechamiento del material desmenuzado, pero el caso es que su uso es antiguo, desconociéndose si los griegos tuvieron noticias del proceso.

Las posibilidades que presentaba el conjunto de mortero de cal más polvo puzolánico influyeron decisivamente, tanto en las fábricas de muros como en el elemento más representativo de la construcción romana: el arco y sus formas asociadas.

En un principio su uso se limitó durante dos siglos al manejo cotidiano de los constructores, en los muros, pues ahorra mortero de cal, -la puzolana se usa sin cocer-, y facilitaba el fraguado, aun en el caso de trabajos en lugares húmedos, sin que sus posibilidades influyeran en la configuración de los proyectos.

Se elegían cuidadosamente los *caementa*, es decir, los áridos que se le incorporaban, desde las piedras duras y densas de los cimientos hasta las tobas volcánicas en las bóvedas, siempre con gran criterio y un cierto fundamento científico.

También se utilizó en un principio en los arcos, siempre como una solución menor y de poca entidad arquitectónica, y sólo después de que se construyera con ella la *Domus Aurea* de Nerón, pasó a constituir, con las importantes consecuencias para la arquitectura que veremos en su momento, un elemento decisivo en la

construcción romana, generando un nuevo concepto trascendental: la arquitectura a partir de la descripción del espacio interior. Desde ese momento las posibilidades fueron ilimitadas, llegándose, en el corto plazo de sesenta años, a construir la cúpula vertida de mayor luz construida jamás: el Panteón de Adriano. La bóveda que probablemente cubría el Aula Regia de Domiciano pudo haberla superado, en el mejor ejemplo de palacio imperial que nos ha quedado.

La capacidad de análisis y el sentido práctico que su propia dimensión exige a los romanos se manifiesta de forma muy evidente en todo lo relacionado con la construcción, llegando, en el manejo de las técnicas que les son propias, al más absoluto dominio, con unos sistemas que permiten trabajos de una gran complejidad y riesgo. Tanto por las técnicas inmediatas de albañilería, como por los recursos puestos de manifiesto en los grandes proyectos, la construcción romana alcanza cotas de desarrollo que sólo se van a igualar, aunque por razones distintas, en la construcción gótica, aunque, en este caso, se va a tratar de una industria menos versátil, más especializada y menos universalizada en el repertorio constructivo.

Los sistemas de trabajo manual han llegado hasta hoy sin apenas variación. Casi todas las herramientas del oficio, paletas, reglas, escuadras, destales, etc. fueron definidas exactamente iguales a las de hoy y sus métodos de construir han sido los más eficaces hasta que la mecanización y el cálculo modifican los conceptos básicos de la construcción. Incluso, ante retos a primera vista tan lejanos a sus posibilidades, y aún dificultosos para nosotros, como las nivelaciones kilométricas necesarias en los larguísimos acueductos, con pendientes inferiores al 1 por 1.000, encontraron la respuesta adecuada: con la ayuda de las mesas de nivelación, fabricadas en madera, consiguen resultados sorprendentes a través de topografías muy accidentadas, llegando con la cota precisa a los depósitos de abastecimiento de las ciudades. Antes han represado las aguas en azudes, algunos de los cuales aún están en uso en España.

En todo el ámbito del imperio se van a acometer trabajos parecidos en su intención: acueductos, termas, circos, baños, basílicas, templos, etc., situados a miles de kilómetros de distancia, y resueltos dentro de un

mismo nivel de calidad, a pesar de las diferentes circunstancias de todo tipo que condicionan cada uno de ellos.

Ello es posible dada la sorprendente y eficaz unidad que los romanos logran imponer en todas las áreas en las que dominan. Se unifican técnicas y sistemas sin por ello renunciar a las ventajas de los medios locales. Las vías de comunicación se manifiestan fundamentales en ese proceso de universalización de la cultura, que no sólo se circunscribe a la técnica.

También es importante el desarrollo de la organización de las obras. En tiempos que aún hoy son sorprendentes, acometen y acaban construcciones de una gran complejidad. El Coliseo se construye con ocho equipos en tres años, tiempo similar al empleado en el Panteón de Adriano.

### 3.1.3 Los elementos arqueados

Pero al margen de las ventajas que el uso de la puzolana pueda significar en el proceso constructivo, los elementos arqueados presentan otras, en cualquier otro material, que fueron magistralmente aprovechadas por los constructores romanos. En primer lugar, con ellos no es imprescindible ninguna relación entre una luz y las dimensiones de las piezas necesarias para cubrirla. En segundo, es posible techar plantas irregulares, o de contornos curvos, si se resuelven los problemas de entrega de las cúpulas y bóvedas a esos perímetros. Por último, introduce un elemento de indudable valor estético y de gran novedad, que deberán integrar en los estrictos órdenes clásicos: la curva. Y esto no va a ser fácil, aunque lo que algunos consideran falta de rigor estilístico se convierte en una virtud generadora de otra estética, quizás menor, pero no por ello menos digna.

Lo que para los griegos fue el constante intento de resolver el problema de colocar piedra sobre piedra, para los romanos se convierte en un repertorio amplísimo de elementos arqueados en el que las formas se simulan o se cambian para adaptarlas a esa facilidad constructiva (Fig. 3.1), lo que es posible dada la poca exigencia que plantean a los estilos.

## 3.2 La tipología arquitectónica

Como ya hemos dicho los romanos construyen de todo y en proporciones gigantescas. La tipología arquitectónica es similar a la que se pudiera definir hoy en un entorno cultural avanzado, con unas mínimas limitaciones propias de la época. Edificios públicos y privados, obras de ingeniería civil y militar, programas de viviendas sociales, centros comerciales, auditorios, baños, estadios en los que es posible celebrar batallas navales, palacios, residencias de veraneo, algunas de lujo legendario como las de Lúculo y Hortensio, cercanas a Nápoles, en las que se instalaron acuarios gigantescos, etc. Cualquier tipo arquitectónico está representado en el repertorio romano. El salto cualitativo sobre la inmediata construcción griega es de tal magnitud que apenas es posible explicar la pervivencia de los modelos formales que inspiraron todo ese desarrollo.

El proceso de creación de ese repertorio es bastante rápido. En la Roma capitalina, que en el s.I adC. tiene más de 500.000 habitantes, se mantiene una cierta lucha entre las viejas tradiciones de austeridad y el lujo posible que se observa en la Magna Grecia, de tal modo que Cesar Augusto vive en una buena casa, pero no en un palacio, matizando el concepto de "buena casa" a una probablemente de adobe. Hasta que Nerón construye la *Domus Aurea*, proyectada por los arquitectos Severo y Cébere, los emperadores no disponen de un palacio, aunque Tiberio tuvo una villa muy lujosa en Capri por la que había pagado 10 M de sextercios. Paradójicamente, las casas de campo, que se usaban como segunda residencia desde el S. II adC., en Campania sobre todo, son de un gran lujo. La de Cicerón costó 3,5 M de sextercios, y aún tenía otra de 900.000 sextercios, lo que debía ser mucho dinero si se tiene en cuenta que el litro de aceite costaba en esa época dos sextercios.

Augusto acomete la planificación urbanística de Roma, completando la prevista por Julio César, cuyos planes gigantescos comprendían la desviación del Tíber para unir la zona del Vaticano con el Campo de Marte.

Estos trabajos, según Cicerón, fueron iniciados ya en el año 54 adC. y se acometieron a expensas del entonces

ces cónsul, quien para la adquisición de los solares invirtió la astronómica cifra de 100 millones de sextercios.

Los trabajos de urbanización sistemática de Roma fueron continuados a lo largo de toda su historia, hasta los inicios del s. IV. La ciudad fue dividida en catorce distritos, se encauzó el Tíber, se reconstruyeron las puertas del antiguo muro de Servio; Agripa trajo a Roma un nuevo acueducto, el Agua Virgen, y creó las primeras termas públicas monumentales en el Campo de Marte. Domiciano, Caracalla, Trajano, Magencio, entre otros, han pasado a la historia por sus gigantescas realizaciones y programas, a veces de una magnitud difícil de entender hoy, a pesar de nuestros medios y capacidad organizativa.

La riqueza y el grado de habitabilidad de las casas de vivienda fue creciendo a partir del s. I adC., alcanzando un nivel muy alto en el s.II, con instalaciones sanitarias y conducciones de agua, de plomo servidas por depósitos instalados en la cubierta de los edificios que se llenaban a cubos por industriales especializados.

## 3.3 Las fábricas

### 3.3.1 Los cimientos

Parece que el concepto de cimiento no se modifica a lo largo de todo el periodo. Lo que pudo sufrir variaciones fueron los conocimientos empíricos que se manejaron en cada area geográfica, o para cada tipo de edificio. Con la capacidad para la sistematización de los conocimientos prácticos que demuestran los constructores romanos, no es descartable que acabaran teniendo doctrinas eficaces, válidas en casos concretos, aunque siempre sujetas al albur de una deficiente descripción de las circunstancias reales de aplicación. Un ejemplo de este tipo de conocimientos puede ser el refuerzo anular, concéntrico a la cimentación principal, del Panteón de Adriano que según un análisis moderno supone una mejora al impedir el reflujos de las tierras comprimidas por la carga central. De todas formas esto es una suposición ya que sólo tenemos el mínimo testimonio de Vitruvio: "cavarás hasta lo sólido y macizo", para saber de sus conocimientos.

Se entienden como un elemento necesario para repartir las cargas en el estrato idóneo, sin que sea necesaria ninguna precaución cuando lo sólido y macizo es superficial. Existen bastantes ejemplos de fundaciones directas sobre terrenos rocosos superficiales.

El aparejo de los cimientos es poco cuidadoso, primando el tamaño de los sillares sobre su correcta colocación. Los del atrio del Panteón de Adriano son, incluso, excéntricos con respecto a los ejes de las columnas que sobre ellos descansan. En cualquier caso el tamaño inmenso de los sillares evidencia la necesidad de suprimir mortero en los cimientos, puede que debido a las dificultades de fraguado, o a la constatación empírica de la menor resistencia de las fábricas con excesivo mortero. Cuando se usa el *opus caementicium* se eligen las piedras más duras y densas para los cimientos.

Sobre la proporcionalidad entre la carga y la anchura de cimientos sólo disponemos de la recomendación de Vitruvio, que aconseja unos cimientos mitad más anchos que la pared que sobre ellos descansa. En algunos casos esta anchura es mayor, pero no mucho más. Los cimientos del Panteón miden 7,5 m para una pared de 6 m, aunque como hemos dicho, están reforzados por un segundo anillo concéntrico.

### 3.3.2 Los muros

En el origen, como casi todos los pueblos guerreros, construyen muros a base de grandes piedras encajadas para mejor resistir los asaltos. Los paramentos son muy lisos y la talla valora más el encaje de las piezas que su horizontalidad, por lo que se emplean, para evitar el excesivo trabajo del transporte, las piedras con toda su dimensión, adaptándolas al hueco.

Pero a partir del momento en el que es necesario atender una mayor demanda de obra que la generada por el aspecto defensivo de los campamentos, se inician sistemas que permiten la industrialización y el menor coste. Desde los primeros tiempos de la República se ingenian fórmulas y se seleccionan materiales que faciliten la construcción, tendiendo siempre a la eficacia constructiva (Fig. 3.2).

Esa será la característica más importante de los muros romanos: son fábricas construidas con criterios economicistas y con intención industrializadora desde los primeros ejemplos. La idea es racionalizar el trabajo obteniendo la máxima rentabilidad estructural de cada elemento. Se diferencian los elementos resistentes, que transmiten las cargas, de los de relleno, a los que se ligan por medio de piezas voladas, aun dentro de un mismo paramento. El ahorro es indudable: sólo son necesarios grandes sillares, con un mejor trabajo de talla y mayores dificultades de colocación, para poco más del 50 % del muro, y la resistencia del conjunto puede ser casi la misma (Fig. 3.3).

Este sistema, cuyo origen probablemente sea cartaginés y se derive de las estructuras de madera rellenas de adobe o mampuestos, es utilizado con todas las variantes posibles de relleno (Figs. 3.4, 3.5 y 3.6). De él existen ejemplos en las murallas de Toledo y en algunos recintos del norte de África, de datación y adscripción dudosas (Fig. 3.7).

Las obras de menor importancia, o aquellas a las que no se exigía una resistencia o durabilidad excesiva, se construían con adobes, mejor o peor recubiertos por piedras diversas y revocos, techadas con cubiertas de madera, usándose la terracota como revestimiento y tejado. En Tarragona, en donde vive Augusto durante siete años, se han descubierto recientemente adobes muy bien fabricados y en perfecto estado de conservación en el interior de algunos tramos de las murallas. Naturalmente, de este tipo de trabajos apenas se encuentran restos debido a su poca resistencia al tiempo, y sólo se conoce de su existencia por hechos casuales.

Probablemente la gran revolución constructiva de la que se ufanaba Augusto, quien, según frase de Suetonio, “recibió una Roma de barro y dejó una Roma de mármol”, consistiera en la demolición de los edificios públicos de la etapa republicana, construidos en adobe, y su reconstrucción en piedra. Se sabe que se reconstruyeron más de 80 templos, aunque no hay datos sobre el carácter de esta reconstrucción que bien pudo ser una sustitución de materiales, lo que modificaría totalmente su carácter. Las canteras de Carrara fueron puestas en explotación en la época de Julio César y en la de Augusto estaban a pleno rendimiento.

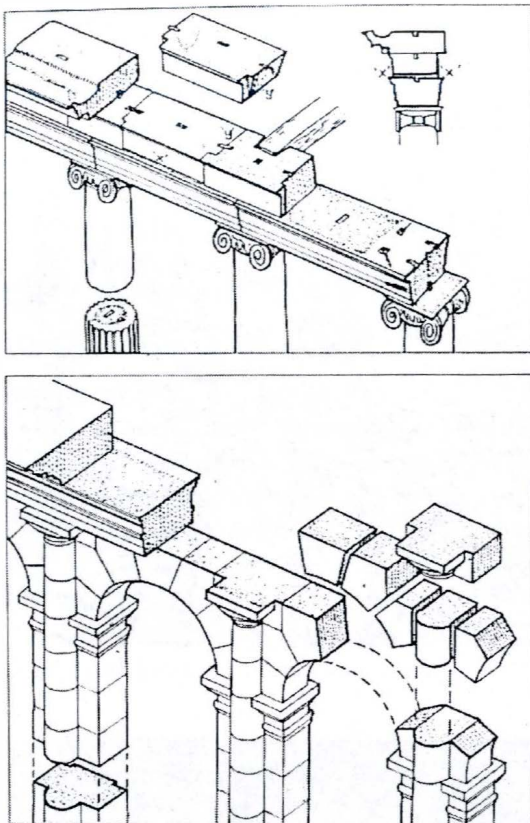


Fig. 3.1



Fig. 3.2 Aparejo primitivo. S III adC.

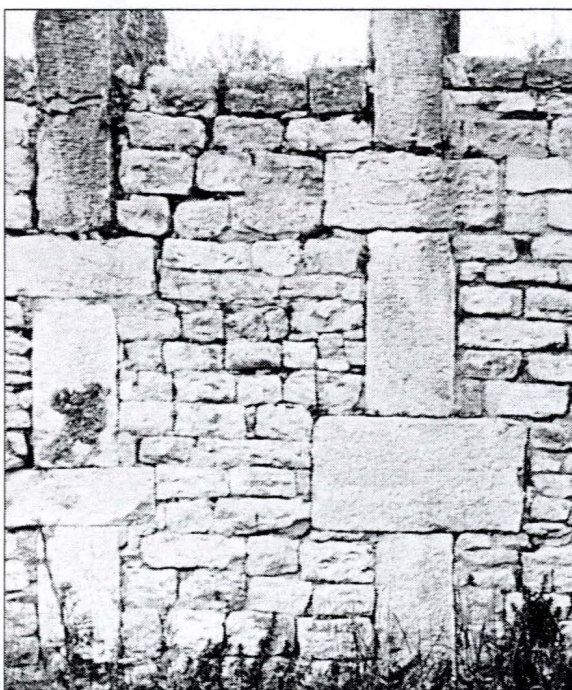


Fig. 3.3 Aparejo en bastidor con sillarejo

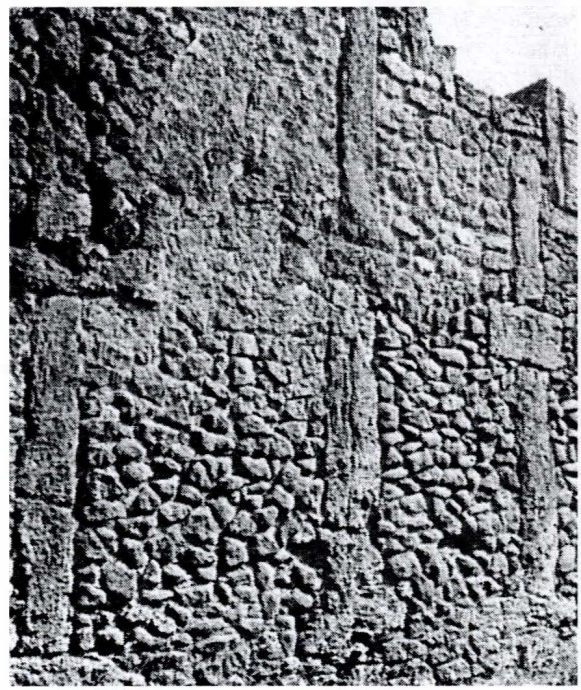
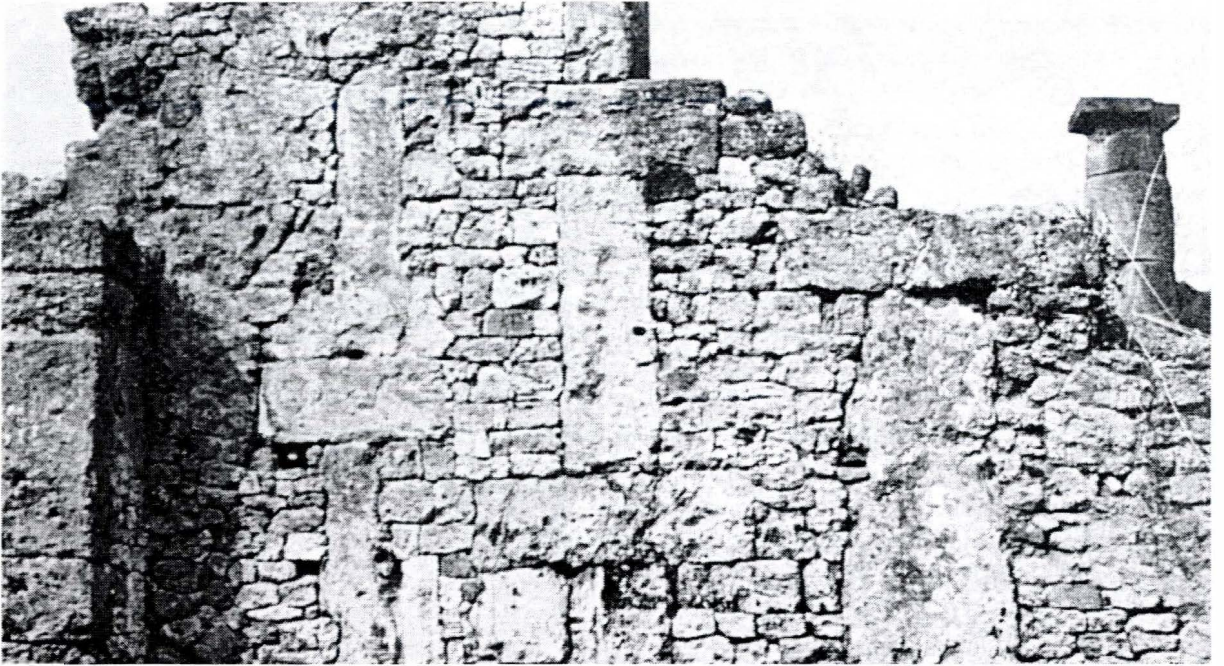


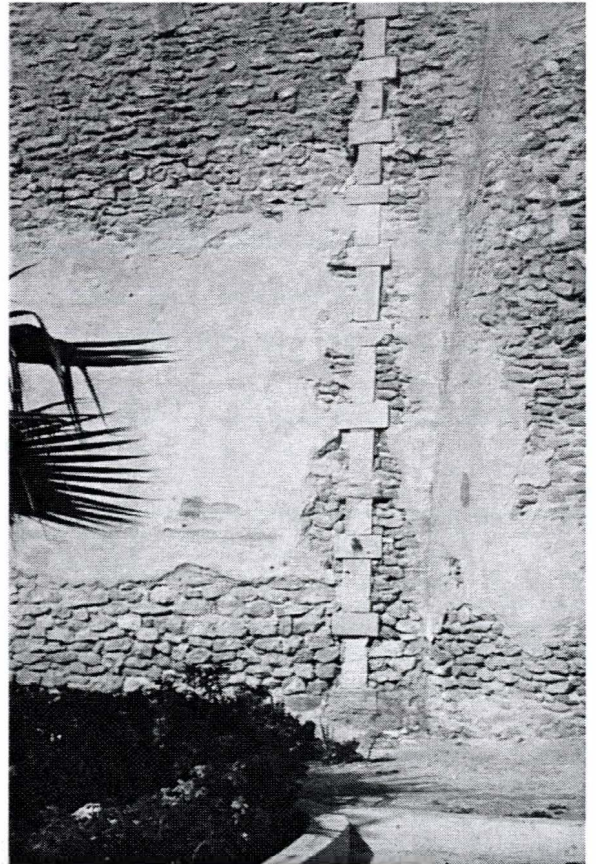
Fig. 3.4 Aparejo en bastidor con "quasi reticulatum"



*Fig. 3.5. Aparejo en bastidor con mampuestos*



*Fig. 3.6. Aparejo en bastidor formando un ábside*



*Fig. 3.7. Murallas de la Fortaleza de Sfax. Túnez*

El mármol dejó de ser un material raro y caro y se convirtió, en manos de tallistas griegos de técnica y gustos helenísticos, en un material más asequible.

Se “inventan”, o se asimilan, sistemas muy diversos siempre con el mismo concepto. En Pompeya, arrasada por una erupción volcánica en el s. II adC., las paredes se construyen con una mezcla de materiales y unos criterios cuya vigencia ha permanecido a lo largo de diez y nueve siglos (Fig. 3.8 y 3.9).

Pero la gran aportación de la técnica romana al arte de construir, además de este importante cambio de concepto, es la adopción sistemática del *opus emplectum*, su divulgación y la resolución práctica de los problemas que plantea su ejecución. Quizás sea la mejor herencia que deja el imperio a los constructores del medioevo y que hace posible, por la evolución que sufre a través de un uso reiterado e imaginativo, las grandes catedrales del último gótico.

A partir del momento en el que se descubren las ventajas de mezclar la puzolana al mortero de cal, en el inicio del S. II adC., los muros dejan de ser una superposición de mampuestos o sillares recibidos con mejor o peor mortero, y se convierten en un núcleo resistente al que hay que dotar de unas superficies que faciliten su construcción (Fig. 3.10) y que a la vez sirvan de acabado.

Este esquema va a llegar hasta el s. XIX con variaciones, en algunos casos notables, y se compone esencialmente de dos capas exteriores de recubrimiento, una por cada cara, y un núcleo central de relleno a base de trozos de ladrillo, o de mampuestos recibidos con argamasa o mortero de cal. Esta mezcla recibe el nombre de *opus caementicium*, derivado del nombre de los áridos que se utilizan; los llamados *caementa*.

### 3.3.2.1 Las caras del muro

Las caras exteriores deben cumplir dos requisitos. Por una parte deben servir como encofrado al relleno, por lo que deben tener una cierta consistencia, y por otra deben ser el acabado, más o menos definitivo, o regular, si se quiere aplacar o enlucir el muro.

La gran demanda, entendida como un problema práctico por los constructores romanos, planteó desde el principio la necesidad de normalizar ese imprescindible acabado superficial. Hacían falta modelos repetitivos aptos para usarse en casos muy dispares, como sucede hoy con algunas de nuestras piezas de construcción. Este concepto es básico, como veremos, para entender el desarrollo de una de las técnicas más específicamente romanas: el *opus reticulatum*.

El carácter explícitamente independiente del recubrimiento se va a perder durante la Edad Media y se recuperará en el Renacimiento, de forma que sólo con la vuelta a la obra vista y a los aparejos de ladrillo para grandes espesores, se modificará su esquema. No obstante, a partir de esa fecha, época en la que no se dispone generalmente de puzolana, el espesor de las caras exteriores aumenta en proporción al grueso total del muro.

En los edificios utilitarios, en los que no se plantea la necesidad de ese recubrimiento y en los que la robustez de la fábrica exige sillares de grandes dimensiones, aparecen desnudos dando una imagen relativamente falsa de la construcción romana. Este desdoblamiento entre la estructura (construcción) y las formas ornamentales (decoración) se hace evidente en la distinta forma en que evolucionan ambas disciplinas. Mientras que la actividad constructora, industrializada al máximo, alcanza un alto nivel de eficacia, a juicio de muchos autores la calidad estética y artística de los aplacados sufre un proceso de deterioro notable. Los edificios de las últimas etapas son magníficas construcciones deplorablemente decoradas y concebidas.

El aspecto exterior del muro puede ser de tres maneras: dos son originalmente romanas y la otra de clara ascendencia griega, aunque esta última no tenga ninguna relación con la forma de trabajo del aparejo que pretende imitar. Las dos romanas son el *incertum* y el *reticulatum*. Las denominaciones de los tipos de obra siempre se refieren al aspecto exterior, que es el que puede modificarse. El relleno y la anchura no reciben ningún tipo de clasificación, ni en Vitruvio, ni en ninguna otra referencia, si bien Alberti, quince siglos más tarde, advierte sobre la necesidad de efectuarlo de forma ordenada y con piezas regulares y homogéneas de tamaño.

El *incertum* es el aparejo más simple y para su ejecución sólo hay que retocar, y no excesivamente, la cara exterior de los mampuestos. Es la fábrica tradicional de la etapa republicana y se justifica por la gran cantidad de piedra troceada existente en los alrededores de Roma (Fig. 3.11). Una mayor regularidad de los mampuestos y una colocación más correcta genera el *quasi reticulatum* (Fig. 3.12), y, a partir de ahí, por necesidades de normalización e industrialización se pasa casi inmediatamente al *reticulatum* (Fig. 3.13).

Es un tipo de aparejo que permite una gran uniformidad de aspecto, aún trabajado con piezas irregulares, dentro de unas dimensiones aproximadamente semejantes. Estas piezas se pueden manufacturar y almacenar, pero al contrario que los sillares o los ladrillos, no necesitan ser estrictamente iguales y aligeran mucho el proceso de recibido. Se utiliza del s. II adc. al II ddC., preferentemente en Italia, y es desplazado cuando se produce la fabricación industrial de los ladrillos, escasos en el s.I. Vitruvio apenas los nombra, y casi único material a partir de esa fecha.

El hecho es que disponen de una industria de materiales de construcción antes de tener el material idóneo para ella. Las piezas tienen una cara trabajada de forma cuadrada, o romboidal, como base de una pirámide irregular, que es la que se inserta en el muro, comprimiéndolo y sujetándolo (Fig. 3.14).

Al estar colocado según unas líneas inclinadas, el aspecto exterior es más regular que si estuvieran según unas líneas verticales y horizontales cuyos "defectos" son mucho más fáciles de detectar instintivamente si no están ejecutadas con una cierta perfección. Para analizar sus ventajas e inconvenientes hay que tener en cuenta que sólo se trata de un remate y no contribuye a la resistencia del conjunto, que sólo depende de la calidad del núcleo interior. Así se explican los problemas que plantea a Ortiz Sanz y a Perrault, traductores de Vitruvio, entender el sistema descrito muy confusamente por éste. Le ocurre lo que a nuestra obra vista, que resuelve el problema del acabado y la resistencia del muro a la vez, con piezas normalizadas. Su interpretación exacta se ha visto interferida por el hecho de que en algunos casos se encuentra revocado. Durante muchos siglos no se interpretó como una solución al aspecto exterior de la

fábrica, sino como un detalle de ejecución que influía negativamente en su capacidad resistente, lo que parecía contradictorio con la aplastante lógica constructiva romana. Una explicación más plausible para este hecho puede estar en que a lo largo de la vida de una fábrica, a veces se revoca, simplemente para variar su aspecto, tapando acabados anteriores, pero el *reticulatum* fue siempre un acabado superficial.

En la actualidad se usa este sistema, de juntas inclinadas con respecto a cualquier alineación ortogonal, cuando se trata de colocar muchas piezas en superficies grandes sin excesivo cuidado. Así están acabadas las aceras de algunas calles de Lisboa, con *teselas* en *reticulatum*.

El aparejo permite muros de gran longitud, de aspecto regular, sin la servidumbre de controlar las juntas horizontales (Fig. 3.15). El zuncho, que ha sido robado en el ejemplo de la fotografía, es de ladrillos y sirve para regularizar el apoyo de las piezas de *reticulatum*.

Existen muestras perfectas, a pesar de que en todas se producen irregularidades en el alineamiento de las juntas (Fig. 3.16). Se aprovechan sus posibilidades decorativas, lo mismo que va a pasar con nuestro ladrillo visto en la construcción mudéjar y neomudéjar (Fig. 3.17).

### 3.3.2.2 El núcleo del muro

A pesar del uso de la puzolana, que garantiza el fraguado en condiciones difíciles de humedad, es necesario considerar como cuestión previa los problemas que la utilización de morteros de cales grasas aéreas plantea en la fase de ejecución.

En cualquier caso, el dilatado periodo que transcurre entre la fabricación del muro y el fraguado del mortero plantea la necesidad de establecer un sistema que impida el aplastamiento de lo construido, conforme se crece en altura.

Por una parte no es posible subir demasiado el muro en una sola sesión, lo que obliga a una altura pequeña en cada tajo, y por otra es necesario cerciorarse de



Fig. 3.8. Casas de Pompeya



Fig. 3.9. Muro de cerca de la Maternidad de Barcelona

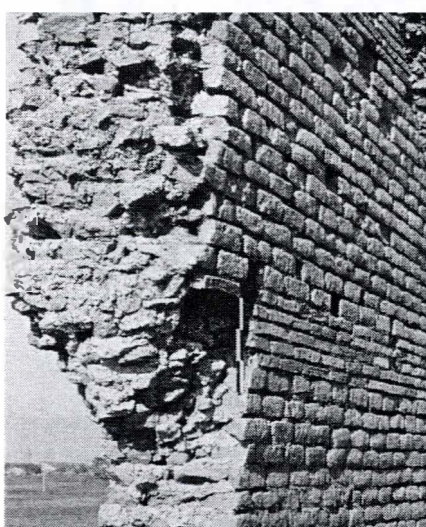


Fig. 3.10 "Opus emplectum" de sillarejo



Fig. 3.11 "Opus incertum"



Fig. 3.12 "Opus quasi reticulatum"

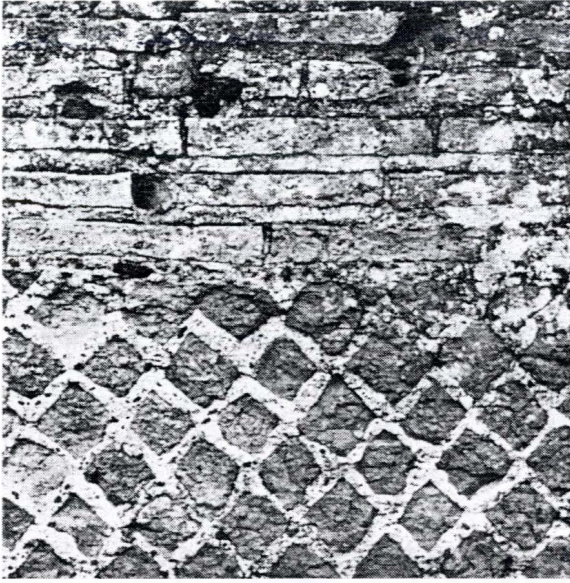


Fig. 3.13 "Opus reticulatum"

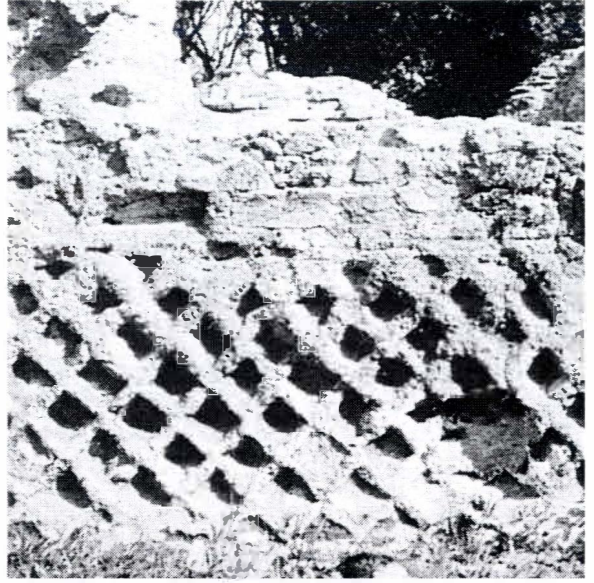


Fig. 3.14 "Opus reticulatum" con las piezas de acabado desprendidas

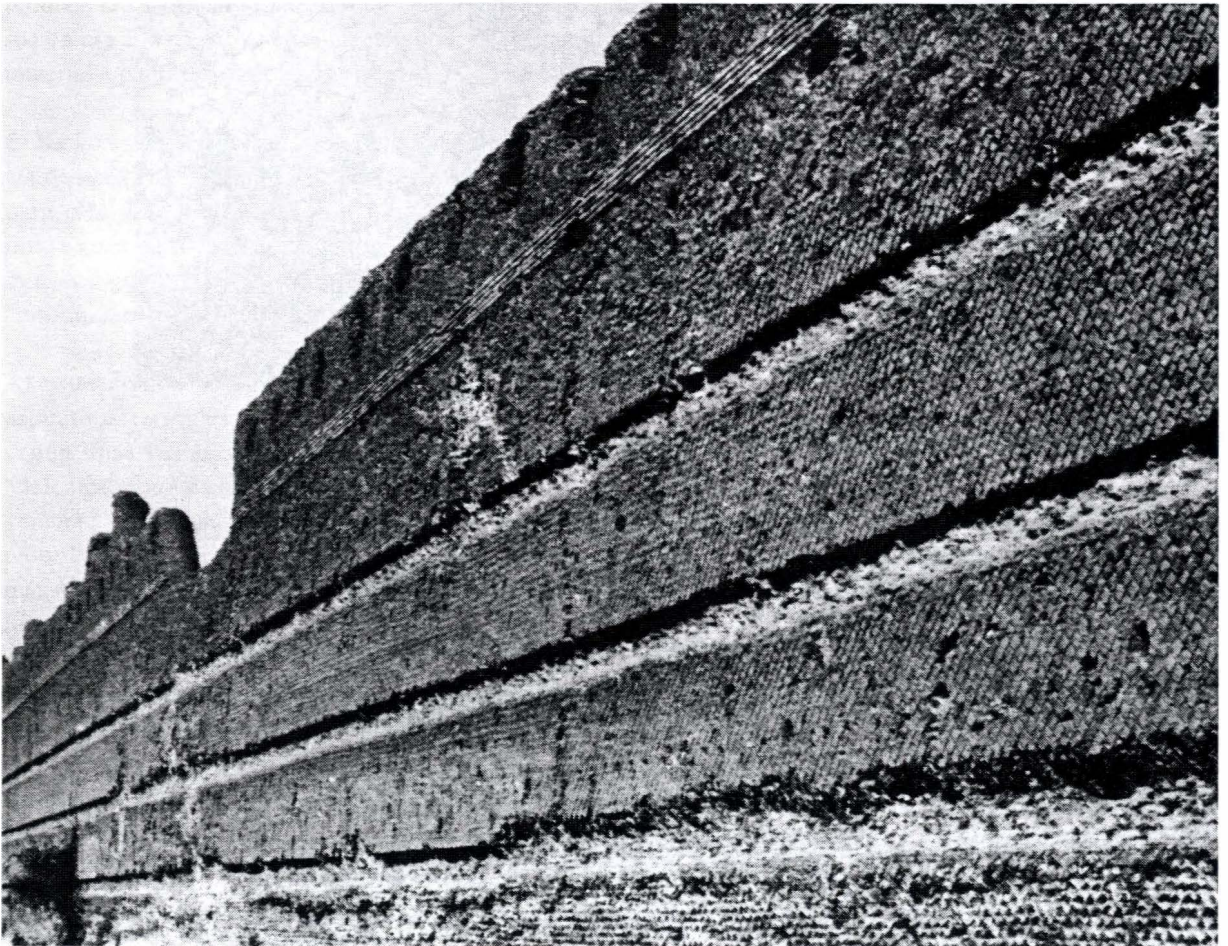


Fig. 3.15 "Opus reticulatum"

que, al cabo de un cierto tiempo, se ha alcanzado la resistencia necesaria. Para resolver esta dificultad se actúa según la experiencia, ya que no existe ningún dato objetivo semejante a nuestros tiempos de fraguado, debido a la heterogeneidad de las cales. La primera precaución que hemos referido puede ser muy beneficiosa para el conjunto. El hecho de que los tajos sean de poca altura, junto con la necesidad de dejar transcurrir un determinado tiempo hasta la fabricación del tramo superior, obliga a continuar los muros por tongadas pequeñas en todo el perímetro de la obra, con lo que la entrada en carga de muros y cimientos es lenta y paulatina. Desaparece, hasta cierto punto, el peligro de asientos diferenciales debidos a la desigualdad de cargas durante la construcción, causa de algunos agrietamientos en nuestras obras, y la lentitud permite una respuesta más homogénea del terreno, que se va compactando hasta alcanzar capacidades de carga sorprendentes. Para conseguir la horizontalidad necesaria, evitar los deslizamientos y marcar los tajos, se recurre al uso de juntas horizontales que se definen en obra por medio de zunchos perfectamente nivelados sobre los que se enrasa cada tongada de obra. Alberti dice que están cada cinco pies, lo que no es exacto, ni único, pero lo que sí es casi seguro es su inclusión como ayuda inevitable en la ejecución de las fábricas. De esta manera se explica su presencia, incluso en aparejos de gran estabilidad, como el sillarejo (Fig. 3.18).

En general, esos zunchos se ejecutan en las caras exteriores, que son las que sirven de encofrado o sujeción del relleno del muro, así como de referencia para su ejecución, y sólo cuando se vulgariza el uso del ladrillo, o en algunas obras concretas como el Panteón, parece que atraviesan todo el grueso de la fábrica.

Otro problema consiste en garantizar la homogeneidad del conjunto para conseguir un comportamiento correcto del elemento, una vez acabada su ejecución. Para ello se insertan los *diátomos* que traspasan la masa de relleno, solidarizando las caras entre sí (Fig. 3.19).

Esta solución, en realidad, no garantiza nada, pero deja resuelto el aspecto formal y conceptual de relacionar entre sí todo el conjunto del muro. La verdadera homogeneidad se obtiene, o debería obtenerse, mediante la regularidad en la fabricación de la masa y

la correcta adherencia en toda la superficie del recubrimiento al núcleo del muro.

### 3.3.2.3 Los puntos singulares

Construir fábricas con vertido de puzolana sin encofrar plantea, además de los problemas de fraguado y de acabado superficial que hemos visto, el de la definición física del muro y de los elementos que lo componen: puertas, ventanas, coronamientos, zócalos y esquinas. Hay que tener en cuenta que los tiempos de fraguado de la argamasa son dilatados, lo que impide definir esos elementos correctamente a base de marcar las aristas con él. Son necesarios materiales que presenten mayor estabilidad inmediata y mayor durabilidad ante los desgastes del uso y la intemperie. El sistema usual es colocar sillares, o ladrillos, en esos puntos, con lo que, además de definir correctamente la arista, se encajona la fábrica lateralmente (Fig. 3.20).

Para definir y reforzar el resto de los puntos singulares se usan sistemas parecidos, introduciendo en el muro una serie de elementos de gran utilidad y que, en algunos casos aún forman parte de nuestro repertorio: jambas de piedra, dinteles y vierteaguas, refuerzos en las esquinas a base de piezas mayores y más regulares que quedan vistas, aunque, en este caso, habría que preguntarse si este tipo de cosido es beneficioso para el conjunto. La solución se repite a lo largo de dos mil años sin que exista una doctrina clara al respecto (Fig. 1.10).

Pero, de entre todos estos detalles, el que más define, como una característica específica, la construcción romana es el arco de descarga sobre los dinteles. Vitruvio expone clara y explícitamente las razones de su colocación y su utilidad le ha hecho durar más de veinte siglos como detalle obligado en cualquier construcción, en toda la cuenca mediterránea.

El problema se plantea de forma inmediata en cualquier dintel plano: el peso de la obra que gravita sobre él lo deforma curvándolo hacia abajo y afeando el conjunto. La solución romana consiste en colocar encima un arco que, apoyándose en las jambas, lo descarga del grueso de la obra, reduciendo las cargas.

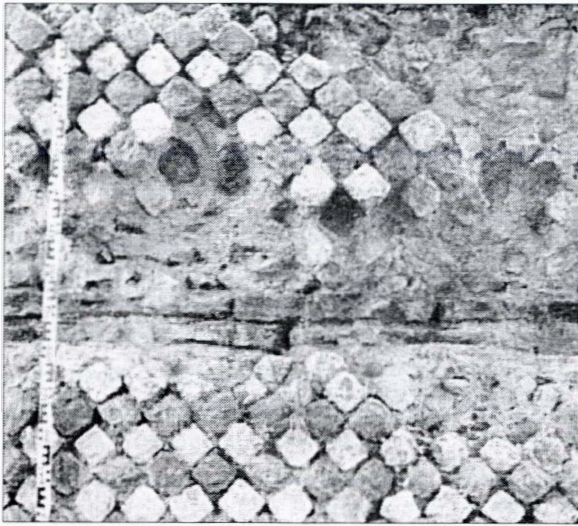


Fig. 3.16 "Opus reticulatum"

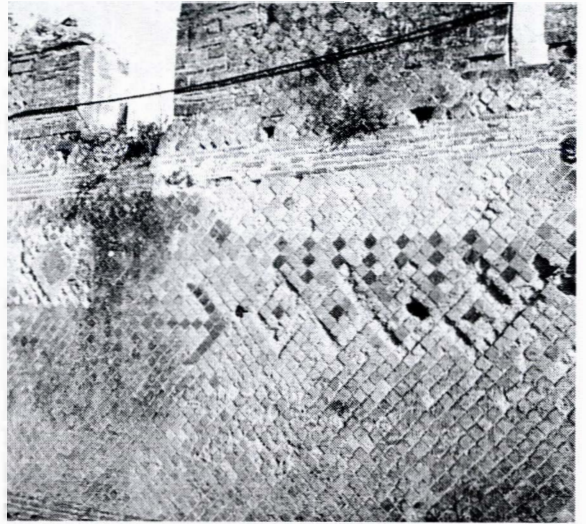


Fig. 3.17 "Opus reticulatum"



Fig. 3.18 Zuncho en muro de sillarejo

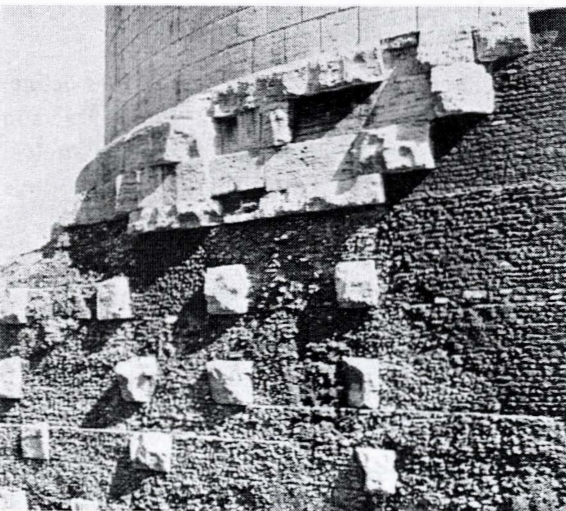


Fig. 3.19 "Diatomos"



Fig. 3.20 Detalle de jamba

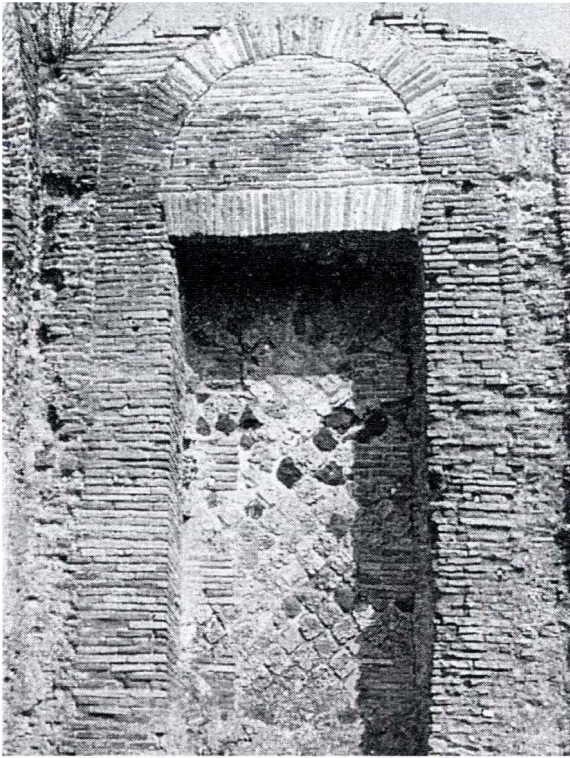


Fig. 3.21 Arco de descarga sobre dintel plano



Fig. 3.22 Arco de descarga curvo

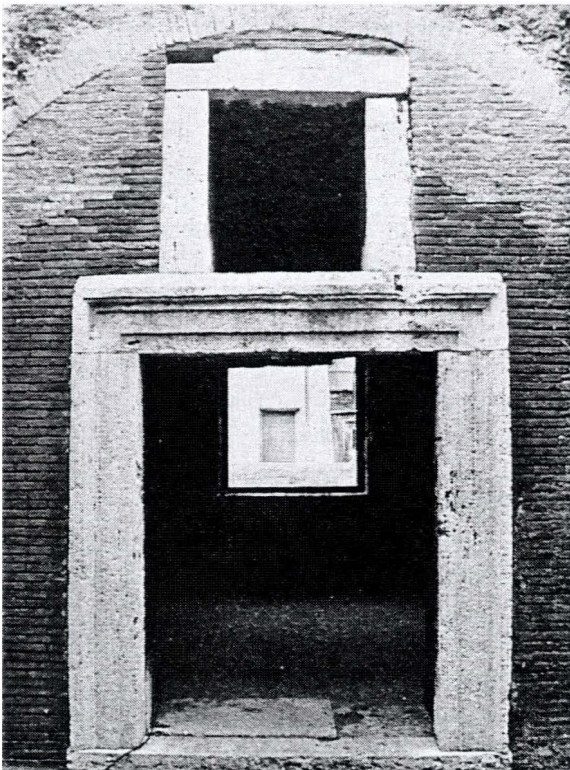


Fig. 3.23 Arco de descarga aprovechado para la abertura superior

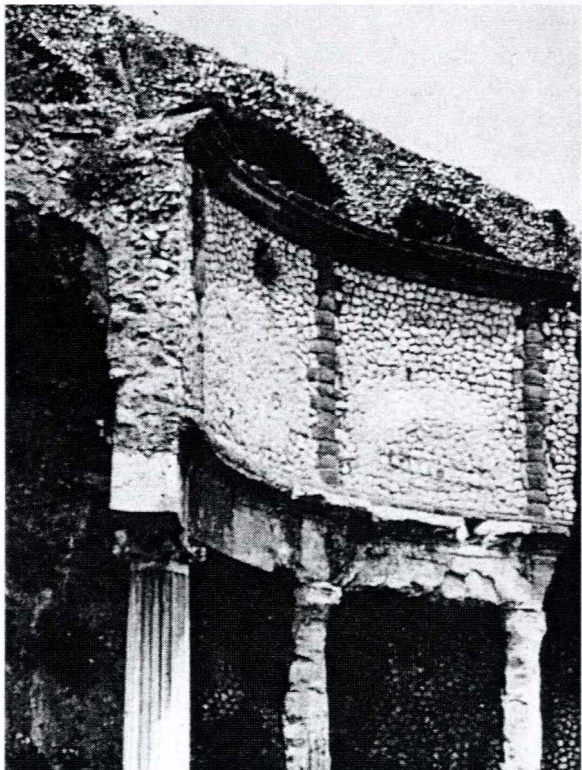


Fig. 3.24 Arco de descarga sobre traves curvas en Praeneste. Sólo quedan las formas del riguroso tratamiento constructivo griego

Se puede entender que en cualquier caso se formará un arco natural de descarga, pero, incluso en ese caso, es conveniente definir su ámbito con el arco construido (Fig. 3.21).

Se encuentra como detalle imprescindible, adaptándose a las formas necesarias impuestas por el desarrollo de la fábrica (Fig. 3.22, 3.23 y 3.24). El ejemplo de Praeneste es toda una lección sobre la idea romana de la utilidad y significación de las formas griegas. El peristilo curvo se resuelve con vertidos, sustituyendo las "honestas" traveses jónicas por un vertido ingenieril, de utilidad evidente, que sólo persigue la escenografía del conjunto, con arcos de descarga sobre unas traveses que han perdido su solemne monolitismo.

La imagen más habitual es la del arco de ladrillo sobre el dintel, usado de forma sistemática, aunque a veces el arco es simplemente un mínimo intento de moldear la masa del muro mediante la creación de unas dovelas entre ladrillos (Fig. 3. 25).

Al margen de esta utilización, perfectamente clara, los arcos de descarga ciegos se prodigan en la fábrica, sobre todo en las de ladrillo, con una finalidad que, a pesar de las explicaciones de algunos autores, aún no está demasiado clara y resiste nuestro análisis (Fig. 3.26 y 3.27).

### 3.3.2.4 Otros aparejos

1) *Opus mixtum*. Como es inevitable que los zunchos, aristas y otros elementos acaben formando parte del aspecto exterior de las fábricas, a partir de ellos se generan los diversos tipos de *opus mixtum*, que en muchos casos acaban teniendo personalidad propia y que evidencian una gran lógica en el aprovechamiento de los materiales, fundamentalmente por razones económicas (Fig. 3.28, 3.29, 3.30 y 3.31).

2) *Isodomas y pseudoisodomas*. El aparejo *isodomo* y su variante el *pseudoisodomo* son de origen griego, derivados directamente de los utilizados en los superlativos muros de los templos, aunque su aprovechamiento normal por parte de los constructores romanos es puramente epidérmico. No obstante, y en obras de

gran importancia, se usan de acuerdo a las estrictas reglas de colocación griegas, aunque debido a su alto coste es probable que se restringiera su uso.

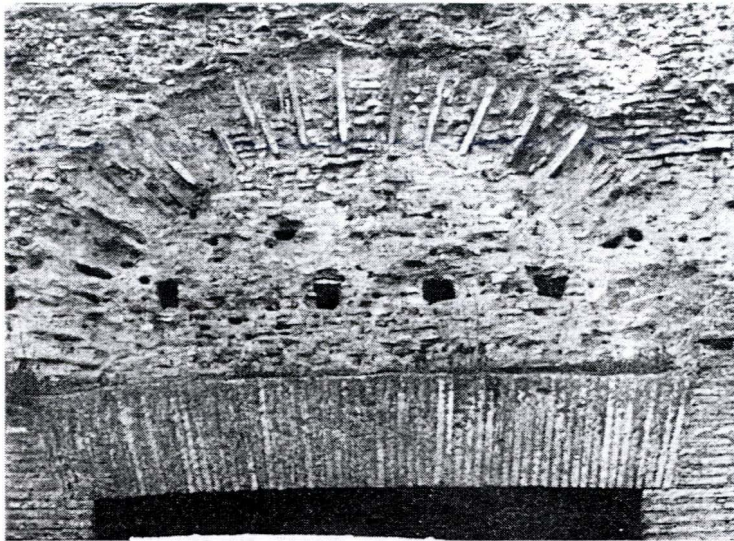
*Isodomo* se llama al aparejo en el que todas las hiladas son de la misma altura. Se usa preferentemente en grandes obras, a veces sin que mantenga el despiece en toda la altura del muro (Fig. 3.32). El *pseudoisodomo* es una variante en la que la altura de las hiladas no es constante.

3) El ladrillo: *Opus testaceum*. A partir de la primera mitad del s.II se impone el uso del ladrillo revocado, o, en algunos casos, como obra vista. Siguiendo una tendencia obligada por la dispersión geográfica de sus dominios y al objeto de favorecer la industrialización imprescindible, los constructores romanos codifican los ladrillos: sesquipedales, bessales y bipedales, alrededor de las medidas teóricas del pie, aproximadamente 30 cm, pero siempre de unos 4 ó 5 cm de altura por los problemas de secado y cocido.

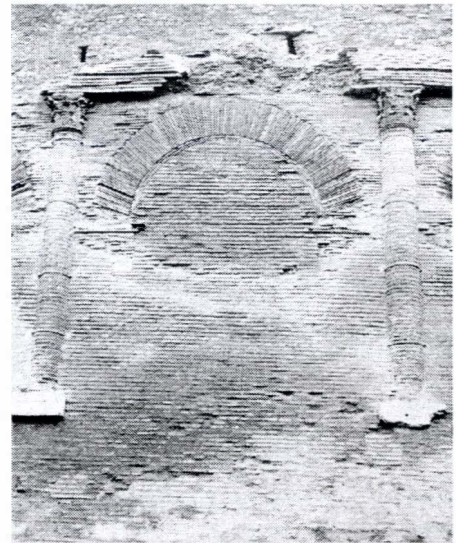
Sigue siendo un material destinado a las caras exteriores y según esa función se corta a veces en triángulos colocados con la parte aguda hacia el interior. Ello abunda en el criterio de que es el núcleo de argamasa y ripio, o trozos cerámicos, el que efectúa el trabajo resistente. Su recibido es perfecto y parece que obedezca a una normativa similar a la nuestra (Fig. 3.33).

Parece evidente que la capacidad expresiva del ladrillo fue entendida y se usó visto. En el mercado de Trajano, proyectado por Apolodoro de Damasco y construido desde el 110 al 112 ddC., la cuidada ejecución de la fábrica y el valor decorativo de las jambas y dinteles hace verosímil que se trate de una obra de ese tipo (Fig. 3.34). La iglesia de San Urbano, un templete del tiempo de Marco Aurelio, se caracteriza por el empleo extensivo del ladrillo, que constituye toda la estructura, si se excluyen las cuatro columnas de la fachada, que son de mármol.

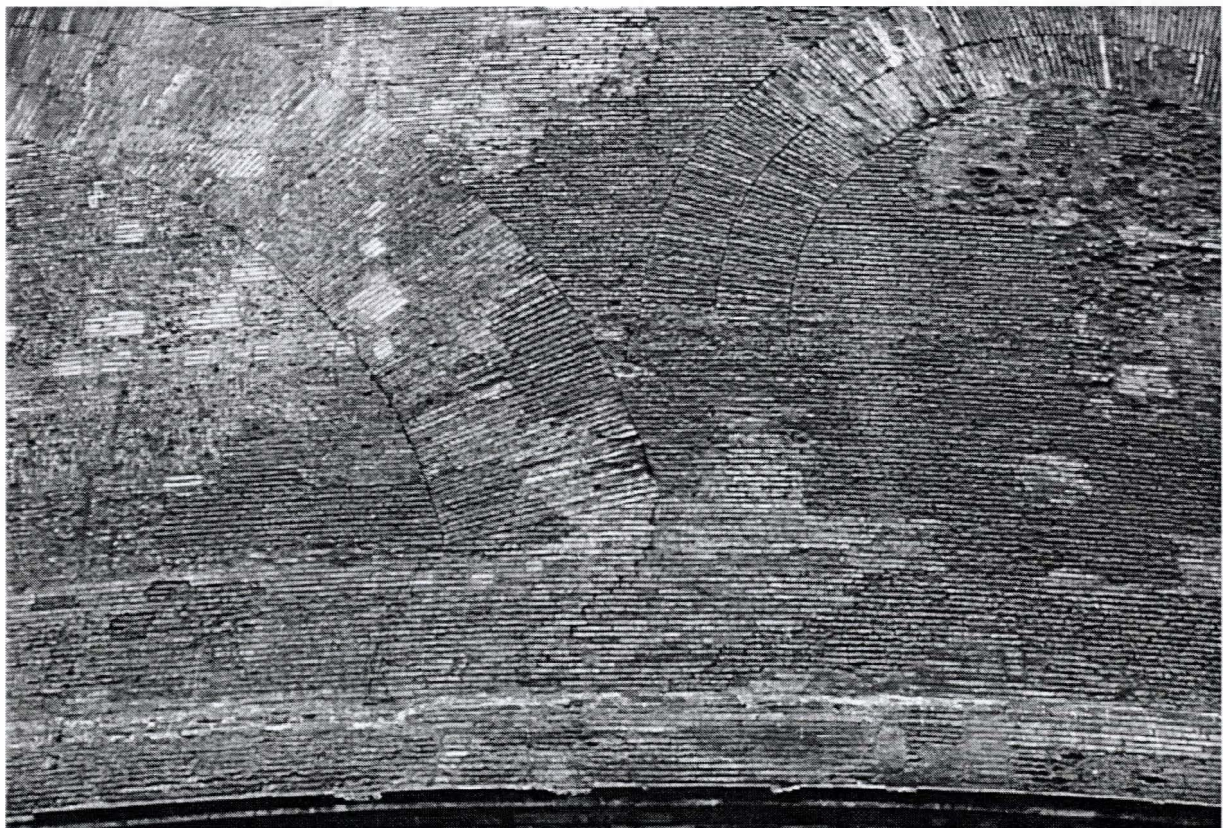
En Ostia son innumerables los edificios cuyo cuidado aparejo hace difícil pensar en un revoco posterior, y cuya única decoración son unos ligeros relieves y policromías conseguidas con diversos materiales. En el s. II se impone la arquitectura funeraria enteramente construida de ladrillos, llegándose a resultados muy



*Fig. 3.25 Arco de descarga definido por ladrillos colocados radialmente en la masa del muro*



*Fig. 3.26 Arco de descarga ciego*



*Fig. 3.27 Arcos de descarga ciegos del Panteón*

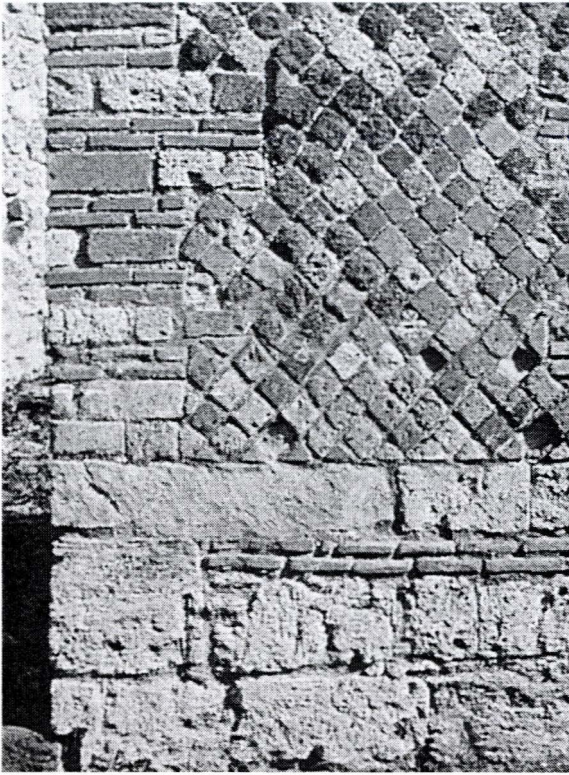


Fig. 3.28 "Opus mixtum"

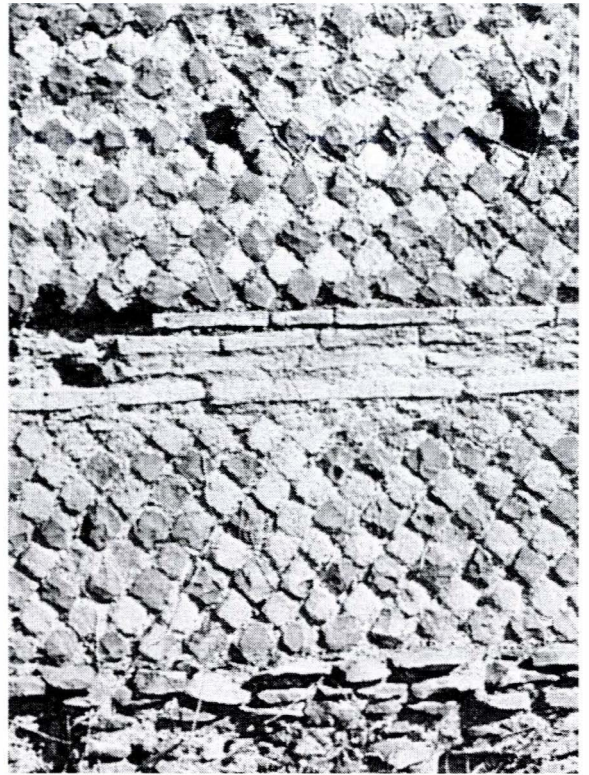


Fig. 3.29 "Opus mixtum"

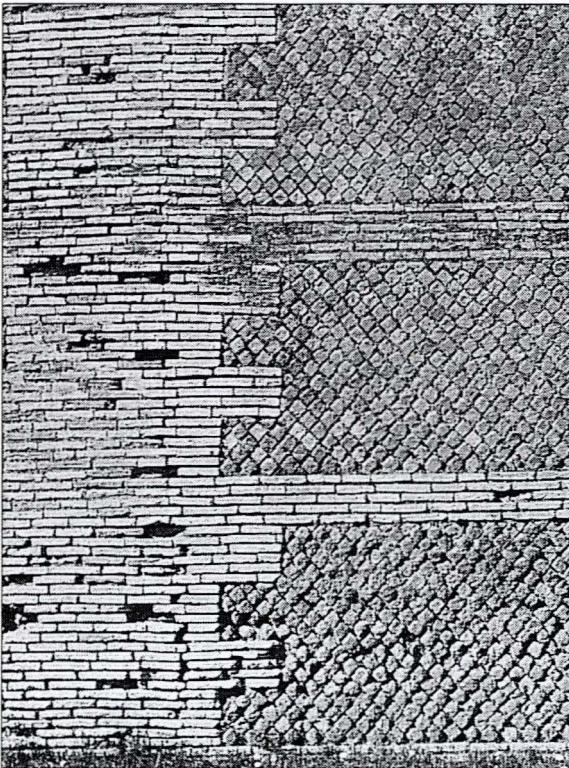


Fig. 3.30 "Opus mixtum"

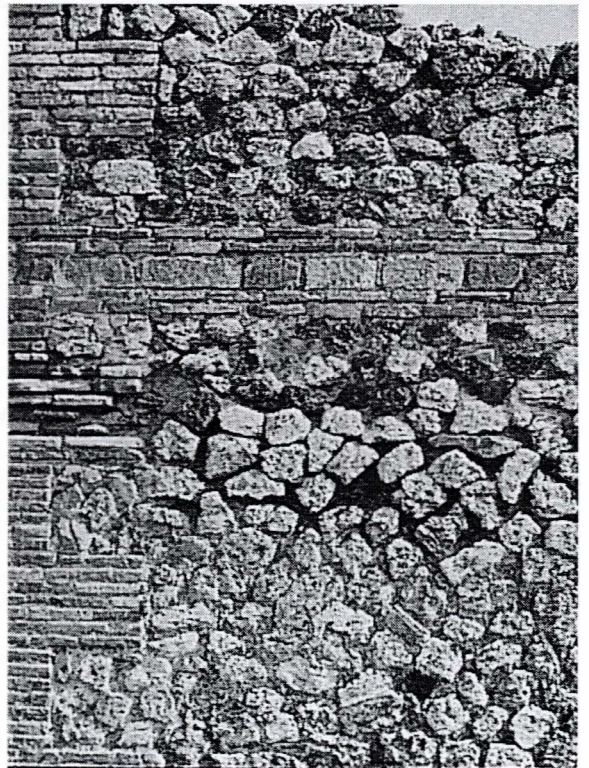


Fig. 3.31 "Opus mixtum"

notables, como el de la tumba llamada de Annia Regila, con entalladuras bastante complejas (Fig. 3.35).

### 3.3.2.5 Las columnas

Una industria tan poderosa no tuvo nunca problemas para disponer de espectaculares piezas torneadas, de proporciones inmensas y en grandes cantidades. Ya hemos mencionado la hipótesis de que las del Panteón procedan de un almacén, como material habitual en el comercio, y hay ejemplos de fustes de unas proporciones sorprendentes como la columnata de Palmira y otros casos, pruebas evidentes de la solvencia de la industria romana.

De todas formas, y como estas piezas debían ser caras, se construyen, bien en tambores a la manera griega o siguiendo las mismas técnicas y aparejos que los muros, columnas aparejadas que después irán revocadas o aplacadas (Figs 3.36 y 3.37).

## 3.4 Arcos, bóvedas y cúpulas

Su pasado etrusco y su sentido pragmático dotó a los romanos del sedimento necesario para desarrollar los elementos arqueados, aprovechando todas sus posibilidades. Las progresivas mejoras introducidas en el manejo de la argamasa facilitaron la utilización de esos elementos hasta constituir una de las grandes aportaciones de Roma a la historia de la construcción.

En un primer momento, en el s.II y I adC. su uso se restringe a la simple sustitución del adovelamiento en arcos de menor importancia. Vitruvio no indica el uso de la argamasa en la fábrica de arcos, a los que sólo se refiere, mínimamente, adovelados.

A partir del momento en el que los constructores advierten la consistencia que adquiere la argamasa al fraguar, su utilización como vertido, en sustitución de los adovelamientos, abarata y simplifica enormemente el proceso constructivo, aunque su uso se concreta, en los finales del s.I adC., a edificios civiles e industria-

les, a la manera en que en el S.XIX se usará primero el hierro en fábricas y puentes, siendo los templos los últimos edificios que se cubren con bóveda.

El primer gran edificio construido con bóveda de argamasa es la *Domus Aurea* neroniana, posiblemente por la misma razón por la que se construye Brighthon con fundición de hierro, es decir, para aprovechar la nueva tecnología en un edificio cuyo promotor requiere novedades para un edificio realmente singular (Figs. 3.38 y 3.39).

La planta evidencia alguna torpeza al tratarse de un primer intento de este tipo de distribución (Fig. 3.40). La *Domus Aurea*, de la que hoy vemos sólo una parte de la estructura, debió de ser, según Ward Perkins, un edificio pasmoso para su tiempo. Recubierta de mármoles, dotada de cursos de agua y aprovechando los efectos en la definición del espacio interior que permitía el nuevo material, consagró su uso arquitectónico. Al margen de algunos ejemplos de salas abovedadas en el Oriente próximo, por primera vez en la historia de la construcción arquitectónica es posible fabricar espacios en los que no se depende de las exigencias estrictas del material pétreo para las cubiertas, o de las limitaciones de luz de la madera. En la *Domus Aurea* se inicia el camino que va a posibilitar, casi inmediatamente, construir el Panteón, y, a medio y largo, plazo Santa Sofía, Santa María de la Flor, San Pedro, etc.

Hasta ese momento la arquitectura se había tenido que limitar a establecer la relación de un volumen con el exterior. No se debe olvidar que el templo griego no tiene apenas espacio habitable. Es un edificio para contemplar desde fuera y tiene importancia como final de un trayecto.

Después de la *Domus Aurea* se puede concebir el edificio, además de por su relación con el exterior, como un espacio interior caracterizado por unas proporciones y una envolvente que condicionará su percepción. Este concepto de edificio, constituido por un volumen que contiene un espacio de características concretas, a partir del momento en que se dispone de una tecnología adecuada para su materialización permite el desarrollo del románico y del gótico, dejando parcialmente de tener importancia, de nuevo y curiosamente, en los palacios del Renacimiento, época en la que el aspecto

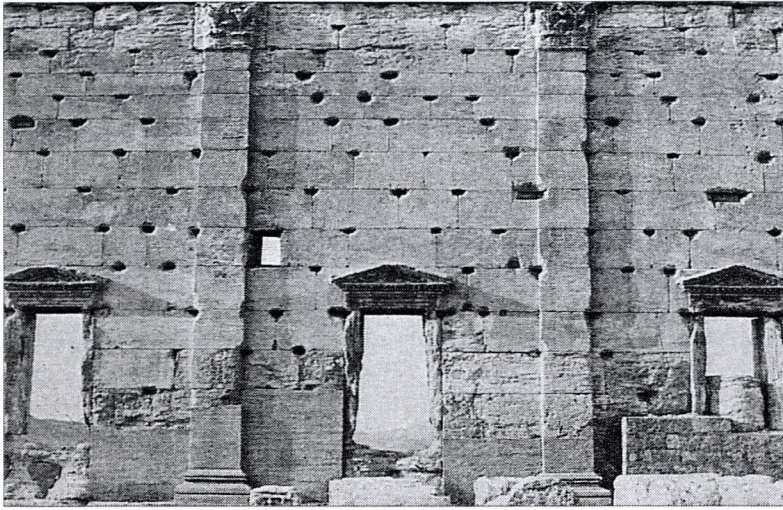


Fig. 3.32 Aparejo Isodono

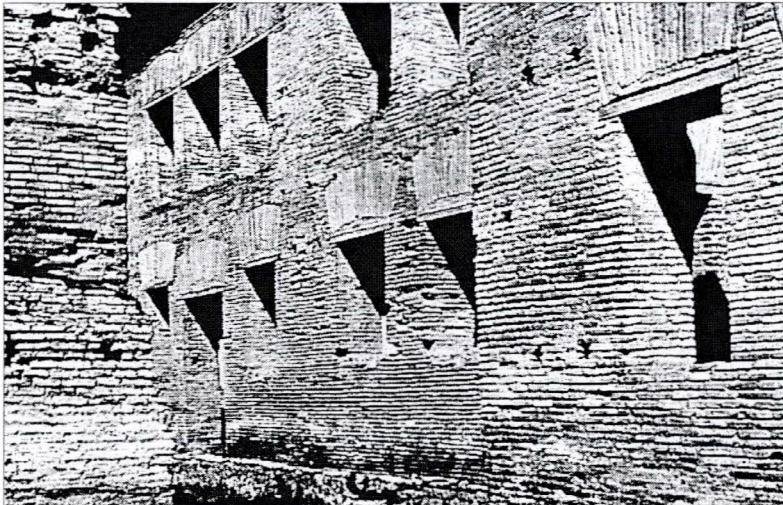


Fig. 3.33 "Opus testaceum"

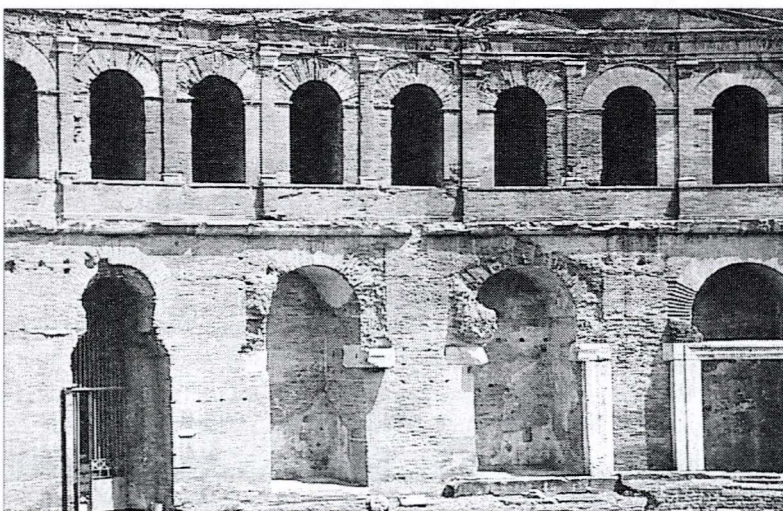


Fig. 3.34 ¿Obra vista?

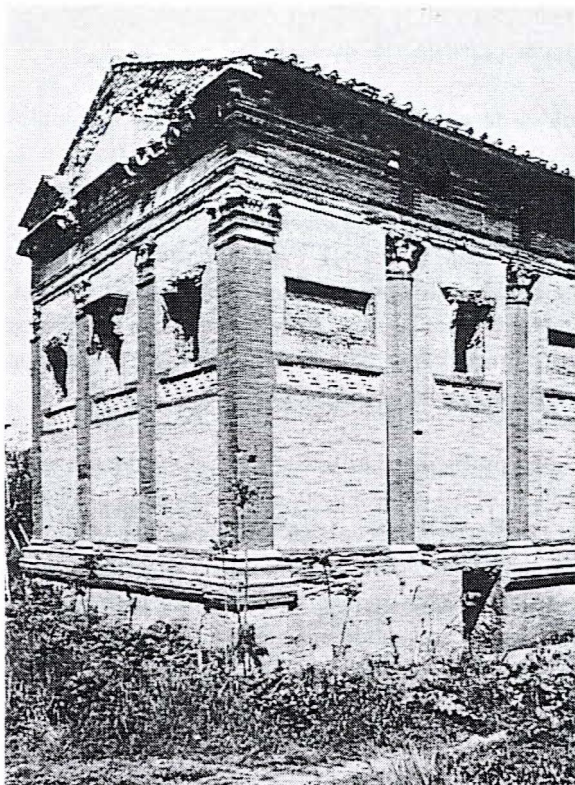


Fig. 3.35 Sepulchro llamado de Annia Regila

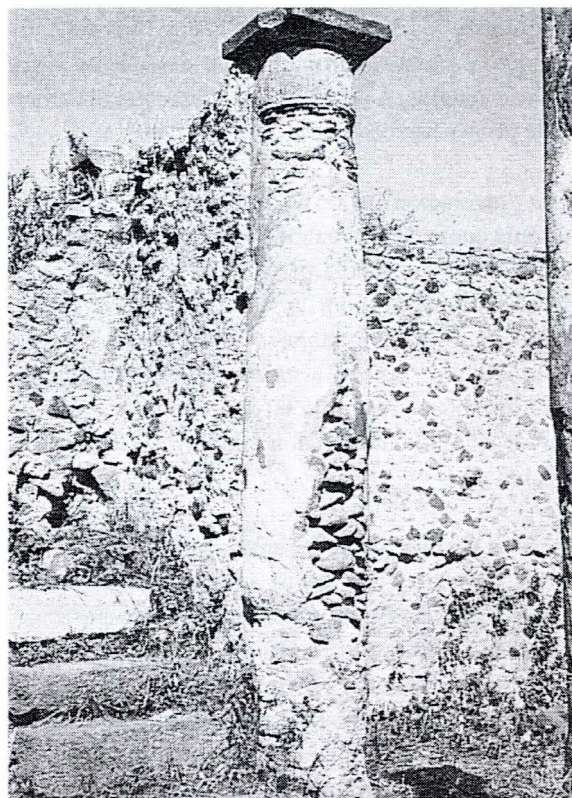


Fig. 3.36 Columna aparejada de mampuestos

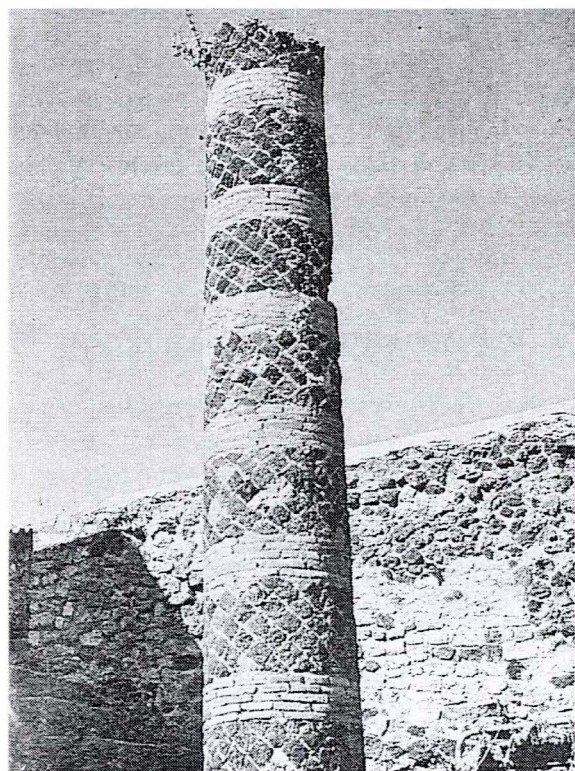


Fig. 3.37 Columna de "opus mixtum"

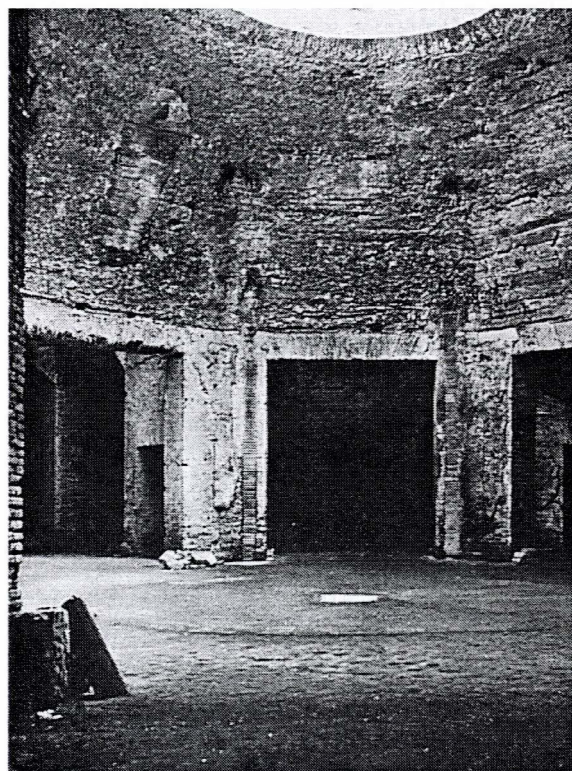


Fig. 3.38 Vista interior de la cúpula de la Domus Aurea

exterior del edificio, o sus fachadas internas, como patios o escaleras, priman sobre esa definición del espacio interior, a pesar de que, casi inmediatamente, en el primer barroco, se recupere de nuevo.

Esta "revolución" es posible porque se dispone de un sistema constructivo realmente nuevo, cuya tecnología se llega a dominar a la perfección, a pesar de la falta de conocimientos teóricos, tanto sobre el material como sobre el comportamiento mecánico de lo construido. Todo se debe a un empirismo inteligente y laborioso que, en tan sólo 60 años, permite construir el mayor edificio cubierto con cúpula a lo largo de casi dos mil años.

Pero las ventajas de la argamasa en la construcción de arcos, bóvedas y cúpulas no sólo se manifiestan en el terreno puramente arquitectónico. Gran parte de la capacidad constructora de Roma se basa en este material. Encofrar y verter es, en general, cuando se dispone de madera y de mano de obra, mucho más simple y barato que trazar y tallar dovelas, o piezas similares, a las que hay que definir en las tres direcciones del espacio.

Los adovelamientos son mucho más caros, lentos y rígidos que el vertido. Obligan a cerchas mucho más resistentes, ya que hasta que se cierra la forma el grueso no se comporta como una estructura.

### 3.4.1 El vertido

El hecho de que se trate de un vertido obliga a resolver toda una serie de problemas, casi exactos a los actuales en similares circunstancias.

En primer lugar hay que disponer de encofrados, o sea, de superficies regulares suficientemente rígidas para soportar el peso del vertido sin deformarse y, en segundo, hay que conseguir que esa superficie se pueda separar de la masa vertida sin causar en ella desperfectos de importancia.

Sobre la capacidad para conseguir la indeformabilidad del encofrado mediante apeos suficientes no hay ninguna duda a la vista de la regularidad de los edificios

construidos y de la solvencia demostrada en el manejo de grandes escuadrías de madera.

Para el desencofrado recurren a sistemas habituales hoy, con las diferencias impuestas por el repertorio de materiales; desde dejar sobre el encofrado una capa de ladrillos, o de piezas de *incertum* de forma que sean el elemento visto (Fig. 3.41 y 3.42), hasta la impregnación con distintos productos que eviten la adherencia, como asfaltos y aceites. También se usan, aunque en menor grado, capas de cañizo trenzado de los que, en algunos casos, han quedado marcas.

El otro problema que presentan los vertidos a gran escala es el del control de la masa durante la ejecución y el establecer las secuencias que garanticen el correcto comportamiento del conjunto. Esta necesidad puede justificar los arcos constituidos por ladrillos insertos en la masa y separando el relleno en zonas, que algunos autores confunden con nervios de refuerzo (Fig. 3.43).

Este sistema, introducir ladrillos en la masa del vertido hasta conformar nervios, o arcos más o menos definidos, se utiliza también en algunos casos de arcos de descarga (Fig. 3.44).

A pesar de su extraordinario ingenio, no hay que olvidar que la única fuente de energía era la sangre y que los inmensos vertidos de miles de metros cúbicos debían hacerse, aunque fuera con el auxilio de medios importantes, a base de sistemas que permitieran el control manual, con jornadas limitadas por los medios de iluminación y el transporte de tracción animal. En lo que realmente fueron maestros fue en el movimiento de grandes masas, tanto de hombres como de materiales, coordinadas de manera perfecta. Coordinando ocho equipos se construyen obras como el Coliseo. El trabajo se realiza con gran rapidez: iniciado por Vespasiano en el 77, se termina y se inaugura por Tito en el 80. Apenas se necesitaron tres años para una empresa de esa envergadura, de la que existen más de doscientos ejemplos en todo el mundo.

Sabemos que el edificio fue construido en un valle anteriormente ocupado por un estanque, en el parque de la *Domus Aurea* de Nerón. Este hecho ha sido citado siempre como ejemplo del virtuosismo de los

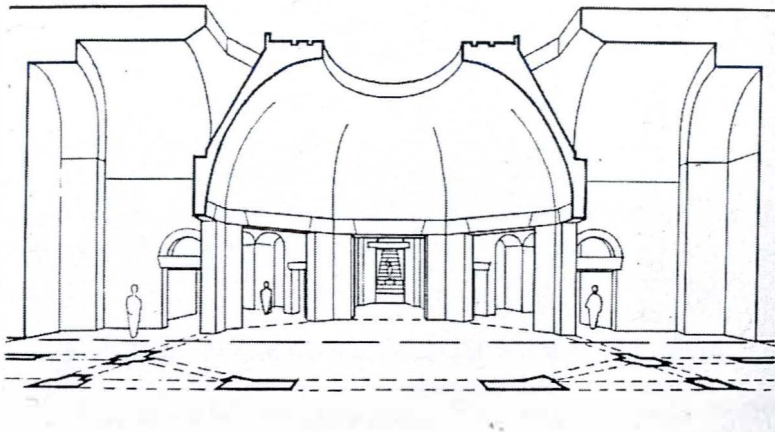


Fig. 3.39 Sección de la Domus Aurea por la cúpula

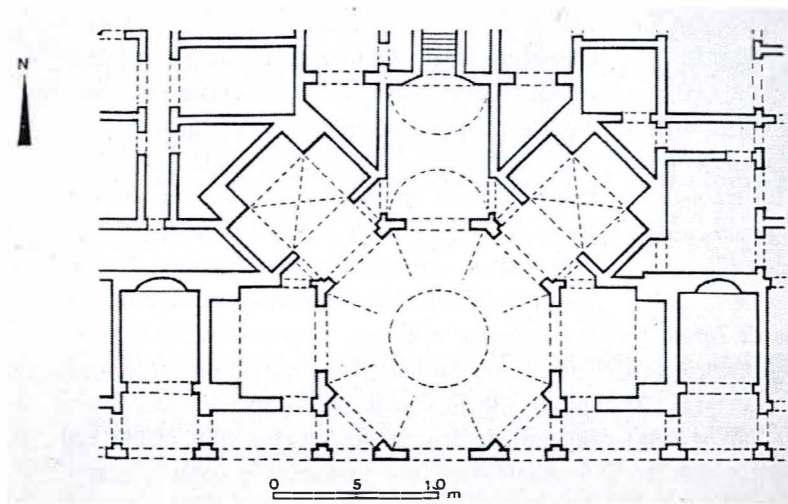


Fig. 3.40 Planta de la Domus Aurea



Fig. 3.41 Bóveda acabada con ladrillos

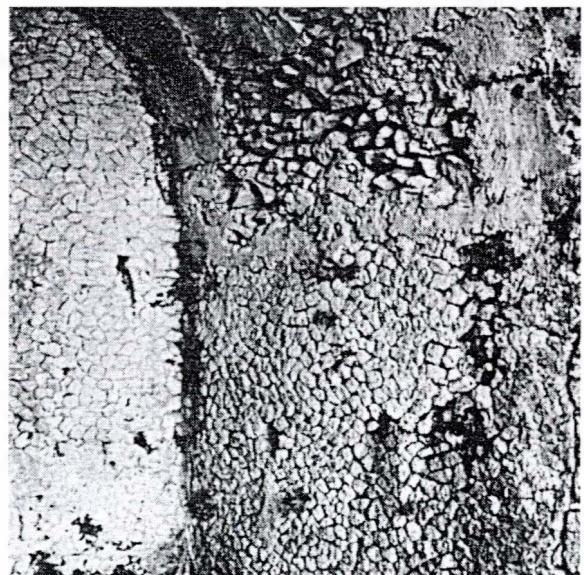


Fig. 3.42 Bóveda y muro con "opus incertum"

arquitectos flavios, pero es probable que en realidad se tratara de ahorrar trabajo: las excavaciones para los cimientos del anfiteatro habrían requerido remover más de 125.000 metros cúbicos de material, mientras que la cavidad del lago, ya existente, les permitió ahorrar gran parte de estos trabajos. Pero la mayor novedad consiste en su concepto estructural. Primero se levantaron todas las pilastras en travertino, con sus respectivas bóvedas, o sea, el esqueleto soporte del edificio sobre el que descansaba la cávea: esto permitió a los canteros trabajar simultáneamente y a cubierto. El resto de la obra, rellenos, accesos, gradas, etc. se concluyeron muy aprisa por gran número de operarios con una técnica muy parecida a la usada hoy cuando se trata de estructuras metálicas, o de hormigón armado (Figs. 3.45 y 3.46).

Como consecuencia del uso de un material conformable, a la vista del extraordinario peso muerto que supone hasta el fraguado las masas de los riñones de las bóvedas y cúpulas, se procede en algunos casos a su aligeramiento con grandes tinajas (Fig. 3.47).

Con estos sistemas cualquier problema de forma se resuelve con la solución del problema geométrico de la descripción del encofrado, pasando a un segundo término el esquema estructural resultante, mientras las secciones sean suficientes. De esta forma, es posible, por primera vez, resolver los problemas de iluminación, penetrando las bóvedas de medio cañon con lunetos transversales (Fig. 3.48), o crear otras formas de intencionalidad puramente estética, lobulando el intradós.

### 3.4.2 La estructura resultante

El comportamiento estructural de este tipo de vertidos, una vez alcanzado un grado suficiente de endurecimiento de la masa, en los que ninguna sección es capaz de soportar esfuerzos de tracción, ni esfuerzos cortantes, ha sido siempre objeto de polémica, sobre todo cuando se ha tratado de su restauración. Parece fuera de duda que actúan como elementos arqueados. Ocurre, que con posterioridad a su vertido, las masas se organizan como dovelas, fracturándose por los puntos en los que están sometidos a tracción, o a cortan-

tes, discretizándose de forma espontánea. Esta discretización provoca un reordenamiento de las cargas que, a su vez, vuelven a actuar provocando nuevas grietas. Este comportamiento, cuando se produce en elementos básicamente similares, permite adquirir una experiencia práctica de forma que se pueden reforzar los puntos débiles, o aligerar los pesos excesivos, hasta conseguir agrietamientos mínimos, o muy dilatados en el tiempo.

Además de esta discretización, y en una dirección diametralmente contraria, se produce en algunos casos un fenómeno de superendurecimiento de los morteros de cal, al cabo de muchos años, quizás cientos, recristalizando, de forma que el resultado final casi se puede considerar un monolito cuya forma ya no puede descomponerse en elementos, sino que es una estructura hiperestática muy compleja de analizar.

Este proceso de aprendizaje de las condiciones perceptibles de estabilidad de algunos prototipos constructivos, que se realiza en apenas 60 años, les permite construir la obra más representativa de esta técnica y la que mejor ha envejecido a lo largo de la historia: el Panteón de Adriano. Del examen de los sellos de los ladrillos se desprende que se trata de una construcción integral, de tiempos de Adriano, entre el 118 y el 128. Además de su perfecta técnica, el edificio está cargado de simbolismos esotéricos aún no suficientemente aclarados.

Se trata de la cúpula de mayor luz jamás construida y su diámetro, de 43,30 m, es ligeramente superior al de la cúpula de San Pedro. Las proporciones son aparentemente simples, ya que la altura corresponde al diámetro, siendo la mitad inferior un cilindro coronado por la semiesfera superior.

Estas proporciones tanto pueden deberse al carácter simbólico del edificio, como a especificaciones técnicas, pero el caso es que el conjunto presenta una solemnidad inusual. Respondiendo a su advocación estaba dedicado a la divinidad del panteón celeste y la cúpula pretende ser la bóveda del cielo, mientras que el agujero cenital podría ser el sol.

La disposición de las hornacinas y de los tabernáculos, correspondientes a los ejes orientados hacia los cuatro



Fig. 3.43 Ladrillos formando juntas transversales en una bóveda vertical

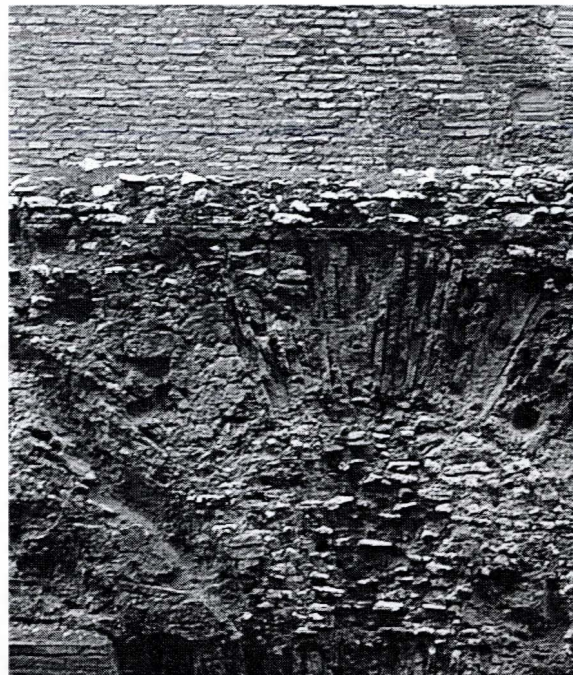


Fig. 3.44 Arco de descarga de ladrillos radiales

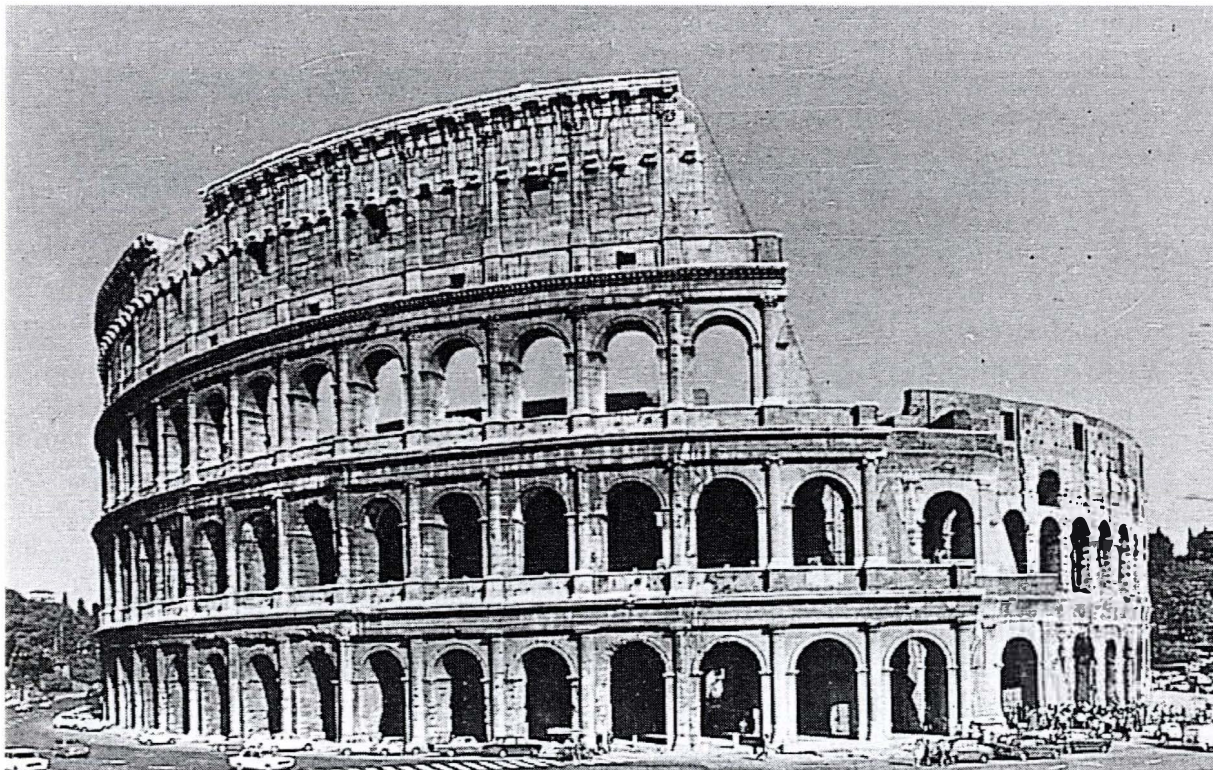


Fig. 3.45 El Coliseo de Roma

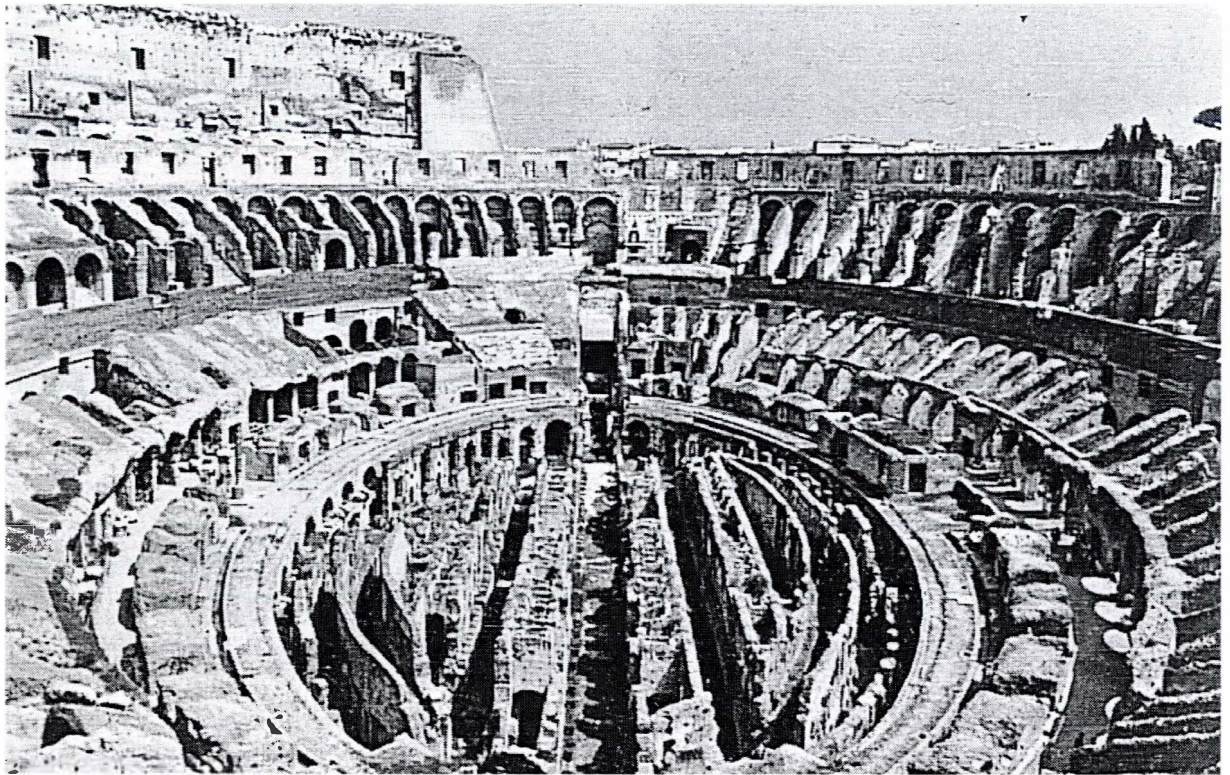


Fig. 3.46 El Coliseo de Roma. Instalaciones bajo la arena.

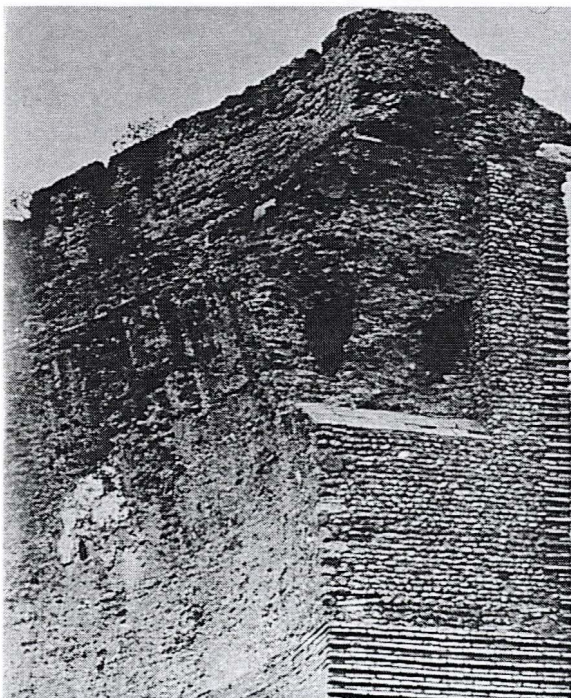


Fig. 3.47 Aligeramiento de los riñones de una bóveda con grandes tinajas



Fig. 3.48 Bóveda penetrada por lunetos de iluminación en el mercado de Trajano

puntos cardinales, hace suponer que las estatuas de las divinidades estaban colocadas en puntos determinados, según lo que disponía la antigua disciplina de los augures, a tenor de la cual el templo terrestre no era otra cosa que la fiel proyección del templo celeste.

En cambio no parece resuelto el problema de las relaciones entre espacio interior y exterior. La fachada está constituida por una gigantesca columnata octóstila, remontada por un frontón, aunque el conjunto, rodeado en su día de otros edificios, parece estar construido para no ser visto, o pasar desapercibido desde el exterior (Figs. 3.49, 3.50, 3.51 y 3.52).

Su esquema estructural es igualmente simple, pero cargado de razones constructivas de extraordinaria utilidad. Los cimientos son muy robustos, de 7,3 m de anchura y 4,5 m de profundidad, y están rodeados por un anillo exterior, cuya justificación probable ha sido ya expuesta. Los casetones que sirven de acabado al encofrado se prefabricaron con un sistema muy exacto de replanteo, configurando 28 tiras meridianas.

La densidad de los *caementa*, o mampuestos de relleno, es decreciente en los seis anillos en que dividen al edificio en altura. En el primer anillo la cimentación es de 4,5 m de altura, de travertino en grandes bloques. En el segundo, el árido es de travertino y toba volcánica. Hasta el nacimiento de la bóveda, de toba y ladrillos, y el primer anillo de 6 m de anchura, de trozos de ladrillo solamente, empotrándose en él la primera línea de casetones. El segundo anillo de la cúpula es de trozos de ladrillo y sillarejos de toba, hasta la tercera línea de casetones, y el último anillo hasta el óculo, de mampuestos de toba y argamasa de lava ligera, de 1,50 m de espesor.

Parece que consiguieron el secado de la fábrica con vertidos de poco espesor convenientemente controlados por medio de ladrillos sujetando la masa. El exterior está recubierto de ladrillo, según el esquema de arcos ciegos (Fig. 3.53).

La cúpula estaba recubierta de tejas de bronce hasta que Constante I las quitó, en el 663, dejando sólo el anillo superior tal y como está hoy, mientras el revestimiento interior es de la misma forma que el original, aunque fue reconstruido por Benedicto XIV entre el

1740 y el 1754, no habiendo sufrido con posterioridad modificaciones de importancia, sino un mantenimiento muy cuidadoso.

Existen otros ejemplos de este gigantismo, quizás tan espectaculares como éste, aunque peor conservados, entre los que destacan las Termas de Caracalla, el ejemplo más notable de las llamadas “grandes termas imperiales”, que se originó cuando la presión demográfica de Roma alcanzó tal cifra que no sólo hizo necesario el aumento del número y de las dimensiones de los edificios termales públicos, sino también, y en mayor grado, la invención de un tipo de termas más racionales, que pudieran absorber con mayor rapidez y eficiencia la multitud de los bañistas, siendo susceptibles al mismo tiempo de asumir un aspecto más monumental y “representativo”.

Las Termas de Caracalla se organizan dentro de un muro perimetral de 337x328 m. En medio se sitúa el edificio termal propiamente dicho, de 220x114 m, y el espacio libre estaba ocupado por jardines y dos bibliotecas. Desde el punto de vista de las estructuras se trata de una de las más notables realizaciones de la arquitectura romana. El gran caldario circular estaba cubierto con una cúpula de diámetro no muy inferior a la del Panteón, 34 m, pero con soluciones técnicas más avanzadas. La cobertura del salón central está constituida por tres grandiosos cruceros. Del edificio sólo queda la estructura desnuda, pero de la decoración primitiva de mármoles, mosaicos y esculturas, nos ha quedado lo suficiente para comprender que su misión no era exclusivamente utilitaria y su nivel y su coste probablemente fue semejante al de los palacios imperiales.

### 3.5 Acabados

En este apartado, como en todo el conjunto de la construcción romana, encontramos todas las soluciones imaginables con los materiales de la época, y en un grado de perfección realmente espléndido.

A su carácter práctico añadieron un comercio muy eficaz, capaz de suministrar todo tipo de materiales de forma que pudieran ser aprovechados en todo tipo de

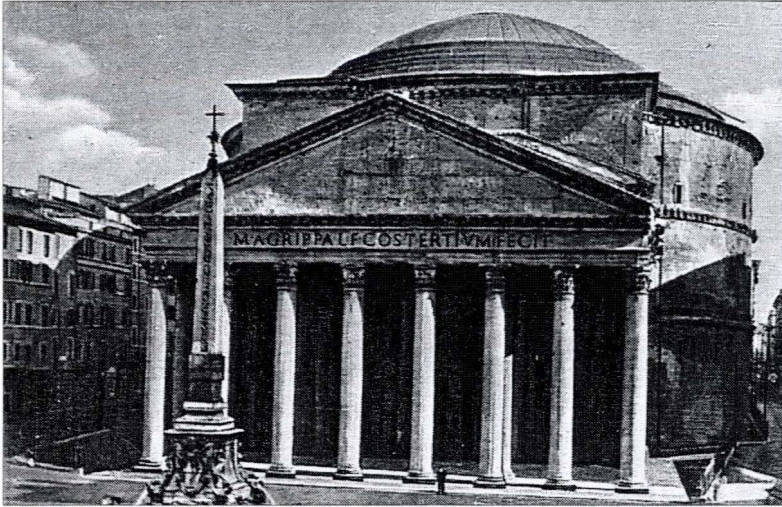


Fig. 3.49 Fachada del Panteón de Adriano



Fig. 3.50 Panteón de Adriano

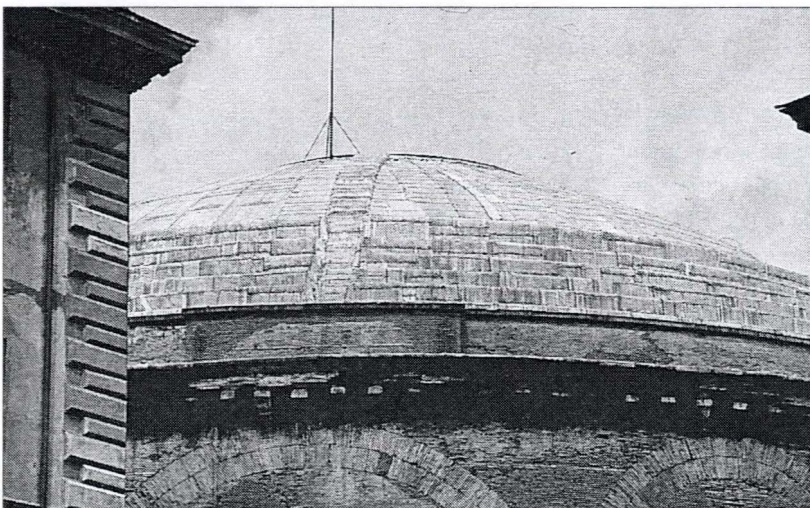


Fig. 3.51 Cúpula del Panteón de Adriano

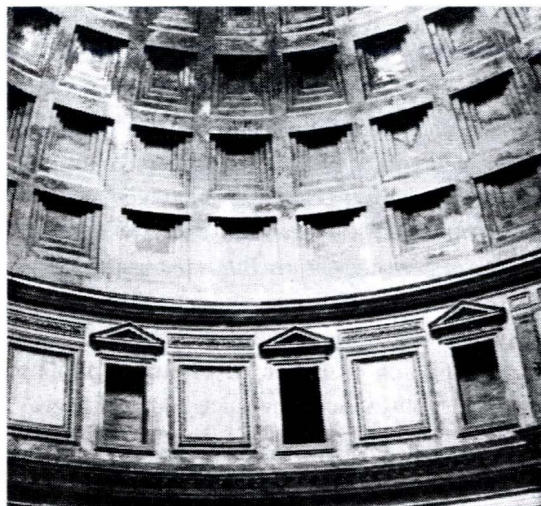


Fig. 3.52. Interior del Panteón de Adriano



Fig. 3.53 Arco ciego en el Panteón de Adriano

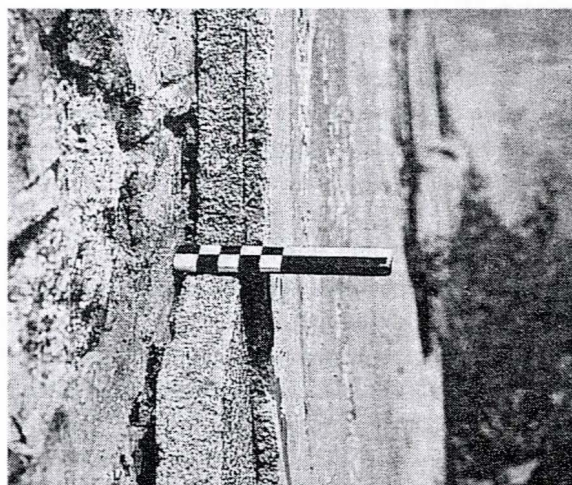


Fig. 3.54 Revoco



Fig. 3.55 Revoco grueso de preparación

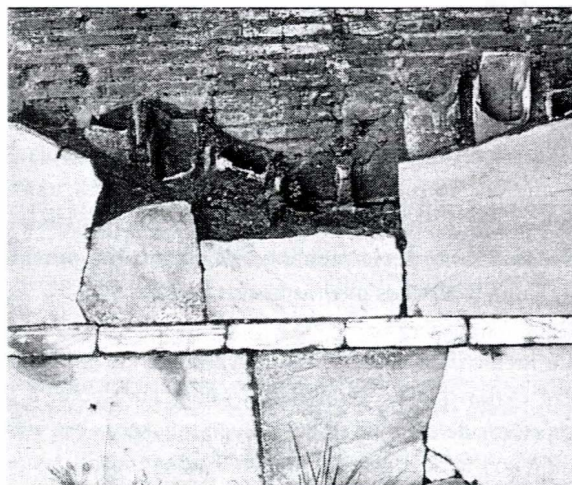


Fig. 3.56 Tubos de drenaje entre un aplacado y un muro

obras. Las especiales características de la administración romana, que adjudicaba la propiedad particular y los gastos de conservación de los edificios públicos a los altos funcionarios, provocó intervenciones sobre ese comercios que se convirtió en estatal en algunas épocas

### 3.5.1 Revocos y aplacados

Vitruvio da una explicación clara de la forma en que, aún hoy día, se pueden hacer revocos perfectos: la *ruderatio*. Los innumerables restos dan fe de que ésta técnica es empleada normalmente, alcanzando una alto nivel de calidad (Figs. 3.54, 3.55).

Se trata de tres capas: la primera muy gruesa de regularización de la superficie a revocar, la segunda intermedia, más delgada, encargada de dar un soporte apropiado a la tercera, muy fina y lisa, de acabado.

En aplacados los romanos lo hacen todo y crean una escuela que será exhaustivamente aprovechada por los bizantinos. Desde los mosaicos, en los que alcanzan una técnica depuradísima, a las grandes losas de mármol curvadas, como debería estar la *Domus Aurea*, su repertorio abarcaba todos los sistemas y materiales disponibles en la época. Según Conerlio Nepote, ya había casas aplacadas de mármol en tiempos de César, siendo muy nombrada la de Mamurra, prefecto de los ingenieros de César en la Galia, quien además colocó en su casa columnas macizas de mármol de Luni.

Recibidos sobre grandes gruesos de morteros de cal, con o sin puzolana, los aplacados se pulían y planeaban posteriormente igualando a las superficies. El comercio de piedras pulimentables abarcaba todo el imperio y a su final desaparecieron muchas canteras de piedras especialmente raras, como los pórfidos egipcios y algunas piedras azules.

La idea básica en las distintas variantes de colocación era evitar que las humedades pudieran afectar a los morteros de cal, que se perjudican mucho en esa situación con la aparición de mohos. En los muros, las piezas especiales de cerámica se interponen entre el aplacado y el soporte (Fig. 3.56).

### 3.5.2 Pavimentos

Los pavimentos romanos son de origen griego, y con tales perfeccionamientos técnicos que se convirtieron en un arte análogo a la pintura, hasta que se pusieron de moda los mosaicos que los sustituyeron.

Los más habituales fueron los llamados barbáricos, o "al cubierto", batidos con pisones, que es lo que se deduce del nombre. El primer pavimento ajedrezado fue el construido en el templo de Júpiter Capitolino, en el 101 adC, construido en mosaico blanco y negro.

Según Plinio el Viejo, "los mosaicos comenzaron ya en tiempos de Sila: aún hoy subsiste, por lo menos, el que Palestrina mandó hacer en el templo de la Fortuna con pequeños fragmentos de mármol. Luego los mosaicos de los pavimentos adoptaron a veces el vidrio, pero en Roma también ésta fue una invención reciente. Agripa, por lo menos en las termas que construyó en Roma, mandó pintar a fuego las paredes de ladrillo de las dependencias calientes, y el resto lo adornó con estucos; al punto que, ciertamente, hubiera hecho las bóvedas con teselas de vidrio si esta técnica se hubiera inventado con anterioridad, o si de las paredes del escenario de Escauro, tal como decimos, se hubiera pasado ya a la decoración de las bóvedas. Cuatro años después de este Lépidio, el cónsul Lucio Lúculo, que dio su nombre al mármol lucúleo; enamorado de este mármol, fue el primero que lo introdujo en Roma, mármol que, por lo demás, era negro, mientras todos los demás son famosos por sus manchas veteadas y por sus colores. (...) Siendo cónsules M. Lépidio y Q. Cátulo, no hubo en Roma casa más hermosa que la de Lépidio; ahora bien, en un plazo de treinta y cinco años aparecieron cien casas mucho más hermosas que la suya".

La técnica romana de la colocación de pavimentos, a base de un enchachado previo, un relleno y el acabado superficial recibido con mortero de cal, es de una gran durabilidad. Cuando trabajan en terrenos húmedos, incorporan carbón a la sub-base para evitar el ataque de los microorganismos, y la compactación previa y el encaje perfecto del acabado han hecho milenarios algunos tramos de sus vías que, en España, han formado la base de los trazados de algunas de nuestras carreteras a principios de siglo.

### 3.5.3 Acabados de cubiertas

El acabado de las cubiertas más habitual era de teja, aunque se conocen ejemplos de losas de mármol, láminas de bronce y plomo, piedra, revocos con mortero de puzolana, bardas de paja, etc. Han quedado muy pocos por razones obvias. No hay datos sobre los acabados de las cubiertas planas, aunque a tenor de su capacidad para cocer buena cerámica, deberían estar recubiertas de ladrillos, en algunos casos recibidos con asfalto.

### 3.6 El legado romano

Podíamos empezar y acabar este apartado con la afirmación rotunda de que el legado de la construcción arquitectónica romana es todo lo que se construye en

el ámbito cultural europeo hasta que, por un lado aparecen el hierro y el cemento Portland como materiales nuevos y por otro los cálculos estructurales se convierten en un método de dimensionado cierto. Sería verdad, pero no toda la verdad. Como testimonio directo sólo disponemos de Vitruvio y de algunos datos de muy diversos orígenes, pero sin sistematizar. Lo más importante que nos ha quedado es la ingente cantidad de ruinas y restos, en mayor número y dispersión de los que han quedado de cualquier otro sistema y que han desafiado muchos siglos de historia, en muchos casos con un grado de conservación sorprendente. Ahí está todo, menos lo que no puede estar; y lo que no puede estar es la cambiante mentalidad que en cada época de la historia, con los mismos materiales y casi los mismos esquemas estructurales, necesitó espacios distintos y manejó el proceso constructivo con otros alicientes, menos exigentes que la avasalladora eficacia romana.

#### APÉNDICE

*Como muestra de la evidente vigencia del proceso constructivo romano, reproducimos un cruce de cartas entre Cayo Plinio y el emperador Trajano sobre un problema concreto. Marginando algunos aspectos relacionados con la mecánica administrativa, menos rígida a lo que se vé de lo que pudiéramos suponer y controlada únicamente por la voluntad del emperador y sus altos funcionarios, sería extrapolable a algunas situaciones de lamentable actualidad.*

*Cayo Plinio al emperador Trajano.*

*El teatro de Nicea, construido en gran parte, pero no terminado, ya se ha tragado, según lo que se dice (las cuentas no han sido controladas), diez millones de sestercios, y me temo que en vano. De hecho, cede y se está agrietando con grandes hendiduras, sea a causa de la humedad y falta de resistencia del terreno, sea por la poca consistencia y fragilidad de las piedras, por lo que es problema ciertamente digno de estudio si hay que dejarlo como está o derribarlo, ya que los sostenes y las infraestructuras, que continuamente se le están añadiendo, me parecen más costosas que sólidas.*

*A este teatro, según las promesas hechas a los ciudadanos, deberían añadirse muchas cosas, como son basílicas a su alrededor, y una galería sobre la cávea. Pero todo eso ha sido diferido, habiendo sido interrumpido el trabajo que debía haberse realizado en primer lugar.*

*Los mismos habitantes de Nicea comenzaron a construir, antes de mi llegada, un gimnasio, destruido por un incendio, mucho más importante y más grande que el anterior, y ya han gastado mucho: el peligro es que sea muy poco útil. En efecto el proyecto es desordenado y mal concebido. Además, el arquitecto, que por cierto es el rival de aquel que comenzó la construcción, dice que los muros del*

*perímetro, aunque tengan la anchura de veintidós pies, no pueden soportar la carga que han de sostener por estar contruidos de piedras mezcladas con cascajo y sin revestimiento de ladrillos.*

*También los habitantes de Claudiópolis, en una depresión dominada por un monte, excavan más que edifican un gran baño con el dinero que los ciudadanos, admitidos al consejo por gracia tuya, han gastado ya, o gustarán a petición nuestra.*

*Ahora bien, temiendo que sean mal empleados, en Nicea el dinero público, y en Claudiópolis tu favor aún más precioso, me veo obligado a pedirte, no sólo para el teatro, sino también para estos baños, que me envíes un arquitecto que pueda examinar si es más conveniente, dados los gastos ya hechos, conducir a término de cualquier modo la construcción tal como se inició, o corregir lo que haya que modificar, quitar lo que haya que quitar, y evitar, por salvar el gasto ya hecho, que se gaste mal lo que todavía queda por gastar.*

*Contestación de Trajano a Plinio.*

*Lo que haya que hacer referente al teatro que se ha comenzado en Nicea, estando tú en ese lugar podrás decidir y juzgar mejor. Me será suficiente saber por cuál solución te decides. En lo que respecta a las obras prometidas por los privados, será de tu cuenta exigir la construcción, cuando haya sido construido el teatro para el cual se comprometieron.*

*Estos pequeños griegos sienten debilidad por los gimnasios; y quizá por eso los de Nicea han proyectado la construcción de uno algo demasiado grande. Es necesario que se contenten con uno que sea suficiente para ellos. En lo que atañe a lo que haya que aconsejar a los de Claudiópolis acerca del baño que han comenzado en un lugar poco apropiado, tú decidirás. No pueden faltarte arquitectos. No hay provincia donde no haya gente capaz y preparada, dado que no considero que sea más rápido enviártelos desde Roma, sabiendo que siempre han solido venir a nosotros desde Grecia.*



## 4 Construcción arquitectónica paleocristiana

### 4.1 El escenario

Cuando el emperador Constantino, en el año 313, por el edicto de Milán reconoce el cristianismo como religión oficial, se puede entender que comienza, paradójicamente, cuando al Imperio Romano como institución aún le quedan más de cien años de existencia, la construcción arquitectónica posromana, cuyo nombre habitual, correspondiente a sus características principales, es construcción arquitectónica paleocristiana.

Esta clasificación se debe entender como un convenio y se justifica más por el desvanecimiento, el desuso o la especialización de los antiguos sistemas constructivos romanos que por la aparición de verdaderas novedades en la tipología arquitectónica, o en la técnica constructiva, novedades que tardan algunas centurias en producirse.

La razón de considerar esa fecha como el límite entre los dos conceptos constructivos es que, a partir de ella, la demanda de edificios que se produce como consecuencia del edicto se va a orientar en una dirección muy concreta y totalmente novedosa. La nueva religión, además de otro tipo de diferencias, quizás de mayor relieve, es muy peculiar en su culto y su liturgia necesita de templos capaces de albergar a un número cada vez mayor de personas -creyentes- en unas ceremonias participativas que requieren un espacio jerarquizado y polarizado. Y eso es radicalmente nuevo, aunque en los templos griegos se pueda encontrar un cierto paralelismo, sólo por el volumen comparativo que su construcción adquiere con respecto a otros edificios, y en absoluto en ningún otro aspecto.

Los templos griegos y romanos eran edificios aptos para contener una estatua del dios y poca cosa más,

mientras la nueva religión congrega a los fieles para la oración con bastante asiduidad, fieles que se multiplican día a día, por miles -en Tarragona se convierten y son bautizados en un sólo día los cinco mil integrantes de una Legión-, por lo que es imprescindible disponer de edificios espaciosos.

Estas exigencias se impondrán sobre cualquier otra consideración de índole formal o constructiva, y de ahí arrancará una tipología arquitectónica que, planteando a través de su evolución a lo largo de mil quinientos años problemas a la construcción, va a ser el motivo generador de los grandes sistemas constructivos posteriores, fundamentalmente los medievales, constantemente acuciados para adaptar las plantas originales a las modificaciones litúrgicas, los conceptos teológicos, o las modas estéticas.

Esta especialización provocó cambios de importancia y todo el complejo sistema que había posibilitado el desarrollo de la industria de la construcción romana desapareció ante una demanda que hizo de la basílica el único edificio útil. El resto de la tipología arquitectónica; templos, coliseos, etc, cuya construcción en los tres siglos anteriores fue el acicate en el desarrollo de esa industria, quedó arrinconado definitivamente.

Las basílicas han sido hasta entonces lugares de reunión de gran versatilidad. En ellas se ha impartido justicia, se han efectuado entrenamientos militares, o han servido de mercados, entre otras actividades, todo ello presidido generalmente por la imagen del Emperador, entronizada como divina, y éste uso variado es una experiencia previa inestimable.

Ese tipo arquitectónico es materializado, como no podía ser de otra manera, con los sistemas constructi-

vos romanos habituales, fórmula que estará vigente, en mayor o menor medida, a lo largo de muchos siglos. De todo el amplio abanico de soluciones disponibles en la construcción romana, utiliza una muy concreta y simple: los muros continuos sobre hileras de columnas alineadas, con cubierta plana sobre ellos, y con lo que caen en desuso las otras técnicas más complejas, como la competente técnica romana de grandes abovedamientos, la construcción de coliseos, etc.

A esta situación, que se produce en el siglo IV, contribuye el que desde hacía muchos años los diversos estamentos de la administración imperial estaban perfectamente ubicados y que con la fundación de Constantinopla el esfuerzo constructor se desplaza a esa ciudad, que vive una intensa fiebre constructora. Pero en la antigua metrópoli, sólo el nuevo culto necesita nuevos espacios, y no se aceptó el uso de los templos dedicados a los dioses paganos por consideraciones de índole moral y práctica.

Posteriormente, con una duda en la fijación de las fechas, que como ya hemos indicado es de cien años, el Imperio romano va a desaparecer como organismo histórico diferenciado y eso influirá trascendentalmente en todos los aspectos de la vida. En esta etapa, que sin duda ya sólo puede llamarse posromana, hay un momento en el que, por múltiples razones, resumidas en lo que podríamos definir como imperativos de la historia, desaparecen los modos romanos de construir, entendidos como algo global y no sólo como una técnica. Para emplear un ejemplo suficientemente claro, hay un momento en que no es posible construir el acueducto de Segovia o un tramo de la vía Tarraconensis.

Esta situación se va a producir en todo el Occidente, aunque en Italia y algunas regiones dálmatas, la tradición constructiva romana, con toda su carga estética y contenido arquitectónico, va a mantener una mayor presencia durante varios siglos, a pesar de su evidente degradación. Pero en el resto de Europa se produce una ruptura muy notable en casi todos los órdenes.

Otro hecho fundamental va a definir esta etapa, aunque en este caso no sería justo llamar a lo que surge posromano, por más que sea estrictamente cierto. Casi contemporáneamente al edicto de Milán, en el 324, se

produce la fundación de Constantinopla. A partir de ahí aparece en el próximo Oriente una estructura social, cultural y política con características propias muy acusadas, cuya evolución se efectuará de forma singular, independiente y con mayor nivel creativo que en Europa, aunque, como es lógico, la ósmosis entre ambas concepciones del proceso constructivo sea evidente, en proporciones difíciles de precisar, tanto como los lugares y los caminos por los que eso ocurre. Esta estructura poderosa dura, con mayor o menor fortuna, hasta el año 1.453, fecha de la caída de la ciudad en poder de los turcos.

Es aún perfectamente válida la versión de Choisy: "A pesar de los esfuerzos del espíritu de centralización, jamás llegó el Imperio romano a producir la unidad absoluta en los métodos del arte, del mismo modo que tampoco la realizó en los procedimientos del lenguaje. La arquitectura, esa segunda lengua donde se reflejan los rasgos de la vida social, no ofrece en los romanos ni expresiones uniformes ni aun principios invariables: tiene sus dialectos como tiene los suyos la lengua hablada; y esos dialectos del arte se clasifican a su vez en dos grandes divisiones que responden a la partición del territorio en provincias orientales y provincias occidentales. El Adriático forma, entre esos dos grupos, una línea de demarcación natural: corta el Imperio en dos mitades, cada una con una vida propia, que conservarán siempre su individual fisonomía. Hacia acá, en las comarcas de lengua latina, reina un sistema de construcción provisto de todos los caracteres del genio organizador de Roma; hacia allá, la civilización y el arte toman poco a poco los colores de Oriente: allí comienza un mundo medio griego medio asiático, hablando la lengua griega, y cuya arquitectura reproduce los tipos helenísticos modificados por una radiación del Asia. Dos civilizaciones se contraponen, por así decirlo, en la unidad romana, singular división cuyo origen nos remonta a la época de la conquista y cuyo punto de partida es preciso buscar en el estado de las poblaciones cuando Roma las reunió bajo una autoridad común.

Para Occidente, donde apenas habían penetrado las influencias griegas, la conquista romana fue como una revelación de un principio civilizador. El Occidente recibió de Roma la cultura sabia a cambio de su independencia; adoptó la lengua, las artes, los usos de

Roma, y así se formó, mitad a la fuerza, mitad por el ascendente moral de Roma, una como nación occidental, hablando una lengua única y cuyo arte se reducía a la imitación de los modelos romanos. La fusión de los dos mundos fue profunda.

Muy otro fue en Oriente el resultado de la conquista. Aquí se trocan los papeles. El Oriente, después de las expediciones macedónicas, poseía aquella especie de unidad que resulta de una civilización común y de un idioma uniforme. Con la lengua griega circulaban allí todas las ideas de la antigua Grecia. El arte griego a su vez se había implantado en todas partes; reinaba por doquier, no ya en su perfección clásica, sino tal como lo había transformado la escuela de Alejandría con las incorrecciones de la decadencia, pero con la grandeza que le había impreso el siglo de Alejandro. El arte, el idioma, todos los elementos sociales estaban fijados; sobrevivieron a la invasión romana, atravesaron la duración del Alto Imperio, y se encontraron nuevamente alterados, pero reconocibles, el día en que Oriente volvió a ser un imperio aparte con Constantinopla como capital. La época romana representa pues, así en la historia del arte como en la historia general de la civilización, dos corrientes, una de las cuales tiene su origen en Roma, la otra en el Asia griega. Destruída Roma, la corriente occidental hubo de cesar al punto, pero la corriente oriental que tomaba su origen en otras fuentes, pudo continuar todavía. Roma, a la sazón, había trabado, comprimido, la vida oriental; su ruina devolvió el Oriente a sí mismo; el arte y la sociedad reemprendieron más libre vuelo; se empujaron, a su caída, por sendas desconocidas. De ahí vino para la sociedad una nueva forma de civilización, la civilización cristiana de Oriente; y para el arte un nuevo tipo de arquitectura enteramente original: la arquitectura bizantina”.

No obstante, hay que aclarar que, según algunas teorías modernas, el Imperio romano en Occidente es una poderosísima cuña en un proceso de dos mil quinientos años, en el cual las tribus centroeuropeas avanzan hacia un estadio cultural propio, aunque, como no podía ser menos, éste está muy influido por la cultura romana. Desde este punto de vista, el románico sería el punto en el que emerge, después del trauma que supone el hundimiento del Imperio, la nueva cultura europea de tradición bárbaro-romana.

Para la construcción arquitectónica este proceso se manifiesta por la existencia de dos corrientes:

1) Una se inicia en lo que se conoce muy justamente como construcción arquitectónica paleocristiana. En ella se continúan parcialmente y con tendencia a su desaparición progresiva, los esquemas constructivos romanos aplicados a una tipología arquitectónica también fundamentalmente romana, aunque movido todo ello por una nueva inspiración.

2) La segunda, que tarda en aparecer aún unos doscientos años, superpuesta al paulatino olvido de la estética y la técnica romana, se inicia partiendo casi de cero, o con muy vagas apoyaturas técnicas, mejorando las técnicas locales de construcción en piedra.

La conjunción de ambas corrientes, en aportaciones cuyas proporciones son difíciles de definir, da como resultado la construcción medieval, en un camino que partiendo del paleocristiano por un lado y del proto-románico por otro, culmina gloriosamente en la construcción gótica.

El final de la primera de estas dos corrientes se confundirá con la otra, conformándola en gran medida, e, incluso, en Italia, casi se podrá asegurar que el hilo conductor no se rompe nunca y que los hallazgos y soluciones de la segunda corriente, que es la que inician después de establecerse y consolidar sus asentamientos los pueblos bárbaros, y que se desarrollará a la vez que la construcción política de la Europa feudal, se incorporan en ese área a un espíritu que se niega a desaparecer durante centurias y que está esperando la más mínima oportunidad para manifestarse. Italia apenas es gótica, y el románico italiano necesita muy poco, o le sobra muy poco, para ser otra cosa más relacionada con el mundo clásico que con el medieval.

Por lo tanto, lo que ocurre después del año 313 se debe tratar en tres apartados. Por una parte, la construcción arquitectónica bizantina, que casi está al margen de este proceso y que si interviene en él es con aportaciones concretas; por otra, la paleocristiana, con toda la carga explícita de tradición romana; y, por fin, la que a partir de la nueva situación inicia el proceso en el que se crea el repertorio constructivo medieval y que en España se conoce como visigoda.

## 4.2 Las primeras iglesias cristianas

La oficialización de la religión provocó cambios de orden teológico y político. Como indica Krautheimer "Cristo no era ya, en el s.IV, el Dios de los humildes. De la misma forma que Constantino se veía a sí mismo como el vicario de Dios en la tierra, se fue viendo a Dios como el Emperador del cielo", con lo que la liturgia comenzó a adoptar cada vez mayor cantidad de rasgos del protocolo oficial romano y de la corte imperial.

La basílica, debido precisamente a su carácter polivalente y poco definido, se fue adaptando a ese ceremonial y a la necesaria jerarquización y diferenciación del espacio. El que hubiera, generalmente, un ábside en el que se colocaba la estatua del emperador divinizado para que bendijera, en un sentido amplio, los actos que allí se celebraban, es de suponer que fue sugerencia para muchos de los desarrollos posteriores.

El nártex para los catecúmenos, el presbiterio para los grandes personajes y la nave central para los fieles de mayor relevancia, eran elementos, entre otros, que permitían una valoración estricta del espacio. La versatilidad de las plantas basilicales facilitó las sucesivas adaptaciones y modificaciones que en algunos casos fueron mínimas.

A pesar de todo son, en principio, edificios de una gran sencillez y funcionalidad. Una de las primeras, la de Aquileia, construida entre 313 y 319, consta de una sala principal de 20x37 m con techo plano sobre columnas. Los muros son de pequeños sillares y probablemente las paredes y el pavimento estuvieran, en su origen, recubiertos de mosaico.

Otra basílica contemporánea, la de Orleansville, con cuatro hileras de columnas en un recinto de 16x26 m, con la nave central más alta y bien iluminada, tiene ábside y la cubierta plana. Los muros son de *opus mixtum*, de mampuestos sujetos por verdugadas y zunchos de piedra (Fig. 4.1).

La fórmula sobrevive al Imperio y, debilitándose en el tiempo de forma paulatina y proporcionada al aumento de la confusión política, es válida hasta bien entrado el s. VII. La razón es simple: los nuevos amos de los res-

tos del Imperio se adscriben sin reservas a la nueva religión, lo que garantiza la continuidad de la demanda. Un ejemplo es la basílica de San Paolo *fuori le mura*, a las puertas de Roma. Fue fundada en 386 por Valentiniano II y, aunque no se terminó hasta el 440, después de la invasión de Roma por Alarico en el 408, su planta y alzado reproducen los de la iglesia de San Pedro, pudiendo considerarse como un ejemplo típico de la tipología basilical. Fue reconstruida enteramente después del incendio de 1823 y su decoración actual imita a la antigua, aunque puede que el conjunto no se corresponda con la percepción original.

La iglesia de Santa Sabina, (Fig. 4.2) mandada construir por Alarico en el 410, es un monumento clásico. Revestida de mármoles policromos aprovecha los recursos habituales, lo que, a pesar de las modificaciones sufridas, sigue presentando la especial luminosidad que debían tener las basílicas romanas clásicas.

Pero quizás el ejemplo más representativo sea *Santa María Maggiore*, cuyo interior (el exterior es barroco) conserva intactas las grandes líneas de su arquitectura y de su decoración de mosaicos. Todas sus partes antiguas fueron encargadas por el papa Sixto III, entre el 423 y el 440, sobre otra muy inmeditamente anterior. Destacan unos paneles de mosaico sobre las paredes y sobre el arco triunfal, y la única parte del edificio construida en época posterior es el coro (Fig. 4.3).

Se dispone hoy de algunos datos contradictorios sobre cómo y cuándo se definen las normas de diseño a partir de las sucesivas plantas. En un principio parece que los arquitectos son funcionarios de la corte de Constantino que llevan a las ciudades importantes los proyectos, es decir, los esquemas primarios, que son contruidos por mano de obra y dirección intermedia local, siguiendo las normas romanas. Ello hace que haya un léxico común y unos resultados muy parecidos: Milan, Alejandría, Jerusalén, Antioquía, Treveris, Roma entre otros. Estos esquemas deben responder a las necesidades teológicas y litúrgicas. Es difícil definir hasta qué punto los temas litúrgicos influyeron en la definición definitiva del esquema -se sabe que en tiempos de Constantino se reunieron los obispos para decidir cómo se haría la iglesia de Mambre-, aunque el modelo definitivo de tres naves no se desarrolla en Bizancio hasta el s. V.

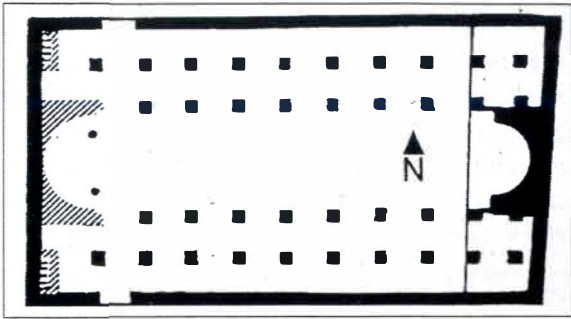


Fig. 4.1 *Basílica de Orleansville*

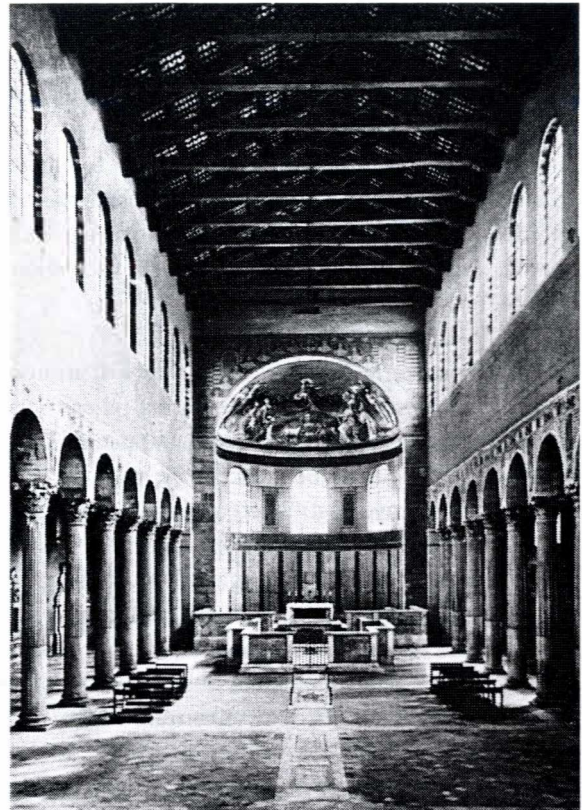


Fig. 4.2 *Iglesia de Santa Sabina. Roma*

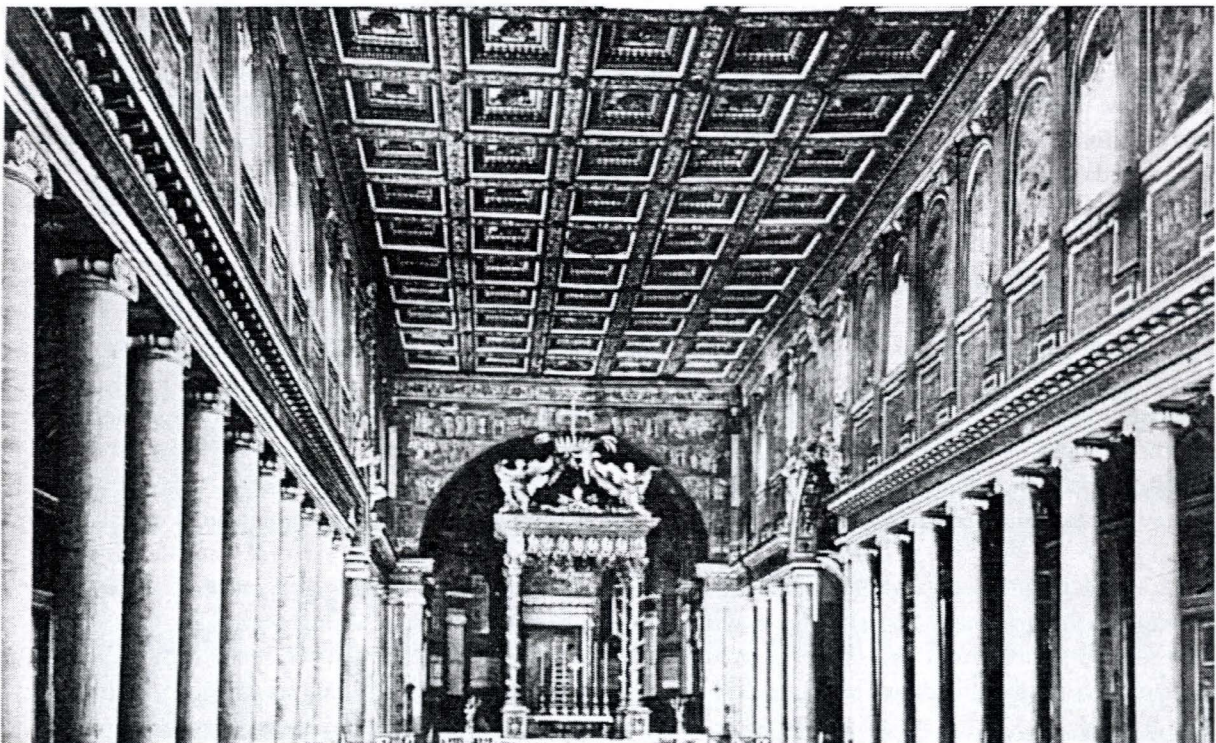


Fig. 4.3 *Santa María la Mayor. Roma*

Este esquema resuelve favorablemente casi todos los problemas constructivos. Permite la iluminación de la nave central, reduce la luz a cubrir, mantiene un espacio unitario a pesar de la oscuridad de las naves laterales. El tejado plano no da empujes sobre los muros, sólo cargas verticales, con lo que se pueden subir las paredes de la nave central sobre columnas, y tiene, además, unas grandes posibilidades de crecimiento longitudinal (Fig. 4.4).

Con esta tipología y por el fervor de los primeros momentos, Constantino decidió crear un relicario para los restos de San Pedro en el lugar en el que recibió el martirio y en el que pudieran acogerse miles de fieles. Esta decisión, cuya justificación religiosa no admite objeciones, supondría, más de mil años más tarde, un error importante cuando se construyó la cúpula de San Pedro. Con grave riesgo para la vida del monumento, los cimientos de las pilastras de la cúpula, que se construyeron en 1506, se apoyan en dos planos de trabajo distintos, las gradas del circo y el terreno virgen, originando unas patologías de muy difícil arreglo. La iglesia, sobre una superficie de 119x64m, estaba organizada en cinco crujías o naves siguiendo el esquema tradicional.

No obstante la idoneidad de la solución basilical, se genera, a partir de un espacio central cuya significación viene reforzada por la posibilidad de los desarrollos cruciformes, otro tipo de planta que puede llegar a ser redonda y cuya culminación como espacio arquitectónico será dos siglos más tarde la prodigiosa *Hagia Sofía* constantinopolitana (Fig. 5.63), después de una serie de intentos para definir la estructura.

Del tiempo de Constantino es la rotonda de Santa Costanza, mausoleo de una hija del Emperador, semejante al de su madre, Santa Elena, y de la misma traza que los mausoleos que se construyeron junto a San Pedro, destinados a los miembros de la familia imperial, de los que han quedado dibujos.

En Roma es donde se conserva el más antiguo ejemplo de baptisterio de espacio central. Bajo el reinado de Constantino se construyó una sala circular para que sirviera de baptisterio monumental, del que se conservan los cimientos.(432-440), desconociéndose el resto de los detalles.

La construcción actual, sobre los cimientos anteriores, se organiza alrededor de ocho columnas que soportan la cúpula, en tanto que el corredor que las rodea estaba cubierto por bóvedas de medio cañón. Pese a ulteriores transformaciones (sobre todo, la segunda serie de columnitas y la balaustrada interior), este monumento venerable, antecesor en Italia de tantos baptisterios octogonales, conserva su aire antiguo.

*San Stefano Rotondo*, fundación del papa Simplicio (468-483), vuelve al sistema circular, pero en este caso la estructura es mucho más complicada. Posee una doble nave anular y una cruz griega inscrita en ella. El edificio resulta en cierto modo demasiado bajo para sus dimensiones (comparadas con las del Santo Sepulcro) y en el interior sus fuertes columnas hacen que se pierda el sentido del espacio incluido en la rotonda, la cual, con su techumbre de armadura y el gran número de apoyos interiores ligeros, tiene el aspecto, para su tiempo, de una obra arcaica.

Tampoco de esa forma y a pesar de estos casos se recuperan los sistemas de grandes cúpulas, y en un primer momento el espacio central se cubre, en general, a cuatro aguas con perfil piramidal.

Los muros interiores son lisos, decorados con frescos o mosaicos coloreados, excepto en el presbiterio. Existen combinaciones de los dos tipos, entre los que quizás el más notable sea San Lorenzo, en Milán (Fig. 4.5).

La visión original de esta basílica se obtendría sin el actual cimborrio y se supone que estuvo construida con bóveda, quizás de anforillas, o concrecionada con nervaduras. La simplicidad y el ritmo de las torres de esquina debieron ser, sin duda, una sugerencia importante para los limitados medios de los primeros constructores románicos.

El interior (Fig. 4.6), a pesar de que es difícil determinar el alcance de las restauraciones de los s. XII y XIII, presenta una serie de elementos de gran interés histórico y artístico. Las semicúpulas laterales que restringen la cubierta central presentan la deformación del radio de la planta, que casi las convierte en muros curvados en altura, y que después consagrará Borromini en San Carlo, en Roma, como un importante elemento

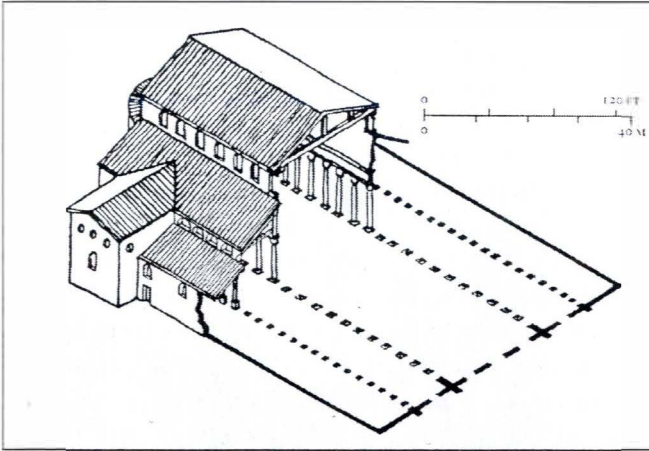


Fig. 4.4 Basílica Lateranense según Krautheimer

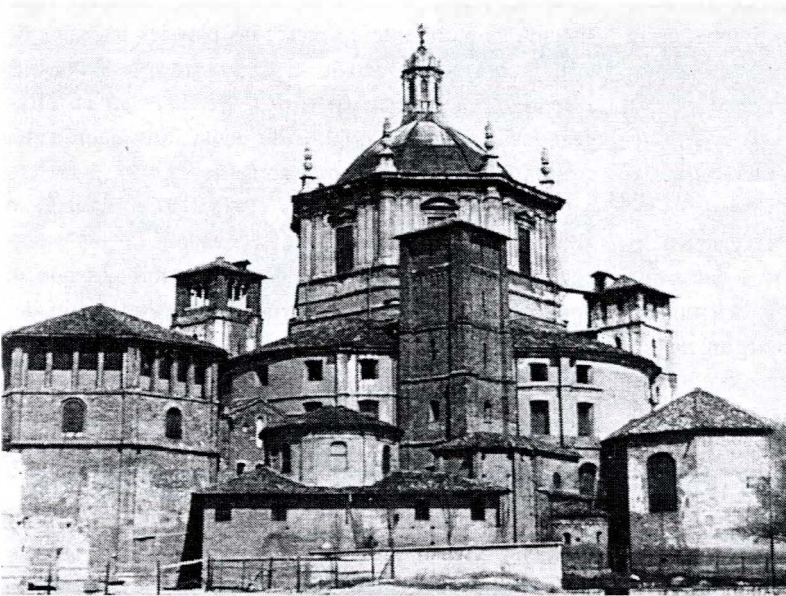


Fig. 4.5 Iglesia de San Lorenzo. Milán

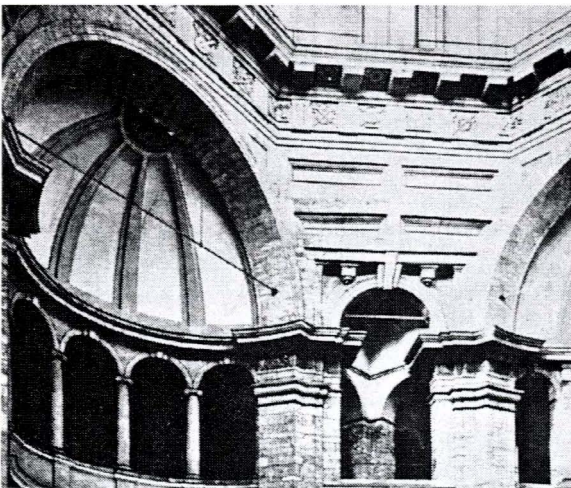


Fig. 4.6 Iglesia de San Lorenzo. Interior

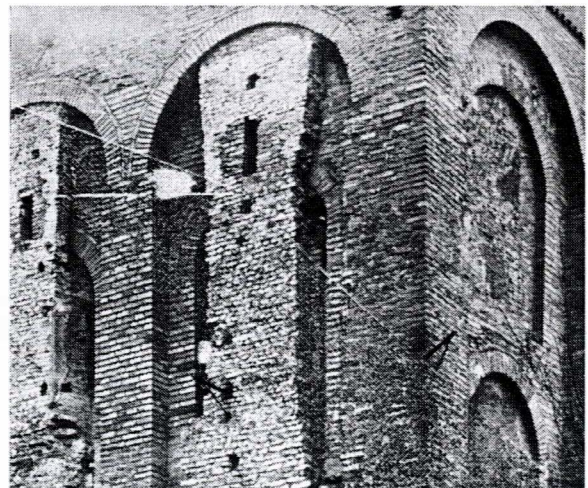


Fig. 4.7 San Simpliciano. Milán

en el repertorio barroco, mientras que las arcuaciones de las exedras, retocadas en el S. XII, son un antecedente irrefutable de las que se construirán en *Hagia Sofía*.

Los muros son de mampostería e iban revestidos de mármol y mosaicos, algunos de los cuales aún se conservan.

A pesar de estos restos tan singulares y bien conservados, cuando se produce la fiebre constructora de finales del s. V en todo el ámbito del Imperio y se construyen en todas las ciudades y, a veces, por grupos de dos o tres, se tendió entonces a suprimir las iglesias de forma insólita (que el siglo IV había admitido), para reemplazarlas por basílicas regulares. En Salone, en la costa dalmata, se encuentra un importante ejemplo de este tipo de transformación.

Las variantes locales se reducen al tratamiento dado a los transeptos, nártex, ábsides laterales y atrios, mientras que el cuerpo general de la iglesia se adapta definitivamente a la forma basilical. No existen datos que permitan asegurar que esta generalización del modelo se debe a imposiciones canónicas de algún tipo y puede que se deba sólo al prestigio alcanzado por las construcciones imperiales metropolitanas.

El concepto que preside este tipo de construcción es, como heredero de la filosofía constructiva romana, de un extraordinario pragmatismo: como ejemplo baste la fábrica de la recientemente descubierta (1943) catedral antigua de Milán. La fábrica original se refuerza con paños de materiales diversos para aumentar su capacidad portante (Fig. 4.7).

A pesar de que es probable que los exteriores fuesen bastante sencillos y desordenados, como los edificios romanos de las últimas épocas, a través de dibujos, descripciones y de las propias investigaciones *in situ*, se tienen datos sobre las pretensiones de una mayor riqueza en el ambiente interior, aunque, a lo largo de los más de mil quinientos años que algunas de estas basílicas llevan en uso, se hayan producido circunstancias muy diversas, con intervenciones incontroladas que desvirtúan su percepción original. Se sabe de "techos dorados, enseres de oro y plata, columnas de mármol y decoración musivaria".

Se inicia, o se continúa con más empeño que nunca, una fórmula que durará prácticamente hasta nuestros días: se desnuda a un santo para vestir a otro, lo que en nuestro caso significa que se saquean otros edificios para aprovechar algunos elementos cuya calidad es prácticamente imposible de conseguir en el momento. Casi todas las columnas y los capiteles que se usan en la construcción de las basílicas paleocristianas se pueden datar en fechas anteriores. El carácter pagano de esos edificios saqueados es una razón más para su desmontaje. Está por saber si esa práctica sirvió para que se salvaran esos elementos o para que se perdieran los edificios de los que formaban parte.

Desde el punto de vista de la eficacia constructiva el sistema es realmente correcto; las paredes laterales de la nave principal pueden ser de poco espesor, ya que sólo reciben cargas verticales. Se insertan en ellas grandes ventanales que permiten la iluminación del conjunto, iluminación que se refuerza con el reflejo sobre esas propias paredes y el sistema adintelado, o arqueado muy simple; en la separación de las naves permite que las hileras de columnas sobre las que se apoya el muro apenas desvirtúen la percepción del espacio continuo de las tres o cinco naves, a pesar de que establezcan la sutil distinción y la diferente importancia de la central en relación con las laterales (Fig. 4.8)

La lógica constructiva y formal, que en un primer momento prescinde del aspecto exterior dando primacía al interior por razón de la seriedad y trascendencia del culto, va imponiendo lentamente una mayor limpieza de formas. Aparecen en el exterior superficies limpias que sugieren la valoración de los volúmenes y en el s. VI se construye San Apolinar (Fig. 4.9), en Classe, puerto de Rávena, en la que se empieza a esbozar un lenguaje arquitectónico que, adaptado a las posibilidades constructivas de cada área, después formará parte del repertorio románico. La semejanza de la pequeña nave a la izquierda de la fachada con Santa María del Naranco puede ser algo más que una coincidencia a juicio de algunos autores, y la secuencia de las ventanas de la torre circular va a servir de pauta, seguro, a algunas torres románicas. La disyuntiva que plantea la construcción de una torre entre la sección constante, que aporta un peso inútil en las últimas plantas y, como alternativa, un peligroso aligeramien-

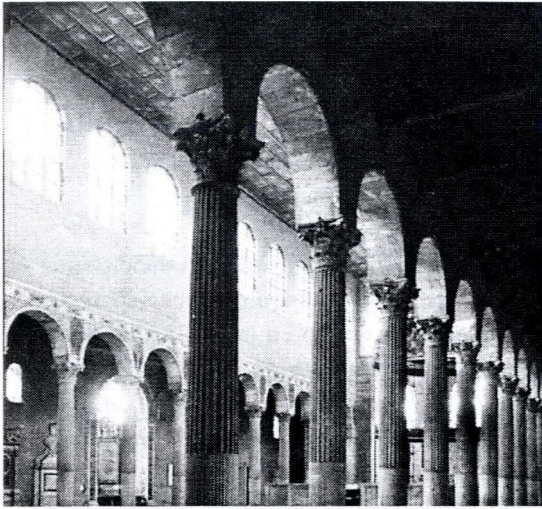


Fig. 4.8 Santa Sabina

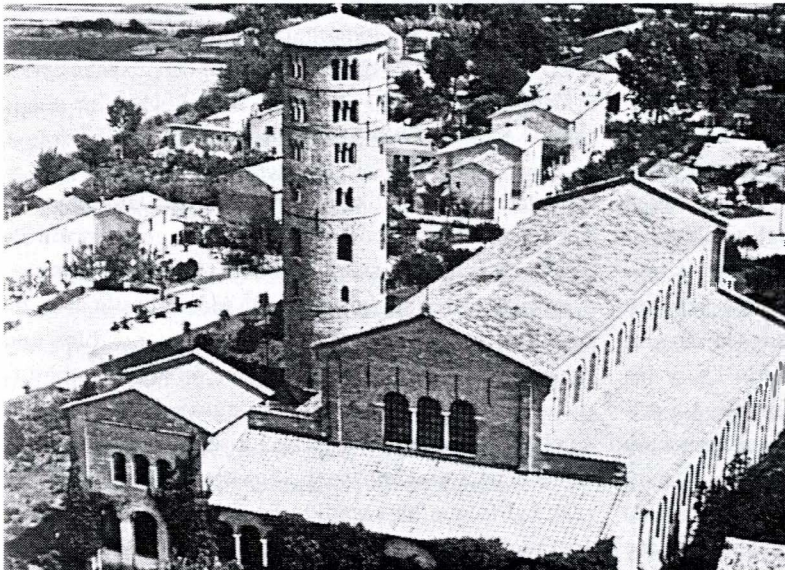


Fig. 4.9 San Apolinar. Classe

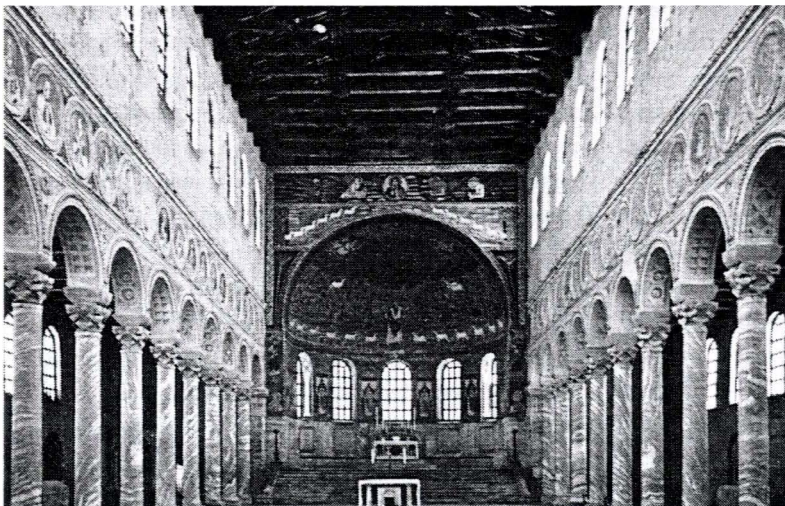


Fig.4.10 San Apolinar. Interior

to en toda la altura, es resuelto magistralmente a base de aumentar en cada tramo el número y la anchura de las ventanas, con lo que, además de crearse un ritmo de una gran validez plástica, se consigue una equilibrado balance entre el peso y la sección resistente.

Las a primera vista sorprendentes coincidencias entre el exterior de las iglesias paleocristianas y las románicas posteriores, tanto más acusadas en la medida en la que los interiores son radicalmente distintos, se deben a que en ambos extremos prima una gran austeridad, por despreocupación probablemente en el primer caso, y debido a la pobreza de medios en el segundo, aunque este descuido no suponga la posibilidad de aprovechar al máximo las posibilidades compositivas de los volúmenes (Fig. 4.10).

Los ejemplos propuestos se pueden considerar los más representativos de esta etapa, aunque no son los únicos. Por todo el resto del imperio, tanto en Oriente como en Occidente, aparecen ejemplos de esta manera de construir, aunque la escasez de restos y la dificultad para identificar en ellos las partes originales paleocristianas reducen a muy pequeño el número de los significativos. Sin ánimo exhaustivo se pueden señalar, construidas a imitación de las romanas, la de San Pedro de Vienne, reconstruida en el siglo IX, y las criptas de Joure y San Lorenzo de Grenoble. La primera, del siglo VII, conserva sólo de la construcción original el muro occidental, siendo la segunda muy tardía del siglo VIII. Totalmente abovedada, presenta cabecera trifoliada con bóveda de gallones y ábside contrapuesto a los pies.

También es importante el Hipogeo de Las Dunas, del siglo VII, en la zona de Poitiers, enterramiento construido bajo tierra al que se accede por una escalera cuyos peldaños presentan una curiosa decoración esculpida de serpientes enlazadas, peces y hojas de hiedra, de origen clásico y germánico, a los que se

supone un valor mágico, como lo confirma la inscripción que aparece en el último de los peldaños, con la intención de detener a los posibles violadores de la tumba. En el interior del hipogeo puede verse una estela, muy rudamente esculpida, con decoración figurada, posiblemente de dos santos locales.

En España lo paleocristiano se va a superponer, en general, a lo visigodo, aunque a veces aparece con otras características, como en la basílica en Son Bou en Menorca, cuya adscripción bizantina es más que probable y que formaría parte del rosario de basílicas de ese tipo que según Puig i Cadafalch cubrieron la ribera mediterránea de España en el s. VI; o la de Sant Cugat del Vallés, cuyo sistema constructivo parece ser de factura más rústica.

### 4.3 El legado paleocristiano

El legado paleocristiano, al margen de algunos intentos renacentistas, como sistema de construcción es prácticamente inexistente. La construcción es romana, y en cada época de la historia la planta basilical se ha resuelto con los materiales y sistemas posibles que mejor se han adaptado a su descripción artística y litúrgica. El auténtico legado, si se quiere interpretar así, es el del concepto del espacio litúrgico, y su desarrollo no se debe a ningún sistema constructivo concreto. En realidad lo que ha sucedido ha sido todo lo contrario: forzados por las necesidades del culto, tanto en su espíritu como en su desarrollo material, los constructores de cada época han tenido que resolver, con gran brillantez en muchos casos, los problemas que les ha planteado esa evolución. El legado es, en este caso, religioso y de una potencia tal que en su entorno se ha movido toda la arquitectura y la construcción, casi exclusivamente, durante mil doscientos años, y de forma prioritaria hasta hace sólo dos siglos.

## 5 Construcción arquitectónica bizantina

### 5.1 El escenario

Convencionalmente se entiende que el establecimiento de una estructura social y cultural propia en el Imperio Romano de Oriente se produce a partir del año 324 con la fundación de Constantinopla, y se puede considerar acabado el periodo en el año 1.453, fecha de la caída de la ciudad en poder de los turcos. Son once siglos en los que se desarrollan unas formas concretas de construir de extraordinaria importancia, fruto de una situación cultural específica.

Es aún perfectamente válida la versión de Choisy que ya referimos al hablar de la construcción arquitectónica paleocristiana y que acaba con esta frase tan explícita: “De ahí vino para la sociedad una nueva forma de civilización, la civilización cristiana de Oriente, y, para el arte, un nuevo tipo de arquitectura enteramente original: la arquitectura bizantina”.

Desde su origen esta arquitectura se manifiesta con gran intensidad. Constantino quiere que Bizancio sea conocida como “la segunda Roma” y con ese motivo se produce en la ciudad una extraordinaria actividad constructora que causa la natural escasez de materiales y mano de obra, problemas que preocupan al mismo Emperador. “Nos faltan arquitectos y albañiles”, se queja Constantino en una carta escrita en el 320 ddC., en pleno proceso fundacional.

Se desarrolla en todo el área geográfica del Imperio de Oriente, desde Venecia a los Balcanes por el norte, y hasta algunos remotos lugares de Siria por el este, e influye sobre todo en la creación de la tipología basilical y de muchos conceptos constructivos en todo Occidente, de forma que no es posible abordar los modos de construir en la Europa medieval sin efectuar

previamente un análisis de las técnicas bizantinas. Puede ser muy difícil la descripción de los caminos por los que esa ciencia llega, con bastante retraso, a informar el proceso europeo, pero es incuestionable que tanto las formas como su ejecución, por lo menos en la etapa románica, se han desarrollado en Oriente próximo y que su uso en Occidente, con las modificaciones imprescindibles para su adaptación y desarrollo, es posterior. Es probable que el mozárabe español esté directamente influenciado por estas técnicas y que a su través, se extendieran en el resto de Europa, pero esto, hoy por hoy no pasa de ser una hipótesis debido a la escasez de restos, aunque las coincidencias entre la iglesia de Bobastro y las de Urgup y Goreme en Anatolia son mucho más que epidérmicas.

Casi inmediatamente, como soporte de esa arquitectura, se desarrollan una serie de técnicas constructivas en las que se evidencia la vitalidad de las dos fuentes en las que han bebido: por un lado la tradición constructiva romana que utiliza de forma exhaustiva las bóvedas, arcos y cúpulas en la solución de los problemas estructurales, y por otro, la milenaria costumbre de los pueblos próximo orientales para trabajar esos elementos con la parquedad de medios y materiales que proporciona la extensa área geográfica en la que se desarrollan.

La tradición constructiva romana va a sufrir, además de las modificaciones que le impone el peso cultural de los territorios del Imperio de Oriente, otras correcciones de tipo técnico provocadas por la penuria de algunos materiales imprescindibles.

La escasez de árboles maderables es, probablemente, el hecho más decisivo, ya que impide la construcción de las grandes cerchas romanas y de las importantes

cimbras imprescindibles para los abovedamientos vertidos. La importancia del caso se refleja en una abundante casuística. En el 807 el patriarca de Jerusalén, Tomás I, trajo de Chipre 50 troncos de cedro para cubrir la iglesia del Santo Sepulcro, y a San Nicolás de Sión se le reconoce como milagro haber alargado un tronco para la cubierta de una iglesia en el s. VI. Teniendo en cuenta las dificultades, tanto del transporte como de la taumaturgia, parece evidente que era imposible conseguirlos en una zona más próxima por otros medios. El único ejemplo que queda de cubierta de madera original es la iglesia de Santa Catalina del Monte Sinaí del s. VI.

Pero esa dificultad se convierte en virtud. Una vez que no es posible disponer del polvo puzolánico, y desaparecida la industria romana de la construcción, que posibilita entre otras cosas la disponibilidad de madera para cimbrar y una gran cantidad de mano de obra especializada en la talla y el transporte de grandes cantidades de sillares, dovelas, fustes, basas y capiteles, los constructores se ven obligados a trabajar, sobre la base de tecnologías locales, en una doble dirección para mantener las ventajosas cubiertas arqueadas, casi las únicas posibles. Por una parte se idean sistemas de puesta en obra que no necesitan cimbras o que reducen éstas al mínimo, enlazando, por lo menos en la intención, con los sistemas mesopotámicos de construir bóvedas, y por otra las masas concrecionadas se sustituyen por fábricas aparejadas.

## 5.2 Antecedentes sirios

Existe una tradición constructora en la parte oriental de la zona que con altibajos dura hasta hoy. Sobrevive al periodo aqueménide, en el que se sustituyen las bóvedas tradicionales por cubiertas planas de artesanos de madera, muy pesados y que limitan la luz, y se manifiesta con todo su esplendor en el periodo sasánida, del s. III al s. VI ddC.. El contacto es estrecho durante tres siglos, a pesar de que nunca fueron dominados. Hatra, ciudad en la que se encuentran los primeros palacios cubiertos con bóveda de cañón seguido, resistió dos sitios romanos en los años 200 y 201 (Séptimo Severo), y fue asaltada por Sargon en el 250, quien entronizó la dinastía sasánida. Resistió también

a Bizancio pero fue invadida por los árabes, a finales del s.VII, en los que influyó decisivamente dando lugar a espléndidos ejemplos de inventiva y creatividad a lo largo de muchos siglos, durante lo que, para simplificar, llamamos construcción islámica.

Existen antecedentes muy anteriores a los de la época sasánida. De los años 3.000 al 2.000 adC., el Ramaseum y el palacio de Korsabad, entre otros. Las condiciones existentes en la zona no varían a lo largo de los siglos, mientras las necesidades climáticas y ceremoniales exigen las grandes bóvedas.

De la etapa sasánida el más primitivo es el palacio de Firuz Abad con la cúpula construida con piedra de laja. El mejor conservado es el de Sarvistán, más reducido y mejor resuelto. La bóveda es de ladrillo, construido sin cimbra, con hiladas oblicuas, no radiales (Figs. 5.1 y 5.2).

Las soluciones para construir elementos arqueados sin madera se pueden dividir en dos grupos básicos que a su vez presentan variantes: En el primer sistema la cimbra se sustituye por obras suplementarias muy costosas y difíciles, mientras que en el segundo se trabaja con el único auxilio de andamios y aprovechando la capacidad adherente del material de agarre.

## 5.3. Sistemas de construcción sin cimbras con trabajos auxiliares

1) El más inmediato y más antiguo consiste en conformar la cimbra con un material de relleno, lo que supone grandes trabajos de aporte y posterior remoción de tierras (Figs. 5.3 y 5.4).

2) El segundo inicia las roscas apoyándolas con un ligera inclinación sobre un muro de cierre muy sólido (Figs. 5.5, 5.6 y 5.7)

3) Por último, la primera rosca se construye con dos o tres piezas conformadas curvas, a la manera de dovelas, apeadas muy ligeramente, y sobre ellas se reciben las otras hasta el grueso total del arco (Figs. 5.8 y 5.9). Estos sistemas básicos se complementan con otros detalles que ayudan a reducir tanto la cimbra como el

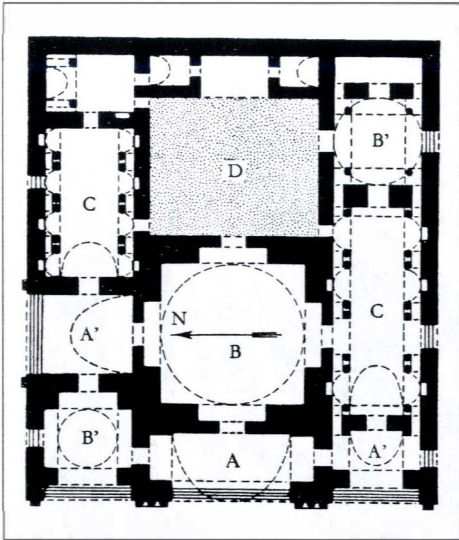


Fig. 5.1 Planta del palacio de Sarvistán

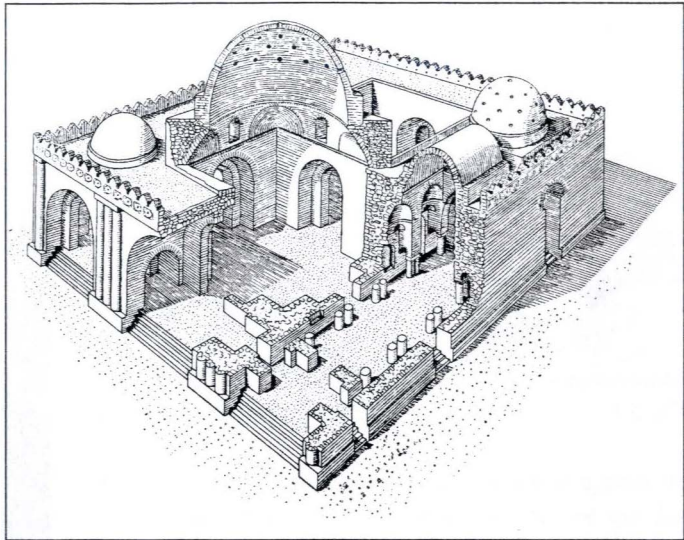


Fig. 5.2 Axonometría del palacio de Sarvistán

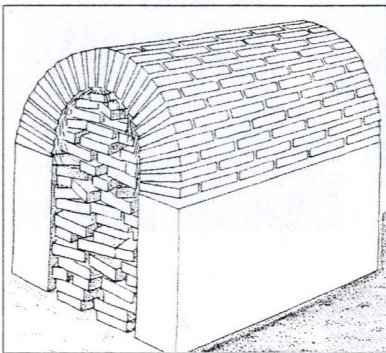


Fig. 5.3



Fig. 5.4 Graneros en Dera

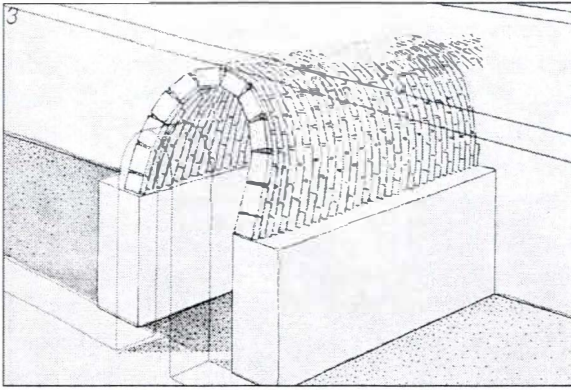


Fig. 5.5



Fig. 5.6

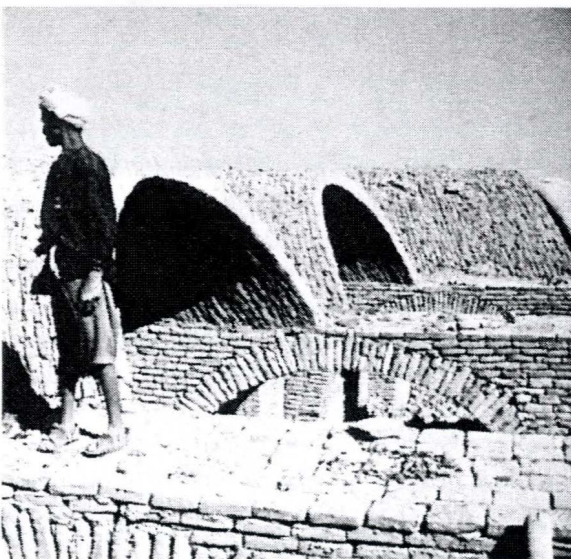


Fig. 5.7

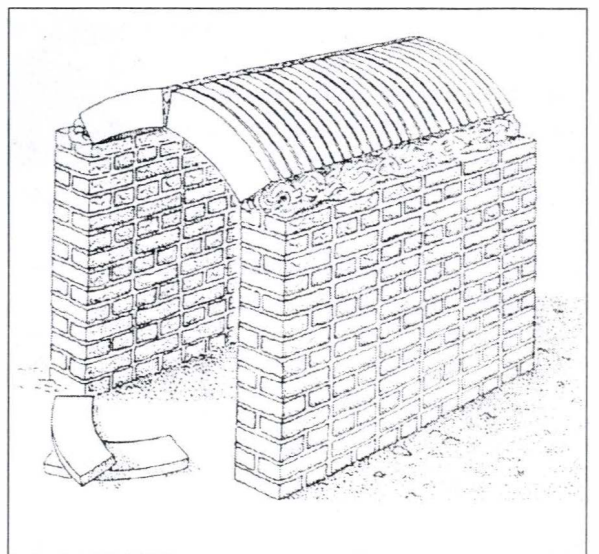


Fig. 5.8

volumen de estos trabajos auxiliares. Con esa intención justifica Godard la inclinación de las jambas y el espesor de los muros en algunos palacios sasánidas (Fig. 5.10), a pesar de que existen otras interpretaciones, como la que entiende su anchura como la necesaria para trabajar desde ellos con las mínimas construcciones auxiliares de madera, exclusivamente las necesarias para subir los materiales, o la que los considera derivados de los problemas compositivos de la planta que se proyecta sobre una trama de módulos cuadrados. Idénticos motivos justificarían el perfil casi parabólico de la bóveda de Ctesifonte (Fig. 5.11).

Este palacio fue construido por Shapur I entre el 241 y 272 y fue utilizado hasta el final de la época sasánida. Aunque existen ejemplos menores, aparece como una realización singular y evidencia unos criterios constructivos muy ajustados. Su perfil, descaradamente parabólico, consigue que los elementos que componen la bóveda trabajen exclusivamente a compresión, con lo que se garantiza la mayor durabilidad del conjunto al desaparecer, casi, las tensiones que pueden provocar otros perfiles. Lo extraño, y que quizás se deba a consideraciones de índole estético, es que esa experiencia no tuviera continuidad, aunque lo más probable, si la tuvo, es que no queden restos significativos por estar construidas de adobes. Pero ante el hecho de que es el único resto de importancia, también se puede considerar como un acierto, en la más literal acepción del término, en la aplicación de ese sistema, acierto del que no tuvieron excesiva conciencia los constructores sirios.

En este caso la inclinación hacia el interior se efectúa a mayor altura del plano de uso y con la curvatura trazada suavemente desde el inicio del desplome. La magnitud de la bóveda, 36 m de altura en la clave y una luz de 27 m, justificarían el esfuerzo y el riesgo que supone trabajar en saledizo hasta una gran altura confiando en la adherencia de los morteros de barro, a la vista de la parte de cimbra que se ahorra. La menor progresión del desplome y su curvatura disminuyen, además, ese riesgo.

Hasta finales del siglo pasado la bóveda conservaba tres fajas, pero por los avatares bélicos se derruyeron dos. Es difícil saber su estado actual después de los últimos incidentes en la zona.

#### 5.4 Sistemas de construcción sin cimbras y sin trabajos auxiliares

Como aportación genuinamente bizantina, o en todo caso, como manifestación de unas técnicas anteriores cuya localización y seguimiento es difícil, se consiguen otro grupo de soluciones, verdaderamente meritorias, para construir bóvedas y cúpulas sin necesidad de esos elementos auxiliares.

Sea cual sea el la modalidad se deben tener en cuenta unos principios generales:

1) Las cúpulas semiesféricas, o cualesquiera otras de planta curva cerrada, entrañan menos riesgos que las bóvedas o las de planta poligonal. Durante la construcción el riesgo de hundimiento desaparece casi en su totalidad una vez que se cierra cada uno de los anillos paralelos que componen la cúpula (Fig. 5.12). El acunamiento de los elementos de cada rosca la convierten en un elemento estable si no falla la base sobre la que se apoya. Esta situación también se produce en casi todas las cúpulas simétricas, aunque la planta sea poligonal. Una vez que se cierra cada uno de los polígonos en cada nivel, se puede considerar que lo construido es en sí mismo una estructura estable, independientemente de que se siga o no hasta cerrar el conjunto. En este caso cada lado es estable, dado que está constituido por un arco, cada vez de menor luz, que se apoya firmemente sobre los arranques de los dos que le son perpendiculares (Fig. 5.13).

2) Antes de cerrar cada rosca, el riesgo de caída de las piezas es tanto menor cuanto menor sea el ángulo que formen con la horizontal. Hay que pensar en morteros de cal de fraguado muy lento, o de barro de escasa capacidad adherente. Al margen de la mayor o menor habilidad manual de los operarios, habilidad que casi puede conseguir milagros en la ejecución, el caso es que la gravedad actúa objetivamente y las piezas, de no estar convenientemente pegadas, resbalan si la inclinación es excesiva (Fig. 5.14).

La necesidad de trabajar con la menor inclinación posible entre las piezas y la horizontal para evitar que caigan da origen a algunas soluciones, cuando las sucesivas roscas se acercan a la clave sin estar demasiado inclinadas (Fig. 5.15). A partir de una de ellas es

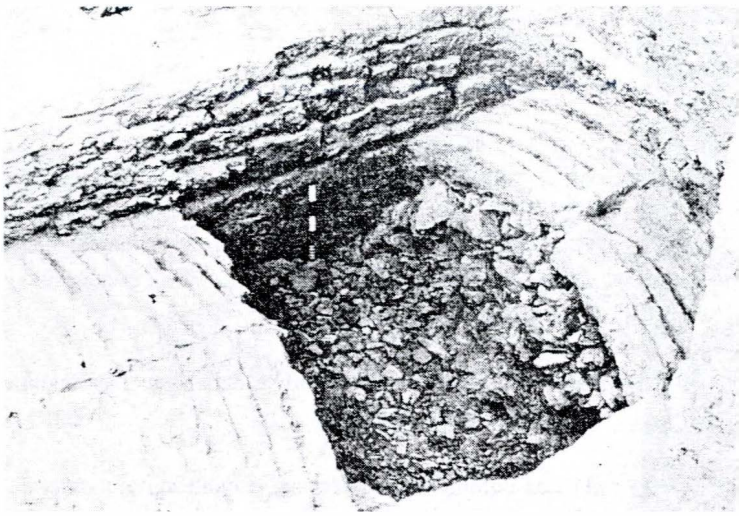


Fig. 5.9



Fig. 5.10 Monumento al fuego

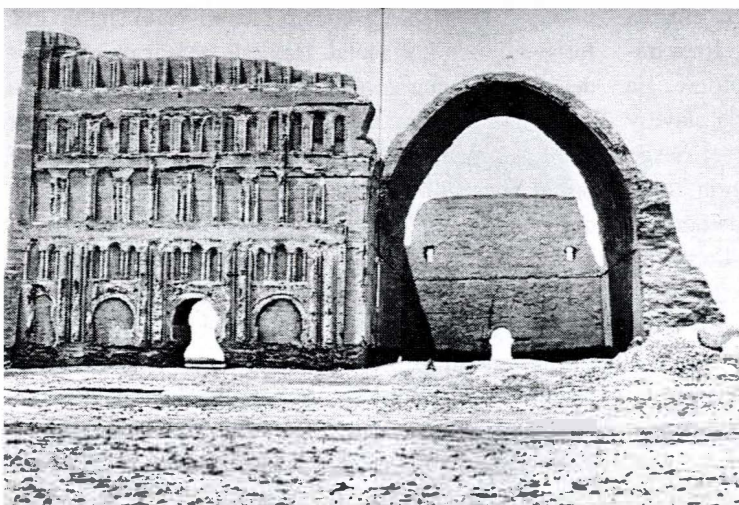


Fig. 5.11 Palacio de Ctesifonte

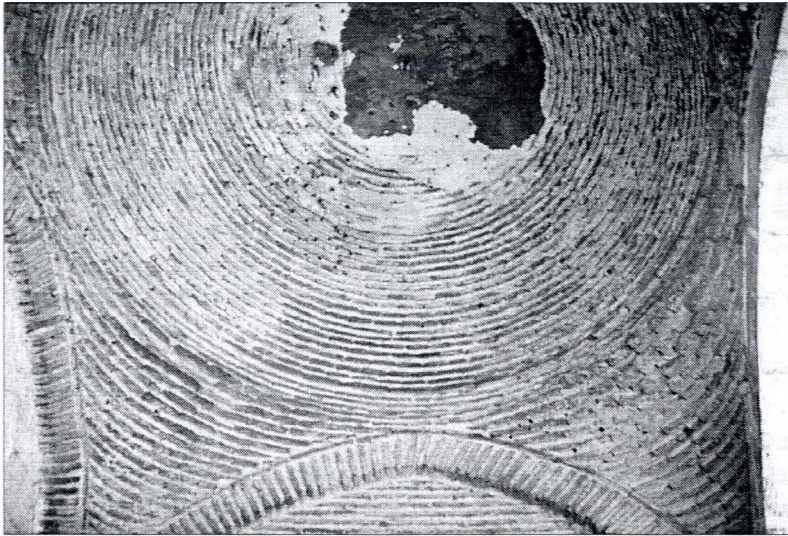


Fig. 5.12

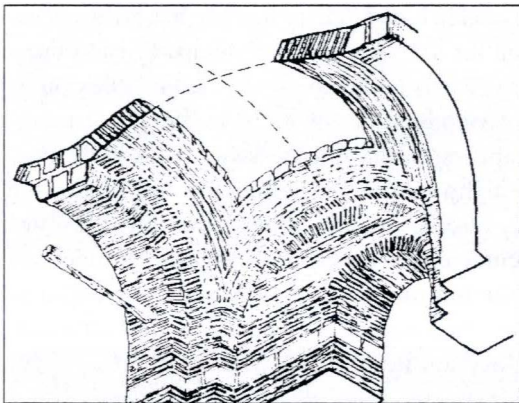


Fig. 5.13

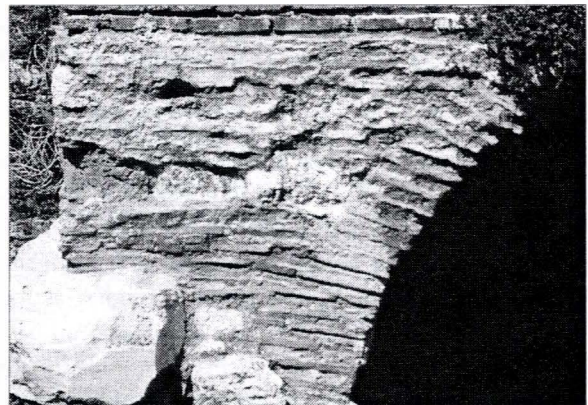


Fig. 5.14 La inclinación de los ladrillos disminuye conforme se separan del arranque; no se respeta el aparejo radial

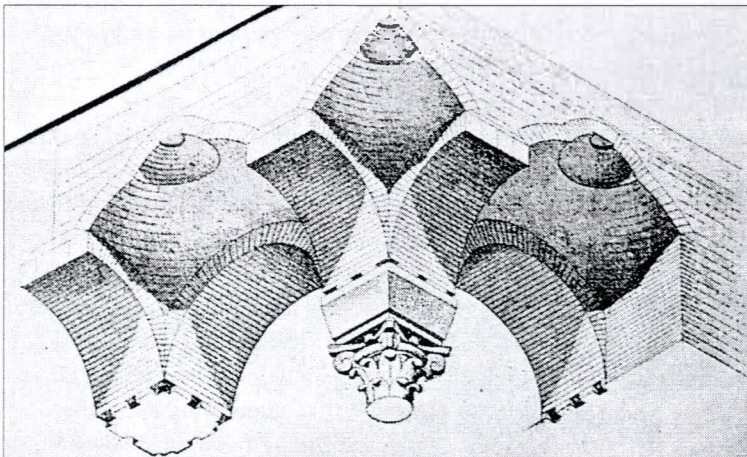


Fig. 5.15 Cisterna del Budrún

posible iniciar otra nueva cúpula, de menor diámetro, hasta cerrar el conjunto por la parte superior.

3) El material casi exclusivo para este tipo de trabajos debe ser el ladrillo ya que las dovelas de piedra son demasiado pesadas en esas condiciones. No obstante, en algunos casos se puede sustituir por piedra de laja, ya que el ladrillo es caro y necesita una industria y una normalización de medidas que es difícil conseguir. La dilatada historia de Bizancio hizo que se atravesaran todos los estadios posibles de disponibilidad. En los primeros tiempos, del s. IV al VI, se producen más ladrillos que cuando la decadencia, en el s. X. Esta carencia se deja notar también en los muros y justifica el espesor creciente de las juntas, ya que el mortero de cal es más fácil de obtener en pequeñas industrias independientes. La Europa medieval está llena de ejemplos en los que se trabajan todo tipo de bóvedas y cúpulas con piedra de laja, destacando por la limpieza de su trazado la de la cisterna del castillo de Llivia y las muy variadas de San Pedro de Roda.

Combinando estas exigencias previas, los constructores bizantinos llegaron a estandarizar una serie de soluciones a partir de las cuales, y debido a su capacidad para complicar los trazados, se genera una gama amplísima de sistemas que cubren casi todas las formas imaginables, a pesar de las dudas que un caso concreto puede suscitar sobre la oportunidad de la solución.

No obstante, las variaciones se efectúan sobre tres tipos genéricos, dos de los cuales, la bóveda de arista bizantina y la baída, aunque su primera solución parece haber correspondido a los sirios, son originales en su trazado y en su ejecución, mientras que la otra, la cúpula semiesférica o de perfil similar, empleada en muchas ocasiones con anterioridad, se desarrolla con un nuevo sistema de ejecución.

#### 5.4.1 Bóveda de arista bizantina

Se modifica la dirección del trazado de la plementería sobre la bóveda de crucería romana.

Apoyándose sobre las aristas teóricas de una crucería

normal, se tienden unas superficies curvas de generatriz recta (Fig. 5.16), a las que se puede corregir el trazado para facilitar su ejecución. Según Puig i Cadafalch, "a los constructores no les es cómoda la construcción de las bóvedas por aristas generadas por la intersección de dos cilindros en que las aristas o los arcos cabeceros son elípticos, curvas difíciles de trazar con los medios rudimentarios que usaban los albañiles antiguos; la tendencia ha sido sustituirlas por combinaciones que sea posible obtener por medio de círculos. La forma es entonces más complicada, pero más fácil el trazado en el espacio".

Se construyen unas montañas de yeso que tiene la forma de la arista y sobre ellas, que trabajarán comprimidas lateralmente, se sube la cúpula cerrando anillos al mismo nivel (Fig. 5.17).

Puig i Cadafalch dice: "Esta forma tiene aristas acentuadas en los salmeres que van desapareciendo hacia la clave y al mismo tiempo presenta una inflexión en la superficie cerca de los arcos torales y formeros, bien visible en la mayoría de las bóvedas bizantinas. Hemos dicho que en estas bóvedas las aristas son arcos de círculo: cuando estos arcos alcanzan una semicircunferencia, los cuatro triángulos de superficie de revolución que forman la bóveda por arista se acuerdan completamente y engendran una superficie esférica que los arquitectos bizantinos construyen por el mismo sistema de hiladas verticales sucesivas que en las bóvedas de arista, las que, con ligeras variantes, parten de los cuatro arcos cabeceros formando la bóveda llamada baída. Cuando los arcos diagonales son peraltados o apuntados, la arista se convierte en rincón y la bóveda engendrada es la de rincón de claustro bizantina".

Esta deformación también se produce cuando se trabaja con la bóveda de crucero tradicional y posiblemente se debe a la necesidad de reducir el volumen edificado haciendo descender la flecha de la bóveda.

En las construcciones más antiguas anteriores al s. IX, y debido al uso de este sistema de construcción sin cimbra o a una deformación constante entendida como necesaria, el trasdós de las cúpulas es una superficie de revolución cuya meridiana tiene una inflexión en los tercios de la bóveda. lo que hace que en los salme-

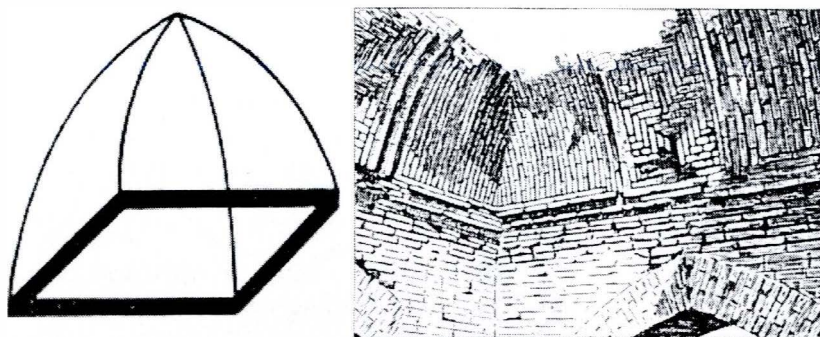


Fig. 5.16 Cúpula de arista.

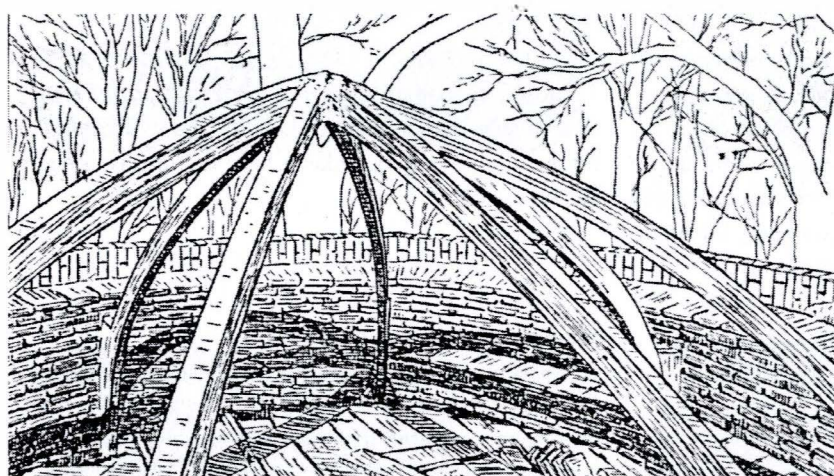


Fig. 5.17 Montes de yeso para controlar la ejecución de la cúpula



Fig. 5.18

res se forme un macizo que actúa como cincho, aunque en algunos casos está relleno con piezas cerámicas, como vasijas y ollas, sistema que también se utilizará en muchas bóvedas góticas.

#### 5.4.2 Cúpula semiesférica

La cúpula semiesférica también se construye sin cimbras, teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores. Cada rosca debe ser cerrada antes de iniciar la siguiente, y la inclinación de los ladrillos debe mantenerse por debajo del ángulo que los hace resbalar (Fig. 5.18). A veces se puede trabajar en piedra de laja, aunque ello obliga a un mayor cuidado en el cierre de cada rosca y a disponer de una mayor cantidad de mortero en cada junta, con todas las dificultades que eso supone para el desarrollo de los trabajos, ralentizados por las dificultades de fraguado del mortero.

#### 5.4.3 Bóveda baída

Se comienza por los ángulos que forman los arcos formos, a base de ir volando las hiladas, y se considera cerrada cada rosca cuando se construyen los cuatro arcos que forman cada nivel de la bóveda (Figs. 5.19 y 5.20).

#### 5.4.4 Otras formas

Sobre estos conceptos y dada la extraordinaria profesionalidad de los albañiles, se generan muchas variantes entre las que destaca por su simplicidad y elegancia de trazado la bóveda del ábside de San Abercio, en Elegmi (Fig. 5.21). Para Cyril Mango los arquitectos improvisaban en cada caso según las exigencias de cada obra, por lo que el repertorio es muy variado superándose en muchos casos el concepto de lo estricto y, como sucede siempre que existe esa posibilidad en cualquier sistema, se aprovecha la capacidad expresiva de los resultados que se justifican por sí mismos. Un caso paradigmático es la cúpula de San Demetrio en Salónica, destruida por un incendio en 1.917 y

reconstruida a partir de un estudio riguroso (Fig. 5.22). Cada conjunto de arcos autoestables sirven de apoyo a otra serie en otra dirección, generando un ritmo muy específico que sólo se justifica, quizás, por el sentido del ritmo de trabajo, ya que después se recubre con mortero.

Se introducen variantes en los aparejos, desde tabicados a sardineles acuñados hacia el centro, evolucionando también la forma. Como las juntas son muy anchas es posible adaptar el intradós de forma más libre que si se tratara de otro tipo de adovelamiento (Fig. 5.23).

También se construyen, con un sistema que estará vigente a lo largo de muchos siglos en todas las riberas mediterráneas, bóvedas a base de vasijas conectadas en espiral.

### 5.5 Aparejar en vez de verter

Pero el problema de escasez de madera no es el único que deben superar los constructores bizantinos. La desaparición del comercio de la puzolana y las dificultades anteriormente descritas para mantener la tecnología de los grandes abovedamientos romanos obliga a algunos ajustes para aparejar los elementos arqueados adaptándolos a las plantas poligonales, fundamentalmente las cuadradas.

Cuando se trata de vertidos, como en la *Domus Aurea* de Nerón, el problema de pasar de una planta poligonal a una circular se resuelve con sólo conformar el encofrado (Fig. 3.39) y es posible rebajar las aristas en la parte superior de la cúpula hasta conseguir un círculo. Pero aparejar obliga a resolver la unión entre las plantas poligonales y las cúpulas circulares mediante unos elementos definidos *a priori* y que sean susceptibles de despiezarse.

Las soluciones, cuyo antecedente remoto debió estar en las cúpulas peraltadas egipcias, de las que podían ser un ejemplo las que figuran en los frescos anexos a la tumba de Senaquerib que representan unos silos para granos, son válidas tanto para piedra tallada como para aparejos en ladrillo, ya que las dos formas de

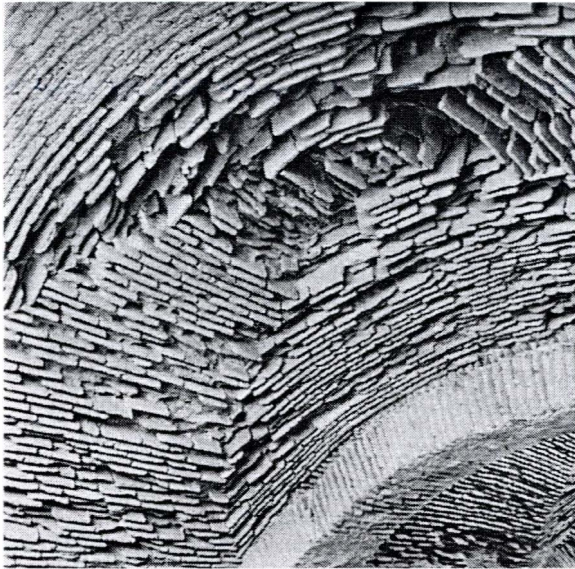


Fig. 5.19 Resafa. Cisterna

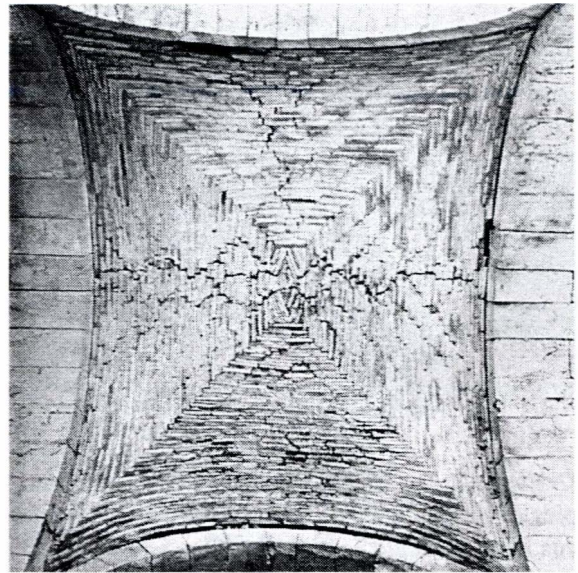


Fig. 5.20 Zenobia. Praetorium



Fig. 5.21 San Abercio. Elegmi

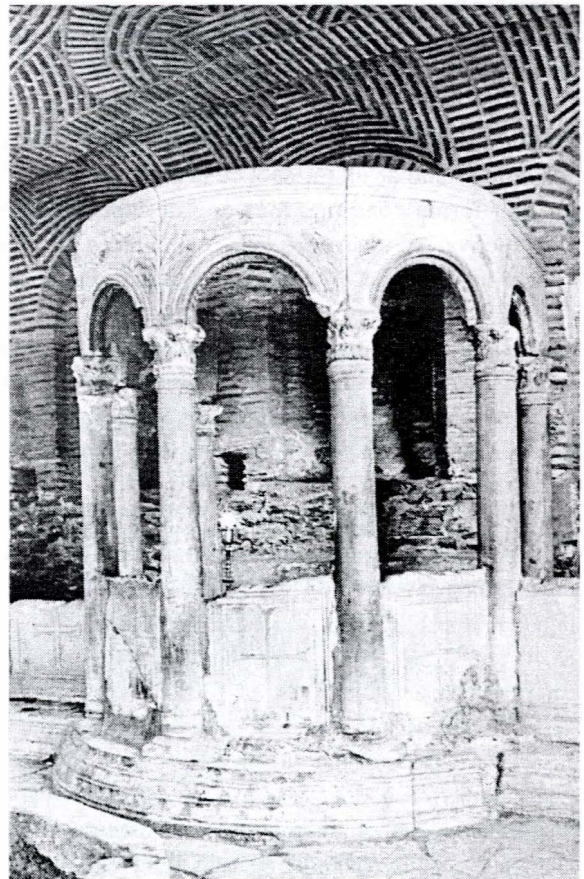


Fig. 5.22 San Demetrio. Salónica

construir están presentes en este periodo. Se pueden encontrar aparejos en los dos materiales básicos: en Siria, Palestina y gran parte del Asia Menor se trabaja con piedra, mientras que en Armenia, costa occidental del Asia Menor y Georgia se construye preferentemente con ladrillo, tanto cocido como secado al sol.

Las soluciones básicas son de dos tipos:

### 5.5.1 Las trompas

Después de una serie de tanteos basados en volar las piezas correspondientes a las esquinas de la planta cuadrada del anillo de impostas (Fig. 5.24), por sucesivas adaptaciones de las dovelas inmediatamente superiores (Fig. 5.25), o simplemente describiendo un triángulo, más o menos forzado, en las esquinas, se convierte la planta cuadrada en octogonal (Fig. 5.26). Ambas soluciones evolucionan y aparece, primero tímidamente en Firuz Abad y después rotundamente definida en Sarvistan, la trompa de ángulo como solución definitiva (Fig. 5.27).

En realidad las trompas de Firuz Abad y de Sarvistan son el resultado de un trazado, de la necesidad de definir una forma continua, más que de una intención constructiva. No están aparejadas como arcos, y con el mismo aparejo que el muro sobre el que descansan, están concrecionadas insertando en una gran masa de mortero unos mampuestos irregulares. La superficie perfectamente curvada del intradós debió ser lo suficientemente sugeridora como para que el paso siguiente, es decir su despiece correcto a base de dovelas o ladrillos aplantillados, fuera inmediato (Fig. 5.28).

Esta solución se va a traspasar al románico sin variaciones, mejor o peor aparejada, pero con evidente utilidad en la resolución de los cimborrios (Fig. 5.29).

En Europa se encuentran en todas las versiones, dependiendo del material y de la solvencia técnica de sus constructores el que la forma esté bien dibujada. En cualquier caso, aunque el trazado no sea excesivamente cuidadoso, el arco natural se constituye espontáneamente sobre cualquier aparejo reduciendo el riesgo de ruina.

### 5.5.2 Las pechinas

Las pechinas ya habían sido utilizadas por lo romanos como un elemento regular que formaba parte del encofrado de las cúpulas cuando estas tenían que cubrir espacios cuadrados o rectangulares. La solución viene dictada por la necesidad de dar continuidad al encofrado cubriendo el triángulo esférico que se genera en las esquinas. Es una forma empírica que surge espontáneamente cuando el cuadrado de base está constituido por arcos. El resultado tiene un perfil parecido al de la bóveda baída, aunque sea muy diferente como concepto (Fig. 5.30).

Se inicia de forma contemporánea a la trompa y evoluciona, bien hacia una curvatura que se adapte a la de los arcos, bien hacia las superficies planas triangulares, forzando su entrega a los arcos. El ejemplo más importante de esta solución es, sin duda, Santa Sofía.

Las formas derivadas de ese elemento triangular se desarrollan, con una superabundancia de soluciones, en la construcción islámica. En la pura complicación geométrica a la que tan aficionados son los pueblos próximo-orientales, aparecen los mocárabes, que acaban desprendiéndose de sus requerimientos constructivos y se simulan en plafones de yeso que se cuelgan con entramados de madera de las pechinas o trompas de ángulo estructurales.

En general, y como se trabaja con ladrillos recibidos con gruesas juntas de mortero, adaptar la forma a las necesidades depende sólo de la habilidad de los albañiles y de un mínimo replanteo previo. Así se dan otras soluciones en las que la superficie de la pechina puede adaptar múltiples formas, dentro de unos límites muy definidos y no sólo en plantas cuadradas.

La tendencia bizantina a regruesar las juntas supone, por una parte, una ventaja, ya que la forma de cuña que debe tener cada pieza puede hacerse con el mortero, con lo que se evita el aplantillamiento de los ladrillos, pero por otra disminuye la capacidad de carga y la rigidez provocando, por su tardanza en fraguar, gran parte de las irregularidades que se presentan en el trazado y que se deben a deformaciones producidas en la fábrica durante la construcción. La estabilidad final del conjunto depende más de la calidad del mortero

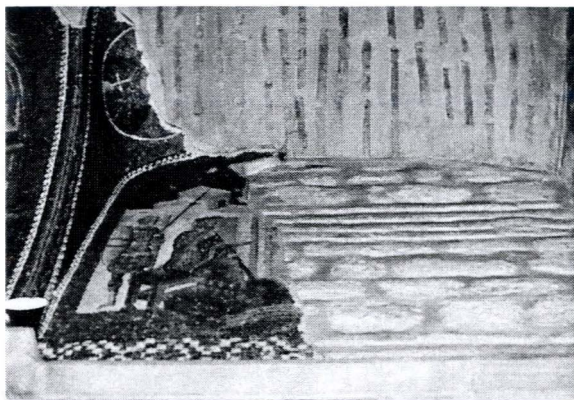


Fig. 5.23



Fig. 5.24 Resafa

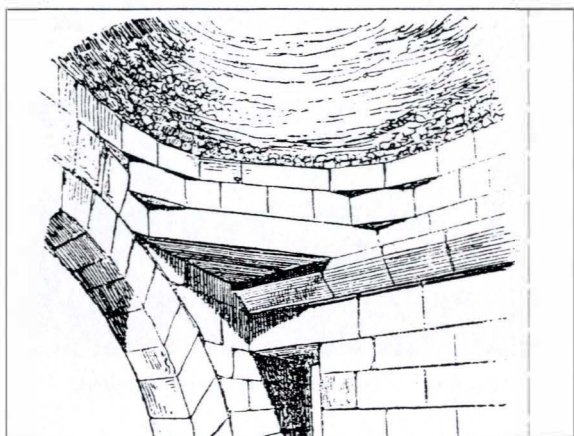


Fig. 5.25 Om-es-Zeitung

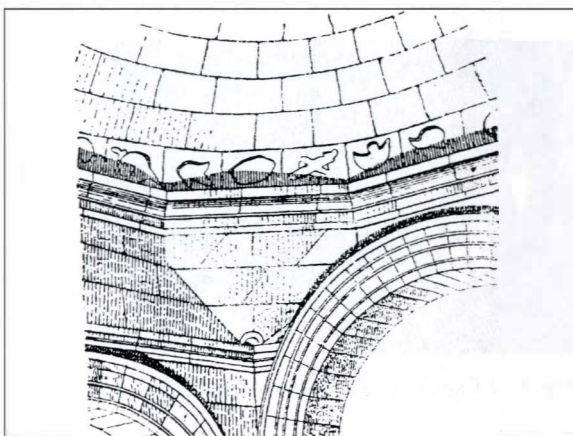


Fig. 5.26 Lataquieh

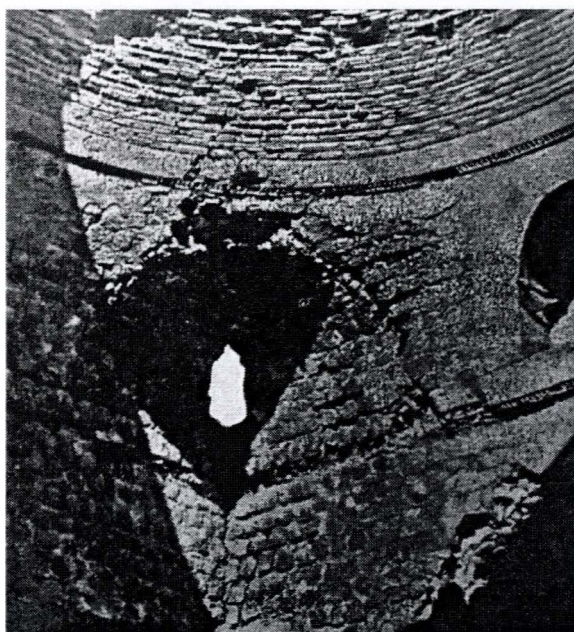


Fig. 5.27 Trompa en Sarvistán

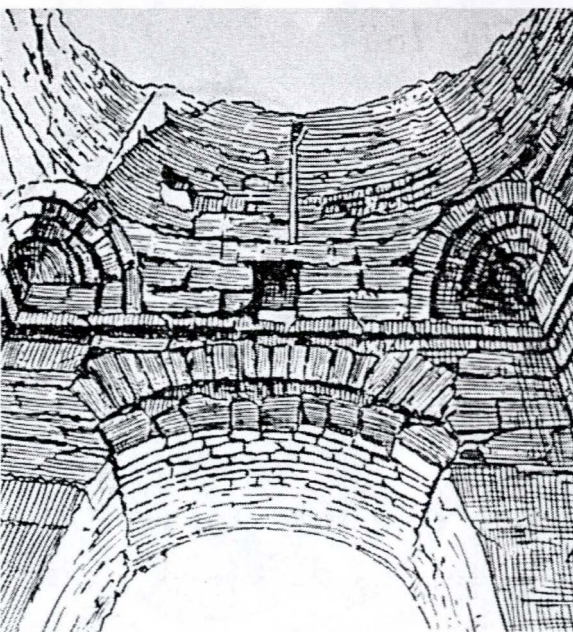


Fig. 5.28 Trompa aparejada del Monumento al Fuego, según Godard



Fig. 5.29 Cúpula románica sobre trompas

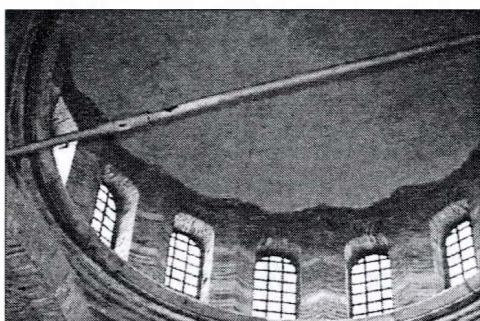


Fig. 5.31 Cúpula de San Salvador de Chora



Fig5.30 Pechina de ladrillos para soporte de cúpula

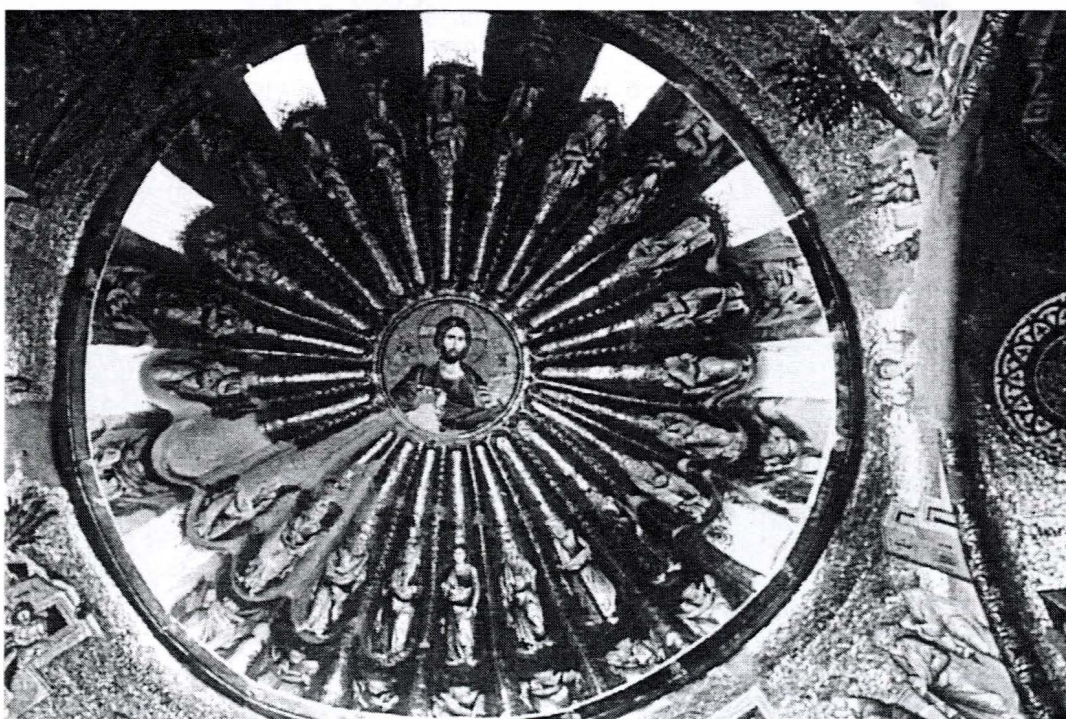
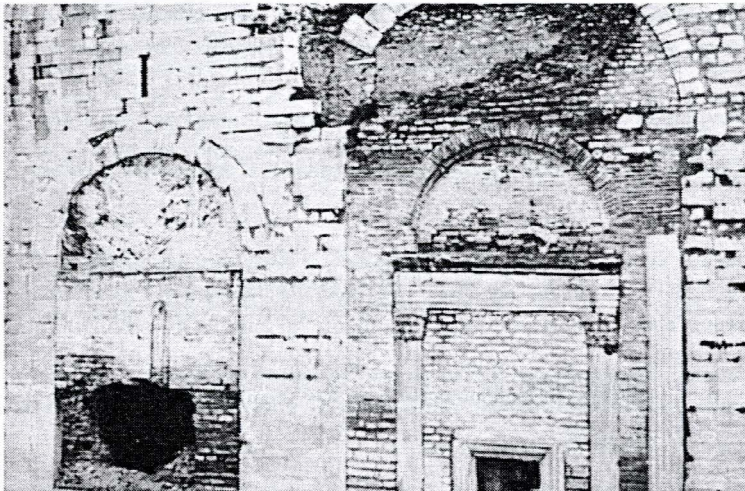


Fig. 5.32



*Fig. 5.33 Pequeños óculos en una cúpula aparejada*



*Fig. 5.34 Puerta de Oro. Constantinopla*



*Fig. 5.35 Avan, iglesia de la Virgen*

que de esas deformaciones, que en el momento de producirse pueden favorecer el reparto espontáneo de las cargas.

### 5.5.3 La iluminación

El problema de la iluminación de las cúpulas puede ser resuelto de cuatro maneras.

1) Colocando los óculos en un tambor previo a la cúpula (Fig. 5.31).

2) Con un hueco en el cénit, aunque esta solución no es empleada habitualmente por los constructores bizantinos. En este caso la estabilidad se confía a cada una de las roscas de la cúpula.

3) Abriendo huecos en la base de la cúpula, lo que significa que se debilita de alguna manera el conjunto, por lo que puede ser la razón del refuerzo que aparece entre las aberturas en algunos casos (Fig. 5.32). No se trata de arcos a la manera romana o gótica, si no que, construyéndose a la vez e insertos en la cúpula, sirven para darle rigidez, llegando en algunos casos a no estar conectados a la imposta de la cúpula, teniendo mucho de motivo ornamental.

Cuando se recurre a este tipo de iluminación lo normal es que se lobulen las bóvedas, lo que también supone un cierto refuerzo.

4) A base de abrir huecos de contorno circular en la bóveda (Fig. 5.33). Este sistema ya lo habían usado los romanos con mortero puzolánico y su construcción se adapta al aparejo usado en cada caso. El sistema va a ser empleado en España durante la etapa mozárabe como solución singular en San Juan de las Ollas y Santiago de Peñalva.

Cualquiera de las cuatro soluciones supone siempre un debilitamiento de la capacidad resistente de la cúpula, y en la actualidad, ante la amenaza de ruina, el primer expediente al que se recurre es al de rellenar con obra los huecos de iluminación. En todo caso la durabilidad demostrada por estos sistemas los avala como posibles dado el escaso repertorio de soluciones disponibles.

## 5.6 Las fábricas

### 5.6.1 Generalidades

En los primeros tiempos de la construcción de Constantinopla el sistema de muros es similar al romano ya que todo lo previo es romano: los programas, los arquitectos, los albañiles y las técnicas están importados directamente de Roma. Lo nuevo es el lugar, sus carencias y la manera de resolverlas. La desmesura de la demanda acaba decantando en muy poco tiempo el proceso hacia la adopción de modificaciones de importancia. El núcleo del muro deja de tener características hidráulicas, fragua peor y resiste menos, lo que obliga a aumentar la anchura de las dos caras externas. El caso es que el resultado acaba teniendo un "aire" semejante al que tendrán las fábricas románicas, pero, lógicamente, con una mayor presencia de elementos clásicos (Fig. 5.34). Quizás la inevitable semejanza se deba a lo reducido del repertorio de materiales, piedra y mortero de cal, y a unos modelos remotamente comunes.

En Ezeruk (Fig. 5.35) se aprecian algunas maneras que adelantan la técnica medieval aunque no sean genuinamente románicas. Aparecen sillares engatillados y pequeñas lajas que rellenan el espacio entre ellos.

En Resafa (Fig. 5.36), a pesar de la degradación sufrida por la fábrica, se dejan notar las diferencias. Los constructores, que desconfían del núcleo del muro por su poca consistencia, deben ser más rigurosos en la talla y el encaje de los sillares y dovelas, aunque sólo sea para evitar que durante la construcción se produzcan aplastamientos y dislocaciones debidos al peso de las zonas recién construidas sobre las ya hechas, aún sin fraguar, escapes de mortero, etc. Los sillares deben ser, a pesar de su tamaño, de menor volúmen que los descomunales sillares romanos, quizás por la endebles de los andamios, entre otros detalles que justifican el distinto aspecto exterior.

Al principio son habituales los *opus mixtum*, aunque en algunas zonas como Siria, Palestina y el interior de Asia Menor se trabaja sólo la piedra para las caras exteriores, y los rellenos suelen ser, en general, de ripio y mortero de cal. Es difícil decidir la capacidad



Fig. 5.36 Resafa, puerta norte

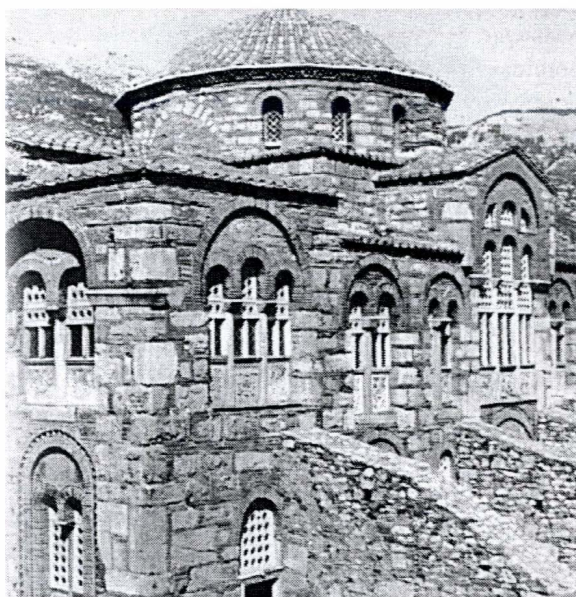


Fig. 5.38 Osios Lukas

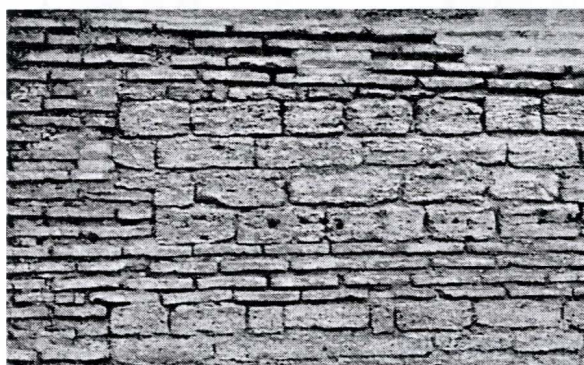


Fig. 5.37 "Opus mixtum" bizantino



Fig. 5.39 San Juan de los Estudios

resistente de estas fábricas, debido a las distintas proporciones en que se elaboran los morteros, a la poca homogeneidad de las cales y al distinto espesor de las caras en comparación con el relleno.

Los *opus mixtum* se justifican por la necesidad de dotar de un asiento regular a la fábrica cada dos o tres pies, sobre todo cuando el aparejo es de piedra irregular. Habitualmente se pasan cinco hiladas de ladrillo a modo de zuncho, o a la inversa, se corren zunchos de sillarejo en los muros de ladrillo en un detalle de inequívoca tradición romana y que recogerá explícitamente Alberti (Fig. 5.37).

Este manejo forzoso de los *opus mixtum* es aprovechado por los constructores bizantinos para desarrollar una técnica muy depurada y rica mediante la utilización de todo el repertorio posible de materiales, tanto piedra como ladrillo, en distintos grados de acabado, y que colocan según un criterio muy acertado en las partes del muro que, por las sollicitaciones que reciben, requieren de una característica u otra (Fig. 5.38).

En San Juan de los Estudios (Fig. 5.39), a pesar de ser una basílica con ábside construida según el esquema romano clásico, con dinteles sobre las columnas que separan las naves laterales de la nave central, el *opus mixtum* permite adivinar la dirección en que se van a mover los constructores en un futuro próximo.

Este tipo de soluciones imaginativas se encontrarán más tarde en algunos puntos de Europa, singularmente en el prerrománico asturiano. Se hace una selección de las posibilidades de cada material de acuerdo con las necesidades del conjunto de la fábrica: sillares grandes para las esquinas, ladrillo para los arcos de descarga, *opus spicatum* y *opus reticulatum* para los macizos, etc. Y como es lógico, se acaban aprovechando las sugerencias compositivas para obtener algún rendimiento estético de las combinaciones de materiales (Fig. 5.40).

Pero lo que realmente caracteriza las fábricas bizantinas es el uso del ladrillo, tanto cocido como secado al sol. Es el material básico cuando no se dispone de piedra de calidad y se pretende construir con un mínimo de dignidad y durabilidad. Es, además, obligado para cubrir grandes luces con arcos o bóvedas, cuando se

trabaja sin cimbras, debido a su menor peso en comparación con las dovelas de piedra, aunque plantea el problema de su mayor coste y la necesidad de su normalización si se acometen grandes obras. Todos estos extremos fueron resueltos por los constructores bizantinos que crearon una técnica muy útil de puesta en obra. Lo habitual son ladrillos cuadrados de 35 a 38 cm de lado (pedales) y espesores de 4 a 6 cm, más gruesos que los ladrillos romanos, aunque para los arcos se fabrican modelos especiales. El espesor viene determinado por los problemas que plantea el secado imprescindible antes del cocido, por lo que este mayor espesor hace suponer la existencia de una industria poderosa que dispuso de grandes superficies cubiertas. Los muros más habituales, de casi 80 cm, son los de dos ladrillos, (bipedales).

Su característica más notable es la gran anchura de las juntas (Fig. 5.41), detalle que no se trasmite, por lo menos con esa magnitud, a ningún otro sistema constructivo ni a ninguna otra cultura, aunque en el norte de África en la actualidad se trabaja aún hoy con juntas bastante anchas, debido al mayor precio de los ladrillos en comparación con el mortero y sin ninguna relación aparente con la tradición bizantina (Fig. 5.42).

La regularidad es grande y no se ha encontrado un sistema de datación que permita distinguir por la técnica la edad de las fábricas, aunque según algunos autores se produce un aumento paulatino del espesor de la junta que pasa de una proporción entre el ladrillo y el mortero de 1:1 en el s. IV a 2:3 en s. VI, aumento que se justifica por la decadencia económica que hace más difícil la obtención de ladrillos. En el s. X se produce la casi desertización de Constantinopla y se llega al máximo espesor de la junta en lo poco que se construye durante ese periodo.

A partir del s. XI se encuentra una variedad de muros que consiste en alternar hiladas rehundidas con otras salientes, tapando la junta con mortero. Este sistema crea una estética, o una tecnología, que valora el espesor de la junta como algo positivo ya que, en algunos casos, incluso la simula mayor (Fig. 5.43). Para conseguir este efecto se utiliza una paleta estrecha cuya punta se aprieta fuertemente en la junta, simulando después la junta ancha como un revoco.



Fig. 5.40 Artá. Santa Teodora



Fig. 5.41 Santa Irene

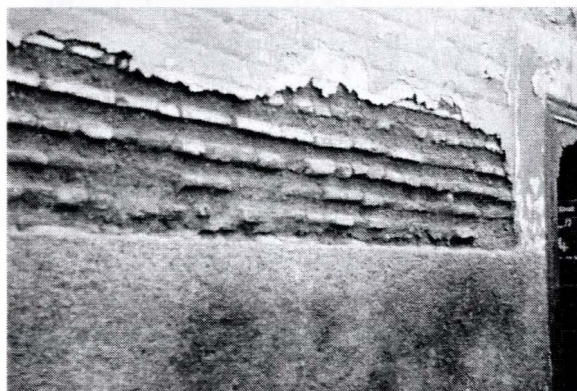


Fig. 5.42 Pared de vivienda en Marrakech

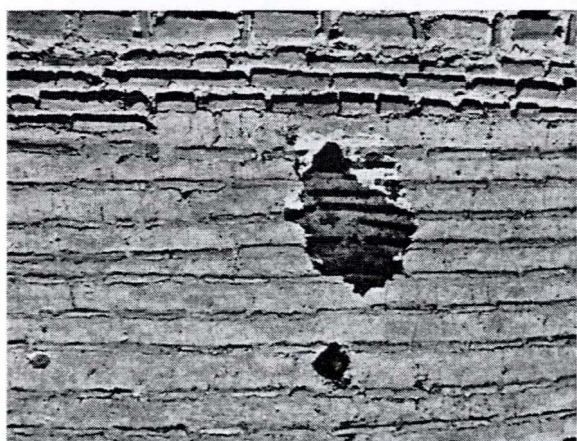


Fig. 5.43 Muralla de Nicea

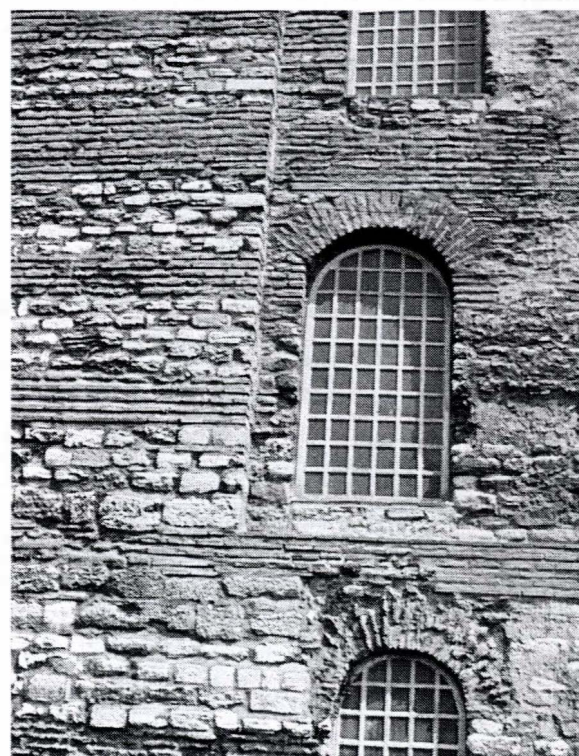


Fig. 5.44 Santa Irene

Con este sistema las fábricas pierden capacidad de carga. Cuanto mayor sea la junta más posibilidades tiene de deformarse transversalmente ante las cargas verticales, diferenciando su comportamiento del que, por su mayor resistencia, presenta el ladrillo, que comprime al mortero impidiendo esa deformación cuando la junta es estrecha. Se producen, además, asentamientos y contracciones importantes que deforman la fábrica durante la construcción, debido a que las calces grasas aéreas tardan mucho en fraguar y se contraen durante el proceso. Nada de esto parece preocupar a los constructores bizantinos que siguen con el sistema a lo largo de más de siete siglos. La duración y el estado de alguna de sus construcciones pueden ser un aval suficiente para el sistema, a pesar de los defectos que teóricamente se le pueden adjudicar. Con él se contruyeron obras de una gran importancia y complejidad técnica como Santa Sofía.

Como ventaja presentan el que la fábrica se puede deformar durante la construcción y que los esfuerzos que recibe se pueden repartir espontáneamente produciéndose, dentro de los límites aceptables, una discretización menos súbita y traumática que en el caso de morteros más rígidos y de fraguado más rápido, por lo menos en una primera época de la vida de los edificios, etapa cuya duración es difícil definir. La cúpula de Santa Sofía presenta deformaciones de la fábrica de ladrillo de más de dos metros debidas a esta capacidad de deformación. Este tipo de fábrica puede encontrarse combinada con *opus mixtum*, como es el caso de Santa Irene, aunque las sucesivas intervenciones sufridas por este edificio, hoy convertido en auditorio, hacen poco fiable el resultado final (Fig. 5.44).

### 5.6.2 Detalles constructivos

Los puntos de las fábricas sometidos a sollicitaciones especiales reciben un tratamiento especial; o bien se refuerzan con materiales más resistentes, o se socorren con elementos auxiliares como es el caso del arco de descarga sobre los dinteles, costumbre de origen romano y que ha pervivido hasta nuestros días en todo el ámbito mediterráneo (Figs. 5.45 y 5.46), aunque no deba descartarse que se use en otras zonas.

En la etapa justiniana se puede reconocer una técnica característica: hasta cerca de la línea de imposta de los arcos los muros son de piedra y desde allí hasta el final se fabrica con ladrillo, interrumpido por sillares cada 80 cm. Construcciones totalmente de ladrillo se vuelven a encontrar en el s. X, aunque lo normal sea la fábrica mixta.

### 5.7 Acabados

Con más motivos que las fábricas romanas, en las que el relleno es estable y relativamente resistente a la humedad por la presencia de la puzolana, en las bizantinas es imprescindible que las caras estén protegidas cuando son de ladrillo.

Las caras exteriores de los muros están revocadas con gruesos importantes de mortero de cal sin que se puedan distinguir a simple vista las rigurosas tres capas que forman el revoco romano.

Pero en los edificios nobles lo más importante es el recubrimiento de mármol hasta el punto de que era lo único que figuraba en los contratos de obra. En una carta de Constantino a Macario, obispo de Jerusalén, encargándole la iglesia del Santo Sepulcro en el 326, dice: “es nuestro deseo que sea la iglesia más bella del mundo, hemos dado instrucciones en este sentido al Vicarius Orientalis y al gobernador de Palestina. Debes comunicar a los operarios nuestro interés en los siguientes puntos; 1º la cantidad y calidad del mármol que debe suministrarse, y 2º si el sófrito será de casetones, porque en este caso deben ser dorados”. De este texto se pueden sacar dos deducciones de interés. Por una parte parece que sólo le interese el aspecto exterior en lo que se refiere a la construcción, y por otra evidencia su inquietud por el suministro de los mármoles para el recubrimiento, lo que hace patente las dificultades para la obtención de ese material a lo largo de todo el periodo, justificando, por reutilización, su total desaparición en los monumentos conservados. Se sabe del comercio entre Egipto y Bizancio de pórfido rojo, tan importante para quienes se llamaban a sí mismos porfirógénetas, procedente de unas canteras que dejaron de explotarse en el s. VI, así

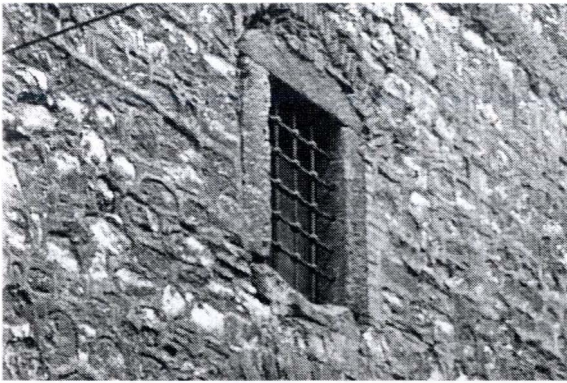


Fig. 5.45 Arco de descarga sobre dintel



Fig. 5.46 Arco de descarga sobre el dintel en una vivienda de la Medina de Túnez



Fig. 5.47 Aplacados de mármol en San Salvador de Chora

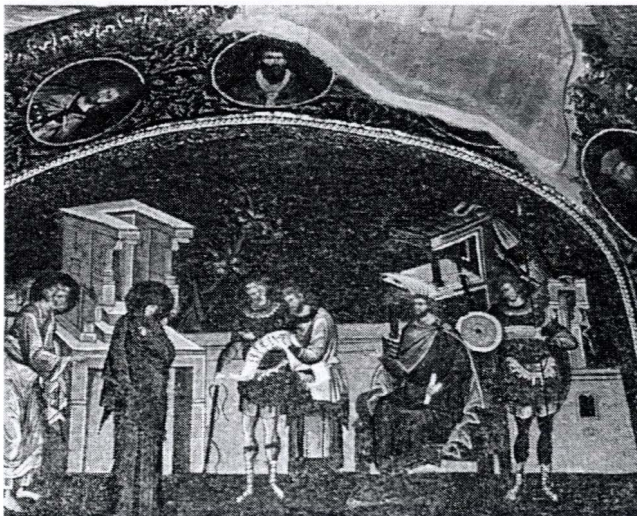


Fig. 5.48 Espesor del mortero para el recibido del mosaico en San Salvador de Chora



Fig. 5.49 Pantocrátor en Santa Sofía de Constantinopla

como de otros mármoles de muy variado origen, algunos hispánicos (Fig. 5.47). El recibido se hace sobre gruesos muy importantes de mortero de cal que se debían extender por capas superpuestas.

Pero el acabado más genuinamente bizantino es el de los mosaicos, que hereda y perfecciona hasta el límite de lo posible las técnicas romanas. Sobre capas también muy gruesas de mortero de cal van colocando las *teselas*, en un trabajo que tiene más que ver con la pintura en cuanto a la valoración de los colores y la orfebrería en el encaje de las piezas que con la construcción. Es probable que se trabajara sobre bocetos previos y que fuera el artista en cada caso el que decidiera el tamaño y situación de cada pieza, alcanzando unas cotas de calidad y expresividad artísticas inigualadas en ninguna otra época (Figs. 5.48 y 5.49).

### 5.8 La estructura resultante

La estructura resultante de este sistema constructivo depende, casi exclusivamente, de la calidad de los morteros. Cuando se usan buenas vetas de caliza, se cuecen bien, se apagan correctamente y se dejan reposar el tiempo necesario, el resultado, con los años, muchos años, puede ser una estructura casi monolítica, si el proyecto no sobrepasa algunas proporciones. De no acontecer el colapso en la etapa inmediatamente posterior a su finalización, las cargas actúan hasta llegar al límite de rotura en las zonas excesivamente tensionadas, casi siempre a tracción, y se producen grietas de cuya velocidad de avance depende la vida del edificio.

La aparición de cada grieta supone una nueva reordenación de las cargas, proceso que reiterado a través de los siglos, supone un albur constante para este tipo de edificios. Actúan negativamente las pulsaciones térmicas, las vibraciones y los vientos, mientras las lluvias aportan su labor destructiva lavando el mortero y agrediendo a las piedras.

La supervivencia de la obra dependerá de que la distribución de cargas, que se reordena a cada nueva incidencia, genere un equilibrio posible, sin que se puedan precisar otros extremos sobre la cronología de los pro-

cesos. A pesar del diferente comportamiento mecánico de cada uno de los materiales que componen este tipo de estructuras, se deben considerar las características físicas del conjunto con una cierta unidad y con valores de difícil medición, por más que, a través de los ultrasonidos, a veces se obtengan algunos datos fiables sobre esas características físicas.

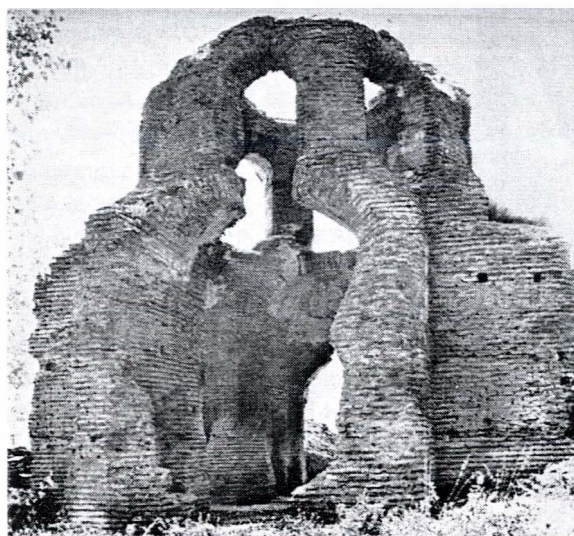
Como representativo de esta forma de comportamiento destaca Qasr ibn Wardan, residencia de un alto funcionario. La fábrica mixta de piedra y ladrillo ha adoptado unas formas inverosímiles como consecuencia de ese proceso. También influye en ellas la distinta calidad de los morteros, aún dentro de un mismo elemento (Figs. 5.50 y 5.51).

La distribución de los materiales en el conjunto de esta fábrica evidencia un criterio muy experimentado en el comportamiento de cada uno de ellos. Las bóvedas se aparejan en ladrillos y se construyen sin cimbra. Las juntas son gruesas y, suponiendo que la estructura estuviera revocada, la pulcritud de ejecución debe corresponder a criterios técnicos, aunque eso, como casi todo, sea sólo una hipótesis (Fig. 5.52).

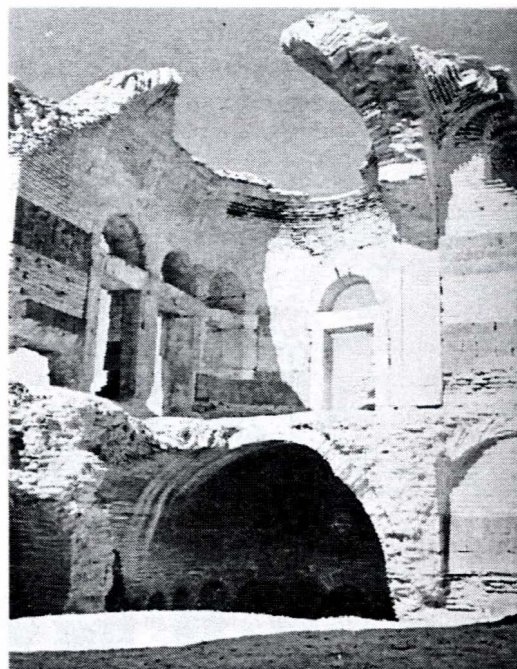
Al tratarse, en general, de plantas basilicales, los problemas que surgen al modificar el sistema constructivo romano son parecidos a los que van a aparecer en la segunda época románica, de forma que cuando el trabajo se hace en piedra tallada con un mínimo de calidad las soluciones son casi idénticas (Fig. 5.53).

El esquema se correspondería con el primer románico, una vez que éste supera la etapa más primitiva, con pilas en la base de los muros de separación de las naves, arcos no muy amplios sobre ellas, etc., etc. De todas formas es notable la diferencia en el tamaño de los sillares. Como veremos en su momento, una de las características de la construcción románica es el uso casi sistemático de sillarejos, de manejo más fácil. A pesar de la similitud, la construcción bizantina trabaja con unos sillares mayores, más relacionados con la tradición romana.

Cuando la construcción es completamente en sillería se producen variaciones de importancia sobre la construcción romana y su influencia en Europa es muy remota como técnica, aunque evidente en las formas.



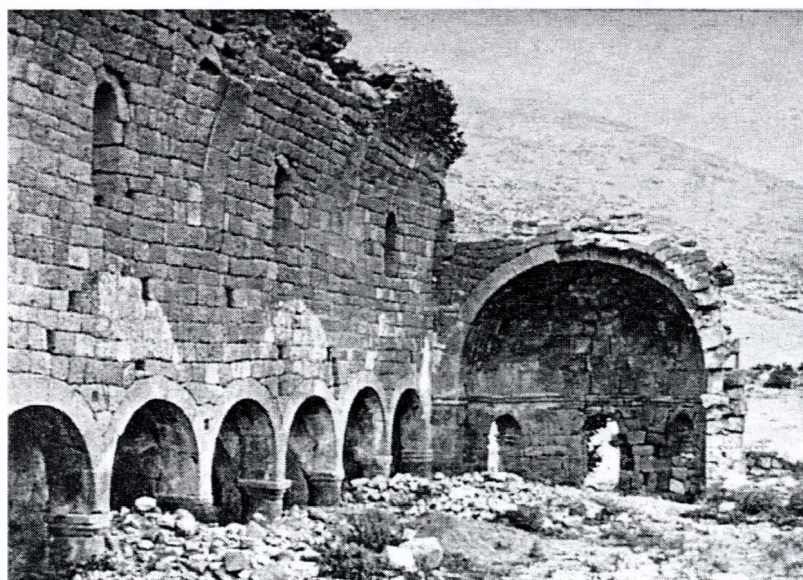
*Fig. 5.50 Yalova. Baptisterio*



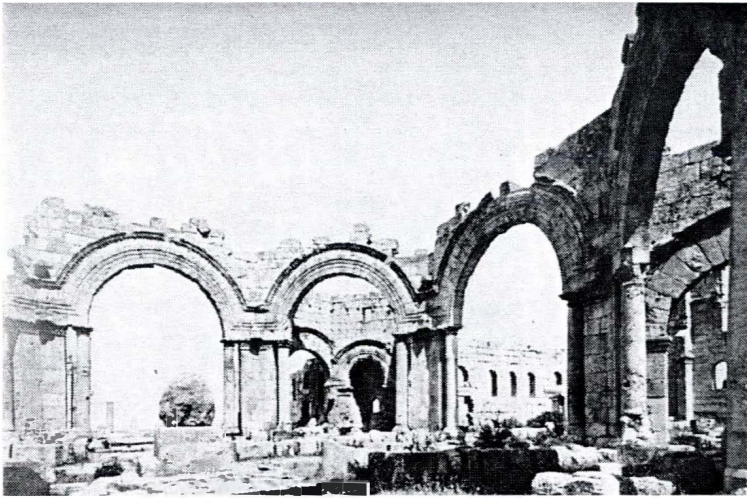
*Fig. 5.51 Qasr ibn-Wardan*



*Fig. 5.52 Qasr ibn-Wardan*



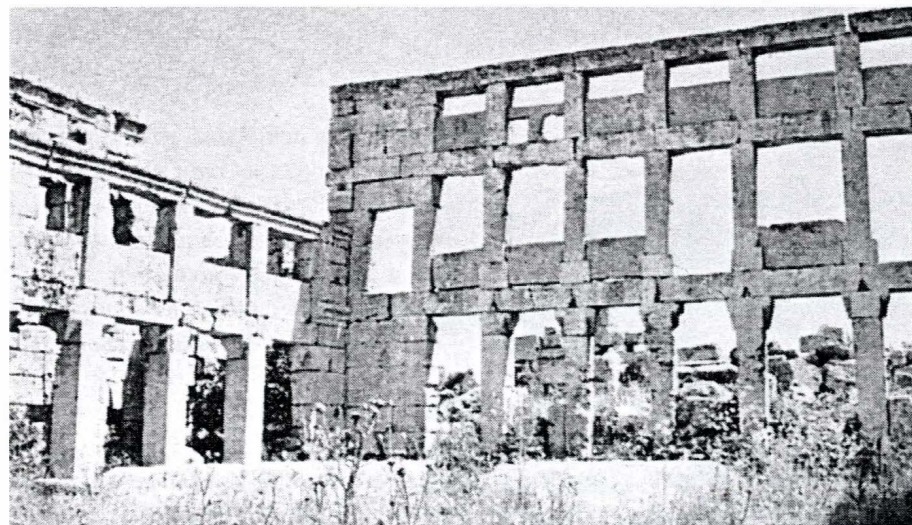
*Fig. 5.53 Bimbir-Kilise*



*Fig. 5.54 Cimborio del Monasterio de San Simeón el Estilita*



*Fig. 5.55 Bapústerio del Monasterio de San Simeón el Estilita*



*Fig. 5.56 Cenobio del Monasterio de San Simeón el Estilita*

Un ejemplo muy representativo de este tipo de fábrica homogénea puede ser el santuario erigido en honor de San Simeón el Estilita, cuya santidad fue deducida por sus contemporáneos de la sorprendente hazaña de permanecer cuarenta años en lo alto de una columna, lo que le proporcionó una fama, aún en vida, extraordinaria que se extendía hasta España. Fue empezado a construir en el s.V y el proyecto, como está demostrado, fue suministrado por un ángel, lo que es, seguro, una garantía de calidad. Trabajaron miles de personas bajo la vigilancia de una compañía de guardias imperiales. A pesar de todo, no ha quedado ningún rastro documental del desarrollo de los extraordinarios trabajos. Se encuentra en esta obra casi todo el repertorio constructivo bizantino y gran parte del románico. Su influencia, según parece, es innegable (Figs. 5.54 y 5.55).

La cubierta del crucero no existía en el s. VI, y lo más probable que no se construyera nunca. Para algunos autores el problema se redujo a que en el proyecto del ángel no figuraba la cubierta y entre los enervorizados seguidores de San Simeón no hubo ninguno capaz de imaginarla.

El monasterio (Fig. 5.56) es una realización en la que se mezclan con la nueva técnica algunos esquemas habituales griegos, mediante un entramado de grandes bloques. Se sube el segundo piso a base del inestable esquema trilitico sin ningún sistema rigidización de los apoyos. El nudo formado por los pilares del segundo piso sobre la junta entre dos dinteles del primero debilita el conjunto limitando la altura del edificio.

El ábside de la basílica oriental está cubierto por una cúpula en cuarto de esfera rematada en su frente por un arco formero embutido en la fábrica del muro al que se abre. La imposta de esta cúpula es una moldura cuyo despiece se introduce en la masa del muro perimetral.

Según este esquema se construyen varias basílicas, entre las que destaca por la pureza de conceptos Qalblözé en el s.VI (Fig. 5.57) y Bimbir Kilise (Fig. 5.53).

En la primera, las pilastras están aparejadas en una solución que no necesita de los fustes de las columnas romanas, delicados y difíciles de tallar, y las naves

laterales están cubiertas con losas planas como un entablamento griego. La cubierta de la nave central debía ser de madera, apoyada sobre ménsulas situadas en el remate del muro.

Los sillares de la fábrica son grandes y se perciben algunos detalles claramente romanos como el aligeramiento del dintel por arcos de descarga, aunque las ventanas exhiben el esquema trilitico. El despiece del ábside, a pesar de la diferencia de altura de las hiladas, es muy regular. Esta diferencia de alturas quizás se produzca como una degeneración en lo artesano, de los conceptos romanos y también se va a dar en el románico y el gótico.

### 5.9 Otros esquemas estructurales. la solución del espacio central

La habilidad conseguida en la construcción de las cúpulas desarrolló una tipología constructiva distinta a la de las basílicas romanas, o quizás fuera al revés, pero en lo que los constructores bizantinos se evidencian como virtuosos es en el desarrollo de espacios centralizados cubiertos. No se trata del sucinto esquema del Panteón de Adriano ni de la ingenieril concepción de los vertidos romanos. Se trata de obras realizadas con ladrillo y mortero de cal que alcanzan una complicación sorprendente en unas condiciones de equilibrio concebidas con gran ingenio.

El ejemplo más significativo es, sin duda, la prodigiosa Santa Sofía. El esquema se debe a Antemio de Tralles e Isidoro de Mileto y es el resultado de la evolución de la planta central experimentada en la Iglesia de San Sergio y San Baco, *Kuyuk Hagia Sofía*, en donde se contrarrestan por primera vez los empujes de la bóveda central, situada a la altura de dos pisos, a través de cuatro semibóvedas situadas en las diagonales del cuadrado en el que se inscribe la cúpula y cuatro arcos formeros muy robustos en los lados de ese cuadrado. Esta disposición origina un octógono, en cuyos lados se sitúan las exedras (Figs. 5.58, 5.59 y 5.60). Este esquema inicial, utilizado según todas sus posibilidades, es la base de los proyectos que casi mil años después desarrollarán Sinan y Mehmed de una serie de plantas de mezquitas de clara ascendencia clásica.



Fig. 5.57 *Basilica de Qalb-lozé*

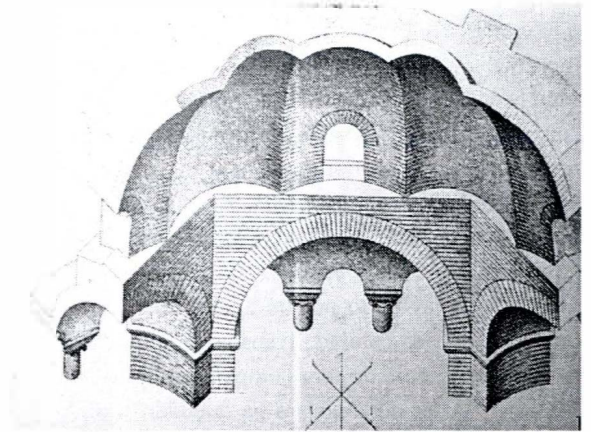


Fig. 5.58 *Axonometría de San Sergio y San Baco*

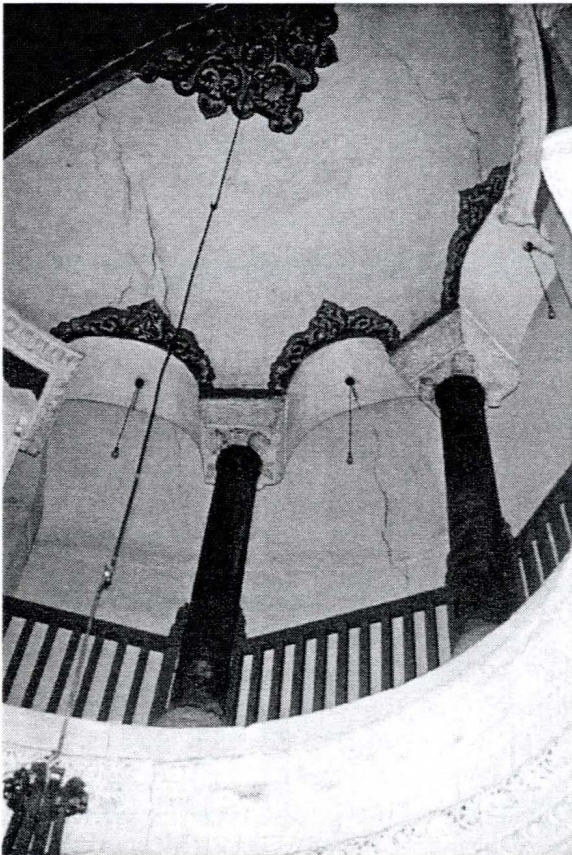


Fig. 5.59 *Exedra de San Sergio y San Baco*

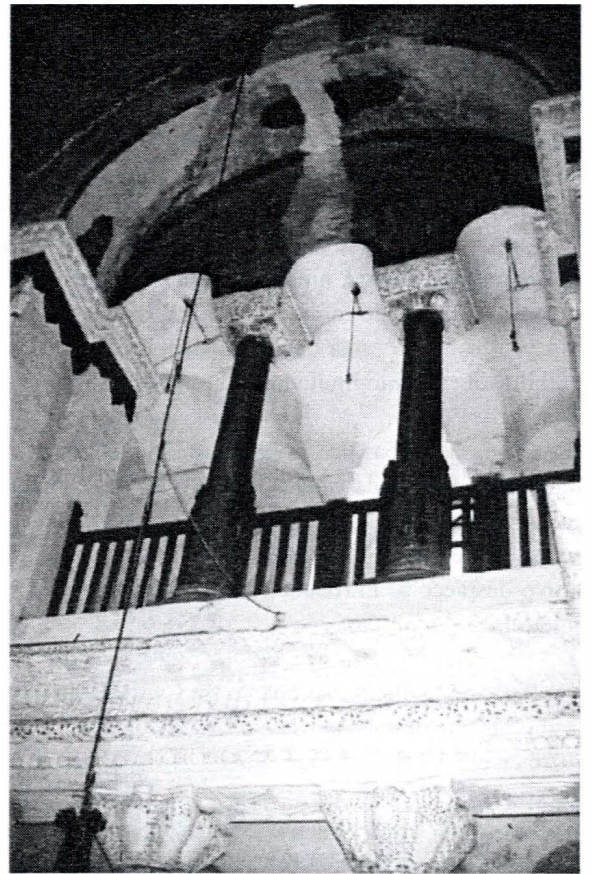


Fig. 5.60 *Arco lateral de San Sergio y San Baco*

sica, así como para otros trabajos renacentistas y barrocos.

La solución de San Sergio y San Baco es el punto de partida, según Cyril Mango, para Isidoro y Antemio en el proyecto de Santa Sofía. Se amplía el espacio cubierto partiendo la bóveda central por la mitad, separando las dos mitades, de forma que no sufren alteraciones notables en su diseño sobre el proyecto anterior, y colocando en el centro, a mayor altura, otra bóveda mayor inscrita en un cuadrado, cuyos nuevos lados se restringen en otros dos arcos formados mucho más robustos que los anteriores (Fig. 5.61). Los espacios laterales, pasillos y galerías presentan una gran variedad de soluciones que convierten al conjunto en una verdadera obra maestra.

Según Mainstone, Santa Sofía está constituida por dos estructuras sobrepuestas. La primera, la principal, está constituida por una cúpula que se inscribe en un cuadrado formado por arcos a través de trompas. El contrarresto de los empujes de la cúpula en dos de las caras opuestas se confía al peso de esos grandes arcos, mientras que en las otras dos caras perpendiculares a éstas, se restringen sobre dos medias cúpulas, que, a su vez, se apoyan en las exedras y en otros arcos menores (Figs. 5.62 y 5.63). Los empujes y las cargas descienden a través de los machones de las esquinas, restringidos por su propio peso en un caso y las semicúpulas y los cuartos de cúpula de las exedras en el otro.

La estructura secundaria está formada por el resto de las bóvedas laterales, los tímpanos, los nártex y las demás torres para rampas, etc.

No obstante, según Mainstone, las dos estructuras no son paralelas, sino que son complementarias de manera que las dos se ayudan mutuamente, en el sentido de que la secundaria rigidiza los elementos de la primaria, que sirve a su vez de contenedor de ésta.

La Iglesia fue construida por el emperador Justiniano sobre el solar de la catedral anterior, techada con un artesonado plano y mucho más pequeña, que fue incendiada durante la famosa revuelta del 532. En ese mismo año comenzaron las obras que se acabaron en el 537. La planta mide 77 m x 72 m y está dividida en

tres naves. La cúpula, de 31 m de luz, se levanta hasta una altura de 65 m. Se construye en 5 años con una organización que debió ser muy compleja. Todo el material, excepto ocho columnas de pórfido rosa egipcio, es original y, sorprendentemente, presenta algunas irregularidades notables. Las columnas tienen diferencias de hasta 0,16 m de diámetro. Se cayó durante el terremoto del 557 y fue reconstruida por el hijo de Antemio en el 562, realzando ligeramente el perfil de la bóveda principal.

Las pilastras principales son de piedra hasta la altura del segundo piso, siendo el resto y toda la demás obra de ladrillo sobre un zócalo de 7 m de piedra. Las deformaciones comenzaron durante la ejecución lo que hizo necesario rehacer algunas zonas. Muy preocupantes fueron los asentamientos de la columnata inserta en la plementería de los arcos formados laterales que se clavaban en la fábrica y que obligaron a apelar todo el conjunto. Se reforzó con contrafuertes arqueados (¿arbotantes?) después del primer hundimiento y aún hoy no han parado de desplomarse lentamente las columnas de las galerías del primer piso (Fig. 5.64).

La obra fue posible gracias a la decidida actitud de Justiniano, quien desde el comienzo asumió la responsabilidad del riesgo e imaginó sistemas alternativos durante la construcción.

La cúpula ha caído tres veces totalmente y siete parcialmente por la tribuna del nártex, normalmente a causa de los terremotos, durante los cuales los empujes horizontales se multiplican por cinco debido a la geometría del edificio.

Las bóvedas de la estructura secundaria se mantienen apoyándose en los pilares de cada piso y en los muros perimetrales, y han sufrido deformaciones muy importantes (Figs. 5.65).

El nártex presenta la singularidad de que por necesidades de iluminación, se abren en la bóveda seguida que lo cubre unas penetraciones transversales, a la manera en que se iluminan los mercados de Trajano, en Roma (Fig. 5.66), avanzando una de las grandes invenciones del Renacimiento: la bóveda por lunetos.

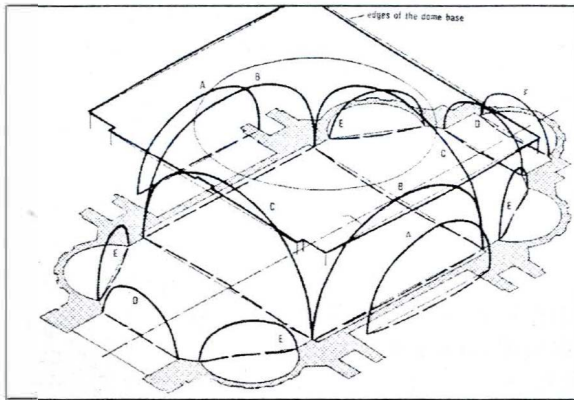


Fig. 5.61 Esquema estructural de Santa Sofía

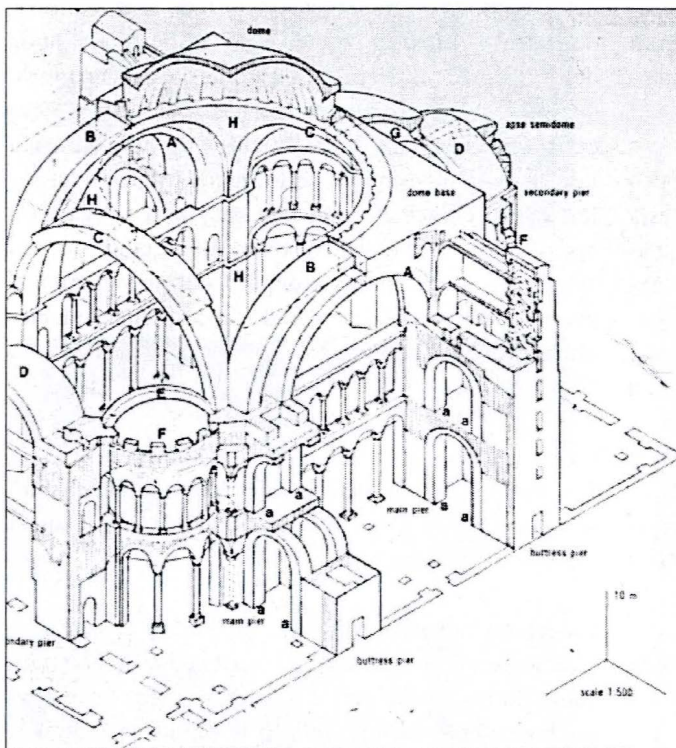


Fig. 5.62 Axonometría de Santa Sofía según Mainstone

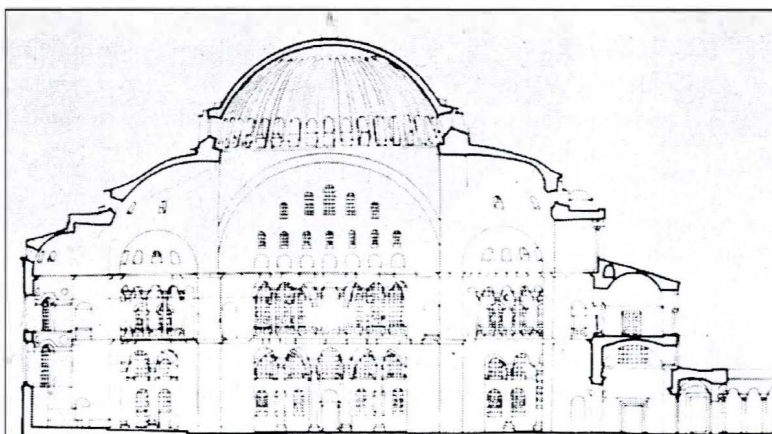


Fig. 5.63 Sección de Santa Sofía

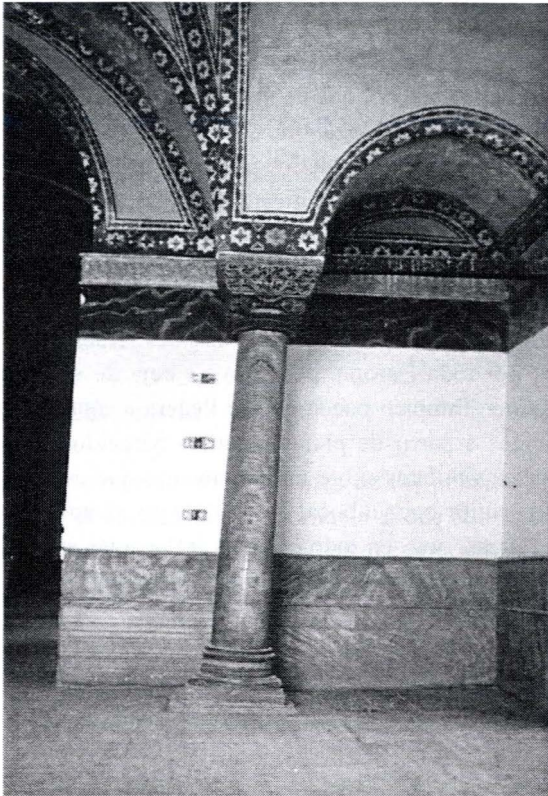


Fig. 5.64 Columna muy inclinada de la galería del segundo piso. Santa Sofía. En la pared del fondo se ven los testigos de control de las grietas del muro

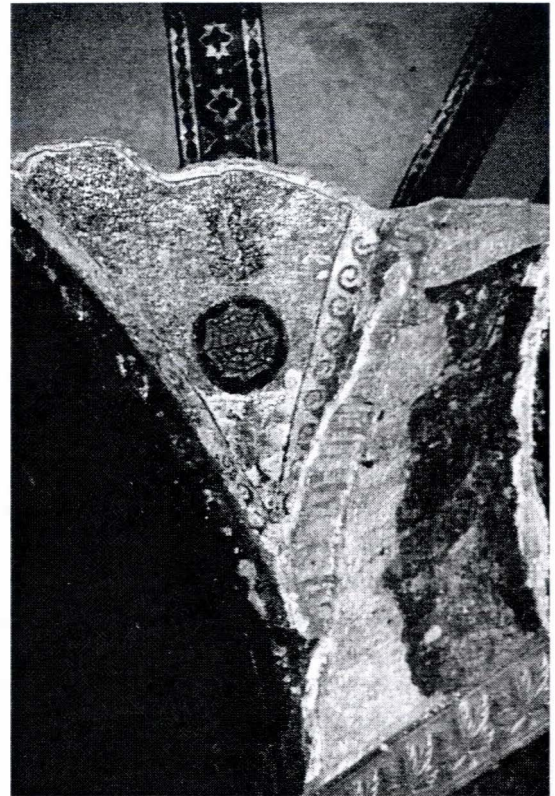


Fig. 5.65 Arista en la galería del segundo piso. Santa Sofía.

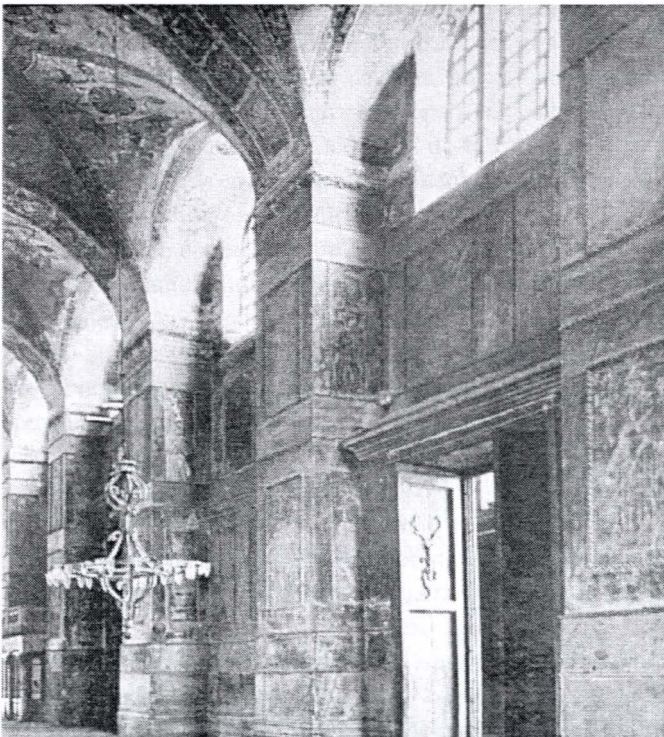


Fig. 5.66 Nartex de Santa Sofía

La gran diferencia entre ambos sistemas consiste en que, mientras los bizantinos trabajan con bóvedas de un grueso de ladrillo, en el Renacimiento las bóvedas serán de ladrillo plano, de mucho menor espesor y de mayor versatilidad en la forma.

### 5. 10 El legado bizantino

No es posible entender el desarrollo de la construcción medieval sin considerar las aportaciones bizantinas, tanto en la tipología arquitectónica como en lo referente a las técnicas de construcción y a la decoración. El caso es que no se sabe casi nada de los caminos ni las circunstancias por las que todo ese legado llega a Europa. Ni siquiera suponiendo la ósmosis posible entre el califato Omeya y el fecundo camino de

Santiago, ni con el recurso inmediato de las cruzadas se pueden fijar esos extremos. Las mejores muestras del primer románico, que en algunos casos es idéntico a algunos ejemplos bizantinos, se construyen cuando Bizancio atraviesa uno de los peores momentos de su historia y ha dejado de edificar con la grandeza de las primeras etapas. A pesar de ello, como ya hemos dicho, en algunos casos la semejanza es literal. Puede que en la confusa España alto-medieval se fueran sedimentando los conocimientos que después serían absorbidos por toda Europa, pero eso no deja de ser una conjetura. También puede que se llegara a soluciones parecidas a partir de planteamientos parecidos y de carencias similares sobre unos esquemas que es posible transmitir boca a boca, o con muy pocas apoyaturas gráficas, pero en todo caso las influencias están a la vista, esperando que algo, o alguien, acierte a describir su viaje.

## 6. Construcción arquitectónica posromana en Occidente

### 6.1 El escenario

La construcción arquitectónica de los pueblos bárbaros se desarrolla en un entorno en el que aún está muy presente la romana, como ruinas o como edificios útiles, por lo que, al margen de pequeñas variaciones singulares en algunas zonas, va a tener unas características comunes en todo el área europea del Imperio.

En general una parte de la memoria técnica va a pervivir, mejor o peor interpretada, e incluso llegará a informar obras concretas, pero su asimilación es en casi todos los casos mimética y desprovista de los conocimientos técnicos que han permitido su plenitud. Es excesiva la magnitud de la brecha que separa ambas sociedades para que el complicado y eficaz mecanismo de la industria de la construcción romana sobreviva en algo más que en detalles, imitaciones o simples parodias. Cuando Europa recupera la posibilidad de desarrollar una gran industria de la construcción, lo que sucede en los periodos románico y gótico, fundamentalmente en este último, la orientación es diametralmente opuesta a la de la industria de la construcción romana, tanto por la técnica como por los programas y sus condicionantes, debido a que se ha creado otro mundo distinto, el medieval, cuya inquietud constructora exige casi tanto como la imperial romana, sólo que en otra dirección y con otros sopores.

El grueso del sistema estará constituido por un repertorio radicalmente nuevo, en la medida en que una bóveda es nueva si se construye con la misma e inevitable forma, pero con otros materiales, siguiendo otro proceso, obteniendo un resultado visual distinto, y mucho más si está integrada en una estructura cuyo conjunto responde a otra concepción del espacio.

En la creación de ese repertorio se tardan seis trabajosos siglos llenos de situaciones cambiantes y contribuirán a él, en unas proporciones difícilmente ponderables, muchos agentes, tanto conocidos como desconocidos.

Estarán presentes las soluciones bizantinas, las estrictas reglas de la construcción más simple, es decir, de la construcción que sólo pretende colocar una piedra sobre otra para definir un espacio mínimamente útil, los aspectos más inmediatos de la construcción romana, las cambiantes necesidades de una sociedad que debe construir todo su entramado sobre las sombras de un pasado casi ignoto, con las premuras de un presente caótico y arduo y las servidumbres de un mundo que apenas puede sobrevivir a las necesidades más primarias. Estos agentes efectuarán su aportación por múltiples y desconocidos caminos. Muy pocos vestigios han quedado de los sistemas por los que se transmitieron las soluciones, ni tan siquiera de cómo se mantuvieron vigentes en áreas geográficas muy amplias a lo largo de siglos.

De forma en muchos casos desconocida se van incorporando a este proceso una serie de elementos y técnicas que lo completan, cerrando el ciclo de lo posible, hasta llegar en las últimas etapas, cuando el gótico rebasa gloriosamente cualquier sensatez, a su casi total agotamiento formal, estético y espiritual, en una forma que no se había producido nunca antes, ni se producirá después, en la Historia del Arte.

En resumen, durante este periodo se van a superponer dos procesos. Por un lado el progresivo abandono, quizás por olvido, de las técnicas romanas, y por otro el de la creación, a partir de numerosas fuentes, del repertorio propio.

Como resultado de todo ello, a lo largo de unos setecientos años, desde el 400 al 1100, aunque la diversidad estilística y de técnicas constructivas va a ser muy amplia, responde en su conjunto a estadios concretos de los dos procesos antes citados. A pesar de esta unidad se podría distinguir un primer periodo, hasta el s.IX más relacionado con el mundo antiguo romano, y un segundo periodo, a partir de esa fecha, en el que empieza a manifestarse explícitamente la Edad Media como un periodo con características específicas.

En España, en el primer periodo se diferencian varias etapas que constituyen distintos momentos de esa evolución, mucho menos uniformes en sus resultados y planteamientos de lo que después van a ser los periodos románico y gótico. Por un criterio de claridad expositiva los hemos dividido en cuatro apartados con los nombres habituales -visigodo, mozárabe, asturiano y protorrománico-, que se corresponden con situaciones históricas o sociales muy diferenciadas. Desde el punto de vista de la construcción existen entre ellos vínculos evidentes de forma que en muchos casos es difícil asignar un edificio concreto a una de estas clasificaciones, aunque la localización geográfica suponga un apoyo definitivo y los criterios básicos se puedan diferenciar en casi todos los casos.

Para la construcción arquitectónica se producen, en general en todo el área en la que se extendió el Imperio Romano de Occidente, una serie de circunstancias comunes que se pueden concretar en la siguiente relación:

1) Las aportaciones bárbaras a este proceso son pocas y de poca entidad. No podía ser de otra manera; el ejemplo romano es excesivamente potente para que los primitivos sistemas constructivos y decorativos bárbaros sobrevivieran a él como algo más que como planteamientos de una estética menor y unas técnicas de escasa entidad. Puede que las casas o campamentos estables continuaran la tradición bárbara, tanto más cuanto que la población tardorromana convivió con ellos y no desalojó sus asentamientos, pero cuando se trató de levantar edificios de mayor importancia, iglesias fundamentalmente, se debió recurrir, en lo que se pudo, a lo romano.

2) Se debe considerar, para bien y para mal, la existen-

cia de numerosas construcciones romanas en todos los grados de conservación, desde obras intactas a vestigios y ruinas y, en consecuencia, de gran cantidad de material: sillares, dovelas, fustes, capiteles, etc. mejor o peor conservados, pero en cualquier caso con un grado mayor de perfección del que fue posible conseguir en un primer momento.

Según Konant, "prácticamente por todo el área donde florecería luego el románico existían ejemplos del antiguo estilo romano. La forma de construcción romana, a pesar de su decadencia en los Siglos Oscuros siguió considerándose como un ideal, y en la práctica nunca llegó a perderse. Un arquitecto o un ingeniero romanos habrían comprendido fácilmente la obra de sus sucesores románicos", eso varios siglos más tarde. Aunque no se puede compartir totalmente esta afirmación, lo que sí es seguro es que, si dispusieron de referencias ciertas, éstas tuvieron que ser romanas, muy modificadas por la importante diferencia de conceptos que informaron cada uno de los dos sistemas.

Como confirmación de esta disponibilidad se encuentran sillares de origen claramente romanos por su tamaño y desproporción en relación con la obra, y otros elementos cuya adscripción no es discutible a la vista de la forma y pulcritud de la talla. Documentalmente existen datos de un transporte, en época visigótica, de capiteles y fustes desde Galicia a Sevilla, lo que debió ser una proeza para el momento y permite apreciar la importancia y escasez de las piezas, cuya disponibilidad dura más o menos en función de la actividad constructora de la zona y de su grado de romanización.

La existencia de estas ruinas y de este material condiciona la construcción, tanto en la forma de su empleo -con sillares grandes se debe trabajar de una forma determinada, lo mismo que con unas dovelas concretas se debe reproducir un arco, so pena de retocarlas mucho (Fig. 6.1.1)-, como por el ejemplo que suponen. En este aspecto es difícil valorar cómo veían los restos romanos los nuevos constructores.

También es posible suponer que algunos elementos sugirieran otro uso distinto al original. Algunas columnas cuyos fustes sirven de soporte a bóvedas

desproporcionadas, sobre todo en algunas criptas, están sometidas, es de suponer que inconscientemente, a unas fatigas de trabajo muy superiores a las que quizás por sus mayores conocimientos empíricos les hubieran exigido los constructores romanos.

3) Se producen, en circunstancias y proporción poco conocidas, aportaciones bizantinas.

Al principio, esa influencia es indudable. Atanagildo pide ayuda a Justiniano para defenderse de Agila y éste le envía un ejército en el 554 que se asienta en la Bética y en la Lusitania hasta el 625. Se funda un patriarcado en Cartagena dependiente de Bizancio y existe una ósmosis cultural con el norte de África conquistado por Belisario, general de Justiniano. Un vestigio pudiera ser, si llegara a localizarse, la catedral visigoda de Cartagena, construida en el s. VI, de la que se tienen noticias, y se sabe de alguna actividad económica propiciada por estos asentamientos, llegando los comerciantes bizantinos a lugares tan remotos entre sí como Mérida y Denia.

4) La falta casi total de conocimientos técnicos entendidos en su sentido amplio como un conjunto de normas que permiten, con un riesgo razonable, la adopción de soluciones ante un problema cuyo planteamiento es cierto. La asimilación de algunos aspectos epidérmicos de la construcción romana no hace sino abundar en esta hipótesis, aunque por la perfección y magnitud de algunas obras es de suponer la existencia de unos esquemas extraordinariamente útiles que de alguna forma garantizan la estabilidad de lo construido, aun sin estar basados en una teoría científica como la entendemos hoy y a pesar de que la transmisión informal de la totalidad de los conceptos que informan el equilibrio de un edificio entraña muchos riesgos.

Este olvido de los conocimientos brillantemente acumulados por los constructores romanos durante tres siglos va a producir modificaciones de gran importancia, entre las que algunos destacan, como hecho fundamental que informará todo el proceso constructivo europeo durante diez siglos, la desaparición del polvo puzolánico, con lo que la construcción deja de ser una masa concrecionada recubierta y se convierte paulatinamente en un complicado mecanismo resistente, apa-

rejado y basado en la capacidad de la piedra para trabajar a compresión. Esta explicación, a pesar de ser real, no es completa. Aunque se hubiera dispuesto de ese polvo milagroso que hace endurecer fuertemente y en condiciones a veces dificultosas los morteros de cal, no se hubiera dispuesto de los demás datos. La industria de la construcción romana había desaparecido y con ella la posibilidad de trabajar con su extenso repertorio constructivo.

5) La falta de tradición, o su excesivo localismo, en lo que a oficio se refiere. Según Mario Brozzi, en Benevento se construyen muros arrasados por Totila en el 545 con mano de obra local, según una técnica a la que la poca práctica había vuelto grosera, con materiales romanos recuperados. La nula atención a las ciencias aplicadas, y a la construcción en particular, refuerzan esta situación (Fig. 6.1.2).

Faltan, al margen de algunos núcleos alrededor de los centros de poder y los monasterios, los artesanos como estamento estable. Hasta bien entrado el s. X no aparecen los artesanos agremiados y con continuidad de técnicas. Sabe construir muy poca gente, y los que aprenden en cada área carecen de las bases culturales que les permitan interpretar correctamente el trabajo. La única ciencia es la de las cuadrillas itinerantes de obreros, convenientemente jerarquizados alrededor de un artesano de gran habilidad, fundamentalmente en la talla de la piedra. Así se difunde el estilo lombardo románico y, es de suponer, algunas otras técnicas. Estas cuadrillas tienen su origen en Italia, donde la tradición romana es más fuerte, y se desplazan por toda Europa llegando en España hasta las regiones más remotas, siguiendo los caminos de peregrinación. En los escasos documentos de la época a los primeros canteros se les denomina *lambardos* para diferenciarlos de los albañiles, colocadores o *caementarios*.

Estas cuadrillas atienden a algunos aspectos técnicos generales y a la ejecución de lo más delicado de la obra, mientras que el resto se hace con mano de obra local muy poco preparada. Para entender el resultado de este tipo de trabajos puede servir lo sucedido después de la Segunda Guerra Mundial en Francia. Debido a la falta de albañiles especializados se recurrió, para las reconstrucciones monumentales más inmediatas, a la gente de cada región que, sin oficio, copiaron

lo que veían. Las obras hechas así tienen más calidad "medieval" que las que se hicieron luego con obreros que habían aprendido en escuelas especializadas.

Desde el punto de vista humano se producen también diferencias notables en el carácter de la mano de obra. Mientras en la organización romana se cuenta con esclavos, cuya condición de tales es explícitamente reconocida, en la Edad Media, con las matizaciones y salvedades de rigor, la gran masa laboral está compuesta de personas que, sin llegar a ser libres en el concepto actual del término, aceptan casi siempre voluntaria y gustosamente su participación en el trabajo como parte de un empeño espiritual más amplio.

6) La simplicidad de los cánones estéticos en todos los órdenes. El salto cualitativo es de una extraordinaria magnitud y se tardan casi mil años en recuperar parte, sólo parte, del bagaje artístico clásico, aunque partiendo en esto también de cero se llegara a los notables resultados del románico y el gótico (Fig. 6.1.3).

Aún con estas carencias se mantiene la planta basilical como el trazado básico para los lugares de culto. La percepción de este espacio y sus características, exigidas por la liturgia, debieron ser más fáciles que el delicado modelado de las figuras, el complicado mecanismo de las proporciones clásicas, o la magnificencia de algunos escenarios arquitectónicos romanos.

Como característica general de todo el periodo se puede suponer que la pequeñez de las iglesias se debe a la dificultad para cubrir luces mayores. Este es un detalle de gran importancia, ya que una construcción sólo es un edificio, en principio, si está cubierta, y la dificultad de esa cubierta fija las dimensiones de la planta, por lo que de su consideración se deducen las verdaderas capacidades y limitaciones del sistema constructivo y de las técnicas empleadas en su materialización. Se puede objetar que las plantas son suficientes para acoger a los escasos fieles que, dadas las circunstancias, se podían congregar para el culto. Esto puede que fuera verdad en algunas diminutas comunidades rurales, como Santa Comba (Fig. 6.1.4), pero se hace difícil suponer que en entornos más estables, como pudo ser el de la monarquía asturiana, el límite de asistentes fueran las escasas trescientas personas que caben en San Miguel de Lillo.

Al margen de interpretaciones más o menos brillantes sobre la valoración del espacio desde el punto de vista estilístico y artístico, si nos ceñimos al de la técnica constructiva, es una desmesura evidente la relación entre el espacio cubierto y el tamaño de los sillares que se usan en la construcción de las primeras iglesias.

A pesar de todo, es posible encontrar reminiscencias de las formas clásicas interpretadas esquemáticamente (Fig. 6.1.5). De todas formas, entre el s. VI y el X la mescolanza de sistemas y de estilos hace difícil la clasificación de estos periodos, por lo que atenerse estrictamente a ella es un ejercicio preferentemente retórico, muy arriesgado y de escaso sustento, aunque la lógica de algunas situaciones lo vuelva verosímil. Muchas veces sucede que el mismo monumento se clasifica en etapas muy distintas aunque todo el mundo esté de acuerdo en sus características fundamentales y en su adscripción cronológica.

## 6.2 El reino visigodo

### 6.2.1 El escenario

La larga relación que el pueblo godo, el más culto y romanizado de los pueblos bárbaros centroeuropeos, mantiene con Roma a lo largo de casi doscientos años culmina con la llegada a Hispania de unos primeros grupos traídos por los romanos para defender la provincia de los galos, más agresivos y peligrosos, a finales del s. IV. A partir de estos grupos se organizan los primeros asentamientos estables que acaban dominando a la gran masa hispanorromana, profundamente romanizada y cristianizada pero de escaso poder político, hasta constituirse en reino.

La historia de esa relación es la de una serie de intentos fallidos de integración de ese pueblo en la gran estructura imperial. En Italia, después de una serie de situaciones cambiantes, se consolidan como grupo, cada vez más agresivo e independiente hasta que en agosto del 408 Alarico entra en Roma acabando a casi todos los efectos con el Imperio. Este hecho coincide con la entrada incontrolada de grupos de godos a través de las fronteras que actúan por su cuenta en los



Fig. 6.1.1 San Pedro de Lourosa

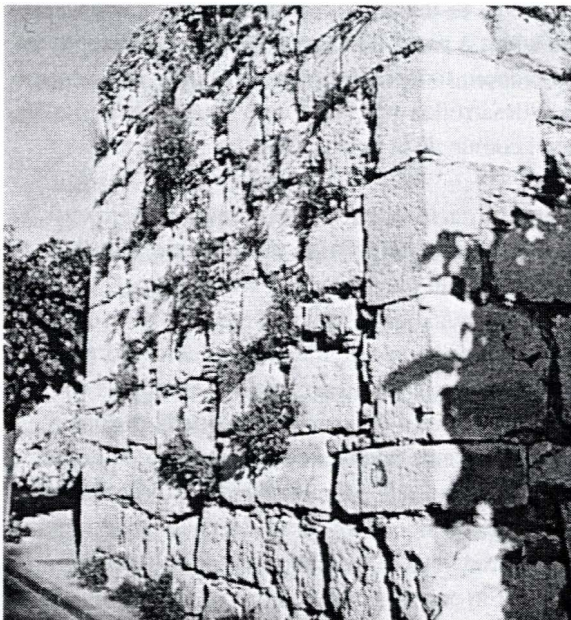


Fig. 6.1.2 Murallas de Benevento reconstruidas en el s. VI imitando la técnica romana



Fig. 6.1.3 Capitel de San Pedro de la Nave

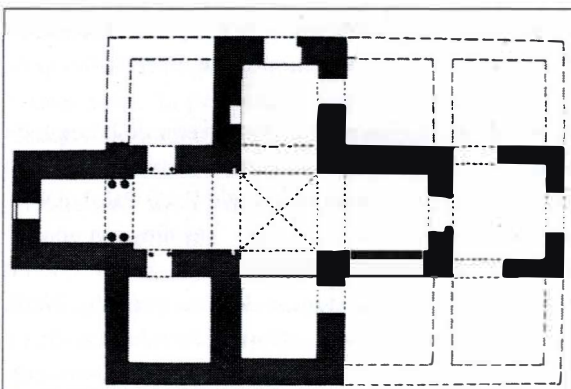


Fig. 6.1.4 Planta de Santa Comba de Bande

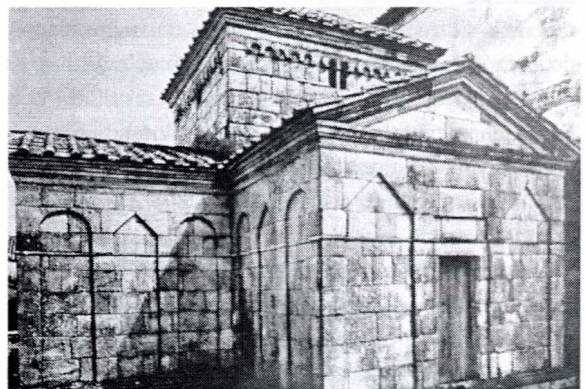


Fig. 6.1.5 San Fructuoso de Monteluis

territorios en los que se asientan. Con anterioridad a estos asentamientos la historia es confusa. Varias olas de invasores se suceden sobre la península y, a pesar de que es posible establecer una geografía de esas invasiones durante el s. V, la opinión más aceptada es que se mantiene la estructura tardorromana sin grandes modificaciones, desmantelándola a lo largo de tres centurias los pueblos bárbaros.

Por los indicios, parece que el bagaje cultural de los invasores bárbaros era bastante escaso, siendo su máxima aportación la introducción de algunos motivos ornamentales, por lo que desde el punto de vista artístico y técnico se produce una dualidad: el gran arte, la arquitectura, la pintura y la escultura son hispanorromanas, y lo visigótico propiamente dicho lo constituyen las artes menores y el mobiliario.

Hablar pues de construcción arquitectónica visigoda debe ser un convenio. Además de los problemas de datación y adscripción exacta de algunos restos, se pueden objetar otros argumentos en contra de una aplicación estricta del concepto. A la vista de la poca cultura técnica del pueblo visigodo y teniendo en cuenta que la mayoría de la población sigue siendo básicamente tardorromana, es probable que, una vez que la etnia dominante establece unos mínimos principios estéticos y funcionales para sus edificios, sean las cuadrillas de operarios autóctonos, bajo el mando de alguien que realizara las funciones actuales de encargado y cuya experiencia, de tenerla, debería ser "casi romana", las que, aplicando su oficio, materializaran el trabajo.

Esta hipótesis, que se formula sobre la única base de la lógica del desarrollo de los trabajos, admite que algunos de esos trámites estén en manos de visigodos, pero no forzosamente en exclusiva. Son muchos los pasos que se han de dar hasta conseguir el resultado como para que no intervengan los trabajadores autóctonos, dotados, es de suponer, de una mayor experiencia en los aspectos cotidianos del trabajo, sea o no monumental. Se trata de decidir el tamaño de los sillares, localizar la cantera, o las ruinas de las que se aprovecharán, transportarlos y colocarlos de acuerdo con un proyecto, por más que éste se pueda aceptar como simples trazos sobre cualquier soporte y que se trasladan, según una escala antropomórfica, a la obra.

A su favor se puede argumentar también que cualquiera de las dos versiones colmaría de algún modo la constante tentación a que, sin duda, se ve sometido el pueblo visigodo: la apropiación y reinterpretación de la cultura romana que se produce con la intención "de resucitar la Roma que antes habían matado", de forma muy evidente, en lo arquitectónico y constructivo. Por ello cabría llamar a este apartado construcción hispánica en la etapa visigoda.

A poco que el resultado fuera satisfactorio en las primeras realizaciones, no existe motivo ninguno para que no se admitiera como propio, lo que es distinto a una idea previa estricta. La similitud de los resultados en áreas muy dispersas, Sebanípale o Quintanilla, hace aún más verosímil el supuesto de unas soluciones casi inevitables a partir de los restos y las condiciones que se dieron en todo el Imperio, soluciones que se generan y desarrollan por parte de lo que pudiéramos llamar el común de la población.

Otra cosa sería el proyecto, fundamentalmente en planta, con unas características concretas, resultado de un determinado planteamiento sociológico. Si el poder estaba en manos de la etnia visigoda, y de eso no hay ninguna duda, y la religión se emplea como un argumento más entre los que maneja ese poder, es lógico aceptar una cierta imposición, recortada por las realidades de la técnica posible, en el momento de definir el funcionamiento del edificio: dónde se colocaría cada cual, la prelación en los actos de culto, la jerarquización, en fin, en el sentido estricto del término, del espacio.

También se puede entender como privativa, y por lo tanto impuesta por la etnia dominante, una determinada estética. El arco sobrepasado y algunas decoraciones florales pertenecen a este posible repertorio.

Los edificios religiosos conservados son de la segunda mitad del s. VI y en ellos es patente la planta basilical y un conjunto de características que P. de Palol, considera paleocristianas tradicionales, sin ninguna aportación detectable de los invasores godos, por lo que no se pueden considerar dentro de este periodo. Nada queda de lo que se pudo construir durante más de un siglo, aunque, por algunas inscripciones de consagración de templos y altares sabemos que se construyó.

El primer templo con las características hispanovisigodas es San Juan de Baños, construido por Recesvinto y perfectamente datado en el 671.

### 6.2.2 La tipología arquitectónica

A pesar de la común referencia basilical, son varias las distribuciones en planta que se pueden observar en los pocos restos existentes. San Isidoro describe varios tipos coincidentes con los habituales en el área de desarrollo de la religión católica y, excepto en San Juan de Baños, en todas ellas aparecen los ábsides con plantas curvas ligeramente sobrepasadas. El más demostrativo del rigor de esta norma es el de la cripta del baptisterio de Egara, que en unas dimensiones mínimas, un metro de radio, mantiene la tensión del diseño habitual.

Se pueden distinguir dos tipos, las de planta en cruz griega y las de nave corrida, y San Isidoro describe otros edificios como "martirios", baptisterios, torres con campanas, etc.

### 6.2.3 Las fábricas

La fábrica de los muros en todos los casos se ejecuta en piedra sin contrafuertes -Lamperez asegura que nunca se usó el ladrillo -, siendo la característica más destacada el tamaño de los sillares, lo que produce una sillería específica, el *more goticum* que describe San Isidoro en sus "Etimologías". Las piezas, perfectamente escuadradas e irregulares de tamaño, no pierden la horizontalidad ni el ajuste perfecto en las juntas en lo que parece un modo romano de hacer. Cabría reflexionar sobre la perfección de la talla, perfección que desaparece paulatinamente en las etapas sucesivas y que no se vuelve a recuperar hasta el románico pleno. Parece que sea el único esmero posible, o la única grandeza permitida.

Sobre el extraordinario tamaño de los sillares se pueden aventurar dos explicaciones posibles con ánimo justificativo: o se trata de una tendencia basada en el entendimiento de la gran calidad de la construcción

romana, lo que generaría una imitación puramente epidérmica que desconoce las necesidades reales de solidez, o bien, dentro de una mayor lógica desde el punto de vista constructivo, son simplemente sillares, en todo o en parte, provenientes de obras romanas, completados en algunos casos con otros, pocos, de producción propia.

Son desproporcionados a las necesidades resistentes, al tamaño general de la obra, al espacio generado, e incluso a las dimensiones de cada elemento del que forman parte, y eso genera, al margen de unas grandes dificultades de manejo durante la ejecución, pues los andamios deben ser más robustos y el ajuste es más dificultoso, una serie de problemas de difícil solución en la materialización del proyecto, ya que no caben ni la improvisación ni los pequeños ajustes posibles al usar piezas más pequeñas.

El ejemplo más clásico de esta manera de hacer es Quintanilla de las Viñas. La obra inacabada, o derruida, de Santa María de Quintanilla de las Viñas, de ser visigoda, extremo este que cada vez ofrece menos dudas, es un ejemplo claro de hasta qué punto fueron limitados los recursos técnicos en dicha época y de cómo el *more goticum*, magnífico en algunos de sus aspectos (Fig. 6.2.1), no fue una elección, sino el resultado no demasiado afortunado de la serie de circunstancias que hemos descrito.

Está fuera de dudas la importancia de la zona en la que está situada Quintanilla en la época romana. En la actualidad se excava una importante ciudad a pocos kilómetros a la que se le calculan 60.000 habitantes y se puede imaginar que lo que en la Alta Edad Media debió ser un páramo ominoso y desierto, en tiempos anteriores fue una zona de gran importancia agrícola. Según Pedro de Palol, "Quintanilla de las Viñas podría ser el último ejemplo de esta serie de construcciones de arte hispanovisigodo, muy fragmentariamente conservada, quizás por tratarse de una obra inacabada o por destrucciones posteriores. Tanto en planta como en ornamentación figurada constituye un ejemplar tremendamente interesante y fuente de encendida polémica". Joaquín Yarza afirma que "no llegó a construirse por completo". Se podría añadir que porque era muy difícil, aunque la versión más difundida es que, por razones más o menos oscuras relacionadas con

alguna polémica teológica, fuera destruida; eso, si el temible Almanzor no fue el causante de su ruina en uno de sus vengativos periplos. De ser cierto este supuesto, hay que convenir que actuó con una gran delicadeza, muy superior a la demostrada en otras actuaciones similares, y poniendo gran cuidado en conservar aquello que no ofendía su fe.

Es probable que de las construcciones romanas más o menos próximas se utilizaran los sillares grandes -en algunos se pueden ver los huecos para insertar las letras de bronce con la dedicatoria de algún gran monumento-, mientras se construyó el ábside todo fue bien, pero al llegar a la esquina comenzaron las dificultades (Fig. 6.2.2). Fue imposible continuar la construcción.

Para el análisis del proceso constructivo se puede partir de dos supuestos. El primero se basa en considerar que los sillares de cada hilada se colocan seguidos y no se empieza la superior hasta haber acabado la inferior. Con ello se consigue que el trabajo de encaje de los bloques, casi perfecto, se haga sin ninguna interferencia. Se trata, una vez seleccionados los sillares de una misma altura, de irlos colocando a partir de algún punto de referencia, posiblemente una esquina, hasta completar una hilada. Si, como es de esperar, las dimensiones están fijadas de antemano, lo único que definiría la hilada, que puede estar prefabricada, es la altura común a todos los sillares colocados en ella. Después sólo habría que retocar uno en cada hilada y en cada cara para que coincidiera la suma de sus longitudes con la dimensión precisa.

La segunda posibilidad es que se iniciara por un punto, o por varios, también lógicamente las esquinas, y que, a partir de ellos, se fuera completando la fábrica por distintos tajos situados a distintas alturas.

En contra de la primera suposición se puede alegar que ese método obligaría a disponer de un andamio en toda la longitud, o a irlo reconstruyendo más alto a medida que se levantan nuevas hiladas. El tamaño de los sillares y la perfección del encaje obligan a un plano de trabajo firme y seguro para cada uno de ellos, aunque no presente ninguna dificultad moverlos con palancas de madera. Este sistema es muy poco racional, por lo que se puede descartar sin remordimientos.

Más lógico parece, desde el punto de vista del rendimiento del andamiaje y de la definición de la obra, el segundo sistema. Una vez marcadas en planta las dimensiones, lo que es obligado por otra parte para construir los cimientos, se inicia por las esquinas la colocación de los sillares. Para ello es necesario que exista una clasificación por alturas durante la talla, además de una cierta valoración de las longitudes para conseguir la total de cada lado y la correcta correspondencia de las jambas de los huecos. Hemos dicho que los sillares no son demasiado difíciles de manejar con palancas, pero son de un volumen que hace complicado retocarlos sobre el andamio. Por lo tanto, a la organización necesaria para clasificarlos por alturas hay que añadir el que a pie de obra se destinen a un tramo exacto, en el cual pueden ocupar cualquier posición, pues la suma siempre sería constante y no presentan ninguna singularidad en las aristas.

De esta forma, una vez definida la arista, acabarla en toda su altura sería prioritario por muchas razones. En primer lugar se tendría la referencia para planear las paredes, es decir, para conseguir una colocación vertical de los bloques en cada plano concurrente. En segundo cabría un mejor aprovechamiento de los andamios. Hay que tener en cuenta la escasez de madera y la dificultad que presentaba en aquella época trabajar las escuadrías necesarias para soportar el peso de los sillares de esta obra.

Una vez clasificados los sillares por alturas e incluso por longitudes, se procede a colocar cada sillar sólo si están dispuestos los de abajo definitivamente. No es pensable que dejaran un sillar en voladizo y encajaran el inferior en el hueco, pudiendo colocarlo encima, excepto en el caso de que el superior montara mínimamente sobre el inferior. No se utilizan los enjarjes para avanzar la obra. En todo caso existen dos avances, a diferentes alturas, a ambos lados de cada esquina, y las dificultades que presenta el peso y el manejo hacen suponer un solo sillar encima del andamio en cada operación.

Partiendo de estas premisas, el orden obligado en el recibido de cada bloque para continuar la fábrica se altera al llegar al dintel decorado. Antes hay que recibir los tres sillares colocadas debajo y a su derecha. En ese momento se pierde la regularidad en el trabajo.

Parece que se abandone la posibilidad de seguir, puesto que los tres están enrasados en lo que, en cualquier caso, sería una alteración del aparejo. No se puede suponer una demolición posterior y, a partir de ella, en una solución de emergencia para evitar la caída del dintel. ¿Qué o quién causa esa demolición que respeta al dintel en una posición tan inestable? Su horizontalidad y la falta de otros desperfectos en la fábrica, arriba y a la derecha, hacen poco viable esa hipótesis.

Para acabar la pared es necesario colocar de nuevo unos sillares ajenos totalmente al concepto que informa el resto de la fábrica. Para recibir el sillar colocado inmediatamente encima del dintel es necesario que estén colocados los inmediatamente próximos a los tres que actúan de jamba en ese lado de la puerta. A partir de aquí el desconcierto de los constructores es total. Aparecen dos trozos de paramento yuxtapuestos claramente diferenciados, separados por una junta vertical. Aunque el tamaño de los sillares es similar al del resto de la fábrica, parece que no importa, o no se sabe, continuar las hiladas. La junta vertical podría sugerir el intento de una puerta que después se cambia de sitio. Entonces está fuera de lugar el segundo sillar del doblado de la jamba que cubre en parte la entrada. Ese intento, si es que lo hubo, se abandona antes de llegar al dintel, puesto que no existe ninguna pieza que pueda colocarse en ese lugar. Los dos tramos de paramento se igualan a la altura del friso con una hilada bastante parecida en altura a éste. En ese momento han quedado una serie de irregularidades importantes en la esquina:

La jamba y la esquina están separadas por una junta, lo que también ocurre con dos tramos de paramento contiguos.

Aparece un sillar, el más exterior de los situados sobre el dintel, sobre una pieza de una dimensión notablemente inferior a las que se han usado hasta ese momento.

Ese sillar no deja continuar la fábrica ni está acabado en una de sus caras vistas. Lo mismo ocurre con los sillares situados inmediatamente encima.

Parte del paramento se ejecuta con piezas menores colocadas irregularmente en la parte inferior, lo cual

significa que las piezas grandes de la parte superior estaban disponibles y no se ha previsto la continuación del friso a partir de la pieza que actúa de dintel, ya que lo impiden algunas piezas.

No se continúan las hiladas con la misma altura, a pesar de que parece que algunos bloques estaban preparados para ello. El aparejo de la jamba no permite continuar la fachada, pero como los sillares que aparecen en la esquina a partir del friso inferior no tienen acabada sus dos caras vistas, la impresión es que debería continuar en esa dirección.

Pero lo más sorprendente es que a partir de la hilada inmediatamente superior al último friso, en esa cara de la fachada, de nuevo se continúa con la misma cuidada colocación que en el resto de la fábrica. De nuevo coinciden las hiladas en altura, aunque sean solamente dos, y de nuevo el rompejuntas, la horizontalidad y la talla de los sillares son perfectos, todo, imprescindiblemente, sobre las anteriores irregularidades.

También se puede interpretar que existe una junta en toda la altura de la esquina y que los trabajos, por la razón que fuera, se continuaron por otras gentes menos diestras cuando aún estaba el material dispuesto, sólo que con prisas modificando el proyecto, en el sentido de suprimir la continuación de la fachada. Estos nuevos constructores, o los antiguos, quizás acuciados, no encontraron imprescindible la técnica empleada hasta ese momento. Lo que no parece posible, a la vista de este análisis, es que se procediera a una demolición, y menos si ésta tenía por objeto la total destrucción del edificio. No se entiende cómo se pueden partir los sillares de la esquina sin sacarlos de sitio y sin que ello supusiera la caída de gran parte de esa fachada.

El caso estaría en dilucidar si esta dificultad se genera por carencias técnicas, es decir porque no se supo prevenir la continuación, o se debió a un cambio en las circunstancias de la obra. Por el aspecto de la fachada, y esto ya es pura especulación personal, más parece lo primero que lo segundo. La puerta junto a una pared transversal fue un obstáculo insalvable para los constructores. En San Pedro de la Nave, de sillares menores, no se planteó este problema.

Según Lamperez, es probable que la rusticidad de algunos de estos aparejos se deba a que después iban recubiertos de mármol a la manera romana y quizás como copia. Esta opinión viene reforzada por el testimonio de Ambrosio de Morales, quien, en “El Viaje Sacro”, en el s.XVI, asegura haberla visto aplacada a la manera bizantina. En ese caso seguro que se aprovecharon mármoles romanos de recuperación, ya que tallarlo en láminas puede ser muy difícil si no se dispone de la técnica necesaria. Esta costumbre duró mientras se pudo durante todo el periodo.

#### 6.2.4 Los arcos

Antes de entrar en los aspectos constructivos de los arcos es necesario hacer algunas puntualizaciones sobre la forma. La de herradura es visigoda. La semi-circunferencia superior se completa con unos arcos de radios más pequeños hasta el apoyo. Los árabes la incorporan con algunas modificaciones, prolongando el arco, de un solo centro, hasta un tercio de la semi-circunferencia inferior, forma que se conservará muy estilizada en el mozárabe.

Los aparejos suelen ser muy robustos, lo que abunda en la hipótesis sobre el origen de las dovelas, casi siempre romanas de recuperación. En San Pedro de la Nave aparece un aparejo de ladrillo en los arcos, que se debe al traslado que hizo en el año 29 de este siglo el arquitecto Ferrán, por lo que su análisis no puede ser válido.

Lo notable de los paramentos es el despiece de la primera línea de sillares encima de los arcos: en ella se mantiene un cierto adovelamiento a pesar de la horizontalidad de la junta sobre el extradós del arco (Fig. 6.2.3). Se utilizan ménsulas decoradas para ligarlos a la fábrica -cimacios-, siendo los pilares, de recuperación en su mayor parte, exentos.

#### 6.2.5 Las cubiertas

Las cubiertas, cuya descripción siempre es hipotética, pues no han quedado restos originales, podían ser de

bóveda de cañón seguido, buscando siempre las formas de construcción más sencilla, o de madera. Por el volumen de los muros no es descabellado pensar en la existencia de bóvedas de argamasa con relleno de pequeños mampuestos, aligeradas en algunos casos con piezas cerámicas a la manera romana.

Según Lamperez, San Pedro de la Nave era de medio cañón y San Juan de Baños de medio cañón con arco túmido, adovelada en sillarejo. En Tarrasa las bóvedas de San Miguel son más complicadas. Los compartimientos de la cruz están cubiertos con bóvedas de arista. Los otros compartimientos angulares y el ábside tienen bóvedas de horno; la cripta, en la parte absidal, tiene bóveda baída. El uso de estas bóvedas, sobre todo las de arista, puede ser un indicio de la prosecución de las tradiciones romanas, desaparecidas más tarde en el caos de la invasión mahometana. En San Miguel la cúpula central sobre trompas es una reconstrucción del s. XII.

El ejemplo más notable es Santa Comba de Bande. A pesar de la robustez y tamaño de los sillares que forman la planta del crucero, la cubierta se resuelve con un sistema que podría estar importado de Bizancio en alguna medida, ello si no ha existido una intervención posterior (Figs. 6.2.4 y 6.2.5).

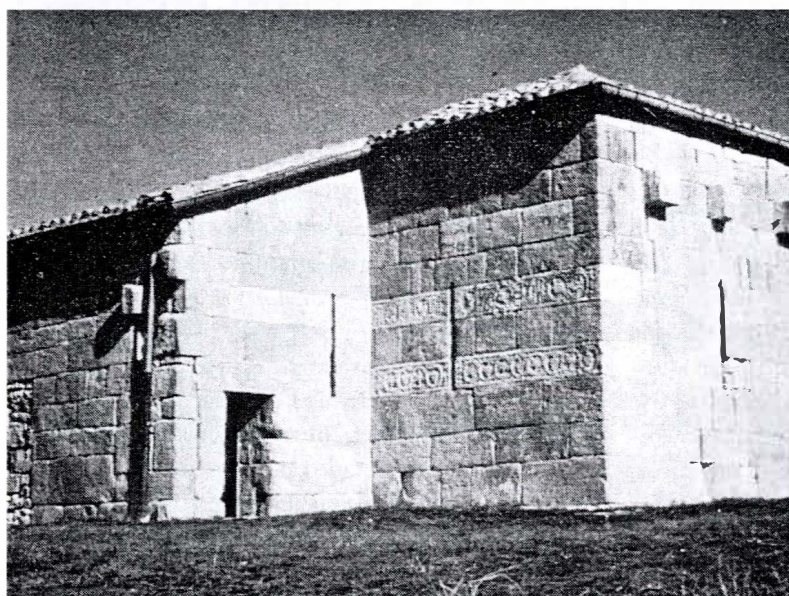
Debían ser mayoritarias las cubiertas de madera a base de unas armaduras muy simples, herederas de algún modo de la cubierta basilical latina. De lo que si tenemos noticias es del acabado interior de esos encaballados: San Isidoro habla de artesonados de madera y Prudencio, describiendo la basílica emeritense de Santa Eulalia, dice que tenía “dorada techumbre con pintados casetones”; Fidel, según Pablo Diácono, construyó la basílica de Santa Eulalia en Mérida “con la cubierta de admirables traveses”.

#### 6.2.6 Los acabados

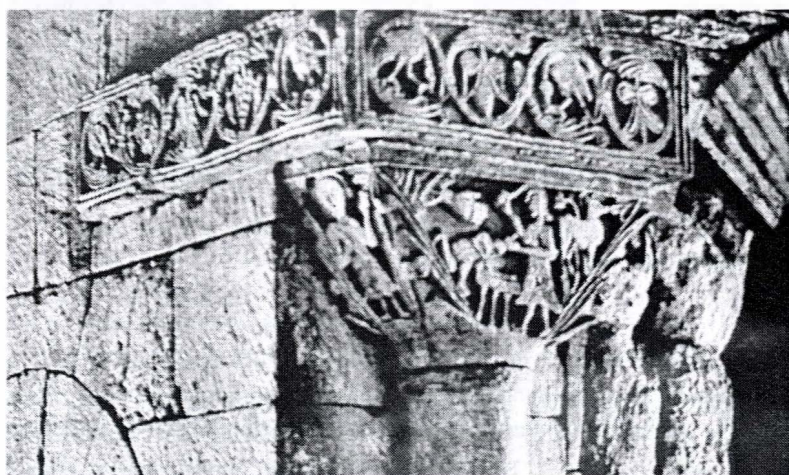
El pavimento, también de herencia romana, puede ser de mortero hidráulico coloreado, el *astracum*, vertido sobre un encachado de ripios de mediano tamaño. En las iglesias grandes se utilizan mosaicos de base geométrica a la manera romana.



*Fig. 6.2.1 Detalle de la sillería de Quintanilla de las Viñas*



*Fig. 6.2.2 Santa María de Quintanilla de las Viñas*



*Fig. 6.2.3 Cimacio de San Pedro de la Nave*

San Isidoro también refiere labores de madera y yeso, pinturas murales, mármoles pulidos, mosaicos en las paredes y todo un repertorio muy similar al romano, aunque con las limitaciones y dificultades del momento, recurriéndose a la recuperación de piezas de las innumerables ruinas romanas, a veces con resultados conmovedores por su sencillez, como las ocho columnas del baptisterio de San Miguel en Tarrasa (Fig. 6.2.6).

### 6.3. Construcción arquitectónica mozárabe

#### 6.3.1. El escenario

Sería una excesiva simplificación suponer que el conjunto de circunstancias que justifican la construcción arquitectónica visigoda desaparece a partir del 711 con la invasión islámica.

Lo cierto es que los derrotados por los invasores en la batalla de Medina Sidonia fueron los visigodos que, aunque habían alcanzado un importante grado de integración con la población tardorromana, seguían siendo los dominadores. Según Gomez Moreno, “la conquista y sumisión de España por los musulmanes, aparte anomalías que la brutalidad de la guerra o pactos especiales ocasionasen, giró sobre estos factores orgánicos: transmisión de las tierras en general y de los bienes eclesiásticos a favor de los nuevos señores; elegir entre convertirse al islamismo o una cuota personal de tributo, a más de otra contribución por los bienes poseídos; libertad religiosa para todo cristiano, y también autonomía de gobierno, justicia y administración, conforme a la ley goda; sumisión al califa, respeto al Islam y castigo de muerte para quien, nacido de padre musulmán o habiendo sido islamizado, tratara de hacerse cristiano. El califa, como heredero de los reyes godos y protector de la cristiandad sometida, se arrogaba el derecho de elegir obispos y convocar los concilios”.

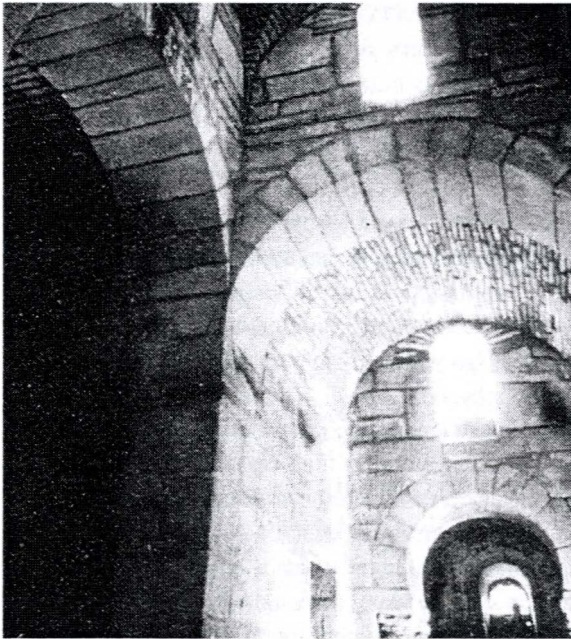
Esta situación de convivencia, privilegiada evidentemente para la minoría islámica, pero convivencia al fin y al cabo, en el aspecto más polémico de la nueva situación, el religioso, puede ser un ejemplo de lo que

sucede en otros ámbitos de lo cotidiano. Son escasas las posibilidades de que en un primer momento, los invasores, un reducido número de guerreros, aportaran, tal como pasó en el caso de los visigodos, un bagaje técnico y artístico apreciable. Sería la población autóctona, de más de ocho millones de personas en la que el poso romano cada vez era menos evidente, la que aportara lo básico de los desarrollos constructivos y arquitectónicos, en la corta medida en que estos se produjeron. Por lo tanto, sea cual sea el grado de influencia de los sucesivos aportes islámicos, aportes indudables en los que se identifican muchos detalles constructivos y conceptos sasánidas -incorporado por los árabes al imperio Omeya-, materializados a través de la importación de mano de obra, en algunos casos muy especializada, y bizantinos, bien por ósmosis directa en la zona de contacto de las dos culturas, bien a través de lo que pudieron aportar las colonias establecidas en España por Constantino, el sustrato cultural era un estadio más en la evolución de lo romano hacia lo medieval. De este hecho quedan pocas dudas tras la simple contemplación de algunas de las más representativas ruinas mozárabes. La similitud de Bobastro con las iglesias bizantinas de Urgup y Goreme es evidente.

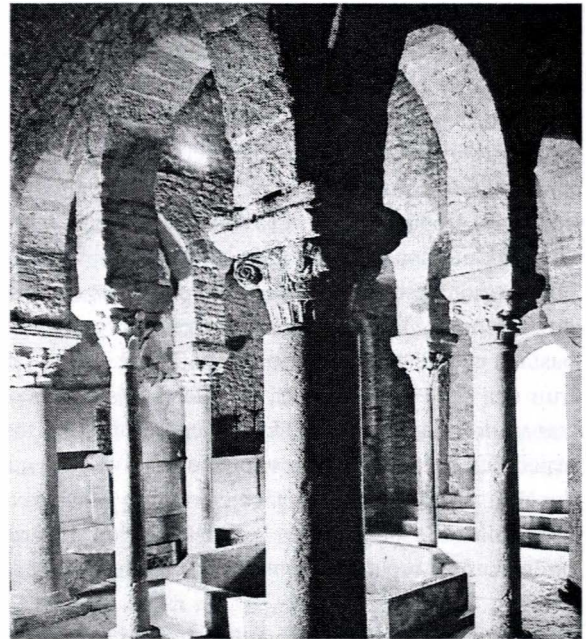
El concepto que, derivado de la nueva situación, más pudo influir en la actividad constructora fue el de la matizada versión de la libertad religiosa compatible con los estrictos dictados del Corán, libertad cuyo ejercicio influye en las características de los edificios de culto. Esta se regía por el reconocimiento de la superioridad del Islam sobre cualquier otra religión. No se podía, pues, hacer ostentación de cruces ni de ceremonias religiosas en lugares frecuentados por musulmanes, ni molestarles con cánticos o toques de campana; se prohibía hacer iglesias nuevas y aun renovar las que se arruinaban en lugares habitados por ellos; y, en general, el derecho a poseerlas, repararlas, ampliarlas y construirlas de nuevo se basaba en los pactos de avenencia celebrados cuando la conquista. Al principio debió haber pocos tropiezos, pues rehuendo los invasores el contacto con los cristianos, vivían en los campos y establecieron mezquitas en las alquerías. Después, cuando muchos españoles fueron renegando, el conflicto legal se impuso, ya que ellos, al islamizarse, pasaban a situación de privilegio respecto de los cristianos, y estos fueron desposeídos de sus



*Fig. 6.2.4 Santa Comba de Bande*



*Fig. 6.2.5 Santa Comba de Bande*



*Fig. 6.2.6 Baptisterio de San Miguel de Tarrassa*

iglesias dentro de las ciudades, quedándoles las que estaban en despoblado. En Barcelona, por ejemplo, la catedral fue trocada en mezquita, que Ludovico Pío restituyó al culto con sólo purificarla.

A pesar de todo, la resistencia de los invadidos a aceptar masivamente la nueva religión fue importante. Estos resistentes, cuya presencia se localiza en un primer momento en los territorios islamizados y después en las anchas y despobladas tierras del norte castellano, que habían asimilado una parte difícil de definir con exactitud de la cultura de sus dominadores, generaron todo un cúmulo de manifestaciones culturales y artísticas que reciben el nombre de mozárabes.

En concreto, lo mozárabe se desarrolla desde el año 784, fecha en la que Abderramán I compra a los cristianos cordobeses la mitad que mantenían de la basílica de San Vicente, para ampliar la mezquita situada en la otra mitad y dando autorización para reconstruir las iglesias que estaban demolidas fuera de las murallas, hasta el año 1100 aproximadamente. La permisividad religiosa mantenida en un primer momento por los invasores se endurece con el tiempo y provoca una serie de migraciones, unas singulares, como la del Abad Argerio y su hermana Sarra en el 802, y otras de amplios núcleos de población, que se afincan en las comarcas fronterizas con el reino astur-leonés y a su cobijo. Unas son políticas y en ese caso se integran en ellas personajes islámicos, y otras religiosas, emigrando las comunidades con sus monjes. El caso es que hasta la conquista de Toledo en el 1085 se van a construir una serie de iglesias en las que es posible encontrar un tratamiento tanto técnico como artístico muy específico, tratamiento cuya línea evolutiva va a quedar rota y cuyos recursos técnicos van a desaparecer con la llegada masiva desde detrás de las fronteras pirenaicas del repertorio románico.

Durante ese tiempo, y dependiendo de la región, se van a producir numerosos intercambios entre la Córdoba califal, de poderosa capacidad cultural y política, y el resto de la península. Algunas ciudades que permanecen independientes a la autoridad del califato, aunque ligadas de alguna manera a él: Mérida, Zaragoza, Toledo, etc., van cambiando su vasallaje, unas veces de los reinos cristianos del norte, otras del Califato, según sus intereses y sin que en esos cambios y

en las guerras a que dan origen, existan, en general, más razones que las derivadas de las necesidades inmediatas y de los pactos. Claro que el radicalismo religioso de Almanzor y su capacidad destructiva justifica en parte, dado el carácter cristiano de la mayoría de la población, el sentimiento de ser "otro grupo", más próximo a la tradición cultural carolingia que a la califal, pero el verdadero influjo cultural venía, en el S. X, de Córdoba más que de los restos del reino visigodo, una vez desaparecido el resurgimiento carolingio. Esta situación se mantiene hasta la llegada de las sucesivas invasiones árabes posteriores, los almohades, los almorávides, los benimerines, etc., mucho más radicales, por incultos y salvajes, que los habitantes del califato.

En nuestro caso servirá la definición de Fernández Arenas: "Mozárabe es un sustantivo aplicado a los cristianos hispanovisigodos que viven entre los musulmanes o en contacto directo con ellos. Por el hecho de que exista un grupo etnológico llamado mozárabe no queda demostrada la existencia de un espíritu mozárabe y mucho menos su expresión formal en determinadas expresiones culturales y artísticas. La polémica sobre el hecho del estilo mozárabe, como algo distinto a lo godo, de lo románico y de lo cordobés, sólo se puede solucionar partiendo de este principio: todo espíritu nuevo exige formas nuevas. Diferencias de formas que no exigen, de suyo, un espíritu diverso no son suficientes para especificar un estilo; sobre todo cuando esas formas se limitan, casi exclusivamente, a lo decorativo y no esencialmente a lo estructural".

Desde nuestro punto de vista sí es evidente que existe lo mozárabe, ya que, como veremos, aparecen diferencias sustanciales en la manera de construir que justifican una nueva denominación. No obstante, es una denominación en algunos casos confusa. Algunas iglesias son clasificadas como mozárabes aunque tengan elementos pertenecientes a otras arquitecturas y a otras técnicas constructivas, y la gran variedad de plantas, materiales y esquemas estructurales dificultan la adscripción a una sola corriente. En esa variedad reside, a nuestro entender, su grandeza. En el resto de Europa, en donde no existe para el desarrollo de los lugares de culto cristiano el inconveniente de otra religión hegemónica y prepotente, apenas quedan restos a lo largo de esos cientos de años, ya que lo habitual es construir

una iglesia sobre otra, en el mismo lugar, y demoliendo o aprovechando mínimamente lo anterior, mientras que en España se desarrollan una gran cantidad de modelos y de sistemas, precisamente por las condiciones adversas. Cada flujo o reflujó obliga a plantar de nuevo, a veces en sitios muy distintos, con abandono, y de ahí una cierta conservación, aunque sea ruinosa, del asentamiento anterior.

Por lo que respecta a los restos, debido a la radicalización de las cuestiones religiosas y al carácter proselitista de la religión islámica -Almanzor se ufana de, en lo que pudo, no haber dejado una iglesia en pie en toda la península-, en los territorios menos mozárabes es en los que se han conservado mayor cantidad de obras. En toda Andalucía, zona en la que el mozárabe debió tener mayor importancia, sólo ha quedado un resto: la iglesia tallada en la roca de Bobastro en Málaga con una planta de 16,50 m x 10,30 m de tres naves, construida a finales del s. IX.

### 6.3.2 La tipología arquitectónica

Existen varios esquemas sobre la base de la planta basilical de tres naves, con uno o tres ábsides: desde las de clara influencia visigoda, muy parecidas a Santa Comba de Bande, como Santa María de Melque, a la minúscula de San Miguel de Celanova, pasando por la muy amplia de Peñalva. El espacio interior es el que corresponde a las escasas posibilidades del sistema y pueden estar cubiertas de madera o abovedadas, pero en todo caso con luces muy pequeñas.

Las iglesias mozárabes no tienen fachada, en lo que puede ser un detalle de influencia islámica, y las aberturas son asimétricas y pequeñas, quizás justificadas por la ventilación o la defensa.

### 6.3.3 Las fábricas

Sería posible establecer a partir de los restos existentes, una cierta clasificación mediante la detección en ellos de una mayor o menor presencia de vestigios visigodos, y por lo tanto de técnicas romanas reinter-

pretadas. No obstante, la escasa fiabilidad sobre la datación exacta de alguno de estos restos pueden hacer de esta labor algo gratuito. Ocurre que, en general, son muy pocas las libertades posibles a los constructores. Cuando se construye como se puede, sólo de lo que es superfluo y no sustancial se deducen semejanzas o influencias. Lo demás, lo que no es gratuito, es por definición forzoso en cualquier caso y esos aspectos sólo evidencian la profesionalidad mínima imprescindible en los constructores de cualquier época y cultura.

En esta línea se podía agrupar un pequeño número de edificios en los que las persistencias posromanas, tamizadas por la estética visigoda, son evidentes. En este grupo los más importantes son Santa María de Melque y San Miguel de Celanova, construidas con sillares de grandes dimensiones, puede que de recuperación, de origen romano, y muy desproporcionados con respecto al espacio generado.

Es difícil decidir hasta qué punto esto supone la aceptación de una realidad que busca sólo el encaje de los sillares y el máximo aprovechamiento de lo existente, en la que se construye con lo que se tiene a mano y el primer interés consiste en conseguir materializar las formas, u obedece a otra razón, quizás de tipo estético. En todo caso, la falta de cuidado en la colocación horizontal de los sillares, la irregularidad de las hiladas y otros extremos evidencian una menor ciencia constructiva, por más que el resultado pueda presentar unas ciertas calidades estéticas relacionadas con algunos aspectos de la crítica de arte moderna.

En Santa María de Melque, para espacios que apenas superan los 4 m de anchura, los sillares tienen alturas de entre 38 y 55 cm y longitudes de hasta 3 m. Desaparece la regularidad de las hiladas, fenómeno que se mantiene hasta muy avanzado el románico (Fig. 6.3.1). Hay quien asemeja la labor de la fábrica a la del acueducto de Segovia, aunque el parecido es sólo epidérmico.

En Celanova el resultado es mucho más correcto. Los sillares están encajados manteniendo la horizontalidad y la superficie se rellena sin perder la ortogonalidad de las juntas (Fig. 6.3.2). Es evidente la progresiva desaparición de las tradiciones artesanales que constituyen lo que hoy conocemos por reglas de "la

buena construcción”. No se exige ningún tipo de regularidad, quizás porque no se asocia a ningún valor estético -esas fábricas parece que estuvieron recubiertas-, ni a su capacidad resistente. También evidencia una gran pobreza de medios auxiliares y una organización defectuosa, a pesar de que algunos trabajos, como los realizados en Santa María de Melque, redondeando las esquinas o simulando columnas en los sillares de las esquinas del interior, son muy importantes y suponen un gran esfuerzo. Con un trabajo realmente laborioso, que supone un constante movimiento de los bloques para su encaje, ya que su presentación se debe efectuar varias veces, parece por el resultado que la intención sea la de rellenar el espacio del muro sin desperdiciar ni un sólo centímetro cuadrado del material tan trabajosamente conseguido, con prioridad sobre cualquier otro concepto. Es difícil aceptar que los engatillados de algunos sillares, irregularmente repartidos en lugares sin significación especial desde el punto de vista resistente, sean refuerzos de la fábrica.

Las otras iglesias presentan distintos tipos de mampostería, muy irregular, con algunos paños de sillería rudimentaria en todas las calidades posibles, pero con morteros bien trabajados, de gran consistencia, en lo que puede ser la permanencia de algún conocimiento romano. En todo caso a la bondad de los morteros deben su supervivencia a lo largo de más de mil años (Fig. 6.3.3).

Fernández Arenas señala, por lo que se refiere a la forma, que en los muros mozárabes: “la planimetría de los muros corresponde a la planimetría de la planta...; una parte inferior rectangular en paralelismo con la planta y otra parte superior semicircular, en paralelismo con el límite cerrado superior del espacio”.

Se usan los contrafuertes, en algunos casos difícilmente justificables por razones estructurales.

### 6.3.4 Otros elementos

Los capiteles y columnas también parecen de recuperación, existiendo una gran diferencia entre la finura de su talla y la del resto de la obra.

Las dificultades en el tallado que presentan los fustes de las columnas no se solucionan hasta mucho más tarde, por lo que es difícil, incluso en la construcción islámica hispánica, encontrar fustes originales.

En otros casos, los pilares se fabrican con tambores, cuando se colocan en la prolongación de los muros o cuando no se disponen de columnas romanas. En Lebeña aparecen con recrecidos en las cuatro caras simulando semicolumnas redondeadas, avanzando un diseño que después será habitual en el románico.

### 6.3.5 El arco mozárabe

El arco característico de las construcciones mozárabes es el de herradura, no el árabe, y tanto se encuentra aislado como yuxtapuesto.

Su trazado es más regular que el arco visigodo, y más sobrepasado. Se trata de arcos de círculo sin deformaciones, cuyas impostas se sitúan  $1/3$  del radio por debajo del semicírculo del arco de medio punto. Este trazado se usa en los arcos yuxtapuestos, como directriz de las bóvedas y en las aberturas exteriores (Fig. 6.3.4).

Cuando se colocan arcos yuxtapuestos, en la horizontal de los diámetros la distancia entre los intradós es menor que el espesor de la columna sobre la que se apoyan. La persistencia de este detalle, que rebaja la sección en un punto en el que se pueden producir dislocaciones, incluso en los casos en los que la carga sobre el conjunto es notable, demuestra una gran seguridad en el manejo de los empujes, naturalmente empírico, o una fidelidad extraordinaria a las elegantes formas que se generan (Fig. 6.3.5).

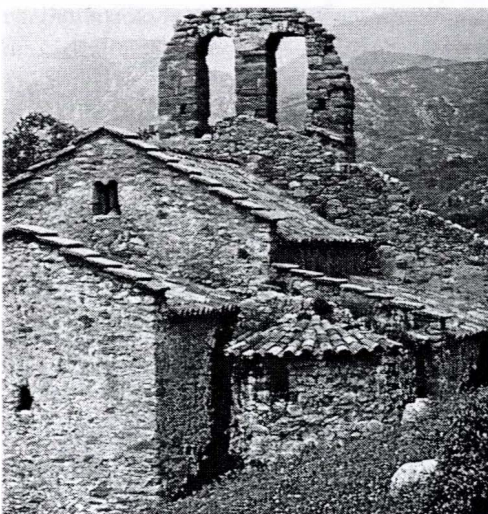
Con respecto a su construcción, lo más sobresaliente es el ajuste de las caras laterales de las dovelas, contrastando este esmero con la rusticidad del despiece, lo que parece confirmar que la mayor parte de los sillares y de las dovelas son de recuperación de origen romano. Al hablar de rusticidad del despiece nos referimos a la poca exactitud geométrica en el trazado de las dovelas, no a la realización de la talla (Fig. 6.3.6).



*Fig. 6.3.1 Santa María de Melque*



*Fig. 6.3.2 San Miguel de Celanova*



*Fig. 6.3.3 Sant Quirze de Pedret*

En algunos casos, como en Santa María de Melque, el despiece en espina de pez parece justificarse por el menor trabajo en el tallado de los sillares de recuperación. Otra hipótesis plausible es que se asemeje, por pura interpretación formal, a los despieces islámicos en piedra y ladrillo, en los que el aparejo no es radial sino que sigue una inclinación progresiva hasta la clave donde las piezas adoptan impostas prácticamente verticales (Fig. 6.3.7).

Se encuentran otros ejemplos en los que la función resistente parece confiarse a la clave, que es la única pieza acuñada con respecto al resto de las dovelas o de las otras piezas, que en muchos casos no están talladas, siendo de piedras de laja (Fig. 6.3.8). También se encuentran algunos casos de clave doble.

### 6.3.6 Cubiertas

Los monumentos mozárabes presentan cuatro tipos de cubierta.

1) De madera a dos aguas con tejas o bardas de paja. Por razones obvias no han quedado restos originales por lo que sobre este extremo hay más hipótesis que certezas. No obstante, y a la vista de la originalidad y variedad de los otros tres tipos, se puede suponer un manejo adecuado de los recursos. El ejemplo clásico es San Miguel de Escalada, con cubierta muy posterior.

2) De cañón seguido, ligeramente peraltadas y perfectamente despiezadas en dovelas como en Santa María de Melque (Fig. 6.3.9). En esta iglesia el esquema estructural es cruciforme con cúpula en el crucero apoyada en cuatro arcos, formando en las esquinas una especie de aristas que bien pudieran ser los principios de las bóvedas de gallones que después serán frecuentes en el románico leonés. Dada la época, el problema de pasar de una planta cuadrada a una circular con aparejo despiezado ya se había resuelto con anterioridad en la construcción bizantina. El mismo sistema lo hallamos en Wamba, sólo que en este caso hay contrafuertes exteriores como en Asturias. En Santa María del Marquet aparece el mismo tipo de bóveda, pero concrecionada.

3) Cúpula lobulada. Con esta forma encontramos Escalada, Peñalba, Celanova y San Cebrián de Mazote. El esquema es idéntico al utilizado en Santa María Pamakaristos, y proporciona mayor diafanidad a los muros. Quizás sea uno de los intentos más coherentes de adaptación de los esquemas bizantino-romanos que se dan en Occidente. El problema puede que resida en las excesivas servidumbres que provoca en la planta y en la reducida dimensión que es posible acometer con los rudimentarios métodos de vertido y encofrado que les eran posibles (Fig. 6.3.10 y 6.3.11). Para impedir la adherencia entre la masa y el encofrado se colocan cañizos directamente sobre lo que suponemos era un cimbrado y apeo muy rudimentario.

4) Con sectores esféricos o formas similares apoyadas sobre nervios resistentes, lo que es síntoma de construcción tardía dentro de lo mozárabe. El mejor ejemplo sin duda es San Baudelio de Berlanga del s. XI (Fig. 6.3.12) y también se construyó así San Millán de la Cogolla, esta última en clara relación, según Fontaine, con el Mirhab de Kairouan del s. IX.

En San Baudelio, la cubierta, milagrosamente conservada a lo largo de diez siglos, puede que tenga más ciencia constructiva que muchas de las iglesias románicas que se están construyendo en esa fecha en España. En realidad son dos cúpulas sobrepuestas. La interior se apoya sobre ocho nervios que restriban sobre un soporte central por un extremo y en las esquinas y el centro de los lados por el otro, mientras la exterior se apoya en el perímetro. El límite debió estar en los medios disponibles, pero su pequeñez no es ningún demérito, sino que contribuye a crear el efecto mágico que distingue a San Baudelio, convirtiéndola en uno de los lugares más sugerentes de todo el repertorio medieval (Fig. 6.3.13).

Los dos últimos sistemas sobre plantas circulares y cuadradas son las más audaces en quinientos años y parecen el resultado de la fusión de la tradición romana, las técnicas importadas por el Islam y la habilidad de algunos constructores locales. Es difícil suponer cuál hubiera sido el grado de desarrollo que hubieran podido alcanzar estos sistemas de no haberse producido la invasión, tan beneficiosa en otros aspectos, de lo románico, que unificó los sistemas de cubierta, sobre unas plantas menos imaginativas.



Fig. 6.3.4 San Miguel de Escalada. Interior

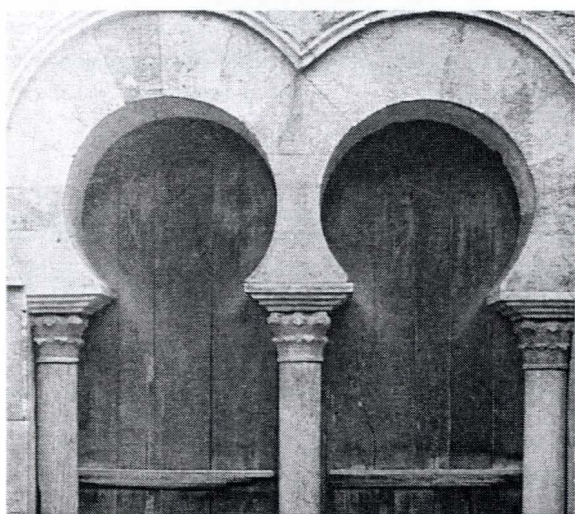


Fig. 6.3.5 San Miguel de Escalada

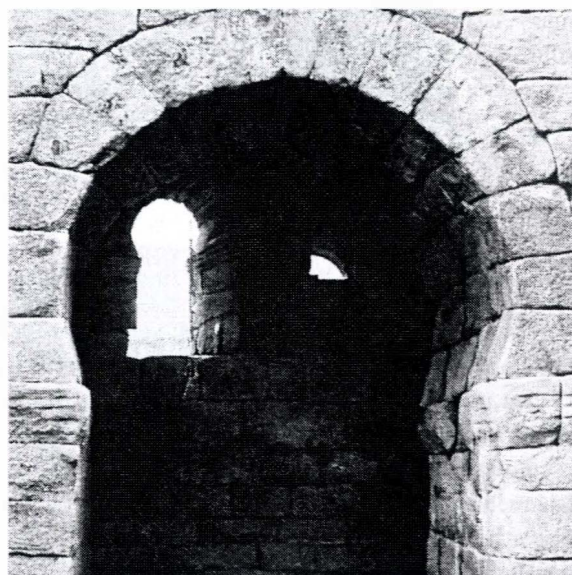


Fig. 6.3.6 Santa María de Melque



Fig. 6.3.7 Ventana despiezada en espina de pez en Santa María de Melque

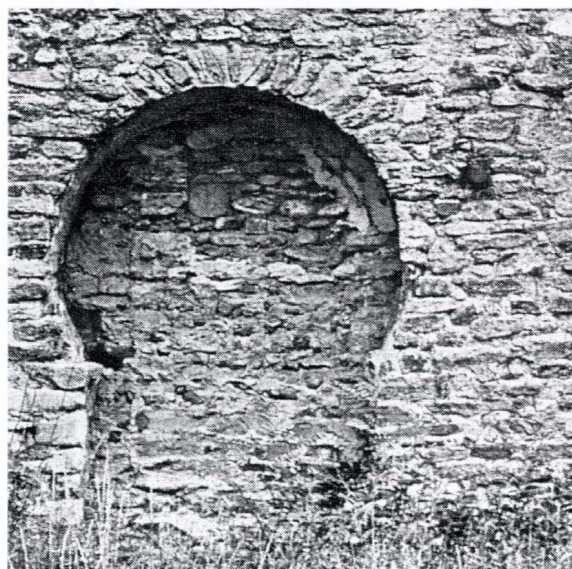


Fig. 6.3.8 Arco en San Miguel de Cuixà

5) Como característica peculiar de las iglesias mozárabes señalaremos las cornisas y modillones, elementos estos últimos que, a juicio de Torres Balbas, son indiscutiblemente islámicos. Esta afirmación se apoya en el hecho de que no existen ni en la arquitectura visigoda, ni en la asturiana, ni después en la románica. El diseño en rollos yuxtapuestos se va a encontrar en algunos capiteles de la mezquita de Córdoba y en el arranque de los arcos formeros en Santes Creus, entre otros lugares, trabajados por albañiles leridanos de tradición califal. Prolongan el muro al exterior permitiendo un mejor acabado de la cubierta. Una solución parecida sólo se encuentra en el prerrománico asturiano y van a ser sustituidas en el románico por las arcuaciones lombardas (Fig. 6.3.14).

### 6.3.7 Acabados

Parece que estaban revocadas y decoradas con motivos florales. En su canon treinta y seis, El Concilio de Elvira prohibía las representaciones figurativas y puede que se deba a esta razón la inexistencia total de esculturas, aunque no se debe descartar la influencia islámica en este tipo de decoración. También es posible, a la vista de que el problema sólo es técnico, ya que las influencias bizantinas en otros extremos son patentes, que algunas partes estuvieran aplacadas con piezas procedentes de restos romanos. La endebles de estas piezas y su difícil recuperación puede que sea la causa de su desaparición sistemática. Pero como ocurre siempre, todo son hipótesis, dada la casi imposibilidad de fijar exactamente cómo fueron los acabados originales.

### 6.3.8 El legado mozárabe

Como ya hemos dicho, poco va a dejar el mozárabe en los sistemas posteriores, como no sea algún concepto sobre el acabado de la cubierta y algunas soluciones para la manipulación de los vertidos en los arduos encofrados medievales. Su legado es puramente especulativo y se refiere a lo que hubiera supuesto su evolución si el casi universal sistema de construcción románico no hubiera impuesto su simplicidad y su uti-

lidad en el mundo medieval. Quedan por dilucidar algunos aspectos de interés como puede ser fijar los caminos por los que el mozárabe incorpora las técnicas romanas tardías y las bizantinas, o de dónde saca su contumaz y emotivo uso de los arcos yuxtapuestos, cuyo trazado es el más elegante de cuantos se pueden imaginar para ese elemento. Puede que los constructores mozárabes estuvieran, a su modo, influidos por los refinados gustos del califato, pero el caso es que hasta eso se pierde y el románico impone su gloriosa pesantez a esos elementos. Probablemente fuera un problema de estabilidad: esas formas sólo soportan unas cargas escasas y son insuficientes para la ambición de crecimiento que va a manifestar el románico. O quizás no, quizás su desaparición se deba sólo a un cambio de mentalidad.

## 6.4 Construcción arquitectónica prerrománica asturiana

### 6.4.1 El escenario

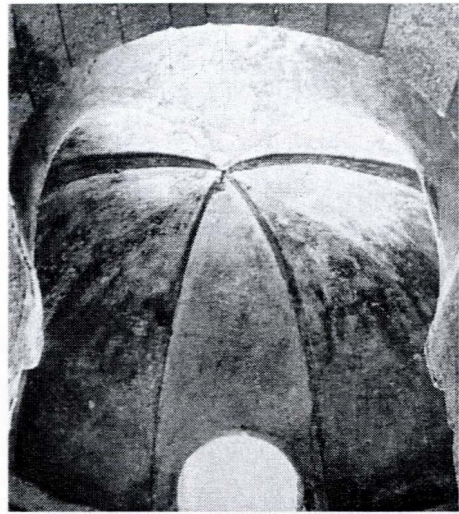
Las regiones del Norte de España, que por su acceso difícil y sobre todo por sus formas económicas y sociales no habían llegado a ser totalmente dominadas ni por los romanos ni por los visigodos, se convirtieron en focos estables de resistencia frente al Islam. Tras la batalla de Covadonga en las laderas del monte Auseva se instala en el territorio una pequeña monarquía fundada por Don Pelayo, y ante la dificultad de progresar hacia el sur conquistan Galicia. Reinando Fruela I, la capital, que estaba en Cangas de Onís, se traslada a Santianes de Pravia y se funda Oviedo.

La sociedad que compone este reino se estructura alrededor de una nobleza guerrera de origen godo, que son los auténticos y casi únicos perdedores de la reconquista en una primera etapa, a la que ceden sus derechos muchos campesinos, con anterioridad hombres jurídicamente libres. Debido a la falta de comerciantes y artesanos es una sociedad eminentemente rural y campesina.

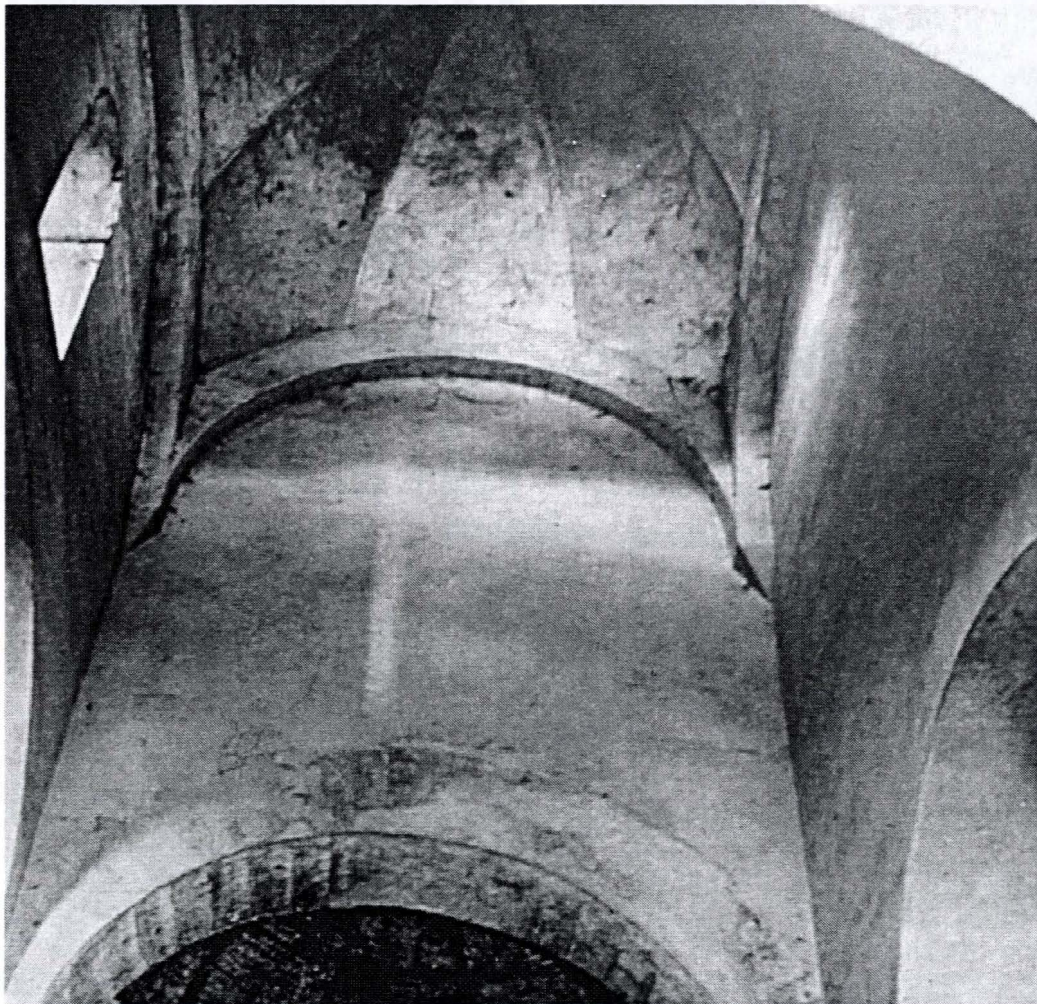
La falta de tradición urbana en esa región y las condiciones de vida, fundamentalmente agraria, hicieron de



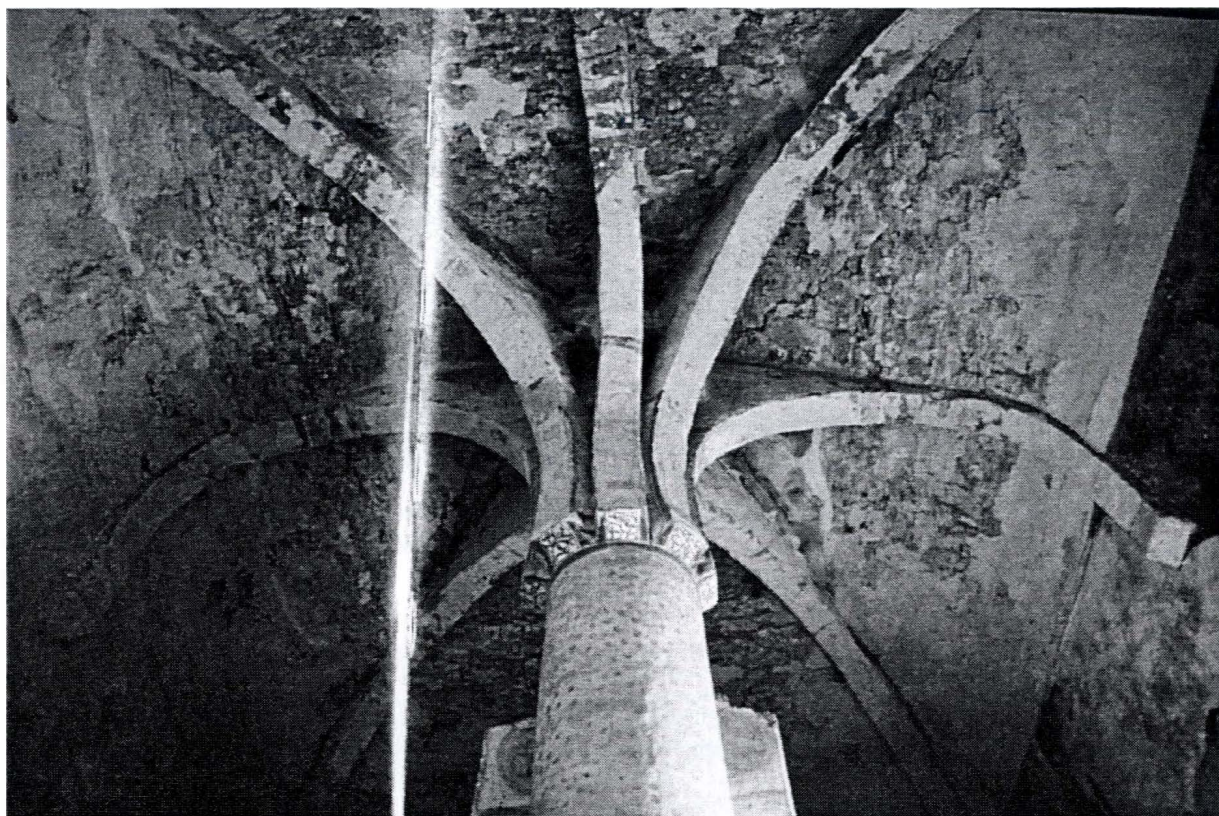
*Fig. 6.3.9 Santa María de Melque*



*Fig. 6.3.10 Celanova. Abside de la capilla de San Miguel*



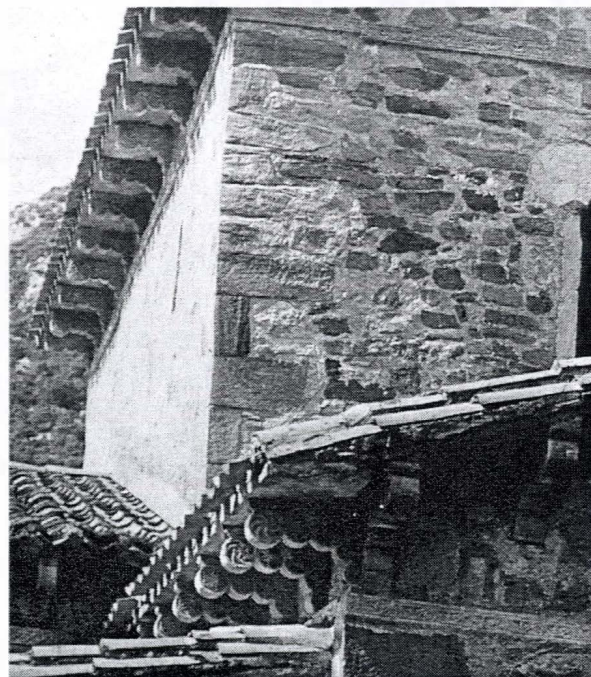
*Fig. 6.3.11 Címborio de Santiago de Peñalba*



*Fig. 6.3.12 San Baudelio de Berlanga. Interior*



*Fig. 6.3.13 San Baudelio de Berlanga*



*Fig. 6.3.14 Modillones en el remate de la cubierta*

este reino un ámbito económico muy reducido. Durante el reinado de Alfonso II se produce la invención del descubrimiento del cuerpo del apóstol Santiago en el bosque de Libredón, que según una tradición anterior había evangelizado España. Dice Bonet Correa: "aunque las dos crónicas redactadas en Asturias durante el s. IX no mencionan el descubrimiento de la tumba apostólica en el bosque de Libredón, en Compostela, las dos iglesias que sobre ella levantaron sucesivamente Alfonso II y Alfonso III son, como afirma Vazquez de Parga, lo suficientemente elocuentes como para mostrar la importancia que le concedieron los reyes asturianos desde un primer momento. Con ello se configuró uno de los centros espirituales más importantes y vigorosos de Europa, facilitando de esta forma los contactos culturales a través de las peregrinaciones a Santiago, haciéndose evidente en muchos aspectos la influencia carolingia y por lo tanto una cierta presencia de restos culturales de la Roma imperial".

De ese contacto y de otros ingredientes de más difícil localización y seguimiento surge uno de los sistemas constructivos más originales y completos de todo el periodo. A pesar de que es inmediato adscribirlo al arte carolingio, con todo lo que ello puede significar de vigencia de algunos aspectos de los modos romanos, tanto desde el punto de vista estético como del de la técnica constructiva, en algunos aspectos del arte asturiano se pueden detectar influencias bizantinas, lo que produce, con una gran ventaja cronológica sobre el resto de Europa, unas obras que, sin ser las mayores ni las más complejas, son las mejor construidas de la época.

Dice Bonet Correa: "La arquitectura asturiana, tanto por sus formas constructivas como por su integración en la decoración de lo monumental y de la tectónica del edificio, es, en mayor grado que la arquitectura carolingia, precursora del románico. Puede que a esta situación colaboren, de alguna forma, algunos grupos de los que, evadidos de la España islámica, tuvieron acogida en un primer momento entre los pobladores de la región, los cuales conocían la construcción próximo oriental".

Esta teoría se puede matizar, ya que el románico incorpora, además de todo lo anterior, unas técnicas

autóctonas desarrolladas singularmente en cada área geográfica concreta, que posibilitarán su materialización sobre la base de unos datos mínimos trasladados en muchos casos de palabra. Tampoco se puede descartar un camino más complicado para las influencias bizantinas que quizás, como en el resto de Europa, viajan a través del Adriático -Venecia es un ejemplo y la relación de la Ca d'oro con el Naranco no parece casual-, y son difundidas por parte de monjes o profesionales de la construcción.

Del prerrománico asturiano sólo han quedado catorce edificios: una torre, la de San Miguel; once iglesias, Bendones, Nora, Santullano, San Tirso, Lillo, Sta. Cristina de Lena, Tuñón, Valdedios, Goviendes, Priesca y la Cámara Santa; una fuente, la Foncalada de Oviedo; y un edificio de destino dudoso, Sta. María del Naranco, y conocemos el nombre de un arquitecto: Tioda. Aunque desde el punto de vista estilístico algunos autores reconocen tres periodos, se puede entender que la unidad básica del sistema constructivo se mantiene hasta difuminarse en el casi inmediato románico.

#### 6.4.2 La tipología arquitectónica

Las plantas son basilicales clásicas de tres naves, las dos laterales menos elevadas que la central, con uno o tres ábsides rectangulares (Fig. 6.4.1). En el crucero, el cimborrio, puede ser más alto que la nave central.

No obstante las especiales características de Santa María del Naranco, una sola nave rematada en sus extremos por unos miradores cubiertos (Fig. 6.4.2) autoriza a pensar en la existencia de otro tipo de edificios de carácter profano y relacionados de alguna manera con el entorno cortesano y administrativo. En todo caso, la inexistencia de otros restos hace que ésta sea sólo una hipótesis sugestiva por confirmar.

Quizás por la influencia carolingia o bizantina, se completa el interior con elementos auxiliares de intencionalidad litúrgica, lo que justificaría la importante *iconostasis* de Santa Cristina de Lena, trabajada con materiales de recuperación visigodos (Fig. 6.4.3) que se incorporan a la fábrica sin excesivo criterio y con bastantes problemas de recibido.

También en alzado, como ya hemos dicho, presentan algunas novedades de importancia. La mayor altura de la nave central se puede justificar por la composición del volumen exterior, o suponer que se construye para cobijar una especie de celda reservada de la que no han quedado vestigios ya que en la actualidad ese espacio es inaccesible. Otra hipótesis considera que esa altura persigue una mejor iluminación, aunque el ambiente interior difícilmente se puede modificar en este aspecto (Fig. 6.4.4) ya que en él influye, no sólo la altura, sino también la anchura y la calidad del acabado interior y de la cubierta (Fig. 6.4.5).

### 6.4.3 Las fábricas

Las fábricas asturianas son, sin ninguna duda, las que demuestran mayor cantidad de ciencia constructiva de todo el periodo, tanto en España como en el resto de Europa. Esta afirmación parte de la base de que los restos actuales, a pesar de algunas intervenciones más o menos arriesgadas sufridas con posterioridad, no han experimentado modificaciones de importancia, aunque la sospechosa buena conservación de algunos elementos, de magnífico granito, puede plantear dudas sobre este extremo. Lo más característico puede ser la gran variedad de aparejos, todos dentro de la más estricta lógica constructiva, algunos de los cuales cuesta trabajo no adscribir inmediatamente a antecedentes bizantinos.

El muro básico es un *opus emplectum*, relleno de ripios y mortero, con las caras exteriores de distintos tipos (Fig. 6.4.6).

Se dan los muros de sillarejo, como en la Cámara Santa de Oviedo y en San Julián de los Prados, edificios ambos en los que alternan con contrafuertes de sillares grandes y bien escuadrados los paños de piedra muy poco trabajada. Este último es el que más intervenciones ha sufrido, por lo que la fábrica, pese a ser la misma que teóricamente se levantó en su día, presenta un aspecto excesivamente cuidado: sin desbastar apenas como en Santa Cristina de Lena, de sillares colocados según un aparejo irregular, como en Santa María del Naranco, en donde el primer piso se construye sobre un zócalo de piedra de laja muy irre-

regular, o la sopechosa regularidad de la fachada de San Julián.

En San Pedro de Tavera la fábrica es toda de sillares perfectamente trabajados (Fig. 6.4.7). En San Salvador de Valdedios y San Pedro de Nora (Fig. 6.4.8) los constructores asturianos evidencian una gran lógica constructiva en la que prima el criterio del aprovechamiento racional de los recursos, utilizando una gran variedad de materiales trabajados en distintos grados. En casi todos los edificios, los arcos de descarga sobre los dinteles (Fig. 6.4.9) o los de remate de las ventanas son de ladrillo, puede que de recuperación o puede que originales, en todo caso muy escasos, sobre dinteles a la manera que indica Vitruvio, esquinas aparejadas con sillares de mayor tamaño que los del resto de la fábrica -en algunos casos son los únicos puntos en los que se utilizan-, siendo lo demás de una mampostería muy heterogénea con ladrillos y mampuestos distribuidos irregularmente recibidos con mortero de cal, absolutamente iguales a algunos aparejos bizantinos.

Las jambas y los dinteles son monolíticos, en una técnica bastante primitiva, pero de una gran claridad de ideas.

Los contrafuertes, de sillares de mayor tamaño y mejor tallados que el resto de las piezas, aparecen en casi todas las fábricas (Fig. 6.4.10) y en general no están situados correspondiendo a los arcos fajones del interior, ni llegan a toda la altura. Parece un intento de reforzar la capacidad resistente del muro, aunque su escasa entidad permite suponer que sean, quizás, un simple recurso para mejorar el aspecto del paramento. No obstante, si cumplen alguna función estructural sólo puede ser la de rigidizar de una manera muy indeterminada el muro, formando parte de una receta constructiva más compleja, aplicada sin demasiado conocimiento de causa.

En el remate, los modillones son complementados por unas ménsulas en las esquinas, sobre las que avanza el alero de protección de los muros en un sistema que después no va a tener continuidad (Fig. 6.4.11).

Una tendencia, que posiblemente no se pueda considerar una característica debida a su concepto constructi-

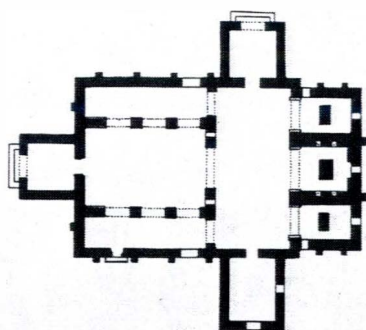


Fig. 6.4.1 San Julián de los Prados. Planta

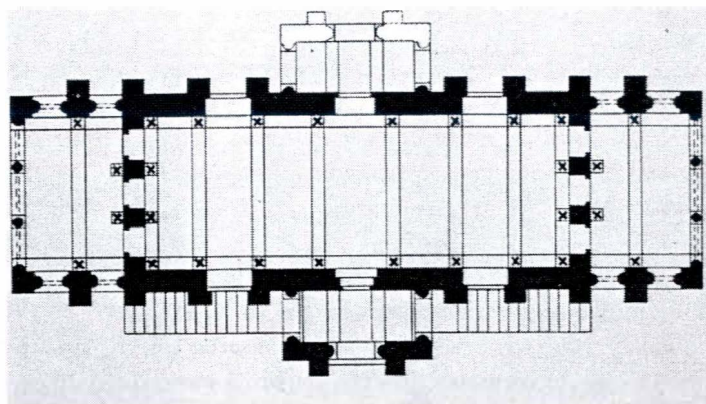


Fig 6.4.2 Santa María del Naranco. Planta



Fig. 6.4.3 Iconostasio de Santa Cristina de Lena



Fig. 6.4.4 San Pedro de Tavera. Interior

vo, es que en Lillo y Santa María del Naranco los sillares más grandes y mejor tallados aparecen en la parte superior de los muros, contraviniendo todas las reglas de la buena construcción y de forma distinta a las fábricas homogéneas de otros ejemplos (Fig. 6.4.12).

Las ventanas se cierran con celosías de piedra, excepto en Santullano que son cerámicas (Fig. 6.4.13). Las ventanas pequeñas están construidas, insertas en la fábrica, a base de grandes piezas. Desde el punto de vista constructivo pueden suponer un cierto problema al ser elementos más rígidos que el conjunto, pero por su excelente conservación no parece que eso se haya producido.

Los arcos de entrada se despiezan en piedra sin dintel y su importancia puede derivarse, simplemente, de la capacidad expresiva de esta solución. El arranque se hace sobre unas columnas contiguas a la jamba y en las que se apoyan los cimacios. En Santa Cristina de Lena la entrada recuerda los despieces mozárabes, aunque el resto de la fábrica y las esquinas están tratadas siguiendo el esquema habitual.

En el interior el paso a las naves laterales se efectúa casi siempre con pilares aparejados, debido, quizás, a la falta de restos romanos en la región. En San Miguel de Lillo se aparejan con tambores insertos en la fábrica de los muros. Este sistema no es habitual y puede que, como concepto, sea herencia romana.

#### 6.4.4 Los acabados

Puede que se deba sólo al mejor estado de conservación, pero el grado de acabado de estos edificios es de mucha mayor riqueza de lo habitual en esa época.

El pavimento, principalmente en las capillas, está formado por una especie de mortero hecho de cal y trozos pequeños de piedra y ladrillo, el *caementa* romano, coloreado, a veces con pigmentos minerales.

El interior se revoca con un estuco muy duro y fino, de cal, sobre el que pintan (Fig. 6.4.14) rehundiendo los dibujos. Por los restos y las reconstrucciones pare-

ce que la tradición romana se mantiene, no sólo en el aspecto técnico, sino en el iconológico. Las perspectivas forzadas de cada uno de los huecos simulados se fugan a un punto central en cada uno de ellos, en el friso superior. En el inferior los de cada lado fugan al centro de forma muy forzada.

#### 6.4.5 Las cubiertas

La altura y anchura de casi todos los edificios hacen suponer que estaban en origen cubiertos de madera decorada con incisiones, excepto Valdediós. En el último periodo, se cubren con bóvedas.

Las capillas laterales, excepto en Bendones donde estaban a un agua, eran de medio cañón, más bajas y de menor luz. Este hecho permite formular la hipótesis de que conocen la incapacidad de los muros que construyen para aguantar el empuje de las bóvedas en las naves principales, o que eligen una mayor altura aun a costa de tener un tejado combustible.

En tiempos de Alfonso II, el más constructor de los reyes asturianos, todos los edificios importantes están abovedados, lo que significa una mayor defensa contra los incendios y los ataques y pillajes de los normandos.

En este punto conviene destacar la variedad de soluciones empleadas en Santa María del Naranco, edificio singular cuyo destino exacto es aún polémico. Tiene una cripta, o lo que sea, en la primera planta, no suficientemente bien justificada en un edificio de esas características; para algunos autores son unos baños romanos que se aprovechan para subir el resto de la fábrica. Este detalle, junto con otras singularidades constructivas, hace que merezca un comentario específico. La citada cripta está cubierta con una bóveda bastante regular de piezas grandes y estrechas casi adoveladas (Fig. 6.4.15), recintadas con arcos fajones de dovelas más regulares, destacando la penetración transversal de la bóveda de entrada por su correcta ejecución (Fig. 6.4.16).

Las bóvedas de las dos galerías mantienen, más o menos, el mismo aparejo (Fig. 6.4.17), mientras la de

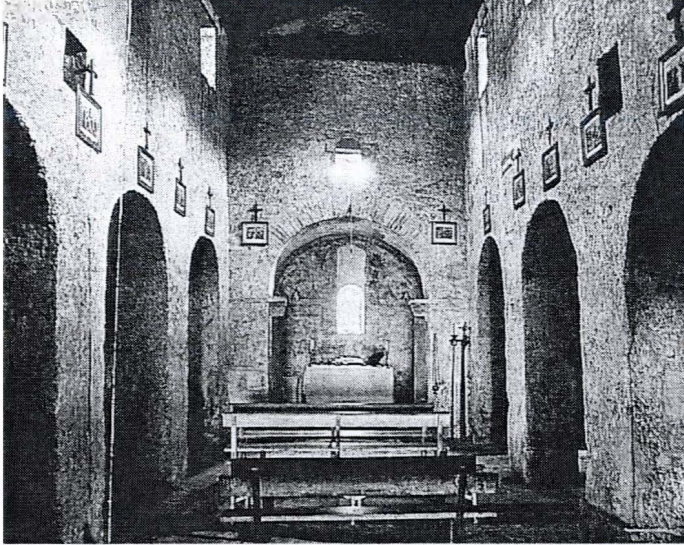


Fig. 6.4.5 San Adriano de Tuñón

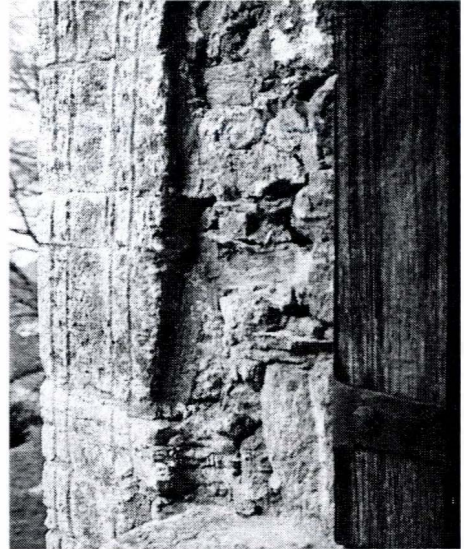


Fig. 6.4.6 Muestra de "opus emplectum" en una jamba de Santa María del Naranco

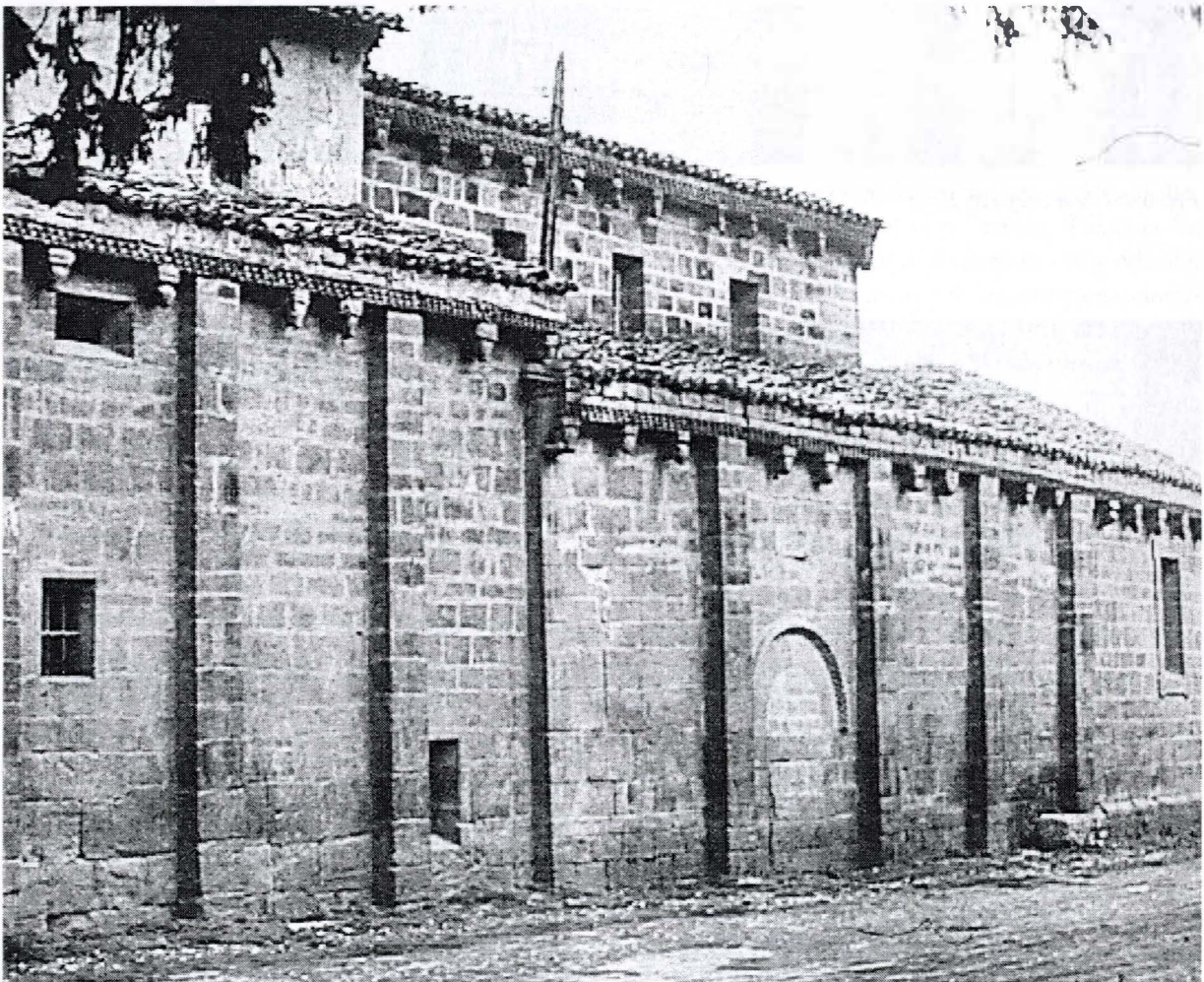


Fig. 6.4.7 San Pedro de Tavera



*Fig. 6.4.8 San Pedro de Nora*



*Fig. 6.4.9 Ventana de San Miguel de Lillo*



*Fig. 6.4.10 San Miguel de Lillo*

la nave cerrada se construyó con un vertido relleno de tobas volcánicas de tamaño medio (Fig. 6.4.18), también recintadas por fajones de dovelas regulares. Como explicación inmediata se puede adscribir este conjunto a la pervivencia de las técnicas romanas, pero eso supondría un esquematismo excesivo. Lo más lógico es suponer reaprovechamientos concretos de materiales, efectuados por alguien con un cierto sentido de la técnica constructiva.

## 6.5 Construcción arquitectónica protorrománica

### 6.5.1 El escenario

De nuevo se choca con el problema de las denominaciones al llamar protorrománica a una forma de construir que englobamos dentro de las posromanas, pero, precisamente por ello, puede ser rigurosamente cierto. Hasta aquí hemos visto tres sistemas constructivos en la Alta Edad Media, cada uno con una cierta singularidad en los conceptos, aunque los tres tienen características comunes. Por una parte son herederos de la tradición romana que va sufriendo un proceso de degradación y olvido progresivos -en los tres se utilizan sillares de gran tamaño y bóvedas y cúpulas concrecionadas en algunos casos-, aunque muy probablemente esta herencia se reduzca a un mimetismo epidérmico, pero por otra, en los tres se incorporan otros elementos, dependiendo de las circunstancias concretas de cada caso el carácter de esas aportaciones.

El problema consiste en definir exactamente ese proceso, dilatadísimo en el tiempo y cuyo desarrollo es confuso, aunque algunas etapas están bastante definidas.

Los tres sistemas descritos se pueden entender como diferenciables entre sí, aunque hay quien niega al mozárabe su singularidad más allá de algunos detalles formales y quien considera al asturiano como punto cero del románico.

Paralelamente a ellos, en España, y con la misma falta de concreción sobre la intensidad y dirección de su

desarrollo, aparece, fundamentalmente en las áreas geográficas en las que la presencia islámica es esporádica y discontinua, un sistema de construcción muy rudimentario al que llamaremos protorrománico, cuya originalidad reside en su primitivismo y en que está ligado de alguna forma, según ha demostrado Puig i Cadafalch, al proceso de creación del románico europeo.

Es posible que esta aportación resida en el hecho de que se trabaja con los materiales existentes *in situ*, lo que genera una técnica autóctona de gran valor que después se aplicará al programa que la unidad espiritual y religiosa europea genera alrededor del año mil, o quizás antes. En esta tecnología estará presente lo romano, de forma imposible de definir, no como herencia cultural, sino por el magisterio inmediato de las ruinas, como recuerdo colectivo de un mundo en mayor orden y, tal vez, como la gran carencia de esa etapa que aún no ha consolidado sus conocimientos y sus capacidades para construir.

A pesar de que la definición geográfica es válida en líneas generales para concretar su área de desarrollo, es difícil señalar unos límites exactos. Tampoco se pueden precisar los caminos de penetración y difusión de las técnicas constructivas y de los programas arquitectónicos que lo harán evolucionar, así como el grado de convivencia con los sistemas anteriores y la acción osmótica recíproca que se produce entre ellos.

Lo que sí se puede afirmar es que durante ese periodo se ejercitan, por así decir, las técnicas que permitirán el desarrollo del románico. Por los resultados de las fábricas, parece que en muchos casos se parte de cero, o con un mínimo bagaje técnico basado casi exclusivamente en el aprovechamiento inmediato de los materiales y en las técnicas imprescindibles para ello. Dado el escaso repertorio de materiales y la similitud obligada de los programas y necesidades, las soluciones posibles en muchos casos son únicas, lo que impide definir una evolución cierta o una intencionalidad singularizada.

Con respecto a la datación de las obras, aún se compli- can más las cosas. En los edificios, al estar construidos según unos criterios menos estrictos que en los estilos anteriores, se sobreponen técnicas muy variadas y sin



Fig. 6.4.11 Exterior de San Julián de los Prados con el canecillo de esquina

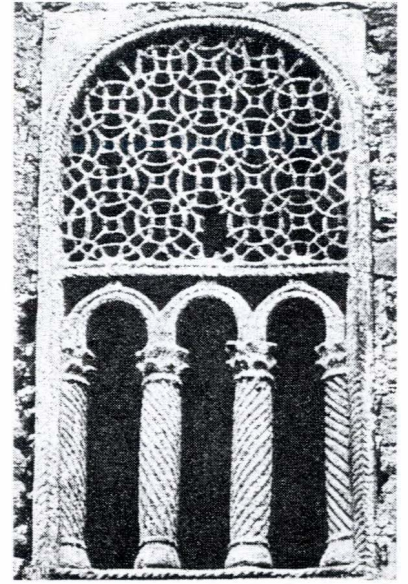


Fig.6.4.13

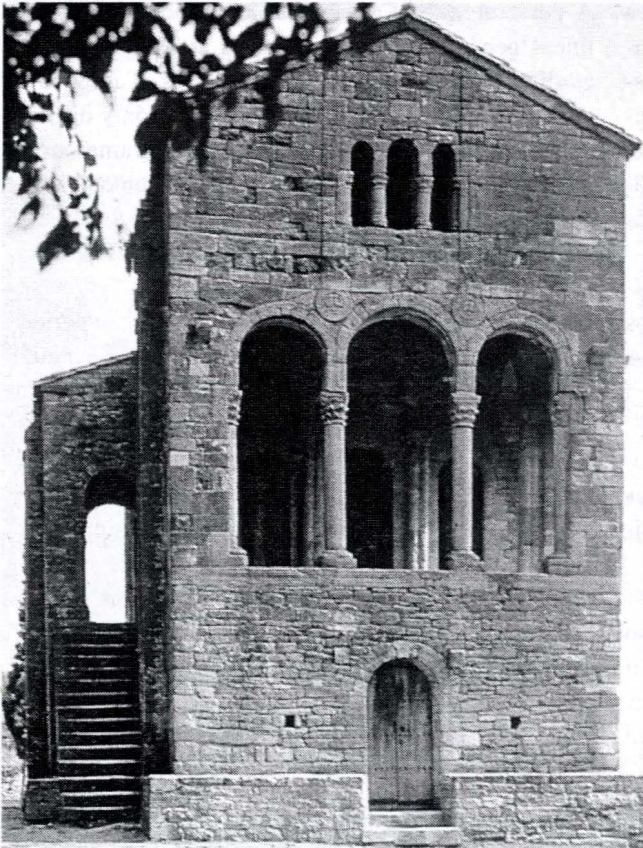


Fig. 6.4.12 Santa María del Naranco

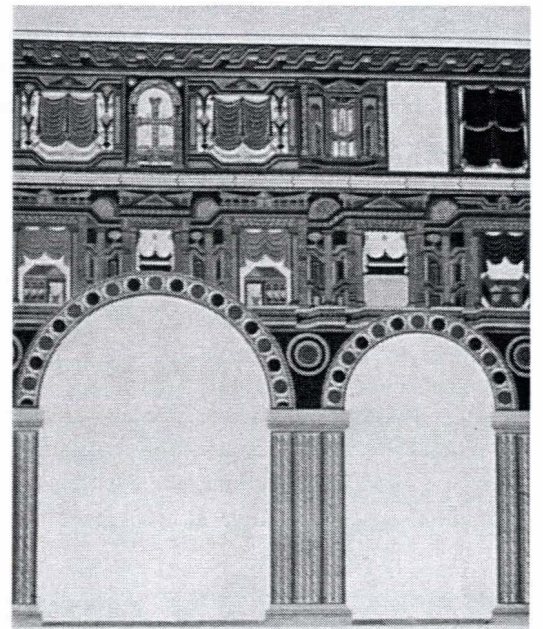


Fig. 6.4.14



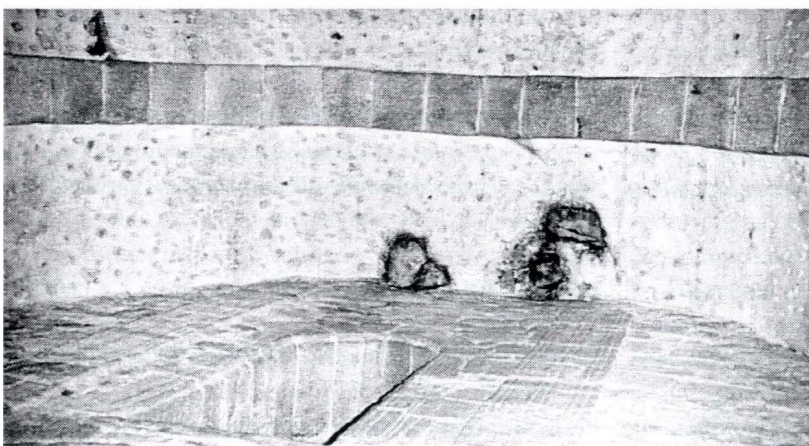
*Fig. 6.4.15 Cripta de Santa María del Naranco*



*Fig. 6.4.17 Bóveda de la galería de Santa María del Naranco*



*Fig. 6.4.16 Entrada a la cripta de Santa María del Naranco*



*Fig. 6.4.18 Bóveda de la nave de Santa María del Naranco*

relación entre sí, aunque es posible, en rasgos generales, establecer etapas en las que insertar determinadas obras. Si nos atenemos estrictamente al sistema constructivo, el resultado suele ser confuso y las dataciones basadas en detalles estilísticos suelen pecar de excesivo voluntarismo.

Desde el punto de vista sociológico las gentes que en España van a alumbrar el protorrománico son el resultado de todos los flujos y reflujos de la reconquista.

En el resto de Europa, a pesar de que la herencia romana se mantiene más directamente, o es más fácil de detectar, los restos son menos y de menor importancia que en España. Apenas nada ha quedado de los siglos IX y X. Este fenómeno puede que se deba a una mayor continuidad en los asentamientos humanos -la conquista y posterior reconquista del territorio que marcó la Edad Media hispánica quizás supuso un elemento adicional de perturbación para las gentes de la península-, y esa continuidad se manifestó en la demolición de los edificios existentes para el aprovechamiento de los materiales. No obstante, en las fechas del periodo que contemplamos también se produjo una degradación importante. Esta época oscura es realmente dramática. Existen descripciones de estados de extrema pobreza, como las del Abad Suger, en los que la población se ve obligada a practicar la antropofagia.

Según algunos autores, la llegada del espíritu románico, que ya se presiente en las realizaciones arquitectónicas, es una revolución en todos los campos, revolución que permite el resurgir cultural y económico de los reinos europeos occidentales después de esta etapa. Pero de nuevo aparece en este punto un dato de difícil encaje. Puig i Cadafalch afirma: "El estudio de la arquitectura románica catalana, y esto es aplicable a la del resto de España y a muchas zonas de Europa, no puede dar resultados concluyentes y efectivos como los ha dado en otros problemas arqueológicos, ya que la evolución de las formas románicas no se ha efectuado propiamente en nuestra tierra. Todos los elementos de construcción, como lo ha probado recientemente Strygowsky, se han desarrollado siglos antes en Oriente; todos los elementos de decoración han completado su evolución en el norte de Italia". Esta afirmación se puede completar añadiendo el nombre de Vogüé al de

Strygowsky en lo referente al estudio de los antecedentes de los elementos constructivos románicos en Asia, concretamente en Siria.

### 6.5.2 La tipología arquitectónica

A pesar de que las plantas mantienen unas ciertas referencias basilicales, la pequeñez de los trazados evidencia las escasas posibilidades de los constructores. Entre doce o quince familias contruyen una iglesia sin apenas más medios que los que procuran la resolución cotidiana de las necesidades mínimas.

Se construyen también monasterios muy complejos, tanto desde el punto de vista arquitectónico como desde el de la técnica constructiva, como San Pedro de Roda, aunque la falta de restos que permitan situar el fenómeno en el contexto concreto de cada uno de ellos a dado lugar a una serie de teorías aun sin excesivo fundamento sobre la existencia de estas comunidades.

Es perfectamente inadecuado hablar en este primer momento de una intencionalidad mínima en la diferenciación de los elementos constructivos. Se aprovechan los restos existentes sin apenas saneamiento. En realidad, ocurre que se sustituyen iglesias de piedra y barro por otras con morteros de cal muy poco fiables, y no en todos los casos.

### 6.5.3 Las fábricas

1) Los cimientos y en muchos casos los muros, por esa ley inexorable por la que los asentamientos humanos se repiten en los mismos lugares, se aprovechan de construcciones anteriores. La primera iglesia asturiana se construye sobre el emplazamiento de un dolmen, no siendo el único ejemplo de situaciones parecidas, y como método arqueológico suele dar excelentes resultados excavar debajo y en las inmediaciones de estos restos.

Las irregularidades que se observan en los replanteos evidencian una técnica geométrica casi nula que va muy poco más allá de la intuición de las ventajas de la

ortogonalidad y del trazado de arcos con radio fijo. El aprovechamiento sin apenas modificaciones de trazados anteriores, muy irregulares y poco sólidos, pone de manifiesto, además, la escasez de medios. Estos trazados anteriores debían de ser construcciones muy simples y rústicas, más parecidas a las bordas o parideras actuales que a cualquier otro tipo arquitectónico.

2) Los muros, en general, se fabrican con los materiales locales de forma que la costumbre acaba por crear una cierta tecnología, tendente, según nuestro criterio, a facilitar su puesta en obra, pero con muy escasas referencias sobre su capacidad resistente. Es probable que la unidad perceptible en muchas obras, dispersas geográficamente, obedezca al hecho de que con un determinado material y con unos medios inexorablemente limitados el resultado es obligadamente el mismo.

El modelo habitual es una variante muy rústica de *opus emplectum* en la que el relleno puede ser de barro (Fig. 6.5.1).

Las caras se aparejan según técnicas locales que garantizan una cierta seguridad durante la construcción. Debido a la irregularidad del material empleado, a la poca talla posible y a la rusticidad de las técnicas, es notable el empleo casi general de todas las variantes posibles de *opus spicatum* (Figs. 6.5.2, 6.5.3, 6.5.4 y 6.5.5).

El uso de este aparejo obedece casi exclusivamente a razones prácticas: cuando se usan piezas mucho más largas que anchas, con las caras sin desbatar, como la piedra de laja, es preferible, para que no se muevan al colocarlas, inclinarlas encajándolas unas en otras, ya que si se colocan horizontales se balancean, y más cuando el mortero es de calidad deficiente. Esta ventaja ha sido observada en cualquier tiempo y lugar en que se haya usado este tipo de piezas (Figs 1.12 y 1.13). Esta justificación del *opus spicatum*, por el uso, se ve reforzada por otros detalles. Las muestras que se encuentran en las fábricas protorrománicas, están colocadas caprichosamente y la irregularidad del tratamiento impide que se puedan considerar refuerzos -la idea de refuerzo supone el conocimiento del límite de lo que se refuerza y la certeza de que es necesario ampliar ese límite-. No se deberían justificar, pues,

más que por la facilidad que en algunos puntos de la fábrica presenta su uso para conseguir superficies horizontales sobre las que continuar. No están en unos lugares concretos de los muros ni sus dimensiones son las adecuadas para actuar sobre el conjunto, estando por ver si su incorporación a la fábrica supone algún tipo de mejora sobre su capacidad resistente (Fig. 6.5.6). Es una técnica obligada, o una facilidad en la colocación.

Se encuentran en todos los grados imaginables de acabado y rejuntado. A veces toda la fábrica está construida así, y entonces es posible suponer una intención decorativa (Fig. 6.5.7), usándose de forma espontánea en la actualidad en circunstancias parecidas (Fig. 1.11)

A veces, se utilizan otros sistemas para disponer de lechos horizontales regulares en el conjunto de la fábrica, como verdugadas de ladrillos, casi siempre de recuperación, debido a los problemas que plantea durante la ejecución trabajar con mampuestos irregulares y morteros de baja calidad.

Se recuperan, si están a mano, materiales romanos, fundamentalmente sillares, que se utilizan en general para las esquinas. Por una parte se trata con ellos de obtener la definición física del ángulo como límite, recto y vertical, que servirá de referencia para levantar aplomado el resto del muro, y por otra se consigue un encajonado lateral para las irregulares fábricas de mampuestos fabricadas con morteros muy deficientes, a veces de yeso. En este sentido, sí pueden ser unos refuerzos explícitos de la parte en que, presumiblemente, se empieza a arruinar el muro, tanto por los asientos diferenciales del terreno como por los esfuerzos cortantes que se producen al estar cargadas diferentemente las dos paredes que en ella concurren. No es necesario manejar estos conceptos explícitamente para colocar los grandes sillares en las esquinas; basta ver que se agrietan para disponer allí de las piezas más recias. Según Choisy, es una forma degenerativa de las regulares fábricas romanas, pero su utilidad es evidente durante el proceso de construcción y es un sistema que, con algunas variantes, se ha venido usando hasta nuestros días, unas veces por motivos ornamentales y otras por razón de la estabilidad del conjunto (Figs. 6.5.8, 6.5.9 y 6.5.10). En algunos casos se encuentran sillares que ocupan todo el tizón del muro.



Fig.6.5.1 Muro del poblado de Santa Elena, cerca de San Pedro de Rodas

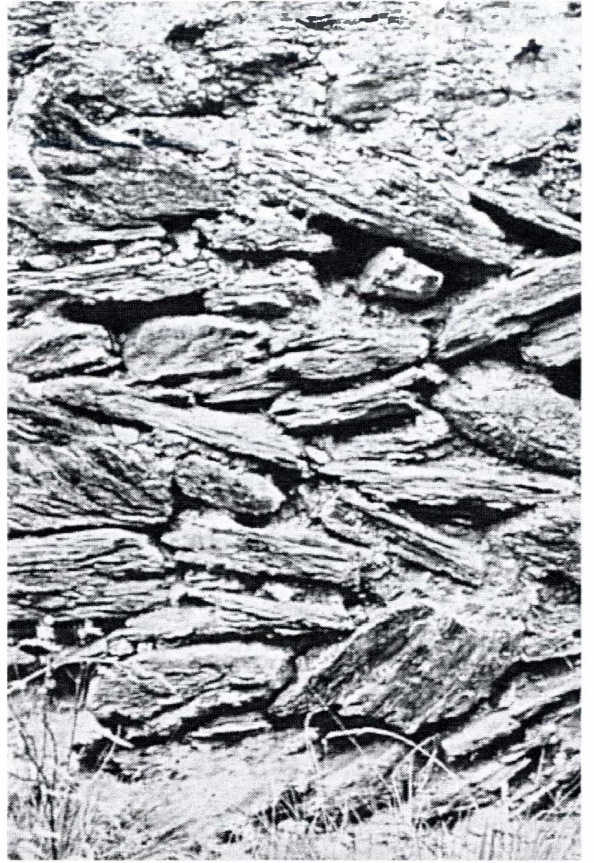


Fig.6.5.2 "Opus spicatum"

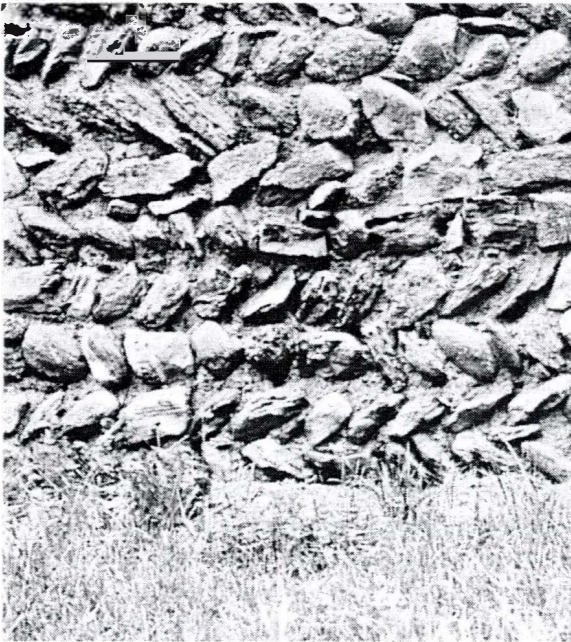


Fig.6.5.3 "Opus spicatum"

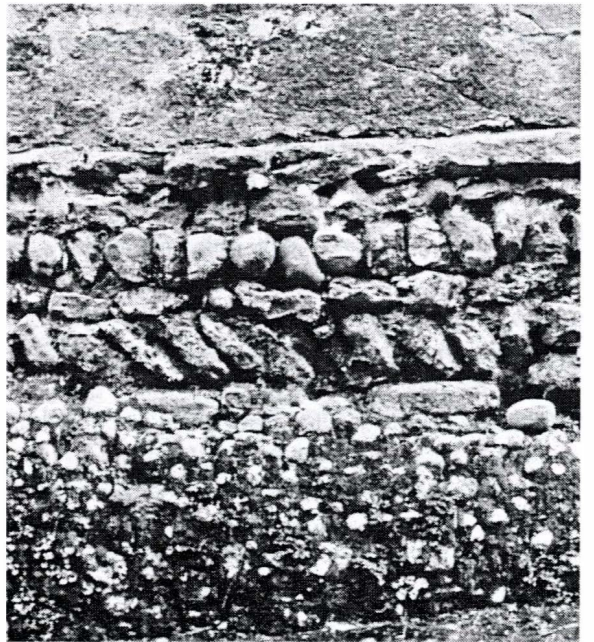


Fig.6.5.4 "Opus spicatum"

#### 6.5.4 Los huecos

Los huecos, mínimos y normalmente aspillerados hacia el interior, quizás por motivos de defensa, se ejecutan con jambas y dinteles de piedra sin apenas precauciones. Otra fórmula consiste en la incorporación a la fábrica de piezas enterizas perforadas, probablemente abrevaderos y depósitos de origen romano (Fig. 6.5.11).

Los otros materiales de recuperación, capiteles y fustes, se usan en apoyos aislados, a veces con gran riesgo por la insuficiencia de las secciones (Fig. 6.5.12).

El aparejo de los arcos puede ser de dos maneras: en dovelas de indudable ascendencia mozárabe, de forma que se pueda colocar la cimbra apoyada en las jambas o en los salmeres, o con un aparejo irregular, que se remata con unas claves muy forzadas que acuñan el resto de las piezas (Fig. 6.5.13).

Existen otros ejemplos de trazado muy rústico que evidencian una gran simplicidad de conceptos, aunque su funcionamiento a lo largo de mil años ha sido impecable. No debió ser hasta mucho más tarde, hasta que los proyectos románicos empiezan a cristalizar, que se planteó la regularidad, que no igualdad, de las dovelas como un requisito.

#### 6.5.5 Las cubiertas

Después de subidos los muros, en los que se han dejado los huecos arqueados, se procede, sin rematar el muro, a la colocación de la cubierta. En un principio hay que suponer que las cubiertas se hacen a base de troncos, casi sin desbastar (Fig. 6.5.14).

Puede que la sustitución de esas cubiertas por las de bóveda aparejadas en piedra sea uno de los motores del primer románico. Los frecuentes incendios debían ser un problema importante para las comunidades, hasta tal punto que justificó el importante esfuerzo que suponía su sustitución, con todos los problemas de estabilidad que de ello se derivan. Seguro que se intentaron soluciones hasta que se llegó a una cierta normalización de las proporciones de los elementos

resistentes, fundamentalmente las de los muros, normalización de la que no tenemos ningún dato cierto, pero que se percibe en la homogeneidad de las soluciones que se generan a partir de esta primera etapa. Hasta mediados del s. X la pequeñez de las construcciones simplifica notablemente el problema.

El arranque de las bóvedas se apoya sobre un rehundido del muro (Fig. 6.5.15), y se continúa colocando las piedras de laja perpendicularmente a la cimbra. En algunos casos se encuentran arcos fajones aunque lo más común son las bóvedas semicirculares lisas.

Para este trabajo, la construcción protorrománica depende, de forma inexorable y más que otras, de la madera. Hacen falta cimbras para los arcos y para las cubiertas, con todas las dificultades que suponía la obtención de este material.

Sobre los encaballados de madera o las bóvedas de piedra caben dos soluciones: o bien se coloca un entarimado muy rústico, y sobre él una capa de tierra que tiene por misión regularizar la superficie y facilitar el recibido del material de acabado, o bien se crean las pendientes rellenando los riñones también con tierra o mortero de cal. Sobre esas superficies se colocan bardas de paja y tejas muy deficientes y mal cocidas en hornos domésticos o piedras superpuestas (Fig. 6.5.16).

#### 6.5.6 El interior

El interior podría estar pintado con una lechada de cal espesada con un árido de granulometría muy fina, que posteriormente podría enlucirse, y es probable que sobre esta base se intentara el coloreado con ocre y rojos.

Los pavimentos en general son de tierra pisada o de losas rudimentarias, aunque en algunos casos se encuentran vertidos de morteros de cal apisonada.

Por la escasez de restos tenemos muy pocos datos del "ambiente" interior de estos edificios, aunque debemos suponer una gran pobreza en todos los detalles tanto arquitectónicos como ornamentales y litúrgicos.



Fig. 6.5.5 "Opus spicatum"



Fig. 6.5.6 "Opus spicatum" en el conjunto de Tarrassa

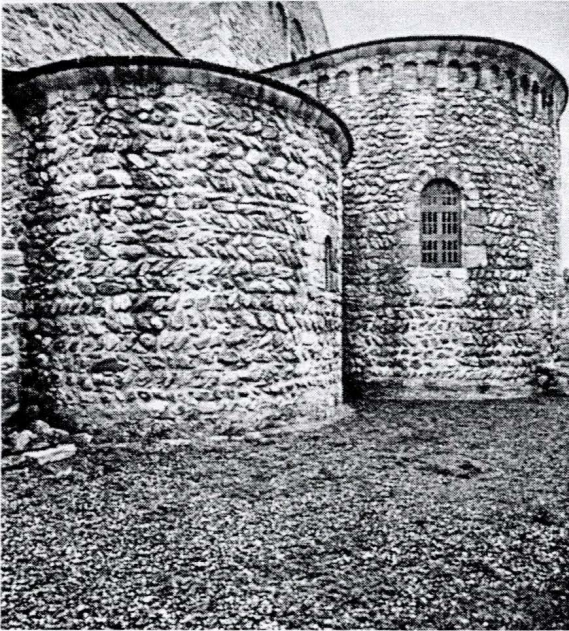


Fig. 6.5.7 Abside de "opus spicatum"



Fig. 6.5.8 Esquina con refuerzo de sillares cerca de San Pedro de Roda

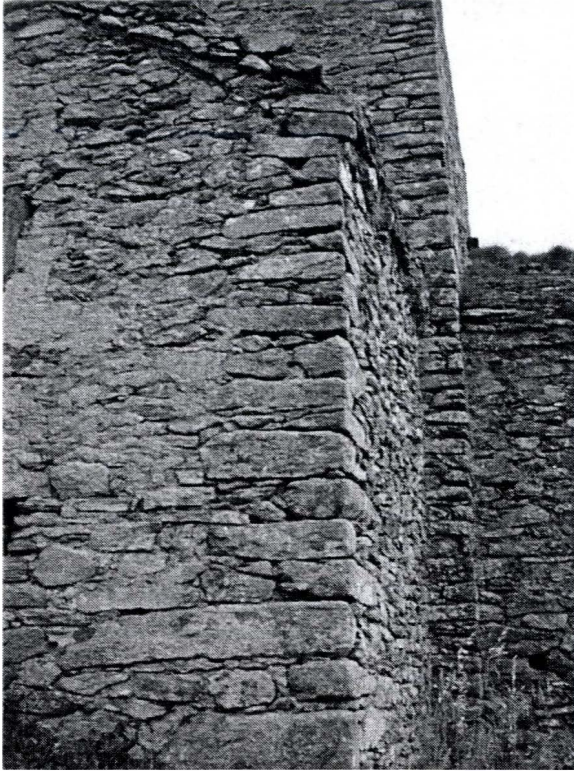


Fig. 6.5.9 Esquina de la iglesia del poblado de Santa Elena

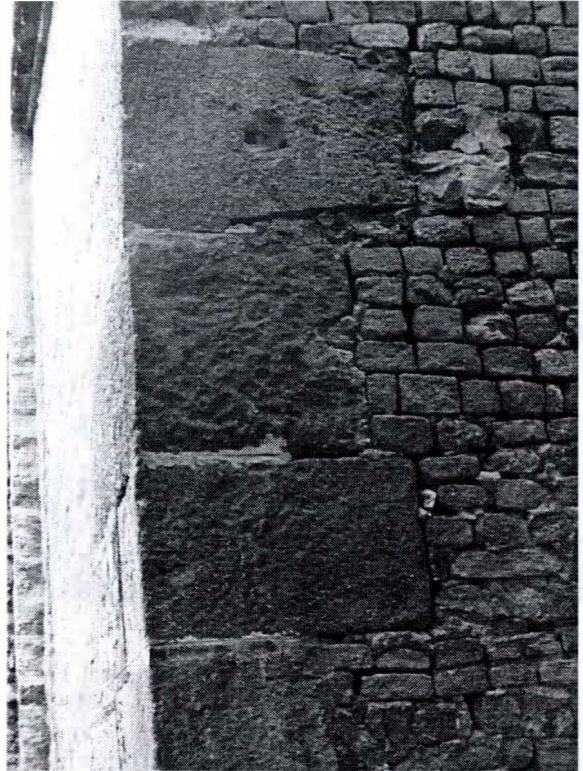


Fig. 6.5.10 Esquina del ábside de Santa María en Tarrassa. El sillar superior parece una clave de arco romano retocada

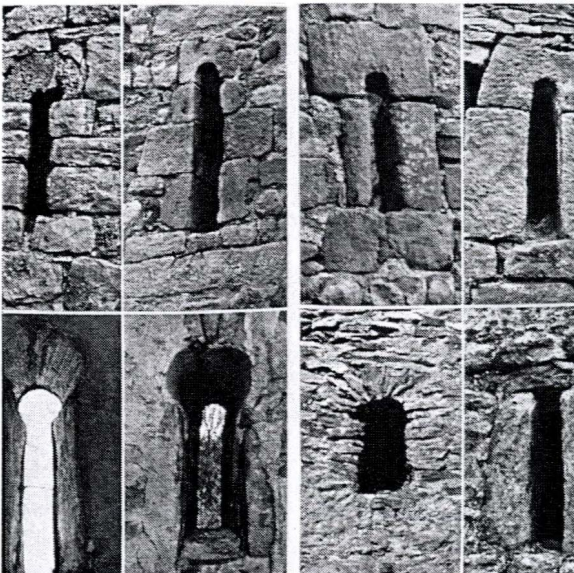


Fig.6.5.11 Aberturas protorrománica



Fig. 6.5.12 Tossa de Montbuí



Fig. 6.5.13 Arco protorrománico

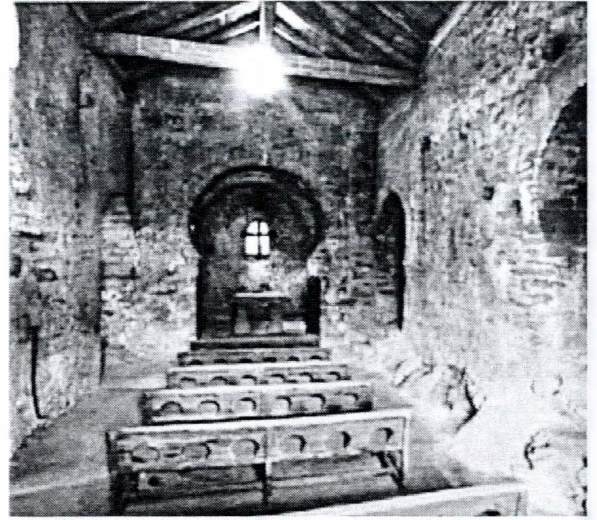


Fig. 6.5.14 Tossa de Montbuí



Fig. 6.5.15 Arranque de bóveda de piedra de laja en Santa Elena



Fig. 6.5.16 Cubierta de la Iglesia de Santa Elena

### 6.5.7 El legado de la construcción arquitectónica protorrománica

A pesar de su rusticidad, el legado de esta etapa que llamamos protorrománica es fundamental para el desarrollo posterior del románico. En cada área se experimentan con los materiales y mano de obra locales los sistemas que van a permitir que como dijera después el abate Suger, "Europa se cubriera de un blanco manto de iglesias". Es difícil deducir qué conclusiones válidas se sacaron de esta etapa, cómo se llegó en cada caso a dimensionar suficientemente los muros y las bóvedas, de acuerdo a qué criterios se aprendió a seleccionar las cales, a evitar los terrenos imposibles o

a decidir la altura de las torres. En esta etapa se construyeron, como casos aislados de mucho interés, edificios tan complejos como el que sirvió de base a la posterior ampliación y perfeccionamiento de San Pedro de Roda, y algunos restos, como la pared norte interior del claustro de Sant Cugat del Vallés, dotada de siete ventanas contiguas de lo que se supone un cenobio, que evidencian una actividad mayor a la que cabe suponer por las circunstancias. En todo caso lo que sí se puede asegurar es que casi toda Europa aprendió de nuevo a construir con la solvencia suficiente como para que alrededor de un tipo muy definido de edificio, la iglesia rural, se comenzara a reanimar su espíritu, adormecido durante varios siglos.



## 7. Construcción arquitectónica islámica

### 7.1 El escenario

Incluir la construcción arquitectónica islámica como un capítulo de la historia de la construcción puede parecer un contrasentido. La historia, por propia definición es, entre otras cosas, un relato cronológico y hablar de construcción islámica debe ser la descripción de unas fórmulas constructivas ligadas a una religión más que a una época. Pero el caso es que hasta que se produce la universalización de los conocimientos constructivos, en mayor o menor grado según las áreas geográficas, es posible definir, desde el s. VII, fecha de la aparición del islamismo, hasta el s. XVII, fecha en la que se sumerge en un cierto letargo histórico, hoy acabado, unos sistemas constructivos específicos ligados a una situación histórica que, por dilatada que sea, no deja de ser concreta.

También es una cuestión polémica si se debe aplicar el calificativo de islámico a esos sistemas, es decir, si alrededor de los conceptos religiosos se generan unas formas de construir específicas que admitan ese calificativo.

Como paso previo habría que definir lo islámico. Según una interpretación usual bastante estricta es todo lo derivado del Corán entendido como revelación divina inapelable.

Para el creyente todo está en el Corán y, lo que es más estricto, sólo en el Corán, aunque en mucha menor medida también tienen validez los *habbits* o tradiciones de transmisión oral. Como consecuencia de esta rigidez de los preceptos coránicos -Islam significa sumisión en árabe, y musulmanes "los sumisos", a Alá, naturalmente-, y aunque en cada época se ha intentado una suerte de teología o interpretación, lo que ha dado lugar a las

distintas variantes islámicas, sunitas, chiitas, etc., las diferencias, a pesar de la ferocidad con que son defendidas, son pocas y su capacidad uniformadora es muy grande.

A pesar de ser un término excesivamente genérico y de la gran amplitud geográfica de su difusión, lo islámico coincide con lo árabe en casi todas las ocasiones, tanto por el lugar geográfico de su origen como por otras razones de orden teológico. El árabe es la lengua divina y es la única en la que es posible dirigirse a Dios, ya que es la única que entiende por ser la suya. No existen traducciones del Corán, porque serían sacrilegas, pero sí interpretaciones en otras lenguas. No obstante se encuentran influencias locales específicas en proporción variable.

Por lo tanto es necesario saber si de los preceptos contenidos en el Corán se desprenden conceptos con influencia en la arquitectura y la construcción. La respuesta es rotundamente afirmativa. Existen varios aspectos de inequívoca repercusión en el tema de nuestro interés.

1. Como una de las cinco obligaciones del creyente es rezar cinco veces al día de cara a la Meca, (las otras son la fe, la conducta recta según el Corán, la peregrinación a la Meca y la limosna), es prioritaria la construcción de lugares de rezo o mezquitas, que deben cumplir unos determinados requisitos, lo que genera una tipología arquitectónica concreta. Además, y como complemento de esta actividad, se deben construir baños, mausoleos, madarasas, etc.

2. La decoración, debido a la prohibición coránica de efectuar representaciones naturalistas, debe buscar su inspiración en otros temas, y de esa forma se crea un

repertorio que influye en las maneras de usar los sistemas constructivos.

3. De algunos preceptos coránicos se derivan actuaciones en urbanismo, arquitectura y construcción. Cuando se prohíbe que ninguna construcción supere al alminar más bajo, se está regulando de alguna manera el entorno, y si el Corán concede derechos al propietario de una casa sobre los terrenos inmediatamente próximos, y ese derecho se ejerce hasta sus últimas consecuencias, como ocurre en algunas aldeas argelinas, se está haciendo urbanismo y hacen falta soluciones para la circulación.

4. Los conceptos vertidos en el Corán o, mejor dicho, no vertidos en él sobre las "industrias" humanas, hace que no sean motivo de preocupación de la sociedad islámica. Hasta hace poco no ha existido ninguna inquietud por el desarrollo material y se entiende que el cuerpo social tiene otros objetivos de mayor trascendencia que ese tipo de cuestiones.

5. Quizás en un abuso conceptual, también se suele conocer como arquitectura islámica la que se produce en el área geográfica de influencia prioritariamente islámica, aunque no esté relacionada con los preceptos coránicos. Parece que a pesar de la dispersión existen unas constantes tanto en las tipologías como en las técnicas.

Estos puntos permiten unificar unos sistemas constructivos, unas tecnologías y unas mentalidades muy distintas, debido a la gran dispersión geográfica en la que se desarrolla el Islam. No existe en el Corán ningún concepto que impida disponer, hasta donde se pueda, de las técnicas locales, por lo que éstas se adaptan sin complejos, ni culturales ni religiosos, a la exigencia planteada en cada caso. Esto es posible debido a que las normas son pocas y el tiempo y la tradición las ha clarificado y consagrado como inapelables.

Se puede suponer que todo está cambiando, aunque es arriesgado prever en qué dirección. Se hace difícil suponer que los pueblos islámicos no acaben adoptando, mediante un proceso de reflexión que puede ser largo y traumático, otro tipo de posturas ante las mejoras indudables que algunas de las "conquistas" occidentales suponen para la vida de las gentes.

## 7.2 Tipología arquitectónica específicamente islámica

### 7.2.1 La mezquita

El modelo más representativo de la construcción islámica es la mezquita, lugar de oración comunitario y con amplitud suficiente para congregarse, fundamentalmente en la plegaria del viernes, a todos los creyentes.

Existe una teoría que supone que para las primeras se tomó como modelo la casa del profeta, pero no ha sido demostrada. El desarrollo más plausible se debe suponer a partir de sus orígenes. Debido a la falta de tradiciones arquitectónicas y constructivas de los primeros creyentes, en su mayoría árabes nómadas, la forma clásica de las primeras mezquitas se organizó estrictamente sobre el precepto que obliga a los creyentes a rezar con el cuerpo en dirección a la Meca, a pesar de que al principio, como los templos cristianos, la mezquita no sólo era lugar de culto sino también de reunión y asamblea. Para marcar la dirección correcta de La Meca, se construyó una referencia, normalmente un muro, llamado *qibla*, hacia el que debían dirigirse los fieles. En el centro de este muro se dispuso una hornacina, más o menos grande, llamada *mirhab*, en la que se guardaban los textos del Corán. A partir de este esquema, que se deriva casi automáticamente de los preceptos coránicos sobre el rezo, la evolución, que siempre ha respetado sus líneas generales, se produce dependiendo de las circunstancias específicas en cada caso, desde la impresionante mezquita de la Córdoba medieval, o la moderna y sofisticada de Casablanca, a las minúsculas y recoletas que se organizan en pisos de renta en las ciudades europeas. Lo único importante es la referencia geográfica (Fig. 7.1).

Las singularidades constructivas se originan al cubrir el espacio cercano a la *qibla* sin alterar la continuidad del espacio. Esto se consigue mediante el sistema constructivo posible en cada área geográfica y la técnica disponible. Cubriendo todo el espacio se pretende obtener crujías caladas, perpendiculares a la *qibla*, que permitan la unicidad de la asamblea de creyentes, sin polarizar en exceso el conjunto hacia el *mirhab* en el que se encuentra el *muecín*, o director del rezo, ya

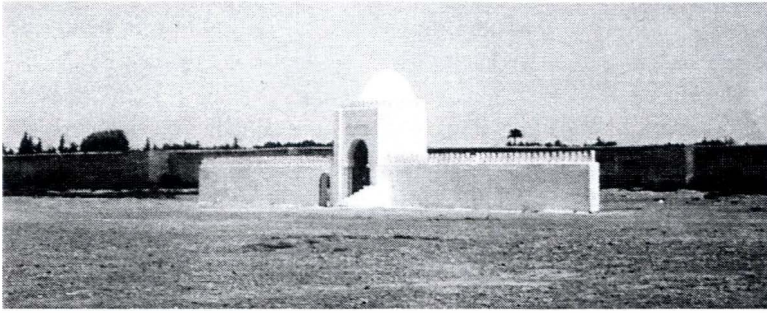


Fig. 7.1 Qibla de una mezquita al aire libre en Marrakech

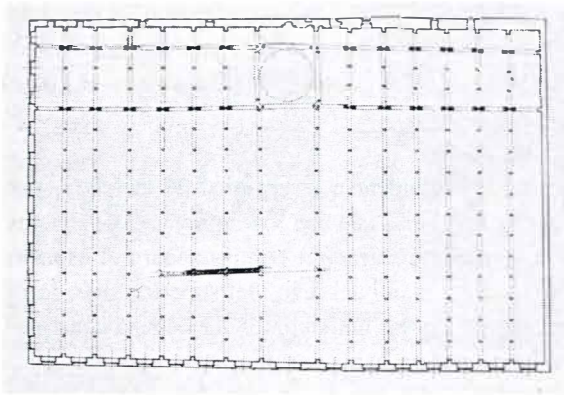


Fig. 7.2 Planta de la mezquita de Al-Aqsa. Jerusalén

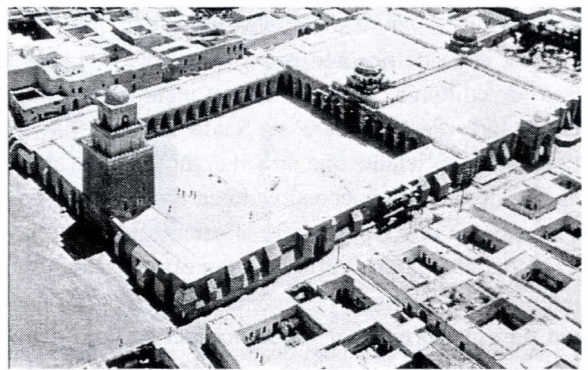


Fig. 7.3 Vista aérea de la mezquita de Qairuan

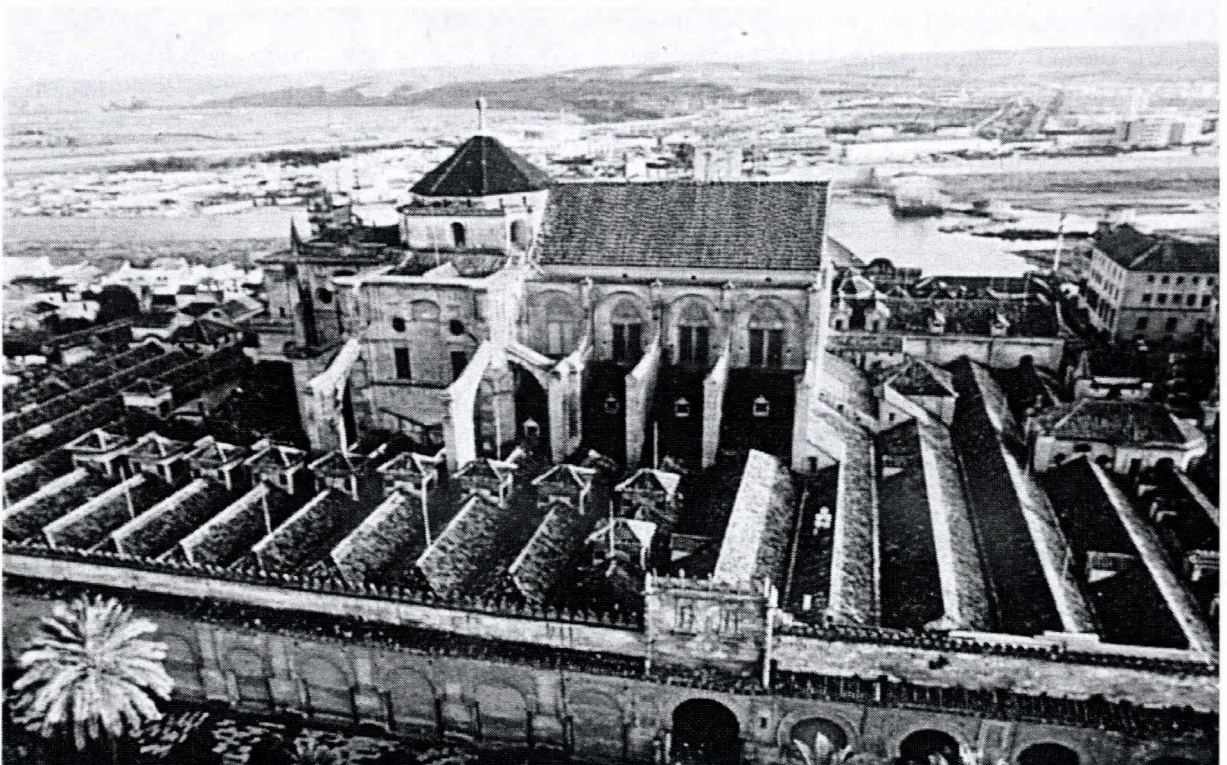


Fig. 7.4 Cubierta de la mezquita catedral de Córdoba

que éste no actúa como en las iglesias cristianas de oficiante e intermediario entre Dios y la asamblea, más o menos pasiva, sino que es simplemente un jefe de coro. En la plegaria islámica cada uno de los creyentes, al rezar, genera la liturgia del acto por ser su responsabilidad estrictamente personal y no delegada, por lo que todo el espacio tiene la misma jerarquía. Esta valoración del espacio es muy distinta de la tradicional cristiana que conforma la variante habitual de la basílica.

La obligada orientación geográfica hizo que no se usaran edificios asamblearios construidos con otras intenciones, cuya colocación no era correcta. Cuando se trató de edificios de mucha importancia fue providencial la intervención divina: en Santa Sofía de Constantinopla fue suficiente que un ángel moviera el edificio, apoyándose en un hueco situado en una columna en el que cabe un dedo, para darle la orientación necesaria. Como es natural una definición tan estricta del espacio interior provoca unos volúmenes concretos, que generan un aspecto exterior específico del edificio diametralmente opuesto al de las iglesias cristianas (Fig. 7.2 y 7.3).

Esta distinta valoración del espacio queda explícita en la mezquita de Córdoba, máximo exponente de este tipo de planta clásico. En ella se incorporó una catedral gótica en tiempos de Carlos V (Fig. 7.4), quien manifestó su disgusto por el resultado con una frase muy clara y gráfica: "Habéis perdido algo único a cambio de algo muy normal y sin mayor gloria de Dios". En el centro de la cubierta regular de la mezquita emerge la complicada volumetría de la catedral católica, rompiendo el ritmo uniforme de las crujías.

La primera mezquita de la que se tiene noticia es la de Basora, marcada en el suelo por piedras y cuyo perímetro determinó un arquero disparando cuatro flechas hacia los cuatro puntos cardinales. En el 638 se le agregó una techumbre en el lado de la *quibla*.

En Egipto, la primera mezquita se construye en El-Fistal, en el 641, de 29x17 m, con cubierta de troncos de palmera según otro testimonio documental.

Ziyad ibn Abihi, al que algunos consideran arquitecto, reconstruye la mezquita de Istar cerca de Persépolis

en época muy temprana, con columnas de piedra de 15.54 m de altura y techo de madera de teca.

Pero la primera mezquita levantada con intención de edificio emblemático es la de Al-Aqsa, construida por Abd-el-Malik entre el 685 y el 705, en Jerusalén. Para su construcción fue necesario reclutar mano de obra en Egipto, según explica un manuscrito. Derruida por un terremoto en el 747, fue reconstruida y se terminó en el 780. Los muros son de ladrillo sin intención arquitectónica y la cubierta es plana, de madera, sobre arcos entre naves que se construyen perpendiculares a la *quibla*. La estructura ha sido muy alterada, por lo que no se puede tomar como ejemplo, aunque sí como referencia.

A pesar de la tendencia direccional de la crujía, por debajo de la cornisa que une los capiteles el espacio es continuo y homogéneo. La cornisa separa el espacio inferior, el del plano del rezo, del superior, más compartimentado por las limitaciones del sistema constructivo. Este sistema había servido hasta entonces para construcciones con otra valoración del espacio, como las basílicas cristianas, y se mantiene en este caso debido a la tradición bizantina, predominante hasta entonces en Jerusalén.

Sin apenas variación se ha mantenido la de Damasco, construida por Al-Walid entre el 706 y el 715 (Fig. 7.5). Construida sobre el templo de Júpiter Damasceno, se ajusta a sus medidas, 157x100 m, con un patio de 122x50 m, posiblemente para aprovechar los cimientos. Está construida en una sillería muy cuidada que hace suponer una cierta recuperación de los materiales del templo romano, lo que ocurrió, sin duda, con los capiteles. Se construye por el sistema de liturgias, que es como se llama al reclutamiento de mano de obra, y estaba revestida de mármoles y mosaicos.

Estos ejemplos primeros no generan ningún sistema constructivo común y uniforme. En cada caso se incorpora la tradición local al esquema canónico, aunque éste es tan estricto que todos acaban recurriendo a expedientes semejantes ante el mismo programa. La construcción es, pues, la que existe en cada zona en cada época, aunque el espacio resultante sea el mismo. Poca cosa se puede hacer y poco se puede inventar

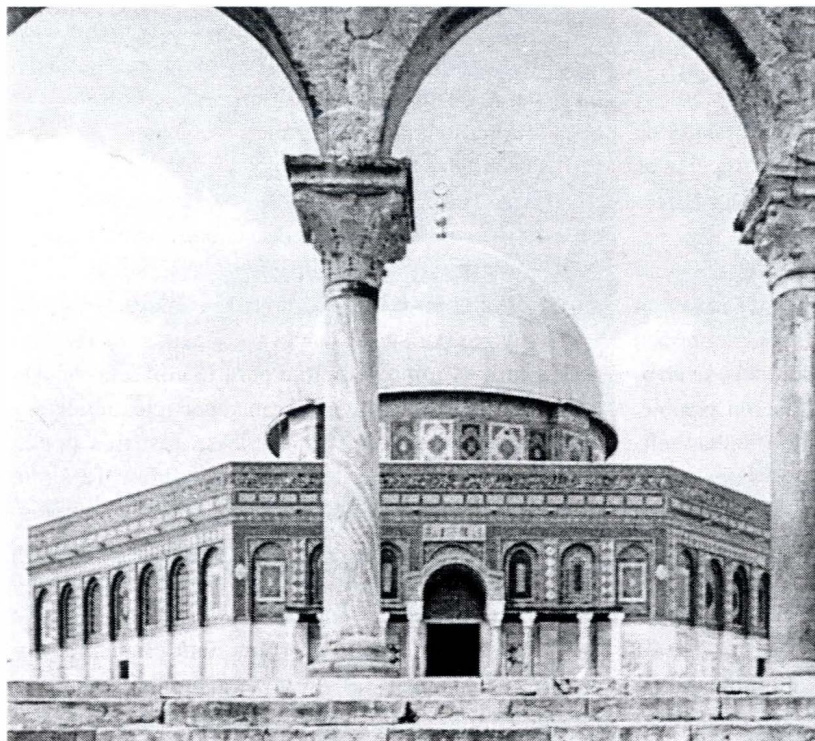


Fig. 7.5 Mezquita de La Roca. Jerusalem

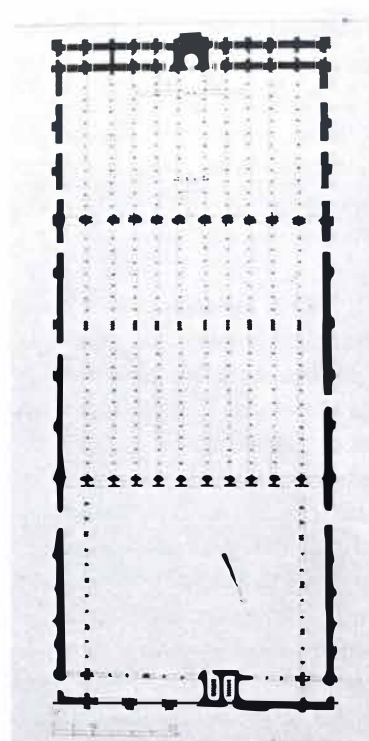


Fig. 7.6 Planta de la mezquita de Córdoba en tiempos de Abderramán I



Fig. 7.7 Mezquita de Córdoba

cuando el repertorio de materiales es tan pequeño y las características del espacio a definir tan estrictas.

Uno de los ejemplos más notables de esta manera de trabajar es la mezquita de Córdoba. Su construcción es la mejor posible en la época y presenta todos los defectos y virtudes del momento.

- Debido a las especiales condiciones de la invasión árabe en España -los califas Omeyas se reconocen "protectores de los cristianos", y Abderramán I se arroga el derecho a convocar concilios, situación posible, es de suponer, dado el concepto común a ambas religiones de un Dios único y todopoderoso, y a algunas tradiciones cristianas recogidas en el Corán-, en un principio el solar estaba compartido por la mezquita aljama y la catedral visigoda de San Vicente. Abderramán I compra esa parte a los cristianos y comienza las ampliaciones, que continúan hasta Abderramán III. La homogeneidad del espacio permite el crecimiento en cualquier dirección mientras se respeta la perpendicularidad de las crujías a la *quibla*.

En Córdoba los arcos son bicolors, blancos y rojos, posiblemente en un efecto derivado de los *opus mixtum* romanos interpretados por los constructores bizantinos.

La estructura básica está constituida por unas líneas de arcuaciones dobles paralelas que soportan la cubierta (Fig. 7.6). Como corresponde a su época, los capiteles y los fustes, de longitud variable, son de recuperación romanos casi en su totalidad, y su procedencia puede ser de cualquier punto de la cuenca mediterránea en poder de los árabes. Están recibidas sobre bases de altura irregular para igualar el nivel de arranque de los arcos.

Sobre estas arcuaciones se apoya la cubierta, cuyo original ardió en 1713, de caballetes de alerce a par e hilera, según Ambrosio de Morales. Las limahoyas eran unas canales de plomo de un dedo de espesor en las que cabían dos hombres. Los arcos inferiores de cada crujía son peraltados sobre capiteles troncocónicos (Fig. 7.7). Puede que este peralte se justifique en su origen por la necesidad de sustentar la cimbra a la altura de la imposta, evitando los apeos, pero en este caso su forma responde a un interés estético específi-

co. A partir de ahí el arco sigue su forma natural. La solución no es original de los constructores islámicos; en España lo usaron antes los visigodos, y también se encuentran ejemplos en Bizancio. Los arcos superiores, más anchos, son de medio punto sobre unos recrecidos transversales a la línea de crujía. A partir de los escasos 30 cm de diámetro de las columnas, se llega de esta forma a más de un metro de anchura en la parte superior en la que se apoya la cubierta, solución sorprendente por su elegancia y eficacia constructiva. Esta altura es imprescindible para la correcta valoración del espacio debido a la gran superficie cubierta, y el sistema de la arcuación doble se justifica por la escasa altura de las columnas disponibles. También hay autores que opinan que es una manera de arriostrear las cabezas de las columnas de la arcuación baja, pero sea la intención del esquema utilitaria o puramente decorativa, el conjunto conseguido es de una gran expresividad. Para solucionar el mismo problema, en las mezquitas Amru y Moyed de El Cairo se levanta el arco y se hace apuntado, arriostrándose por las impostas con tensores de madera.

A pesar de la homogeneidad del espacio existen puntos singulares que se realzan muy levemente (Fig. 7.8). Parece probada la contribución de los artífices bizantinos en los mosaicos, aunque es probable que colaboraran también en otros aspectos de la obra (Fig. 7.9).

A pesar de estar compuesta por múltiples aportaciones, o quizás por ello, puede que este edificio sea una de las cumbres arquitectónicas del islamismo. Se puede suscribir totalmente la encendida descripción que hizo de ella Camps y Cazorla: "Artísticamente el efecto es asombroso: la reciedumbre de la construcción desaparece, resultando todo una fantástica sucesión de arquerías, rojas y amarillas, como sostenidas en el aire, pues a la indecisa luz, las columnas, más oscuras, desaparecen. Y todo ello en una policromía dulce, matizada, bellísima. El efecto total del edificio, por la abundancia de perspectivas diagonales a través de las arquerías, es de bosque sin límites, en que fustes y arcos van multiplicándose hasta perderse de vista, sin dejar apreciar, salvo en muy contados casos, los muros de cierre de la construcción". La catedral gótica construida en el interior apenas altera esta percepción en algunas perspectivas.

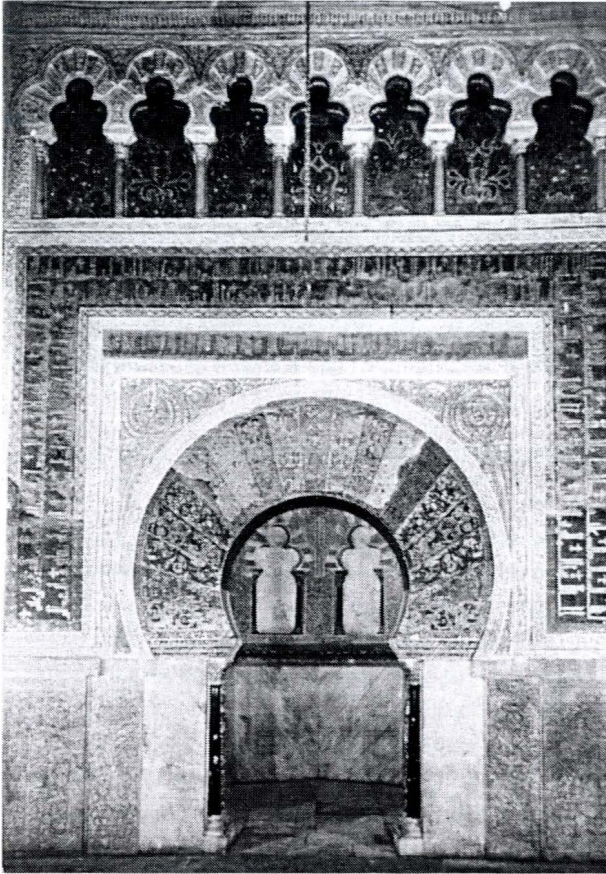


Fig. 7.8 Aplacado de mosaico en el mirhab de la mezquita de Córdoba

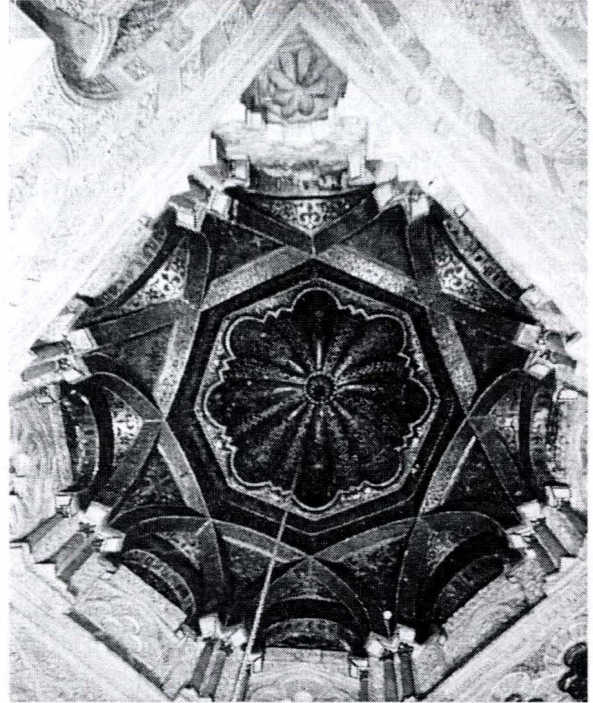


Fig. 7.9 Cúpula del mirhab de la mezquita de Córdoba



Fig. 7.10 Mezquita de la Roca

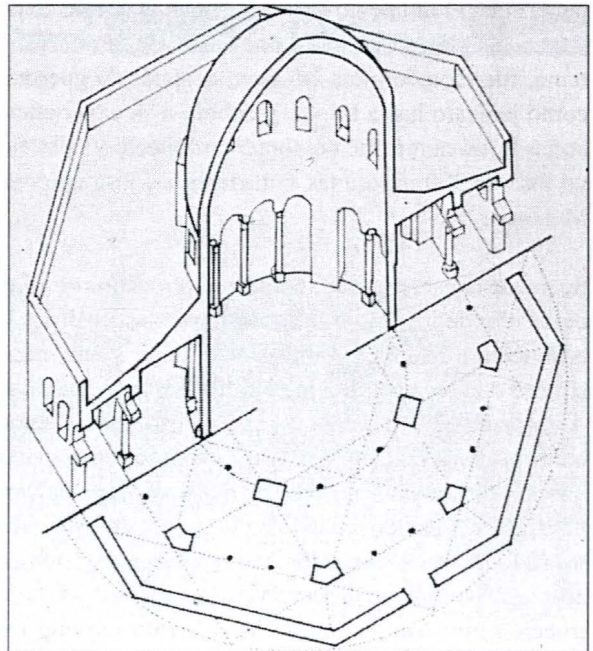


Fig. 7.11 Axonometría de la mezquita de la Roca

No obstante la temprana solución de la planta clásica, estrictamente ajustada a las indicaciones del Corán sobre el rezo, se van a construir algunas otras muy influidas por las preexistencias arquitectónicas locales, ya que mientras exista una clara referencia hacia la Meca no existe, en principio, ningún inconveniente.

A la vez que la mezquita de Al Aqsa, y formando parte del conjunto, se contruye la cúpula de la Roca (Fig. 7.10), lugar sagrado para moros, cristianos y hebreos. Iniciada en 692, es de clara ascendencia bizantina, absolutamente atípica y proyectada según el sistema proporcional sobre un módulo básico estrellado con capiteles de recuperación y tirantes de madera. La planta es un octógono de mapostería irregular, (Fig. 7.11) recubierto de marmol por el exterior. El interior estuvo acabado de mosaicos con visiones del Paraíso y en 1552 fueron recubiertos con cerámica por los turcos. La cúpula de la cubierta es de madera aplacada con ladrillos esmaltados.

En este apartado de las mezquitas es imprescindible referirse a toda una familia de ellas, construidas en el marco del imperio otomano una vez que éste alcanza la estabilidad en el s. XV y XVI, cuya relación estricta con el Corán se produce únicamente en la descripción del espacio, y cuyas apoyaturas culturales y técnicas se encuentran en las raíces bizantinas y en la coincidencia con el momento renacentista en el que se construyen. Son las proyectadas por Sinán -de familia cristiana, fue raptado a los 14 años; después de guerrear como jenízaro hasta los 40, y debido a su experiencia como fortificador, fue nombrado arquitecto y construyó más de 300 mezquitas y madarasas-, y su epígono Mehmed.

Se puede considerar que suponen el otro extremo en el desarrollo de los métodos constructivos asociados a la arquitectura islámica. Con ellas se llega a una etapa similar a la renacentista en la construcción occidental. A partir de ellas el Islam seguirá construyendo, como ocurrirá en Occidente, con los mismos sistemas hasta que se produce la incorporación de las técnicas modernas, perfeccionando, cuando ha podido, esos sistemas, sobre todo en los acabados, o retrocediendo, también acuciado por las circunstancias, hasta un tipo de construcción muy simple, como ha ocurrido durante los últimos siglos en el Norte de África.

Todas estas mezquitas están influidas por Santa Sofía, cuya impresionante realidad no podía dejar de estar presente en el desarrollo de la arquitectura islámica.

Por encargo del sultán Ahmed I, el arquitecto Mehmed construye la Ahmediye (Fig. 7.12), más conocida como la Mezquita Azul, en Estambul (1609-1617). En ella se culmina el proceso de intento de superación de Santa Sofía iniciado casi medio siglo antes por Sinán (1492?, 1588), de cuya obra destacamos las tres grandes mezquitas: la Suleimaniye (1550-1557), la Selimiye (1550-1557) y la Shazadé, (1544-1548), ésta última en Edirne, que siguió siendo la capital del imperio otomano a pesar de la conquista de Constantinopla en 1453 por Ahmed II (Fig. 7.13).

La mayor de todas es la Shazadé de Edirne. Sinán aseguró que era mayor que Santa Sofía en 5 pies la luz y en 14 la altura. La verdad es que mide un poco menos; 31,28 m de luz y 43,40 m de altura la Shazadé, frente a 31,80 m y 55,60 en Santa Sofía.

La solución constructiva de Santa Sofía consiste en una gran cúpula, cuyos empujes se contrarrestan en dirección del eje mayor del edificio por dos semicúpulas de menor radio y altura, que a su vez se apoyan en otras dos más pequeñas que cubren las exedras, mientras en la dirección perpendicular, el contrarresto de los empujes lo efectúan dos arcos muy robustos, que a su vez se apoyan sobre dos tímpanos paralelos (Fig. 5.61).

En las cuatro mezquitas citadas, tres de Sinán y una de Mehmed, se utilizan esos esquemas combinados de diversas maneras.

Desde el punto de vista arquitectónico se cambió el estricto concepto de espacio homogéneo necesario para la mezquita, por el más focalizado del templo cristiano, debido al esquema estructural adoptado, aunque por la altura de la cubierta, y debido a que la cúpula central suele cubrir casi toda la planta, ésto apenas se deja notar en el interior (Figs. 7.14).

El exterior adquiere unas características distintas más relacionadas con la construcción occidental, aunque siempre bajo el especial prisma estético de la zona (Figs. 7.15 y 7.16).

No obstante la temprana solución de la planta clásica, estrictamente ajustada a las indicaciones del Corán sobre el rezo, se van a construir algunas otras muy influidas por las preexistencias arquitectónicas locales, ya que mientras exista una clara referencia hacia la Meca no existe, en principio, ningún inconveniente.

A la vez que la mezquita de Al Aqsa, y formando parte del conjunto, se construye la cúpula de la Roca (Fig. 7.10), lugar sagrado para moros, cristianos y hebreos. Iniciada en 692, es de clara ascendencia bizantina, absolutamente atípica y proyectada según el sistema proporcional sobre un módulo básico estrellado con capiteles de recuperación y tirantes de madera. La planta es un octógono de mampostería irregular, (Fig. 7.11) recubierto de mármol por el exterior. El interior estuvo acabado de mosaicos con visiones del Paraíso y en 1552 fueron recubiertos con cerámica por los turcos. La cúpula de la cubierta es de madera aplacada con ladrillos esmaltados.

En este apartado de las mezquitas es imprescindible referirse a toda una familia de ellas, construidas en el marco del imperio otomano una vez que éste alcanza la estabilidad en el s. XV y XVI, cuya relación estricta con el Corán se produce únicamente en la descripción del espacio, y cuyas apoyaturas culturales y técnicas se encuentran en las raíces bizantinas y en la coincidencia con el momento renacentista en el que se construyen. Son las proyectadas por Sinán -de familia cristiana, fue raptado a los 14 años; después de guerrear como jenízaro hasta los 40, y debido a su experiencia como fortificador, fue nombrado arquitecto y construyó más de 300 mezquitas y madarasas-, y su epígono Mehmed.

Se puede considerar que suponen el otro extremo en el desarrollo de los métodos constructivos asociados a la arquitectura islámica. Con ellas se llega a una etapa similar a la renacentista en la construcción occidental. A partir de ellas el Islam seguirá construyendo, como ocurrirá en Occidente, con los mismos sistemas hasta que se produce la incorporación de las técnicas modernas, perfeccionando, cuando ha podido, esos sistemas, sobre todo en los acabados, o retrocediendo, también acuciado por las circunstancias, hasta un tipo de construcción muy simple, como ha ocurrido durante los últimos siglos en el Norte de África.

Todas estas mezquitas están influidas por Santa Sofía, cuya impresionante realidad no podía dejar de estar presente en el desarrollo de la arquitectura islámica.

Por encargo del sultán Ahmed I, el arquitecto Mehmed construye la Ahmediye (Fig. 7.12), más conocida como la Mezquita Azul, en Estambul (1609-1617). En ella se culmina el proceso de intento de superación de Santa Sofía iniciado casi medio siglo antes por Sinán (1492?, 1588), de cuya obra destacamos las tres grandes mezquitas: la Suleimaniye (1550-1557), la Selimiye (1550-1557) y la Shazadé, (1544-1548), ésta última en Edirne, que siguió siendo la capital del imperio otomano a pesar de la conquista de Constantinopla en 1453 por Ahmed II (Fig. 7.13).

La mayor de todas es la Shazadé de Edirne. Sinán aseguró que era mayor que Santa Sofía en 5 pies la luz y en 14 la altura. La verdad es que mide un poco menos; 31,28 m de luz y 43,40 m de altura la Shazadé, frente a 31,80 m y 55,60 en Santa Sofía.

La solución constructiva de Santa Sofía consiste en una gran cúpula, cuyos empujes se contrarrestan en dirección del eje mayor del edificio por dos semicúpulas de menor radio y altura, que a su vez se apoyan en otras dos más pequeñas que cubren las exedras, mientras en la dirección perpendicular, el contrarresto de los empujes lo efectúan dos arcos muy robustos, que a su vez se apoyan sobre dos tímpanos paralelos (Fig. 5.61).

En las cuatro mezquitas citadas, tres de Sinán y una de Mehmed, se utilizan esos esquemas combinados de diversas maneras.

Desde el punto de vista arquitectónico se cambió el estricto concepto de espacio homogéneo necesario para la mezquita, por el más focalizado del templo cristiano, debido al esquema estructural adoptado, aunque por la altura de la cubierta, y debido a que la cúpula central suele cubrir casi toda la planta, ésto apenas se deja notar en el interior (Figs. 7.14).

El exterior adquiere unas características distintas más relacionadas con la construcción occidental, aunque siempre bajo el especial prisma estético de la zona (Figs. 7.15 y 7.16).



Fig. 7.12 Mezquita azul. Constantinopla

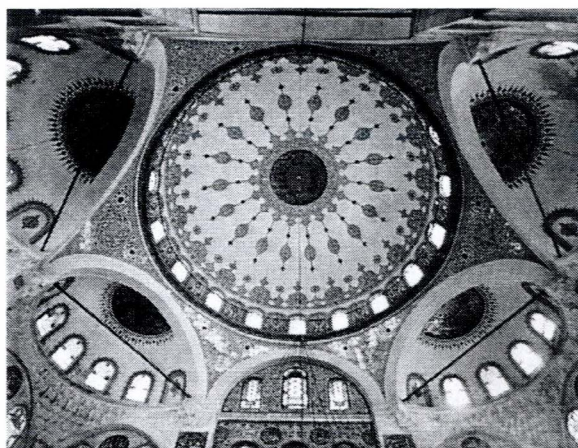


Fig. 7.14 Suleimaniye. Constantinopla

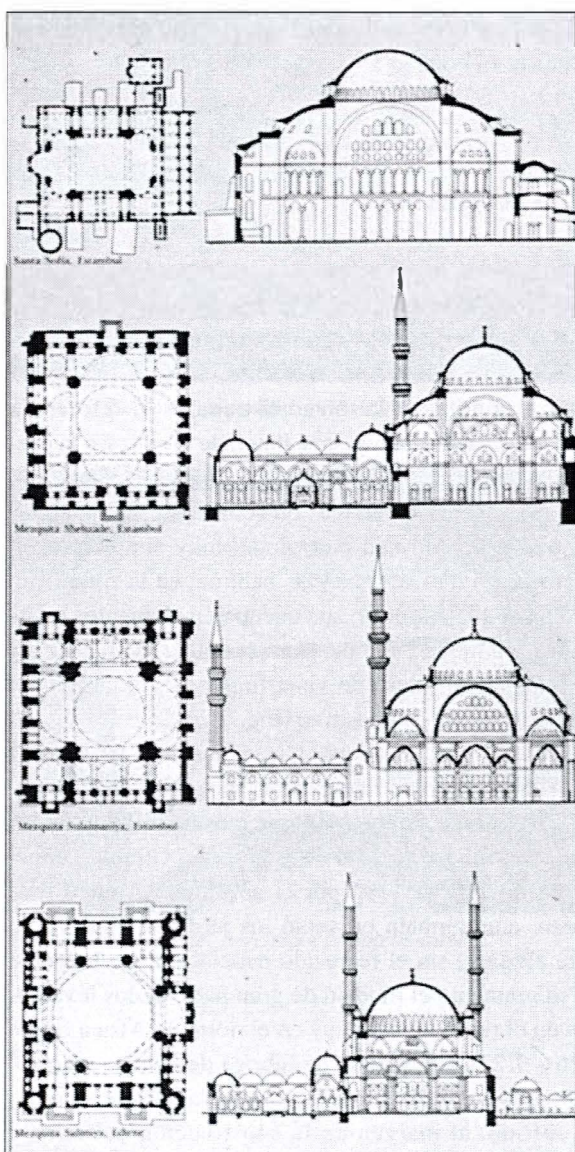


Fig. 7.13 Plantas y secciones comparativas de Santa Sofía con las principales mezquitas de Sinán



Fig. 7.15 Ahmedîye. Constantinopla



Fig. 7.16

La influencia de la próxima, tanto geográfica como culturalmente, arquitectura renacentista es patente en Sinán, al que por muchas razones se le puede considerar perfectamente inmerso en las corrientes culturales de su tiempo (Fig. 7.17). Es indudable la factura clásica, modificada por la sensibilidad otomana, de estos diseños.

El tratamiento dado a los numerosos porches, que a la manera de claustros se desarrollan en casi todas las mezquitas de Sinán, está, por semejanza y sensibilidad, mucho más próximo de los trabajos de los grandes maestros renacentistas Brunelleschi y Alberti, que lo que en ese momento se contruye en zonas geográficas y culturales más próximas a Italia, como España (Figs. 7.18, 7.19 y 7.20). Están contruidos con bóvedas cerámicas de ladrillo plano, dobladas y con el extradós recubierto con placas cerámicas o de zinc.

Estos edificios se contruyen con la técnica local, que en este caso es la gran tradición constructora bizantina, dotada de un nuevo impulso por la pujanza del floreciente imperio turco. Se trabaja la piedra en grandes sillares para los muros y el ladrillo con buen mortero de cal para las bóvedas, recintadas en casi todos los casos con hiladas de dovelas de piedra. El dimensionado de los elementos se debió efectuar, siempre como hipótesis, a partir de la inmediata Santa Sofía, aunque en algunos casos, y es de suponer que debido a la extraordinaria experiencia acumulada por Sinán, se rozan los límites de lo posible. La cúpula de la Suleymanye apenas tiene 60 cm de grueso en el arranque, aunque el tambor está reforzado por unos contrafuertes de perfil muy parecido a los arbotantes.

Como ya hemos indicado, a partir de un momento que se puede situar alrededor de finales del s. XVII, el Islam como fuerza histórica entra en un letargo del que quizás esté saliendo, “con gran aparato de ruido y de furia”, en la actualidad. Durante todos estos siglos no existen ejemplos notables de construcción típicamente islámica que no se puedan clasificar dentro de los sistemas usuales a cada zona geográfica en la que se producen. En la actualidad, desde la supermoderna de Casablanca a las que se están contruyendo tanto en los países árabes como en diversas capitales europeas, se utilizan los sistemas de construcción habituales para los grandes espacios cubiertos.

En la de Casablanca, de más de 20.000 metros cuadrados cubiertos, una gigantesca cubierta móvil puede cerrar o abrir el templo a voluntad, las puertas son de titanio y las lamparas, de cristal veneciano, son regulables según lo requieran las circunstancias. Se han utilizado, enmascarados, los sistemas más complejos para la estructura y el proyecto y control de ejecución, llevado por empresas europeas, ha sido comparable al de la obra más sofisticada que se haya podido contruir en Occidente (Figs. 7.21 y 7.22).

Aunque la estética corresponde a una confusa mezcla de lo hispano-árabe y el estilo internacional, sus proporciones y la majestuosidad del entorno la convierten en una obra notable.

### 7.2.2 Los alminares

La mezquita, lugar de oración, pero no casa de Dios como entre los cristianos, debe completarse con un elemento muy importante, el alminar, lugar elevado desde el cual llama el *muecín* a la oración. La gran diferencia entre el alminar y la torre cristiana es la referencia humana. Desde el alminar se llama de viva voz a la oración, mientras que desde la torre se tañen las campanas. Esta diferencia es algo más que conceptual. El alminar tiene al principio una morfología muy simple que se contruye con el sistema más habitual en la zona (Fig. 7.23), sin que entren en su concepción elementos especiales, y aunque en general no se integran en la mezquita desde el punto de vista funcional, sí participan como elemento compositivo (Fig. 7.24).

El primero conocido es el de la mezquita de Medina, del 710. El más famoso y el que más ha influido en las versiones modernas es el de Sevilla -La Giralda-, contruido de 1176 a 1196 por el arquitecto Ahmed-Ibn-Basso, que también proyectó los jardines (Fig. 7.25). Este alminar, sin el recrecido neoclásico, también fue en su momento el modelo de gran parte de los levantados en el reino granadino y en el norte de Africa (Figs. 7.26 y 7.27). Contruido de fábrica de ladrillo macizo, se accede a la parte superior por una rampa empedrada; ha sufrido, al margen de la construcción del remate neoclásico, algunas modificaciones menores en su morfología externa.

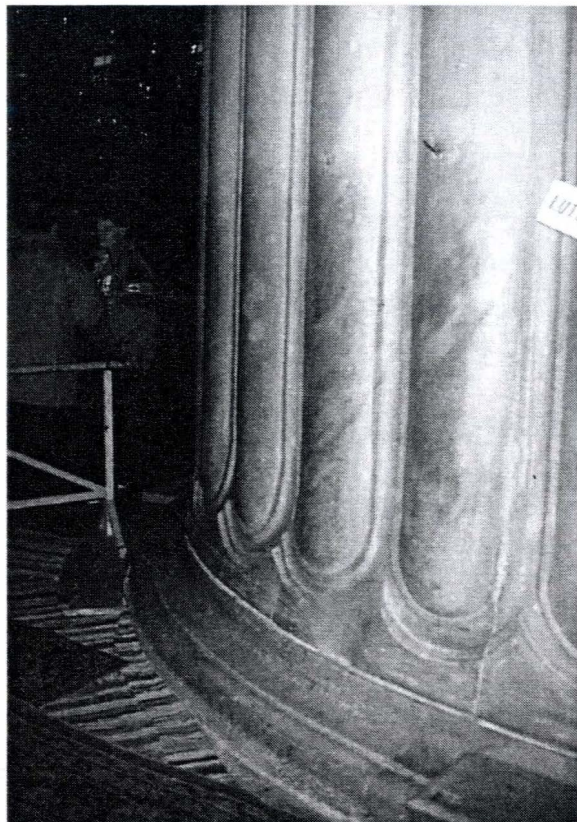


Fig. 7.17 Columna de la Mezquita Azul

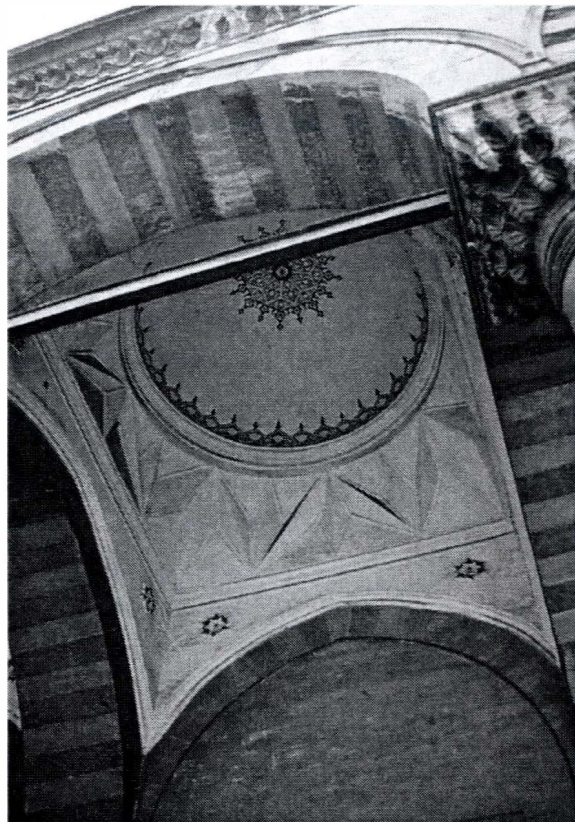


Fig. 7.18 Detalle del porche de la Mezquita Azul

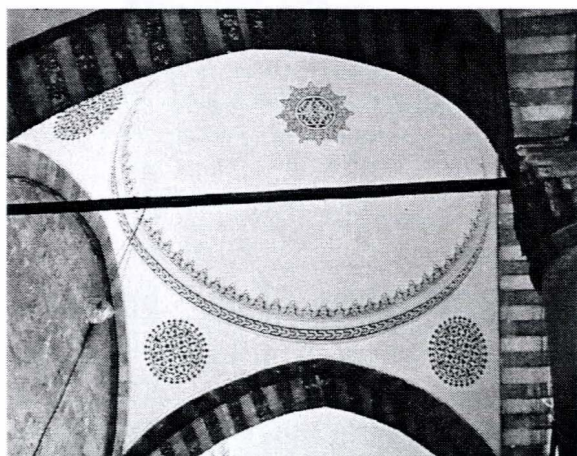


Fig. 7.19 Detalle del porche de la Suleimaniyé



Fig. 7.20 Porche del Hospital de los Inocentes. Florencia.

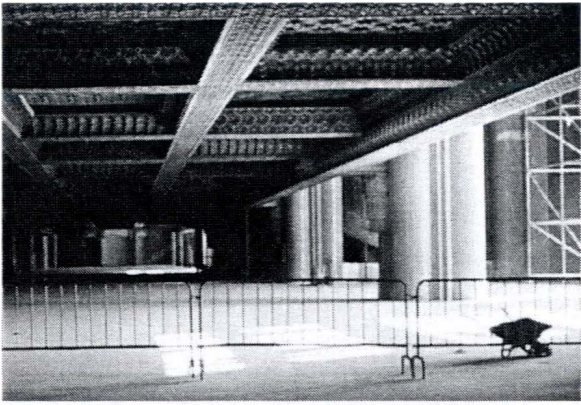


Fig. 7.22 Zona de rezo debajo de la zona de las mujeres de la Gran Mezquita de Casablanca



Fig. 7.23 Alminar de una aldea integrista argelina

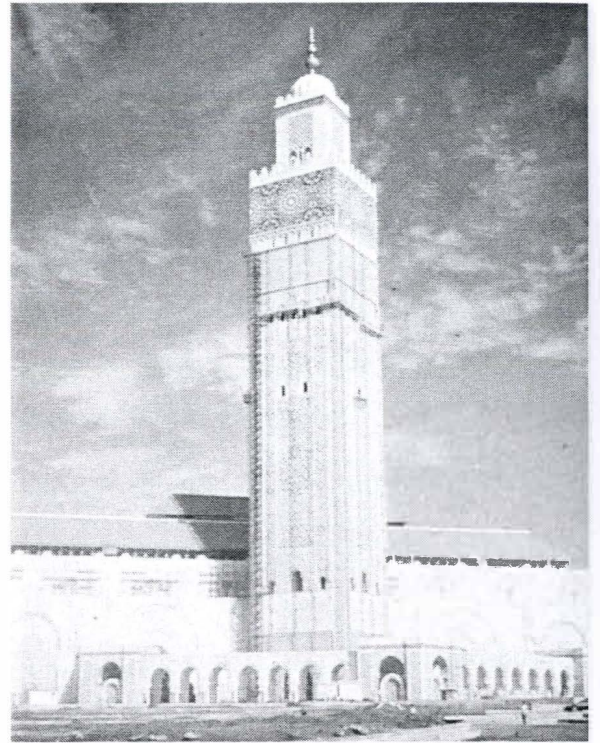


Fig. 7.21 Alminar de la Gran Mezquita de Casablanca

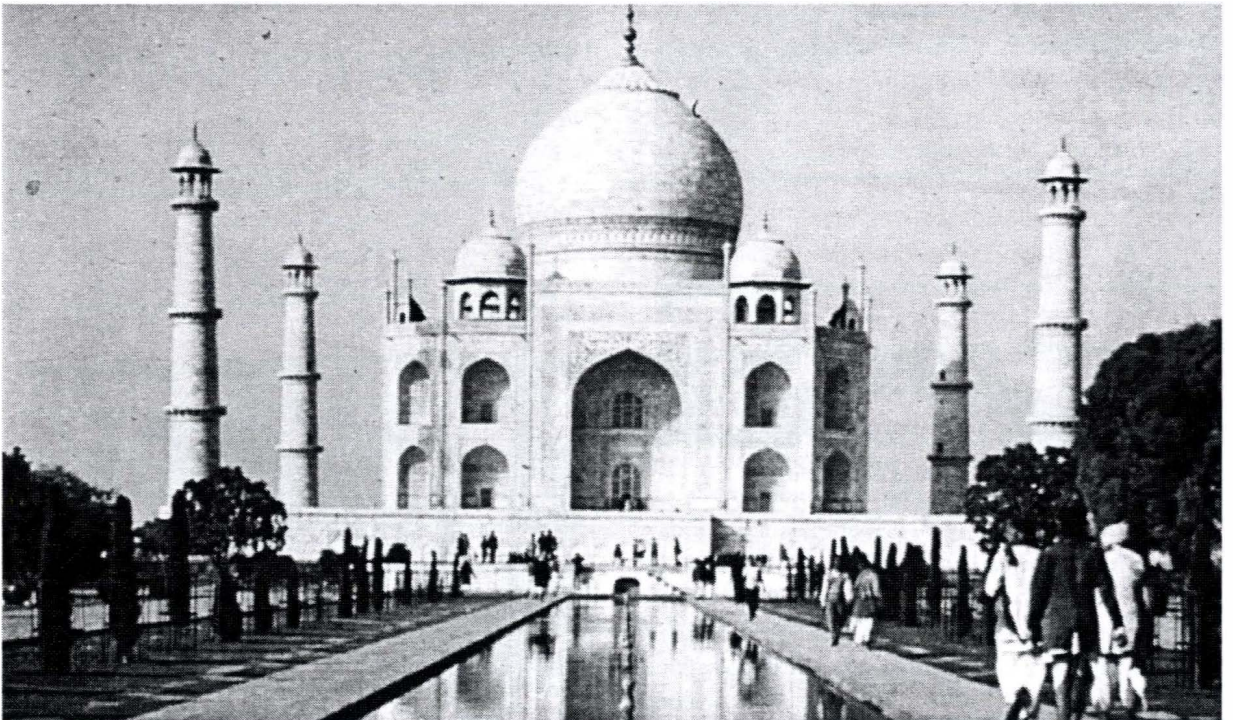


Fig. 7.24 Mausoleo Taj Mahal. Agra



Fig. 7.25 Giralda de Sevilla. Alminar, modificado, de la mezquita

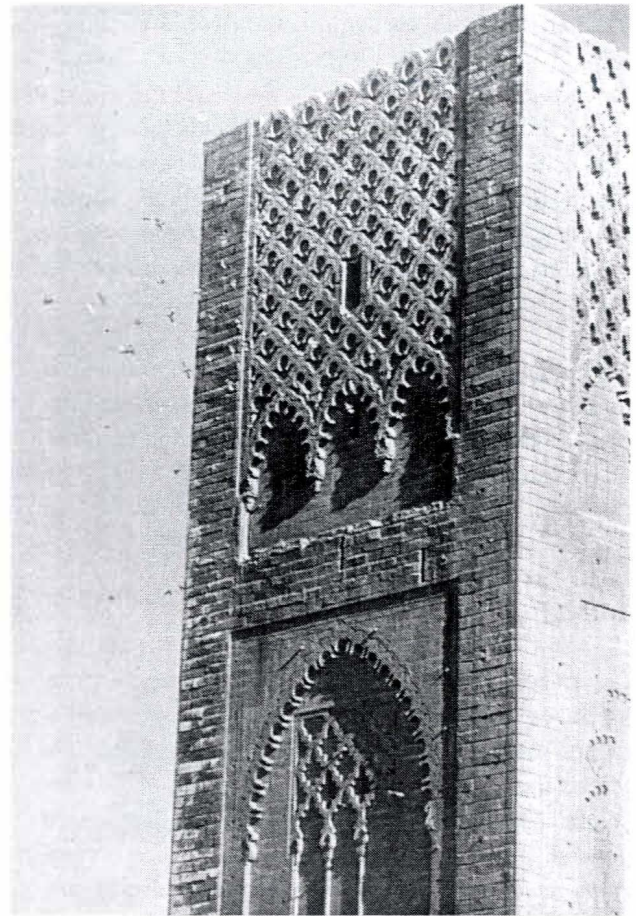


Fig. 7.26 Alminar de la mezquita de Hasan. Rabat

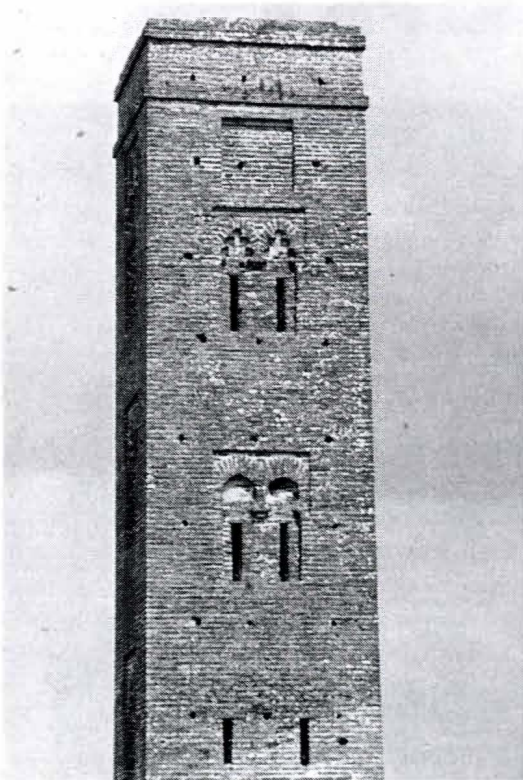


Fig. 7.27 Alminar de la mezquita de Cuatrohabitán. Sevilla

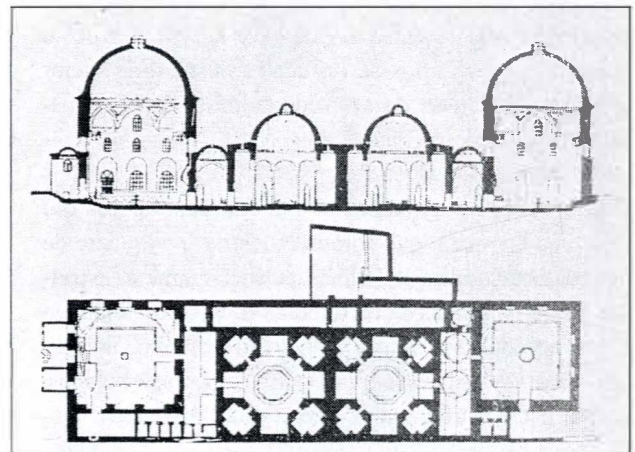


Fig. 7.28 Baños de Hasekí ürem de Sinán. Constantinopla

### 7.2.3 Otras tipologías arquitectónicas islámicas

Parece que la característica más destacada del repertorio proyectual islámico es la multifuncionalidad de las plantas. En la arquitectura islámica existen muy pocas formas que no se puedan adaptar a una gran variedad de fines, y las estructuras sirven indistintamente para palacios, madrasas, caravanserais, baños o moradas particulares.

No obstante la arquitectura islámica utiliza, como tipología básica, unas estructuras que, en diversos materiales, se han mantenido más rígidamente que en Occidente durante trece siglos.

#### 7.2.3.1 Baños

Los árabes reciben los baños como una herencia romana través de Bizancio. Debido a algunas recomendaciones sobre la higiene contenidas en el Corán y a la idiosincrasia de los pueblos islámicos, el baño se consolida como una costumbre fundamental. Cumplen, en general, la distribución en las tres áreas clásicas: *caldarium*, *tepidarium* y *frigidarium*. Hay que advertir que, con excesiva frecuencia, cuando no se ha sabido como clasificar algún edificio, se ha recurrido a la denominación genérica de "baños árabes", por lo que algunos no se pueden tomar como modelos. Por la sencillez de su construcción, en ellos se encuentra desnuda la mejor técnica, sobre todo de abovedamientos, de los constructores islámicos (Figs. 7.28 y 7.29).

Como ejemplos notables se pueden señalar los del Darro en Granada, que son un muestrario exquisito de bóvedas bizantinas de ladrillo perfectamente construidas sobre columnas de recuperación, y los de Sinán en Constantinopla, de fábrica de ladrillo recibida con mortero de cal y aplacada en mármoles grises y blancos, que respetan estrictamente la distribución básica romana.

De todas formas, aún está por establecer definitivamente la tipología exacta de los llamados "baños árabes", de la que pudiera deducirse las técnicas de funcionamiento de este tipo de instalaciones, aunque no será tarea fácil, debido a la capacidad de los pueblos

islámicos para aprovechar construcciones locales que, como en este caso, no sigan recomendaciones de tipo litúrgico.

#### 7.2.3.2 El Iwán

De origen sasánida, *diwán* o *iwán* es el lugar en el que el monarca recibe y en el que puede o no sentar a su lado al visitante. En todo caso es una sala, que puede tener un lado totalmente abierto, lo que acaba siendo una norma de gran importancia, ya que permite situarlo al exterior de palacios y mezquitas (Fig. 7.30). Para su construcción se "inventan" sistemas muy imaginativos a base de cúpulas y semicúpulas de cerámica reforzadas por nervios (Figs. 7.31).

En algunas iglesias situadas en zonas de frontera con la España islámica aparecen portaladas góticas que reciben un tratamiento parecido, muy abiertas hacia el exterior y con el acceso al interior a través de huecos mucho más pequeños.

#### 7.2.3.3 Madarasas

Son una especie de seminarios islámicos casi siempre ligados a mezquitas importantes. Los sistemas constructivos son los habituales en cada zona y ni siquiera se puede suponer una tipología arquitectónica definida.

#### 7.2.3.4 Caravanserais

Como una superposición de lo árabe sobre lo islámico, o viceversa, aparece, o se asimila, una tipología común en el área de las caravanas, los caravanserais, cuya construcción sólo pretende resolver la función caritativa de acogida, adaptando a veces curiosas similitudes con otro tipo de edificios. El del Sultán en Kaisery (Fig. 7.32) es algo más que similar a una iglesia bizantina construida en piedra, mientras que el de Sartechem tiene todos los ingredientes de la mejor construcción sasánida (Fig. 7.33). Los mejores y más

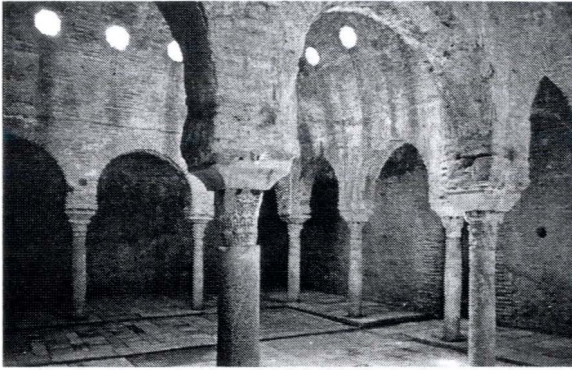


Fig.7.29 Sala caliente de los baños del Darro. Granada

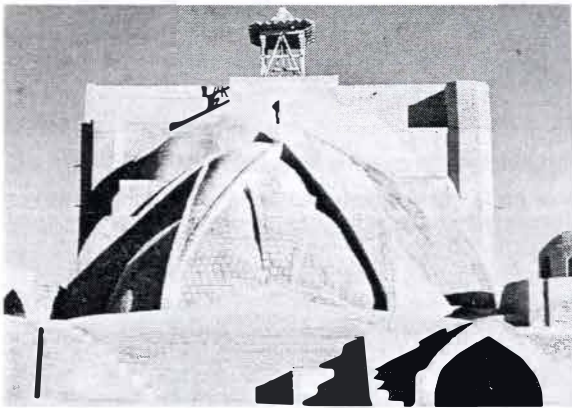


Fig.7.31

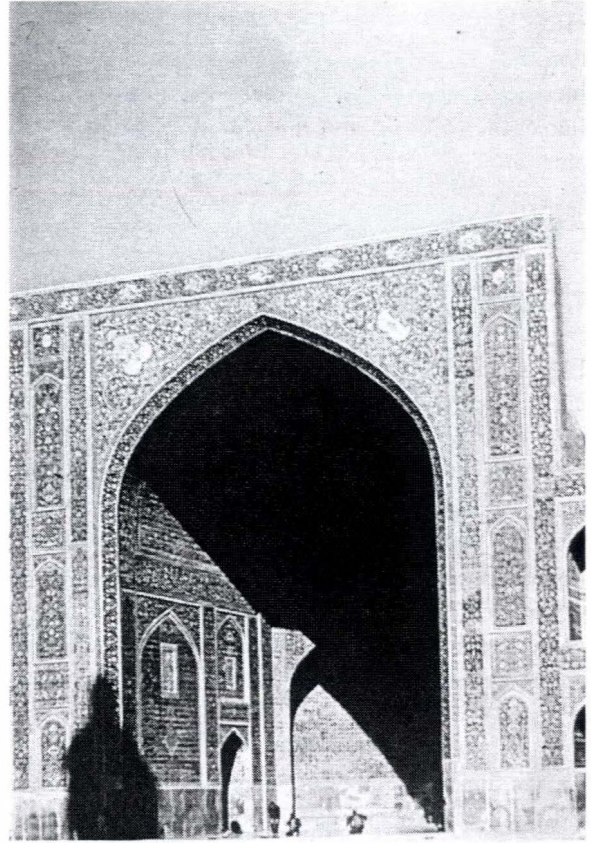


Fig. 7.30 Masjid-i Shah. Iwán construido en el 1611. Isfahan



Fig. 7.32 Caravanserai del Sultán en Kayseri

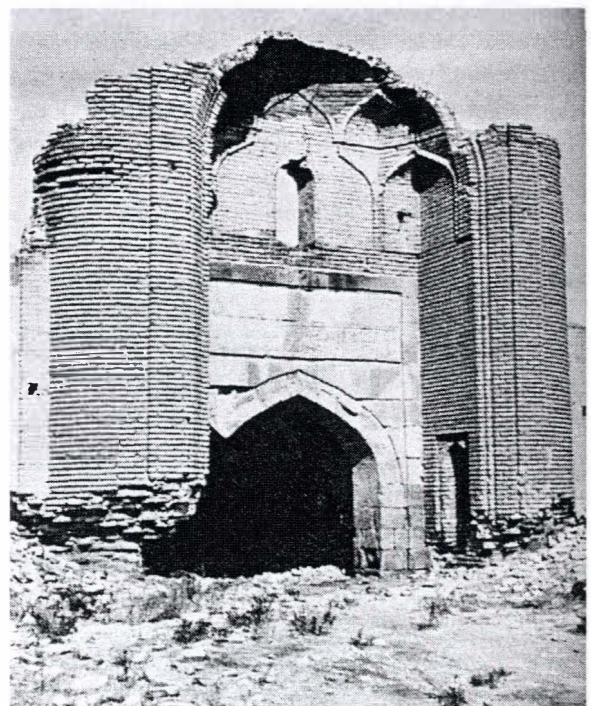


Fig. 7.33 Iwán del caravanserai de Sartchem

eficaces ejemplos se encuentran en la frontera siria, donde de verdad responde a unas necesidades ineludibles de supervivencia. Normalmente suelen desarrollarse alrededor de un gran patio con dependencias abiertas.

### 7.2.3.5 Otros edificios

El grado de organización alcanzado en cada circunstancia concreta por los pueblos de obediencia islámica se refleja en todo tipo de construcciones necesarias y útiles a la comunidad. Se construyen murallas, algibes, baños, tumbas, mausoleos, etc. Se puede entender que todo este repertorio es, de alguna forma, una herencia romana recogida e interpretada *sui generis* directamente de Bizancio. Sobre los sistemas habituales aportan como elemento homogeneizador una cierta estética que se refleja en el tratamiento dado a algunos materiales (Fig. 7.34).

Existen muchos ejemplos de tumbas jardín y mausoleos, de los que quizás el más notable sea el Taj Mahal construido en el 1628, en Agra. Es la única construcción islámica en la que es posible identificar un elemento focal, señalado por una cúpula. Exquisitamente aplacado de mármol blanco sobre fábrica de mampostería recibida con mortero de cal, recoge, tanto en la técnica del taraceado como en la iconografía floral y geométrica, la mejor tradición renacentista con motivos de clara ascendencia clásica. El despiece del aplacado de la cúpula es un pseudoisodomo, con las piezas trabajadas siguiendo la curva del extradós, mientras que el de los alminares es claramente isodomo.

La fachada sur se abre a una explanada en cuyo extremo aparece una puerta monumental construida en piedra de color rojizo. Es el mayor intento de crear un escenario exterior de la construcción arquitectónica islámica a lo largo de los siglos. Las duras condiciones actuales del entorno, lindante con un poblado misérrimo, probablemente las mismas en las que se contruyó en su día el mausoleo, y la escasez de materiales en la zona, suponen un importante trabajo de transporte y coordinación de las obras en un lugar elegido por sus indudables valores paisajísticos. El resultado permite suponer la importación de proyectistas y mano de obra

de Siria, ya que se aleja bastante de lo habitual en la zona.

## 7.3 Condicionamientos religiosos en la decoración islámica

Al margen de las tipologías específicas existen otros condicionantes derivados de los preceptos coránicos. Desde el punto de vista del desarrollo artístico en general, y de decorativo y arquitectónico en particular, es muy importante la prohibición de representaciones figurativas. Esta prohibición no es explícita, pero existen algunas razones de índole interpretativa para que se llevara a la práctica.

El origen de esa negativa parece que está una *shura* del Corán en la que Mahoma recomienda: "no quieras ser como Alá, que es el único que puede crear", cita que hay que entender como una traducción no excesivamente exacta, aunque bastante ajustada. Existen otras recomendaciones distribuidas en el Corán que abundan en esta idea, aunque no tan claras. En todo caso es una costumbre con valor de ley.

Esta situación supuso el nacimiento y desarrollo de unos tipos ornamentales según cuatro temáticas básicas: floral, geométrica, (en estos desarrollos lineales se utilizan las complicaciones geométricas a que da origen el álgebra más primaria), arabesco y caligráfica, en este caso basada en la complicación de la línea de la escritura árabe (Figs. 7.35 y 7.36).

Este esquema ornamental se transpone a todos los materiales: desde los bajorrelieves que se consiguen rehundiendo los ladrillos en las fábricas (Fig. 7.37), a la madera, la escayola u otros materiales (Fig. 7.38).

La sujeción de los proyectos a estos modelos es inevitable, y su capacidad expresiva logra integrarse en otros sistemas constructivos modernos. En la Gran Mezquita de Casablanca, acabada en junio de 1994, los paneles decorativos se han fabricado con piezas recortadas manualmente a partir de azulejos. Montadas en taller en placas de 2 cm de grueso, de mortero de cemento Portland, se aplacan en obra recibidas también con mortero (Figs. 7.39 y 7.40).

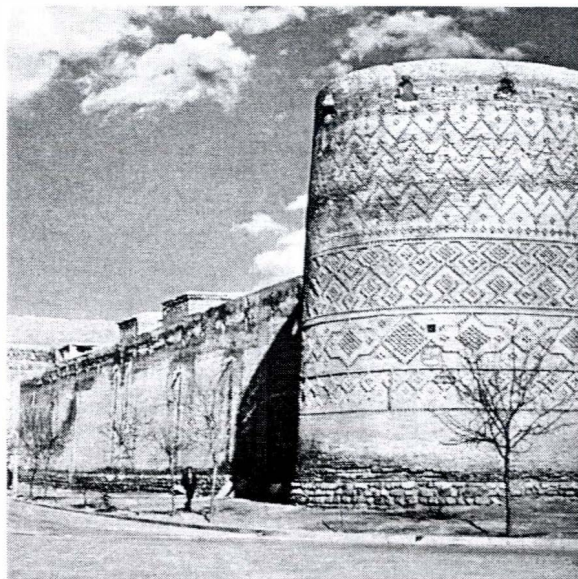


Fig. 7.34 Murallas de defensa con aparejos decorativos

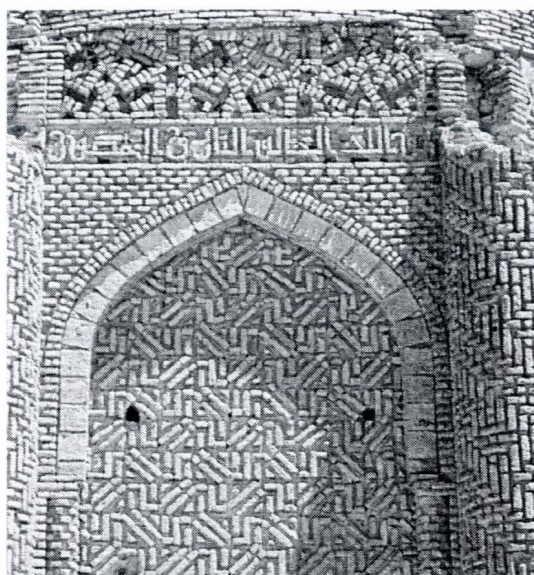


Fig. 7.37 Aparejo decorativo en ladrillo con arabesco en el friso. Qarraqan

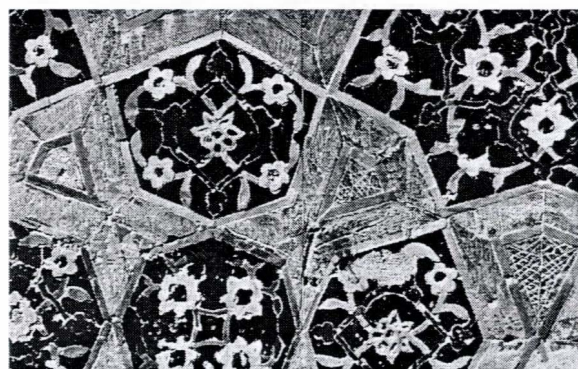


Fig. 7.36 Dibujos de base floral

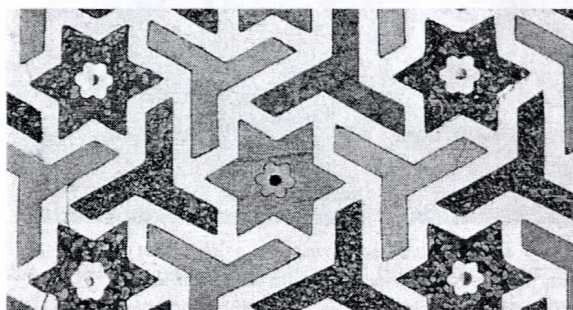


Fig. 7.38 Dibujos decorativos en taracea de mármol

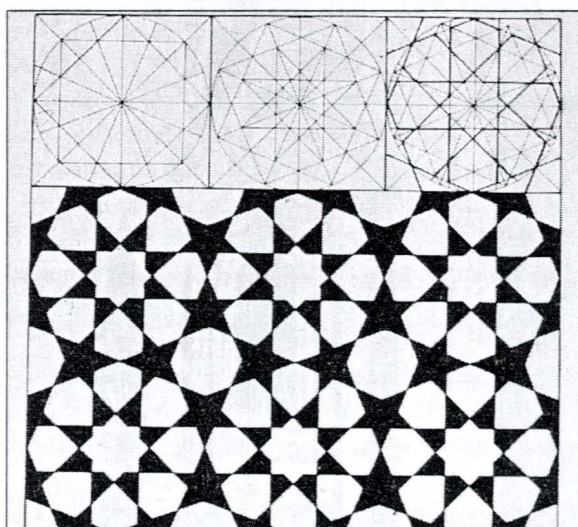


Fig. 7.35 Dibujos de base geométrica

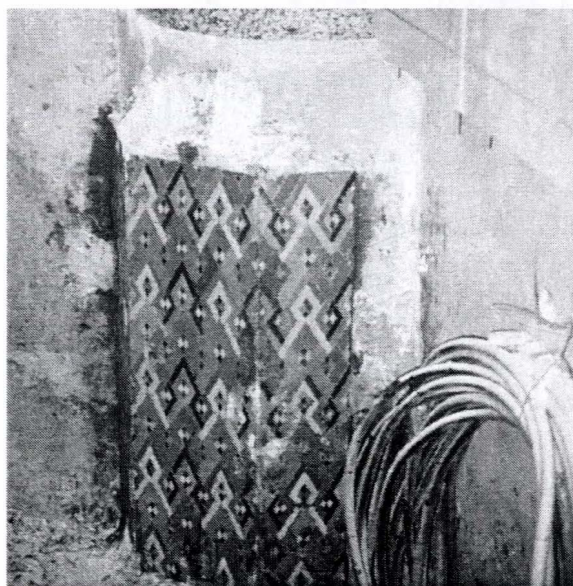


Fig. 7.39 Aplacado de panel con taracea de azulejos en la Gran Mezquita de Casablanca



Fig. 7.40 Aplacado de tarcea de azulejos en el borde de una fuente en la Gran Mezquita de Casablanca

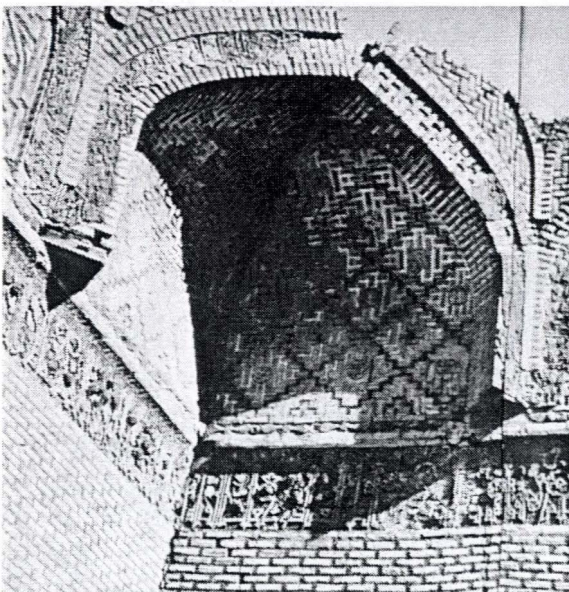


Fig.7.42 Aparejos decorativos de ladrillo en trompa de esquina

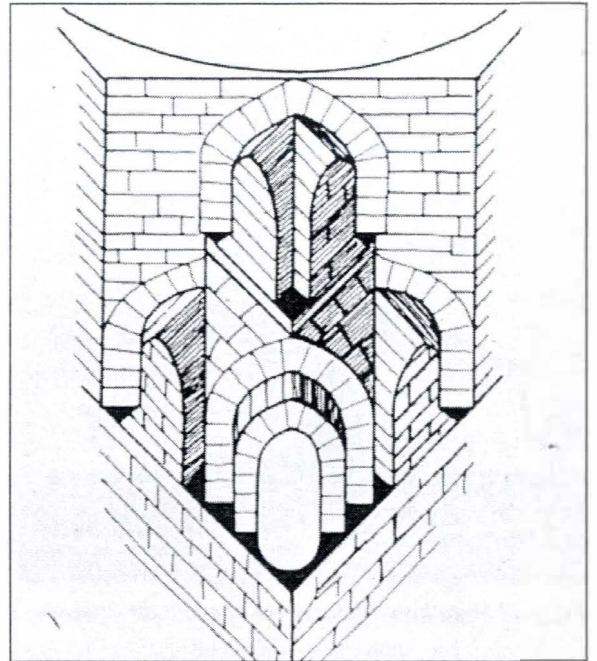


Fig. 7.41 Mocárabes sobre trompa de esquina

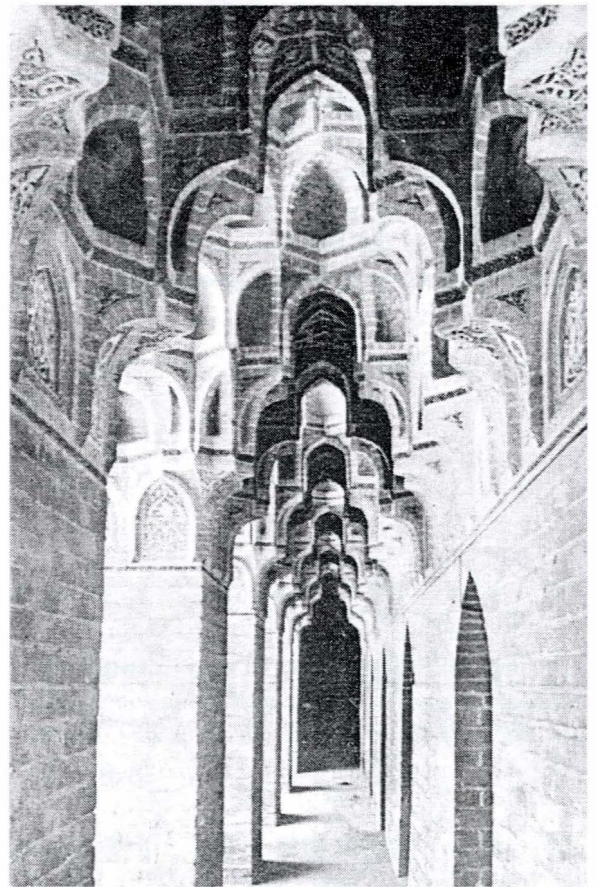


Fig.7.43 Pasillo del patio de Qal'a. Bagdad

La limitación de los recursos formales desarrolla una cultura estética muy concreta, que acaba imponiéndose en el proceso de barroquización inevitable en todos los estilos, y mediante complicaciones casi siempre lineales se tiende a saturar el espacio.

También influye en los sistemas constructivos que, llevando al extremo la tradición bizantina de aparejos singulares, crean versiones muy complicadas con intenciones puramente decorativas. Lo que han sido unos aparejos dificultosamente desarrollados para resolver problemas muy concretos de ejecución, se convierten en sugerencias para puras complicaciones formales de imposible justificación constructiva (Figs. 7.41, 7.42 y 7.43). Las posibilidades decorativas se llevan al límite de lo posible y aparecen formas de una complicación extraordinaria (Figs. 7.44 y 7.45). Casi con el mismo repertorio que han usado los constructores bizantinos se generan aparejos inverosímiles que debieron obligar a sus autores a unas imaginativas técnicas de replanteo, sobre la base de una gran capacidad inventiva y una concepción espacial realmente desbordante.

Pocos elementos decorativos se originan en una necesidad constructiva a la manera en que lo hacen algunos elementos griegos, que prácticamente sólo son eso. Los mocárabes y los lazos son pura geometría.

Desde el punto de vista de la génesis de las formas, no se produce una simetría a la manera occidental, sino un arracimado según esquemas más o menos semejantes a los motivos originales.

Esta evolución hacia la complejidad no está sujeta a una cronología exacta, y depende de la pretensión decorativa de sus autores. Afecta a todos los elementos, desde las nerviaciones de las cúpulas (Figs. 7.46, 7.47 y 7.48), a las cúpulas lobuladas (Figs. 7.49, 7.50), las trompas (Fig. 7.51), o cualquier otra forma que pueda ser imaginada (Figs. 7.52 y 7.53).

Como ocurre en las últimas etapas del gótico, los nervios y los demás elementos constructivos acaban siendo simulados, y se superponen a los elementos resistentes por medio de conectores (Figs. 7.54 y 7.55). En el Patio del Yeso del Alcázar de Sevilla, la estructura es adintelada y de ella cuelgan los arcos simulados en

yeso (Fig. 7.56), y algunas arcuaciones imbricadas de la Mezquita de Córdoba sólo se justifican porque, afortunadamente, no trabajan como arcos (Fig. 7.57) sino que cuelgan del superior, más regular, aunque el aparejo esté cuidadosamente despiezado.

#### 7.4 Preceptos coránicos de consecuencias urbanísticas

La actividad urbanística como tal no aparece especialmente referida en el Corán, ni ha sido preocupación de las sociedades islámicas hasta hace muy pocos años, por lo que, excepto algunos ejemplos aislados, como las explanadas ya referidas del Taj Majal, carece de antecedentes. La municipalidad de Marrakech se organizó, desde cero, hace unos quince años, y la urbanización de los accesos a la Gran Mezquita de Casablanca tiene más de gran avenida barroca que de ninguna otra tipología próxima. Al margen de los servicios públicos mínimos, que dependen en general del grado de evolución de la comunidad, el Islam apenas ha generado conceptos urbanísticos que tiendan a organizar el espacio común.

Pero de su idiosincrasia se derivan dos características unificadoras inmediatas: por una parte la desproporción de tratamiento entre el espacio interior, en el que todo lujo es posible, y el exterior, que se trabaja muy raramente; y por otra el que, con excepción de las tumbas, los mausoleos y otras estructuras cupuladas similares, los edificios islámicos rara vez exhiben alguna característica que denote su axialidad o jerarquice los volúmenes desde el exterior. Si a los edificios les quitáramos la decoración quedarían unas masas informes en las que ni siquiera los huecos son valorados estéticamente, excepto en algún caso muy específico como la mezquita de Córdoba. Esta forma de trabajar evidencia la falta de planteamientos previos, reduciendo la intención decorativa al llenado de las superficies de acuerdo con los estrictos dictados de la tradición.

De los preceptos coránicos, el que quizás más ha contribuido a crear una fisonomía propia del paisaje urbano cotidiano islámico, por lo menos en el área de influencia mediterránea y próximo oriental, es el que

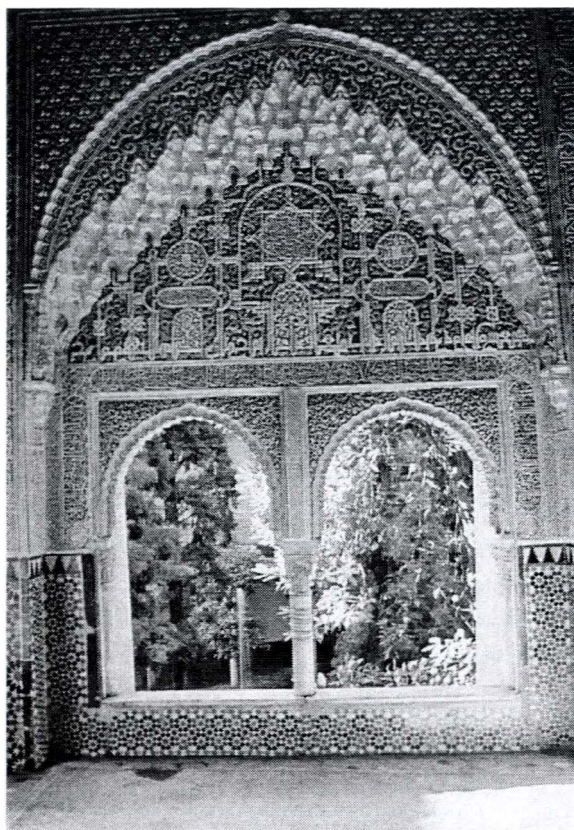


Fig. 7.44 Ventana de la sala de Las Dos Hermanas. Alhambra de Granada

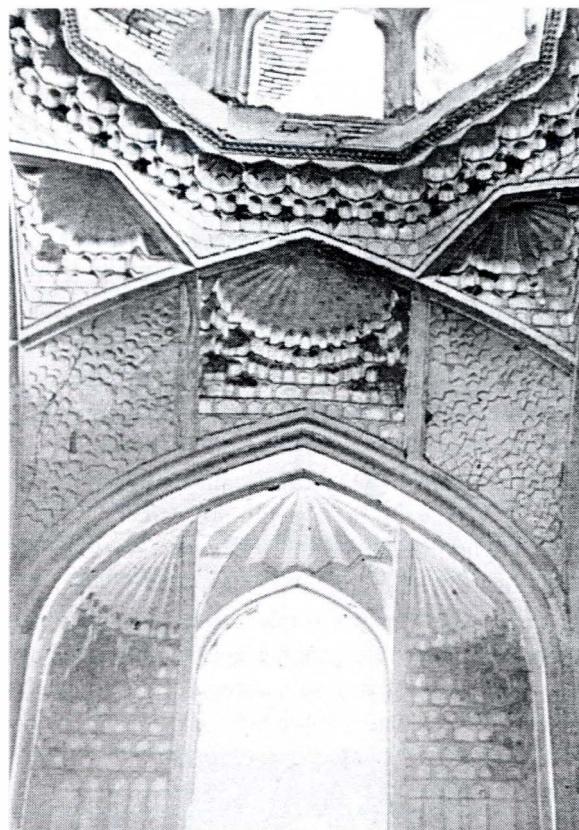


Fig. 7.45 Trompas de aparejo de ladrillos aplastados y plastrones de yeso. Madarasa de Giyatia. Khargird

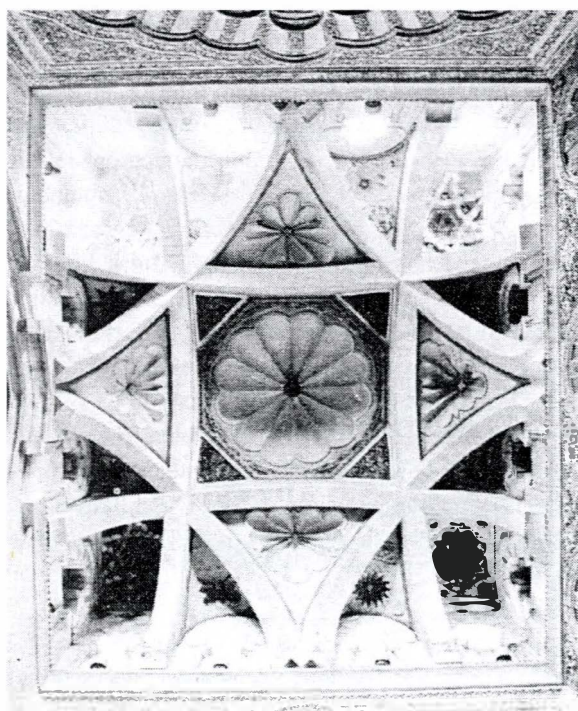


Fig. 7.46 Cúpula nervada de la linterna de Al-Hakem II. Mezquita de Córdoba

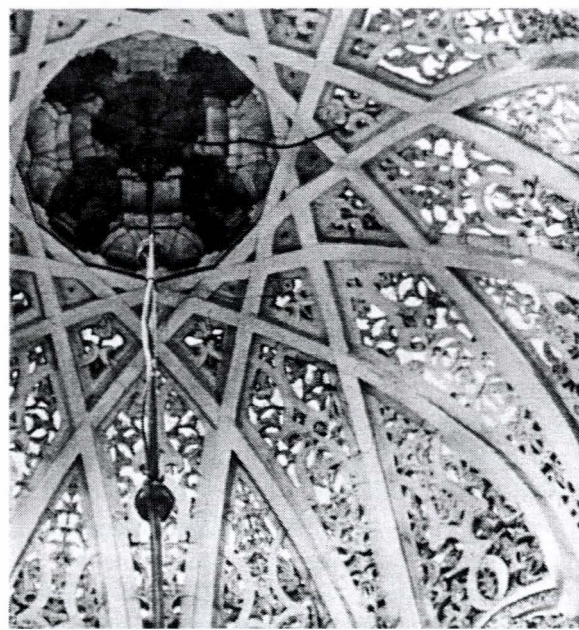


Fig. 7.47 Cúpula nervada del mirhab de la Gran Mezquita de Tlemcen

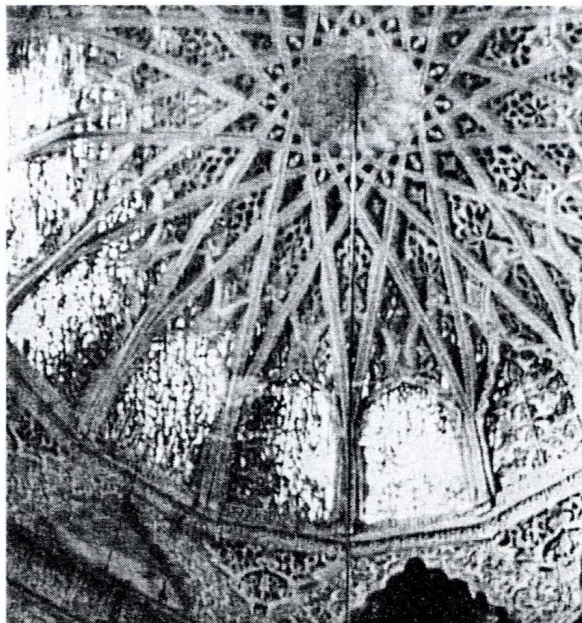


Fig. 7.48 Cúpula lobulada del mirhab de la Gran Mezquita de Taza

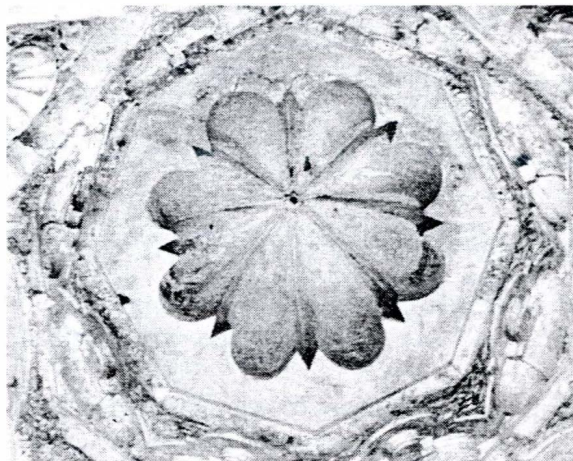


Fig. 7.49 Cúpula lobulada de Quba Baádin. Marrakech

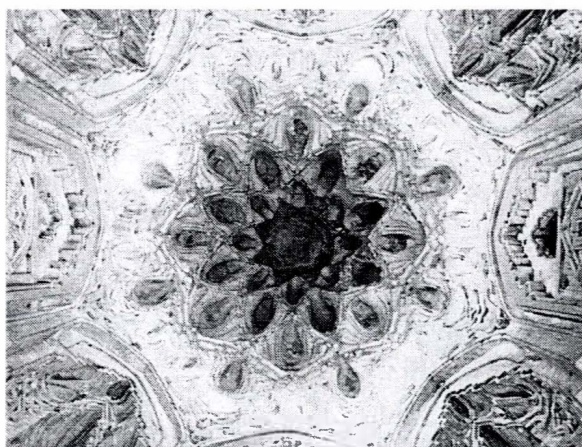


Fig. 7.50 Cúpula lobulada en Iman Durr. Samarra

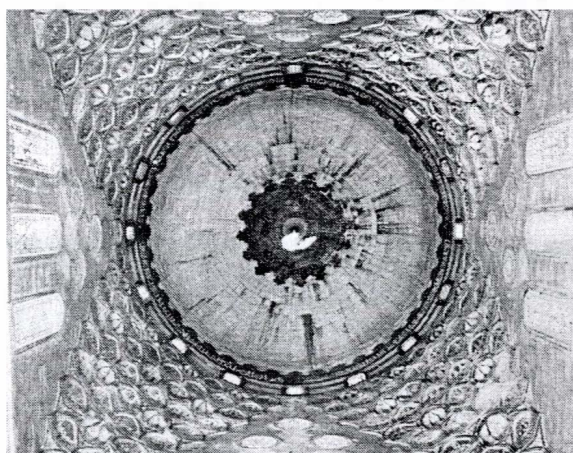


Fig. 7.51 Pechinas con macarabes del mausoleo de Qa'it Bey. El Cairo

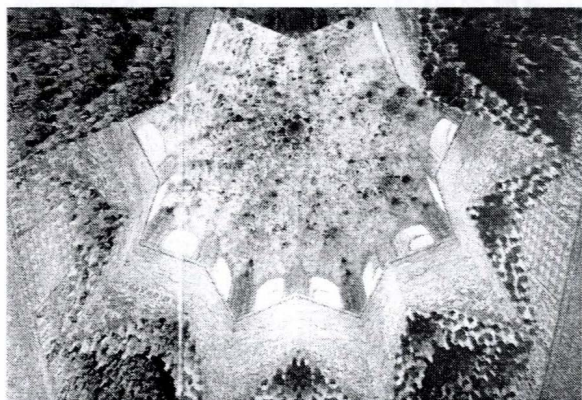


Fig. 7.52 Sala de los Abencerrajes. Alhambra de Granada

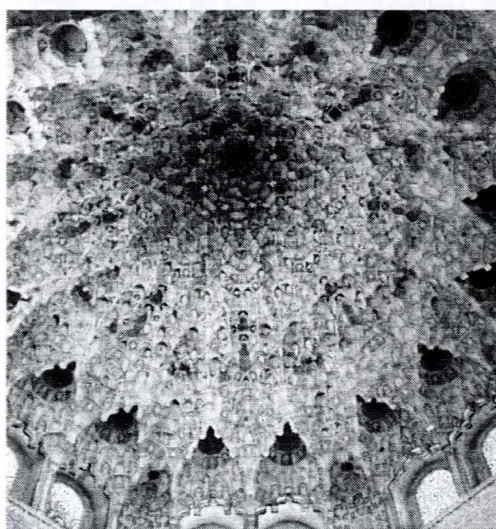


Fig. 7.53 Cúpula de la sala de las Dos Hermanas. Granada

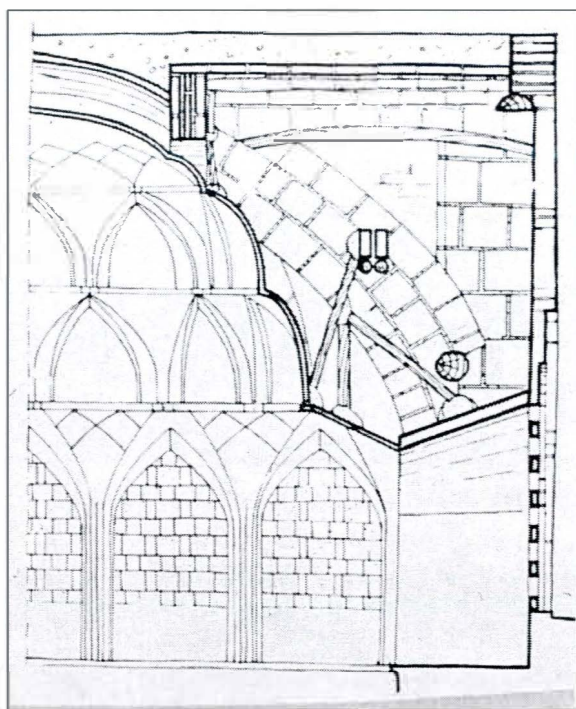


Fig.7.54 Esquema de recibido de mocárabes de yeso

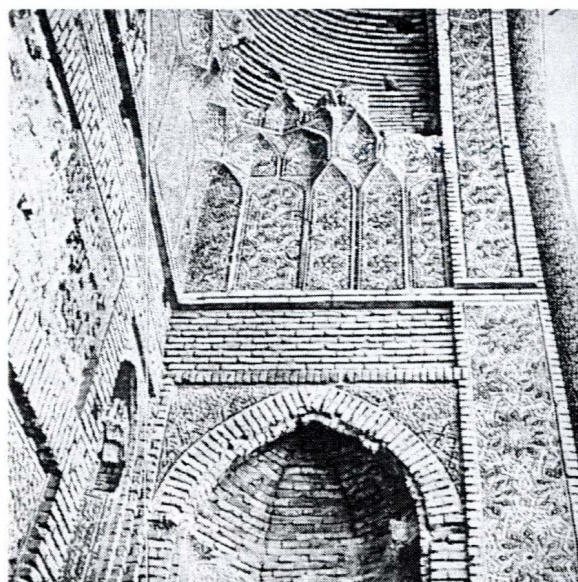


Fig.7.55 Mocárabes de yeso y azulejo, desprendidos de la semi cúpula circular de soporte en un iwán en Sartchem

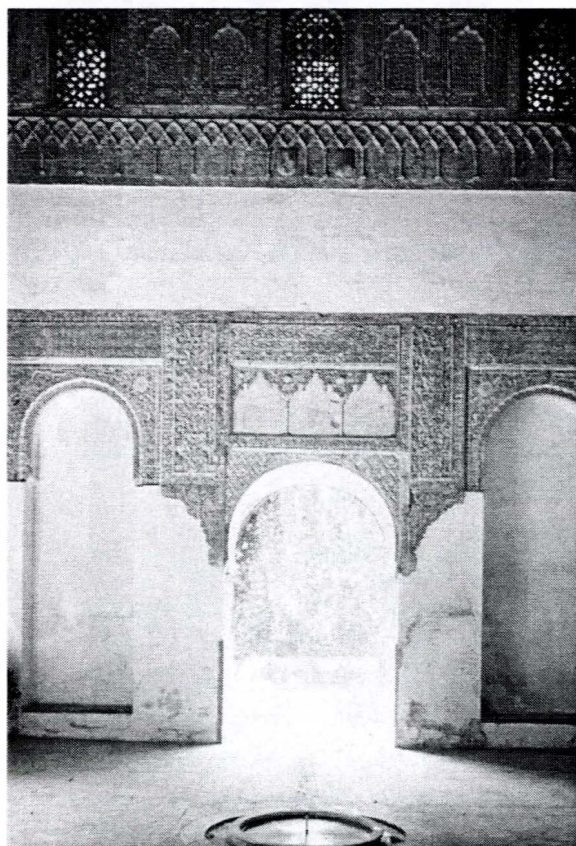


Fig. 7.56 Arco simulado en el Patio del Yeso del Alcázar de Sevilla

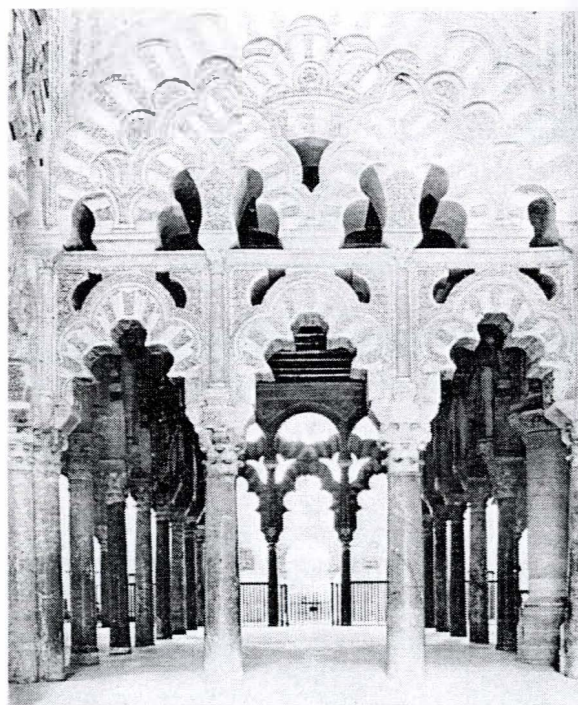


Fig. 7.57 Arcos imbricados. Mezquita de Córdoba

concede derechos al propietario de una casa sobre los terrenos inmediatamente próximos, ya que, según como se interprete, permite construir en la vía pública. Gran parte del trabajo de los gobernantes locales es el restablecer la paz en los litigios provocados por este precepto.

Ello obliga a hacer transitables las cubiertas mediante tejados planos, el dádalo de terrazas de los cuentos de las mil y una noches, curiosamente para una religión que tanto protege la intimidad del hogar y tan celosa se muestra de la privacidad de la vida familiar.

El hecho de que el material más comúnmente empleado en esas áreas geográficas sea el barro, tanto cocido como sin cocer, por ser el único material existente en abundancia, ha desarrollado una serie de técnicas y métodos singulares y específicos en la construcción de los tejados planos, imprescindibles para la permeabilidad de una trama urbana tan densa.

Sobre un entablado instalado sobre las vigas o arcos de adobes, se coloca una capa de mortero de cal mezclado con cenizas de hornos comunes, después otra de ladrillos a sardinel y por último una de cal apagada, o de yeso con cenizas. Los territorios en los que se desarrolla este tipo de cubiertas suelen ser zonas de baja pluviometría, por lo que no presentan excesivas dificultades para su mantenimiento, y depende de la calidad de las cenizas el que se produzcan, espontáneamente, reacciones que vuelvan hidráulico el mortero utilizado. En todo caso es factible, si se elige oportunamente la época para hacerlo, reforzar la impermeabilidad de la cubierta pintándola con cal una o dos veces al año. Muchas medinas de la cuenca mediterránea presentan un excelente y abigarrado aspecto con este sistema y estas precauciones de mantenimiento. Cuando se cubren con bóvedas, sobre ellas se construyen tabiquillos y se enrasan al nivel del paso.

En algunas zonas se colocan troncos de palmera yuxtapuestos que a veces se recubren por la parte inferior con barro, mortero de cal o yeso, sujetos con cañas o cualquier otra fibra vegetal.

En algunas zonas del sur de Túnez y Argelia se recurre a unas bóvedas de ripios, recibidas con mortero de cal, muy compactas y cuyo equilibrio se deja al albur del

encaje irregular de las piezas. Los pueblos construidos de esta forma, hoy en proceso de desertización, por emigración a las ciudades, están sufriendo un deterioro lamentable, -muy pronto apenas quedarán ejemplos-, ya que este sistema es perfectamente original.

## 7.5 Conceptos coránicos de influencia en la industria de la construcción

No parece probable que existiera en el entorno de Mahoma una tradición constructora digna de tal nombre. Lo más seguro es que los ejércitos tribales que merodeaban por Arabia, y que fueron los primeros receptores de la doctrina coránica, dispusieran de tiendas de campaña tejidas con pelo de camello o de cabra como vivienda cotidiana. Este hecho pudo influir en que se perciba un cierto desprecio en las ideas básicas sobre la casa como lugar de habitación estable que se desarrolla sobre la tradición islámica, que se mantiene aún en algunas zonas y en algunas comunidades, que sólo conciben la vida digna como nómadas.

Las carencias provocadas por esta situación se manifiestan desde el principio. Cuando tienen que reconstruir la Caaba, lugar de peregrinación de confuso significado, en fecha anterior a Mahoma, en el 605, tienen que recurrir a Baqum, "maestro albañil y carpintero de ascendencia etíope", y después de Mahoma, en el 670, el gobernador Ziyad ibn Abihi recurre a los constructores indígenas para reconstruir la mezquita de Kufa, "porque ellos se declararon incapaces de expresar lo que necesitaban". No quedan rastros de esta construcción más que alguna que otra referencia documental.

Pero a partir del momento en que someten al imperio sasánida, de solidísima tradición constructora -lo que sucede casi inmediatamente cuando el Islam se organiza como fuerza evangelizadora, se expande por un área geográfica inmensa, del Eufrates a Túnez en muy pocos años, y conquista en Asia tierras más allá de donde llegaron romanos y bizantinos-, y se establece contacto regular con las fronteras de este imperio, asimilan unas maneras de trabajar muy ricas y de gran versatilidad, que van a constituir el germen de la mejor aportación islámica en el campo de la construcción

arquitectónica, aunque siempre tamizadas por su especial manera de entender el proceso.

Aún quedaban en esas zonas restos de la romanización, que había sido muy intensa. Palmira y Baalbek son ejemplos impresionantes que sin duda también debieron dejar su impronta en la manera de “ver” la arquitectura de los primeros constructores islámicos, de la misma forma que otras ruinas romanas influyeron en los constructores bárbaros de Occidente.

De todas formas existe un grave inconveniente: el Corán condena explícitamente la actividad constructora que “es la cosa más vana que devora la riqueza de cualquier hombre”. Aunque este versículo ha sido interpretado con menos rigor que otros, quizás por que la manifestación de la grandeza de Dios exige espacios dignos para la oración y la habitación de sus mandatarios en la tierra, no ha dejado de influir en el aspecto externo de las construcciones que, como hemos dicho, no es prioritario en la arquitectura islámica.

Pero, además, el Corán no contempla, ni remotamente, una ordenación de la actividad económica distinta del comercio más simple. Este hecho repercute en el desarrollo de todos los procesos económicos y supone, como dato básico, la falta de una intención industrializadora en todos ellos. Se puede entender que para el creyente, preocupado por ambiciones más elevadas, como rezar, ahorrar para pagarse el viaje a la Meca, repartir limosna, etc., actividades todas ellas explícitamente recomendadas en el libro santo, el trabajo y sus rendimientos es algo secundario. Esto fue entendido así por Mahoma, quizás, porque ya era así antes entre los árabes. En todo caso se puede entender esa falta de intención industrializadora como un rasgo diferencial importante de la mentalidad islámica que se refleja en los sistemas constructivos, por lo menos en los ejemplos históricos. Así como en Occidente los griegos, los romanos, y desde luego los constructores medievales, arbitran sistemas para conseguir productividades altas y una mayor facilidad en el trabajo, en Oriente se trata de obtener un resultado concreto sin que la mayor o menor facilidad, o el mejor rendimiento, sean datos importantes en el planteamiento inicial, ni merezcan corrección durante el proceso, dicho todo esto con las reservas naturales de cada caso (Figs. 7.58 y 7.59).

A pesar de que nos pueda resultar extraña y poco racional, esta mentalidad tiene sus ventajas. Normalmente desarrolla unas formas de trabajar *sui generis* que permiten, con una gran habilidad manual, unos modelos repetitivos y unos periodos de aprendizaje dilatados y poco traumáticos, una ejecución con muy pocos apoyos tecnológicos, en la que se introducen a veces irregularidades de una gran calidad estética, como ocurre en el innumerable repertorio de alfombras que se fabrican en el área de influencia islámica, y en la que la obra es percibida por el artífice casi en su totalidad y detalles desde un principio, por lo que puede ejecutarla con un desarrollo progresivo a partir de un inicio, línea o punto, en contra de todos nuestros sistemas de trazado y planificación del trabajo (Fig. 7.60).

Tampoco existe, en líneas generales, una mentalidad excesivamente rigurosa en los planteamientos previos. Lo importante es el resultado incluso cuando se trata de elementos resistentes (Figs. 7.61, 7.62).

La especial idiosincrasia islámica se manifiesta en la organización de la mano de obra, tanto en la muy especializada como en la inmediatamente necesaria para la obra. No existen gremios y la tradición artesana es familiar -en Túnez se localizan quince generaciones de arquitectos de cuatro familias-, y la división del trabajo se hace por habilidades pagándose como destajos.

Incluso hoy los buenos artesanos viajan mucho, lo que es una característica notable de la civilización islámica, por lo que es difícil señalar influencias o escuelas en áreas concretas, y se encuentran ejemplos de sistemas de trabajo parecidos a mucha distancia unos de otros.

No existen datos sobre los arquitectos y sobre la forma en que se concebían los proyectos en los primeros siglos, de la misma manera que tampoco han quedado demasiados rastros de épocas semejantes en Europa y no se encuentran trazas hasta el siglo XVI.

Cuando ya es posible seguir la pista de esta cuestión, se constata que no existen estudios sistemáticos de disciplinas concretas agrupadas en lo que se pudiera considerar una carrera de arquitectura. Los únicos archi-



Fig. 7.58 Ajuste de las caras de un sillar

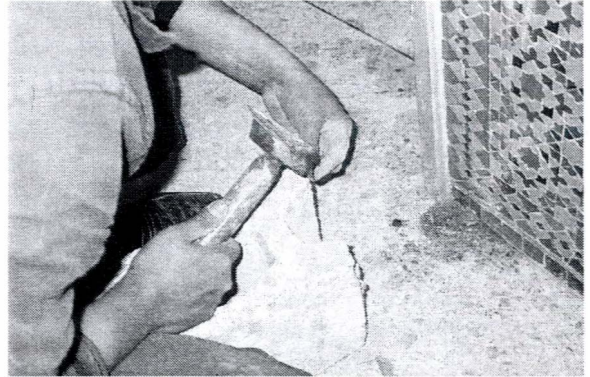


Fig.7.59 Fabricación de las tesetas para los paneles de la Gran Mezquita de Casablanca



Fig. 7.61 Sillería

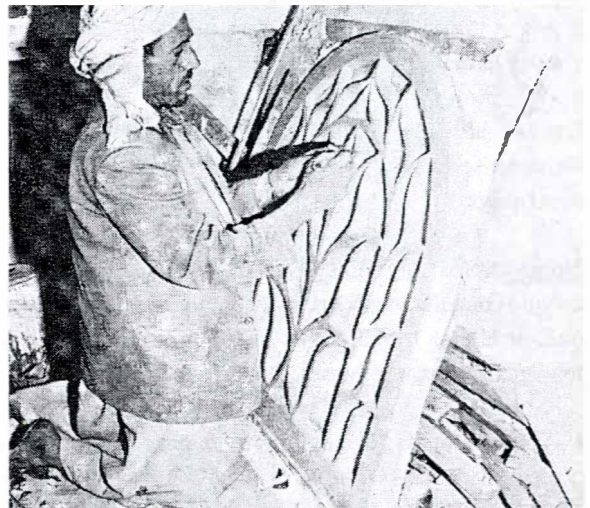


Fig.7.60 Realización de una celosía en yeso extendido sobre una tabla

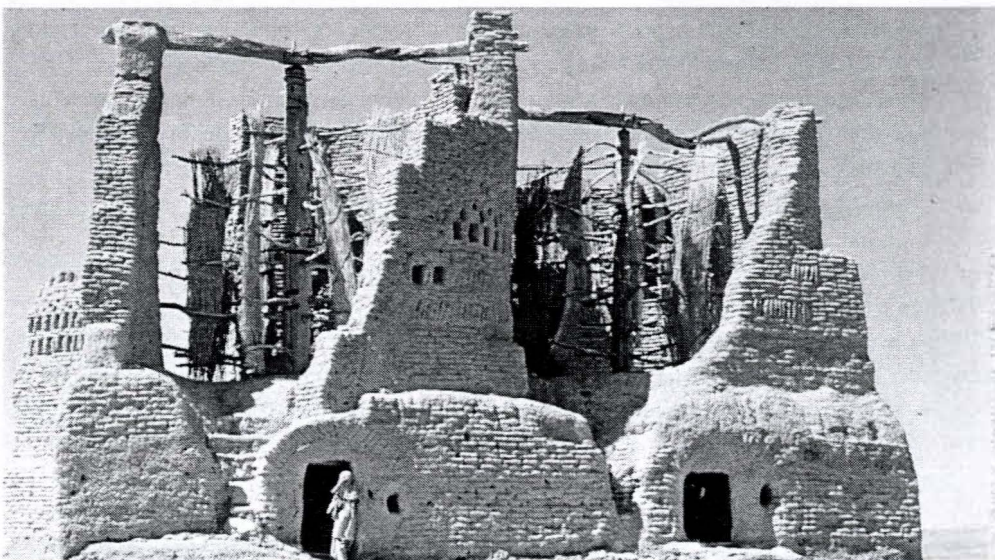


Fig. 7.62 Molino en funcionamiento en Irán. A pesar de su aspecto ruinoso, cumple su función y no se "acaba" más de lo necesario

tectos conocidos son los turcos Sinán y Ahmed y se tienen datos aislados sobre los intentos de una cierta organización que no acaba de prosperar. En el s. XVIII envían a Europa a un grupo de arquitectos para que estudien, aunque no hay datos de como acabó la aventura didáctica.

En algunos casos el trazado de los planos previos se hace sobre una cuadrícula a la que se aplica un módulo. Un arquitecto uzbeko dejó varios planos en el s. XVI, parece que modulados a partir de las dimensiones de los ladrillos utilizados en la zona. Usan la geometría para relacionar los alzados con la planta y han quedado algunas trazas, como la tumba de los sama-níes en Bujar, sobre una cuadrícula básica de la que no se conoce el módulo.

Existen algunas maquetas de edificios pero, como siempre, se plantea la duda de si serán proyectuales o descriptivas.

No hay libros anteriores al S. XIII y no se puede deducir que conocieran a Vitruvio, aunque se puede apostar que, de alguna forma, Sinán tuvo que tener noticias de los Diez Libros.

Los pocos tratados existentes sirven para determinar la dirección de la *quibla*, y el primer libro específico sobre arquitectura es el Libro de las cosas vivas y los monumentos, de Rasid-al-Din, escrito por el primer ministro de los soberanos iraníes a finales del s. XIII y del que no se ha conservado ningún ejemplar, conociéndose por referencias. A principios del s. XVII, Safar Efendi escribe otro libro del que tampoco quedan ejemplares. Sólo se ha conservado el índice y en él figura un capítulo sobre la construcción de casas y tumbas. Hay dos manuscritos sobre carpintería, uno en Turquía y otro en Argelia. En España, en el s. XVII, se edita el Tratado de Alarifes de López de Arenas en el que se dan normas para los exámenes de maestros siguiendo la tradición islámica, aunque todos estos son muy pocos datos para entender la complejidad de algunos de los monumentos, sobre todo los que se han construido en las zonas medio orientales, en los que la tradición constructiva autóctona se ha mantenido vigente hasta hace muy poco, con total desconocimiento de Occidente, desconocimiento que tampoco se supera durante la etapa colonial más que con algunas

remotas referencias cargadas más de pintoresquismo que de un intento serio de profundizar en sus razones últimas.

## 7.6 Elementos y sistemas comunes en las áreas geográficas de preponderancia islámica

Como ya indicábamos en el punto 5 de nuestra introducción, en lo que quizás sea un abuso conceptual, también se suele conocer como construcción arquitectónica islámica la que se produce en el área geográfica de influencia prioritariamente islámica, aunque no esté relacionada con los preceptos coránicos. Parece que, a pesar de la dispersión, aparecen unas constantes detectables, tanto en tipologías arquitectónicas como en técnicas constructivas, aplicadas a los materiales usuales en cualquier sistema: piedra, ladrillo, adobe, barro, etc. A pesar de la dificultad que supone establecer unas normas, en Andalucía usan tapial y adobe con madera, en Persia las bóvedas de ladrillo y en Bizancio ladrillos y *emplectum*. Naturalmente estos sistemas y materiales se intercambian si viene al caso en todas las regiones, y algunos materiales específicos de algunas áreas acaban siendo patrimonio y emblema de la construcción islámica. Los azulejos, propios originariamente de Mesopotamia, con nuevos sistemas de barnizado, entre los que destaca los metalizados que aquí se conocen por Manises, se difunden en toda la cuenca mediterránea desde Siria a España y como variante forzada por las prescripciones sobre decoración que ya hemos referido, se recortan en piezas de muy variadas formas, como *teselas* para mosaicos, que son una de las manufacturas más relevantes de la industria de la construcción marroquí actual.

Al margen de cualquier condicionante de tipo religioso aparecen unas formas específicas que se difunden como parte de la cultura constructora islámica, como el aparejo podárico de los arcos de muchas puertas de murallas, que no es estrictamente radial, y al que se recurre con una cierta insistencia, puede que como recurso estético (Figs. 7.63 y 7.64).

Es general el uso de estucos de yeso y cal para revestimientos de paredes y celosías. Este sistema, de origen sasánida, en Occidente se usa en la zona del Véneto en



Fig. 7.63 Puerta de la Bisagra. Toledo

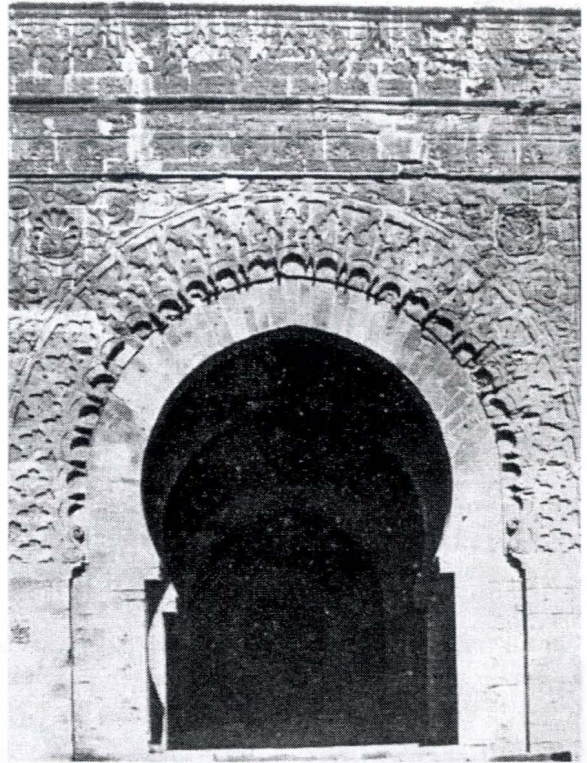


Fig. 7.64 Puerta de los Udaia. Rabat

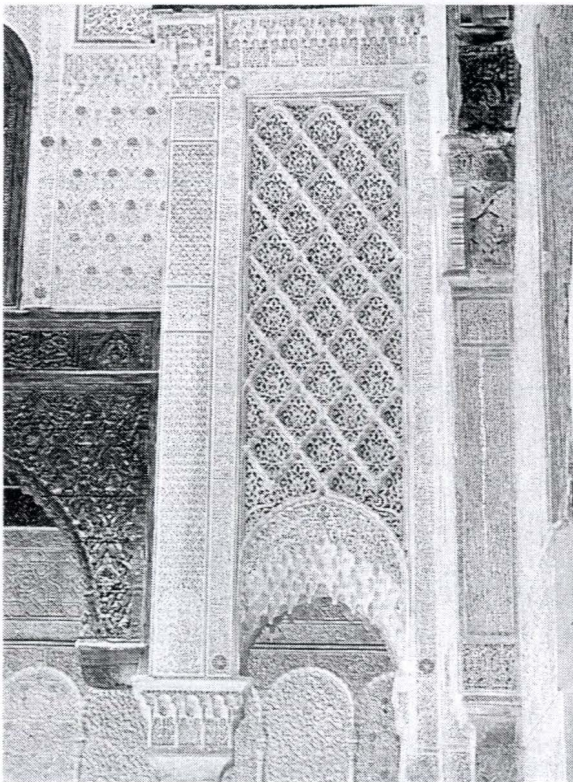


Fig. 7.65 Celosía de yeso acabada imitando mármol blanco

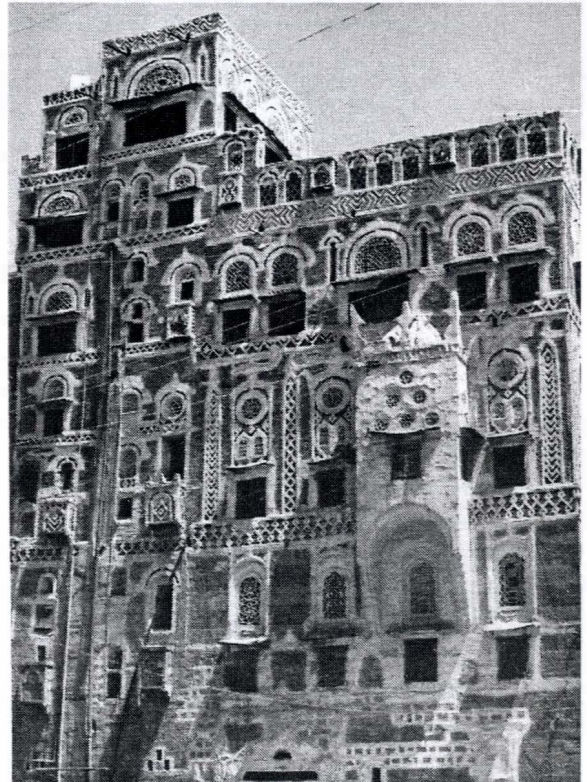
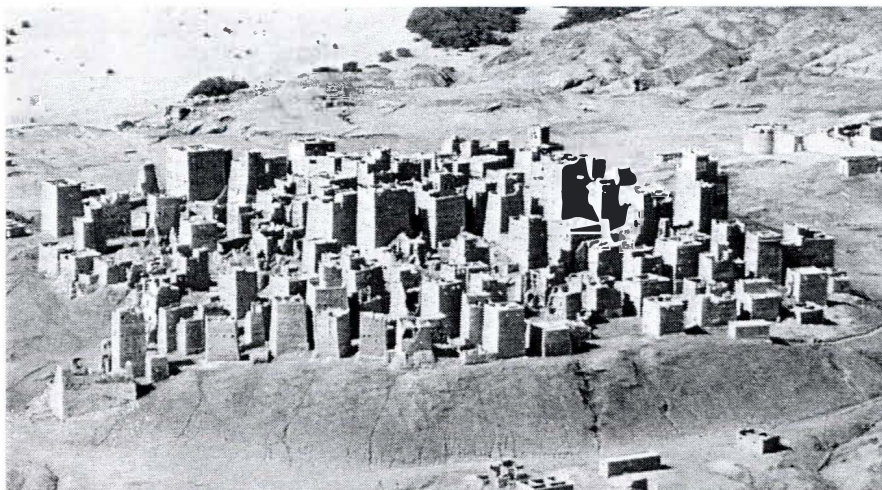


Fig. 7.66 Casa de habitación en Sanaa. Yemen.



*Fig. 7.67 Poblado de Mahrīb.  
Yemen*



*Fig. 7.68 Vivienda al norte  
de Siria*



*Fig. 7.69 Aldea afgana. En los patios se instalan  
las tiendas de campaña de pelo de camello*



*Fig. 7.70 Aldea al sur de Túnez*

obras menores hasta que Palladio lo incorpora a la gran arquitectura, limpiando las superficies y rescatándolas de la servidumbre de los aparejos.

El estuco de cal se ejecuta de forma totalmente distinta a los sistemas occidentales. Se aplican varias capas de mortero en pellas y se compactan golpeándolas con una piedra. Después se pule la superficie con piedra pómez y se cepilla con agua muy suavemente; como acabado, puede frotarse con tuétano de hueso o con cualquier otro producto oleoso.

El de yeso, material muy usado en la decoración islámica ya que permite labores muy finas de cincelado, se extiende sobre una tabla, casi "muerto" gracias a que se bate durante algún tiempo con mucha agua y después se trabaja como una piedra muy blanda. Se pule con talco, agua y un cepillo hasta conseguir imitaciones notables de mármol (Fig. 7.65).

A los constructores islámicos les cabe el honor de haber importado a Europa los cajones indios, de gran utilidad para las cimentaciones en terrenos pantanosos, que describe pormenorizadamente Abd-el-Galib.

Pero el material más clásico, y casi el único disponible en cantidades apreciables para la construcción cotidiana en el área geográfica de influencia islámica, es la arcilla, preferentemente sin cocer.

Se han construido y se construyen todo tipo de edificios con este material siguiendo las técnicas tradicionales, tanto en adobes mezclados con paja, como en tapial o pellas.

El tamaño de los adobes varía en toda la cuenca mediterránea, desde unos muy alargados de 15x15x50 cm aproximadamente -en la actualidad están siendo sustituidos por unas piezas de mortero de cemento Portland fabricadas con el mismo molde y el mismo sistema manual-, hasta los muy planos de 60x60 cm con espesores entre 4 y 10 cm. Esta variedad impide una mínima racionalización de los dibujos y sistemas de colocación.

Los muros, tanto de ladrillo cocido como sin cocer, llegan a tener una altura considerable para casas de varias plantas (Fig. 7.66). El reborde de las ventanas es de

yeso aplicado con la mano, carecen de evacuación de aguas residuales y la fachada se repasa de vez en cuando con una picoleta para desprender lo que pudiera estar suelto, que se repone por capas. Los forjados pueden ser de elementos arqueados o de rudimentarios entramados de la escasa madera disponible, recubierta por la parte inferior con abundantes gruesos de yeso para regularizar la superficie. A pesar de la dificultad que supone levantar estos edificios de muros de adobe, no renuncian a la exuberancia decorativa y mantienen los abigarrados aparejos como base de la decoración exterior. Los huecos se cimbran con los mismos adobes, colocados en seco, que se retiran luego. Se trabaja desde la pared sin apenas andamios, con un mínimo control sobre la verticalidad del muro, pero con una gran destreza en la resolución de los detalles, que se improvisan en cada caso.

El manejo del tapial de calicastro está descrito por Ibn Jaldun a principios del s.XV, en encofrados de cuatro por dos codos, aproximadamente 1,70x0,85 m y con este sistema se han construido obras de una gran dignidad y durabilidad, como la mezquita de Kano de una antigüedad estimada en más de 400 años.

El resultado de esta forzosa integración cromática de lo construido en el paisaje produce resultados de una sorprendente belleza, aunque la valoración de su exotismo impida ver, casi siempre, la dureza de las condiciones que los justifican como única habitación posible (Figs. 7.67, 7.68, 7.69, 7.70 y 7.71).

Para las cubiertas utilizan un inagotable repertorio de abovedamientos, casi siempre construidos con gran habilidad sin cimbras y cuya tipología exacta se corresponde con áreas geográficas muy concretas y tecnologías locales muy depuradas por siglos de uso (Figs. 7.72, 7.73, 7.74 y 7.75).

## 7.7 El legado islámico

Es contradictorio hablar del legado de algo o de alguien que está vivo, aunque en este caso se debe hacer alguna matización. Para los occidentales, lo islámico, antes incluso de la expulsión de sus últimos reductos granadinos, es una confusa mezcla de formas y colores que

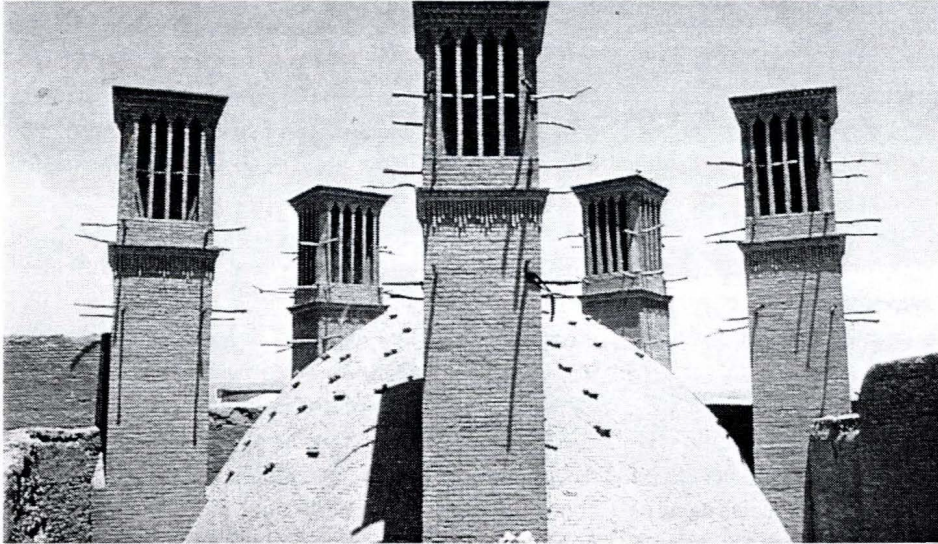


Fig. 7.71 Cisterna subterránea en Yazd, Siria



Fig. 7.72 Construcción de una cúpula sin cimbra con pechinas abovedadas

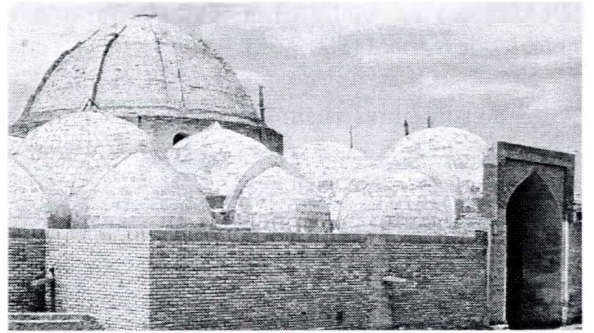


Fig. 7.73 Cúpulas cerámicas de la cubierta de un mercado sirio

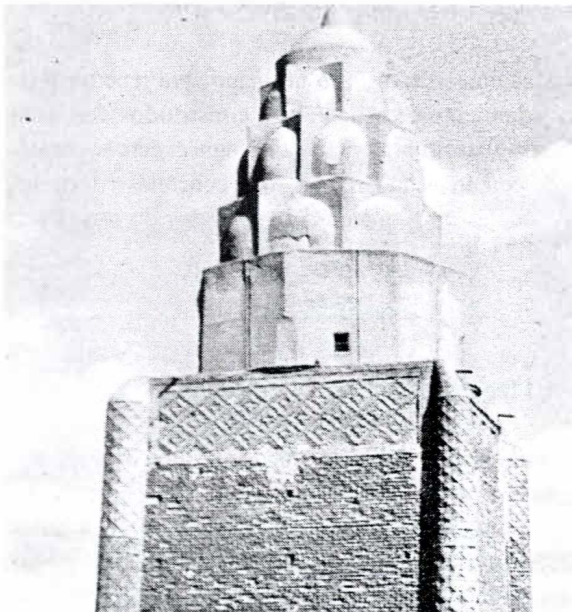


Fig. 7.74 Mausoleo Imán Durr, Samarra



Fig. 7.75 Al-Nuriya el Kubra, Damasco



Fig. 7.76 Patio de los arrayanes. Granada

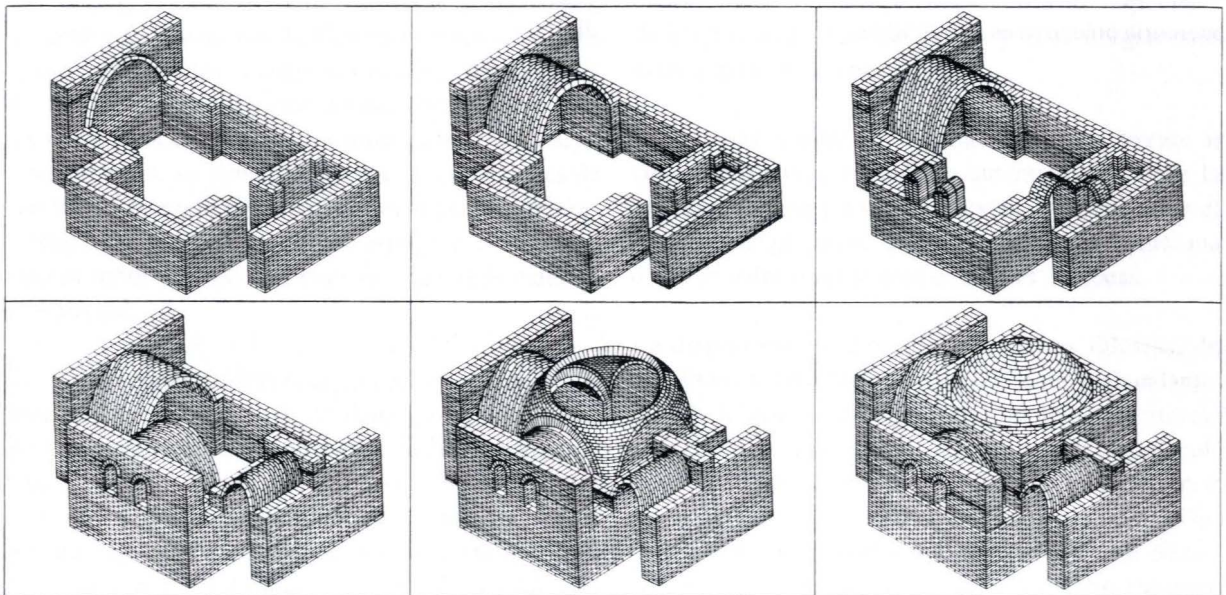


Fig. 7.77 Secuencia de construcción de viviendas populares con adobes, según un proyecto de Hassan Fathy en Egipto

pretenden recrear una atmósfera que apenas tiene que ver con la verdadera esencia de los interiores originales. La mistificación empezó inmediatamente en la Alhambra -Calat al-Hambra, Castillo Rojo (Fig. 7.76)-, paradigma aparente de lo hispano-islámico, que apenas se asemeja a lo que dejaron los arquitectos nazaríes. Ha sido reconstruida sin ningún criterio, y aunque algunos trabajos de restauración se están llevando a cabo en la actualidad con mucha delicadeza y respeto, es imposible su rescate como monumento representativo de un estilo arquitectónico concreto. Comenzaron los Reyes Católicos después de la conquista, en enero de 1492, con artífices moriscos. Se siguió trabajando hasta la rebelión de los moriscos en 1569. En 1590, ardió un molino de pólvora, lo que ocasionó enormes destrozos, aunque ya para entonces el resultado era confuso: hasta los mosaicos se cambiaron y llevan el escudo de la casa de Mondéjar, gobernador de la fortaleza en tiempos de Carlos V. En el s. XVII las obras de restauración perdieron carácter moruno. En el XVIII el abandono fue completo y se prolongó hasta bien entrado el s. XIX, agravado con su voladura parcial por parte de las tropas napoleónicas en 1812. Después comenzaron de nuevo las restauraciones por voluntad de Isabel II, con criterio romántico, pero casi todo se hizo con “poca base arqueológica, ni respeto a la poesía de los siglos, por desgracia”, según palabras de Gómez Moreno. La disyuntiva se puede plantear teóricamente sobre la conveniencia de hacer un trabajo de recuperación más a fondo, pero sólo teóricamente, ya que su inserción en la memoria colectiva es irreversible.

Por lo que respecta a los pueblos islámicos el hecho se reproduce, curiosamente, con la misma confusión. La Gran Mezquita de Casablanca, obra de un arquitecto francés cuyo nombre no se maneja en la información oficial, está construida con los mejores materiales y los sistemas más modernos y ha sido controlada por exigentes ingenierías multinacionales. Desde el punto de vista constructivo es evidente que esto tiene que ser así, ya que nadie tiene por qué renunciar al progreso, lo que sería instalarse en otro estadio anterior que también en su día supuso un progreso, pero el conjunto tiene poco que ver con la continuidad de unas formas que alcanzaron su esplendor hace varios siglos.

Este parece un camino sin retorno. Tampoco en Occidente nos hemos librado, quizás por la universalización de las técnicas, del estilo internacional, adobado con el mejor o peor gusto de los arquitectos y la tradición local. En todo caso lo que sí puede ocurrir es que la necesidad de mejorar el nivel de la vida cotidiana de algunos pueblos islámicos les lleve a desarrollar sistemas constructivos que, basándose en las tradiciones autóctonas de la construcción en barro, de las que existen ejemplos espléndidos, permitan la incorporación de las técnicas imprescindibles para el desarrollo de una vida digna en el inicio del siglo XXI. En este sentido trabajó hasta su reciente muerte Hassan Fahti, arquitecto egipcio que recuperó con una extraordinaria dignidad las técnicas ancestrales en tapial y adobe en programas de viviendas sociales (Fig. 7.77). La historia dirá.

pretenden recrear una atmósfera que apenas tiene que ver con la verdadera esencia de los interiores originales. La mistificación empezó inmediatamente en la Alhambra -Calat al-Hambra, Castillo Rojo (Fig. 7.76)-, paradigma aparente de lo hispano-islámico, que apenas se asemeja a lo que dejaron los arquitectos nazaríes. Ha sido reconstruida sin ningún criterio, y aunque algunos trabajos de restauración se están llevando a cabo en la actualidad con mucha delicadeza y respeto, es imposible su rescate como monumento representativo de un estilo arquitectónico concreto. Comenzaron los Reyes Católicos después de la conquista, en enero de 1492, con artífices moriscos. Se siguió trabajando hasta la rebelión de los moriscos en 1569. En 1590, ardió un molino de pólvora, lo que ocasionó enormes destrozos, aunque ya para entonces el resultado era confuso: hasta los mosaicos se cambiaron y llevan el escudo de la casa de Mondéjar, gobernador de la fortaleza en tiempos de Carlos V. En el s. XVII las obras de restauración perdieron carácter moruno. En el XVIII el abandono fue completo y se prolongó hasta bien entrado el s. XIX, agravado con su voladura parcial por parte de las tropas napoleónicas en 1812. Después comenzaron de nuevo las restauraciones por voluntad de Isabel II, con criterio romántico, pero casi todo se hizo con “poca base arqueológica, ni respeto a la poesía de los siglos, por desgracia”, según palabras de Gómez Moreno. La disyuntiva se puede plantear teóricamente sobre la conveniencia de hacer un trabajo de recuperación más a fondo, pero sólo teóricamente, ya que su inserción en la memoria colectiva es irreversible.

Por lo que respecta a los pueblos islámicos el hecho se reproduce, curiosamente, con la misma confusión. La Gran Mezquita de Casablanca, obra de un arquitecto francés cuyo nombre no se maneja en la información oficial, está construida con los mejores materiales y los sistemas más modernos y ha sido controlada por exigentes ingenierías multinacionales. Desde el punto de vista constructivo es evidente que esto tiene que ser así, ya que nadie tiene por qué renunciar al progreso, lo que sería instalarse en otro estadio anterior que también en su día supuso un progreso, pero el conjunto tiene poco que ver con la continuidad de unas formas que alcanzaron su esplendor hace varios siglos.

Este parece un camino sin retorno. Tampoco en Occidente nos hemos librado, quizás por la universalización de las técnicas, del estilo internacional, adobado con el mejor o peor gusto de los arquitectos y la tradición local. En todo caso lo que sí puede ocurrir es que la necesidad de mejorar el nivel de la vida cotidiana de algunos pueblos islámicos les lleve a desarrollar sistemas constructivos que, basándose en las tradiciones autóctonas de la construcción en barro, de las que existen ejemplos espléndidos, permitan la incorporación de las técnicas imprescindibles para el desarrollo de una vida digna en el inicio del siglo XXI. En este sentido trabajó hasta su reciente muerte Hassan Fahti, arquitecto egipcio que recuperó con una extraordinaria dignidad las técnicas ancestrales en tapial y adobe en programas de viviendas sociales (Fig. 7.77). La historia dirá.

## 8. Construcción arquitectónica románica

### 8.1 El escenario

Sería prolijo pormenorizar las circunstancias políticas económicas y sociales de cada área en la que surge el románico, pero para nuestro interés podemos considerar que se ha producido a lo largo de los últimos siglos del primer milenio un cierto proceso de unificación, tanto de los programas como de las técnicas, y que este proceso tiene que ver más con las condiciones materiales en las que se desarrolla la vida cotidiana que con ninguna otra cuestión. Se consolidan los asentamientos rurales, cubriendo casi todo el territorio útil y, con mejor o peor fortuna, sobre esos núcleos mínimos empieza a cristalizar lo que ya hemos llamado "el lento resurgir de las capacidades de Occidente".

A pesar de que pueda parecer extraña la uniformidad alcanzada por el románico, que se desarrolla en muy pocos años como estilo único en un área geográfica enorme que abarca toda la Europa occidental, en una época en la que las comunicaciones son difíciles y en la que el lenguaje habitual a duras penas sirve para expresar conceptos técnicos muy rudimentarios, el caso es que si se tienen en cuenta las condiciones de partida, la cuestión es perfectamente lógica: su uniformidad es la manifestación de un espíritu común que se genera sobre presupuestos comunes de índole material y espiritual.

Se ha conseguido, a través de la paciente labor de los monjes, alrededor de la fe cristiana y sobre las ruinas de la romanización, la casi total unidad espiritual de Europa, unidad que aún no se ha visto socavada, más que muy débilmente, por ningún tipo de cisma, y las condiciones materiales, quizás debido a las carencias más que a las posibilidades, también son bastante uniformes. A partir de estos dos datos la demanda de

construcción se centra de forma masiva en una tipología casi única, las iglesias, y estos edificios, debido a sus características y al escaso repertorio de materiales y soluciones, se construirán y evolucionarán siguiendo esquemas prácticamente idénticos en lo sustancial en todo el área. Después, poco a poco, cada zona irá interpretando el resultado, introduciendo modificaciones y perfeccionamientos que también se universalizarán, aunque en menor medida.

Se desarrolla una actividad constructora muy importante si se compara con la de etapas anteriores -el Abad Suger, en una descripción directa y simple del momento dice que "Europa se cubrió de un blanco manto de iglesias"-, y aunque no se pueda hablar de una industria propiamente dicha, se alcanza una mejora notable en la calidad de lo que se construye, siempre con gran esfuerzo, ya que la construcción de este edificio es el mayor empeño comunitario, después del de acopiar alimentos suficientes y otras obligaciones derivadas del vasallaje.

Las iglesias son locales dedicados preferentemente al culto, pero sirven además de auténtico núcleo de la vida comunitaria y a su alrededor se va a desarrollar el primer resurgir medieval, en lo que sin duda fue una de las grandes revoluciones culturales europeas.

La dispersión en el territorio de estas iglesias, de importancia variable, es muy uniforme y abundante, más de lo que sería ninguna otra tipología arquitectónica correspondiente a ninguna otra manifestación cultural de cualquier tipo en Europa, lo que puede servir como indicio de su importancia en la vida diaria (Fig. 8.1). El románico vuelve a armar la red social deshecha por la caída del imperio en el territorio europeo, aunque se dejen notar muchas carencias.

En algunas zonas, y pendiente de que se explique a través de estudios más profundos esta circunstancia, las iglesias románicas se reparten por el territorio en una triangulación perfecta, a distancias sensiblemente iguales. Ello puede deberse a la necesidad de delimitar para cada comunidad unas áreas de cultivo suficientes, a problemas de comunicación y control del territorio, o a cualquier otra razón semejante.

La situación social y económica que posibilita el desarrollo de esta actividad es compleja, aunque a juicio de algunos autores supone un importante avance y una renovación del espíritu altomedieval. Lo más probable, como opina Broudel, es que el románico sea en su mayor parte la manifestación de un relativo éxito agrícola.

La técnica constructiva se genera como culminación parcial de un proceso, que va a seguir evolucionando hasta las etapas más complejas del gótico.

Este proceso, evidente en las etapas anteriores, se nutre, como ya hemos indicado, de tres fuentes:

- 1) Una tecnología posromana cada vez menos evidente, pero bastante localizable sobre todo en casos concretos.
- 2) Unos conceptos nuevos en el arte de construir cuyo origen y evolución se ha producido en Oriente Próximo, en el área de influencia bizantina, también a partir de técnicas romanas modificadas por las tradiciones y necesidades concretas de la zona. Estos conceptos se desarrollan en torno a la tipología arquitectónica de origen basilical, en lo que coinciden con los planteamientos y necesidades de la sociedad medieval, por lo que en algunos casos se trasladan íntegros al ámbito cultural europeo.
- 3) Y como más importante para justificar la extraordinaria dispersión de las soluciones románicas, unas maneras de construir basadas en tecnologías locales, y que están condicionadas por el repertorio de materiales y por las posibilidades de desarrollo de los trabajos en función de los recursos existentes en cada área concreta, pero casi siempre sobre plantas y alzados relacionados con la tradición basilical romana, heredada como parte del patrimonio espiritual cristiano.

El resultado son una serie de soluciones repetibles, más o menos sencillas, pero que permiten, con todas las variantes locales y los materiales existentes *in situ*, la construcción del tipo arquitectónico básico que se conoce como primer románico.

Los desfases en las fechas de aparición de un lugar a otro, así como las variantes locales, sólo suponen distintos grados de penetración del mismo planteamiento arquitectónico y constructivo.

Desde el punto de vista de la ejecución el panorama es muy difícil. El hierro es escaso y caro, en algunas zonas vale mucho más que la plata, no hay papel en el que referir notas o croquis, la madera de buenas escuadrías es casi imposible de obtener, los transportes son casi prohibitivos debido a la existencia de numeroso bandidaje rural y a la falta de animales de tiro, y la población, a pesar de todas las mejoras sobre etapas precedentes, vive sometida a continuas hambrunas y enfermedades que la diezman periódicamente.

## 8.2 El sistema constructivo

A pesar de la unidad de lo que aceptamos denominar como románico, conviene establecer una diferencia entre el primer románico de origen rural que se produce bajo las condiciones que hemos enumerado, y lo que se construye como resultado de la evolución de estos primeros modelos y de una organización social cada vez más estable que genera excedentes y exige espacios mayores y más complejos.

Para el aspecto general de los núcleos de población que en el inicio sirven de base a los asentamientos románicos, no se debe pensar en casas, sino en cabañas más o menos elaboradas, o, quizás, en edificios comunitarios, establos, o locales defensivos cerrados, en los que se desarrollaba parte de la vida común. La escasez de restos puede deberse, tanto a lo poco consistente de la técnica constructiva, como al aprovechamiento, forzado por la escasez de medios, que posteriormente se hizo de ellos en las nuevas construcciones. Se puede suponer que no era demasiado problemática la construcción de una vivienda de las características habituales. Según Le Roi Ladurie se podía tar-

dar dos o tres meses y su precio era inferior al de un caballo.

Pero para las iglesias, núcleo alrededor del cual se organiza la vida comunitaria, la técnica inicial que se ha elaborado a partir de lo que hemos llamado proto-románico, permite estandarizar la solución de grandes muros capaces de resistir los empujes de las bóvedas de medio cañón, olvidando, o desconociendo, algunas soluciones mozárabes, más ligeras e imaginativas.

Al principio la planta es una nave rectangular con ábside. A pesar de los antecedentes basilicales es posible que sólo se trate del esquema más simple de cubrir. En todo caso la similitud y los orígenes de la forma son evidentes e indiscutibles (Fig. 8.2).

A partir del momento en que por el desarrollo natural de las tecnologías domésticas imprescindibles es posible disponer de madera de escuadrías y longitudes suficientes, a pesar de que ello no era en absoluto una labor fácil ni rápida, fueron las cubiertas de este material las que se utilizaron preferentemente. Su principal ventaja es que no provocan empujes sobre los muros de las naves, con lo que éstos están simplemente sometidos a un trabajo de compresión relativamente escaso.

Los primeros ejemplos de cubierta de madera recuerdan claramente las iglesias asturianas y son versiones reducidas de las basílicas paleocristianas. Esta semejanza es mayor cuanto más duradera ha sido la romanización, por lo que es en Italia donde se dan los mejores ejemplos de este esquema. Las columnas que separan las naves suelen ser romanas, la cubierta de madera y las naves laterales de arcos diafragmáticos de medio punto que no pretenden equilibrar la nave.

Pero probablemente debido a los inevitables incendios que periódicamente obligaban a rehacer el trabajo, se impuso como imprescindible cubrir las iglesias con bóvedas. La universalización de esta solución marca quizás la aparición del románico como una filosofía constructiva más que ningún otro detalle. Para Kubach, "Los dos tipos fundamentales están constituidos por la basílica de techado de madera y la iglesia con bóveda de cañón; podemos preguntarnos si estas distinciones no son con mucho más categóricas que

las transiciones temporales que designamos como 'historia del estilo'". En todo caso reconoce que las cubiertas de madera no generan un proceso evolutivo que, en el caso de las de cañón, es mucho más rico que en el gótico.

A pesar de los problemas que se derivan de contrarrestar su empuje, el balance debió resultar positivo, a pesar del esfuerzo que suponía su construcción para las comunidades. De esta forma se formuló la solución normalizada al problema básico, lo que favoreció la difusión en todo el área europea de esta manera de construir: muros de piedra muy gruesos y pesados, mejor contruidos y en algunos casos reforzados con contrafuertes, rematados por una cubierta de bóveda de cañón, casi siempre de medio punto, todo ello sobre plantas basilicales de magnitudes variables. Cataluña es pionera en el uso masivo de esta solución, a pesar de que, de forma más restringida, ya se había usado, entre otras zonas, en el prerrománico asturiano.

Cuando se comienza a cubrir con bóveda, con lo que aún disminuyen más las dimensiones del espacio cubierto, que acaba siendo mínimo, la liturgia tuvo que adaptarse a estas dimensiones, excepto en los conjuntos palatinos en los que la jerarquía del espacio era una exigencia mayor.

El muro sufre primero un proceso de densificación. Deja de ser una superficie luminosa que apenas separa las naves -en la basílica el muro es ligero, sobre dinteles o arcos, que, a su vez, trabajan siempre sobre columnas-, para convertirse en un elemento pesante muy poderoso en la percepción del espacio, como separador y límite de la nave central (Fig. 8.3).

El proceso de perfeccionamiento y complicación de este esquema estructural simple se produce en dos direcciones, pretendiendo superar siempre la limitación que supone el muro. Por una parte es necesario crecer en altura, crecimiento que se debe a anhelos espirituales y estéticos, ya que no aumenta el aforo y multiplica los problemas de contrarresto de las bóvedas, y por otra, cuando crecen los asentamientos o la importancia del monumento, es necesario más espacio, por lo que hay que aumentar la anchura de la nave a la vez que se incorporan naves laterales que deben estar conectadas con el espacio central.



Fig. 8.1 Aldea pirenaica de "características" románicas.



Fig. 8.3 Iglesia de Sant Ponç. Corbera



Fig. 8.2 Basílica de Santa María. Torcello

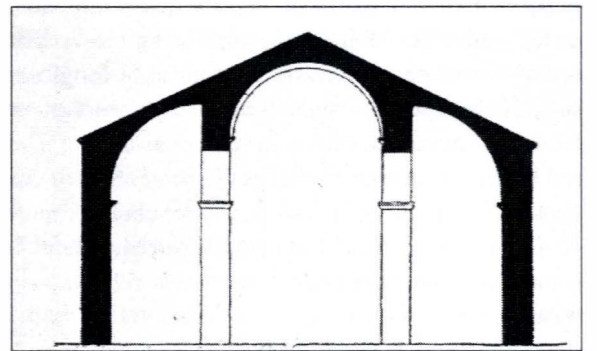


Fig. 8.4 Sección de Santa María de Arties

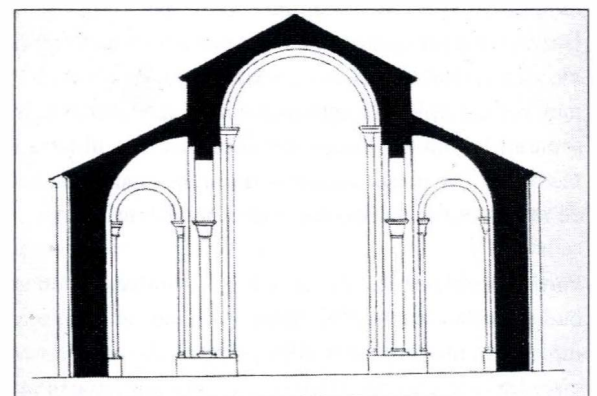


Fig. 8.5 Sección de la Iglesia de Gerri de la Sal

Esta evolución es posible por una mejora general en la ejecución y por la resolución paulatina de los problemas que en su evolución plantea al esquema estructural y que son acumulativos. Cuanto es mayor la anchura, mayores son los empujes, y al elevarse la nave central aumentan los momentos en la base de los pilares, pilares que cada vez se quieren más livianos para conseguir una mejor comunicación entre los tres espacios.

En algunos primeros ejemplos el empuje de la nave central se contrarresta casi exactamente con dos naves laterales de cuarto de punto. El pequeño descenso de éstas a que obliga la continuidad de la cubierta a dos aguas facilita el equilibrio del conjunto (Fig. 8.4).

A partir de aquí la evolución, que no es estricta en el sentido cronológico, obliga a otras soluciones. Conforme se va elevando la nave central forzada por las necesidades de iluminación y de mejorar la percepción del espacio interior, los problemas se multiplican, aunque las elevaciones pequeñas aún son absorbibles por el esquema inicial.

Un mejor aparejo permite ir reduciendo paulatinamente la sección de las pilas, pero es un aumento de su sección útil, que se produce cuando se complica su dibujo en planta, lo que hace aumentar el número de sillares tallados, cuando es posible ir subiendo su altura a la vez que se reduce su sección.

No debe ser casual que mientras en Santa María de Artés, donde la anulación de los empujes de la bóveda central por las laterales es casi perfecta, las columnas son redondas, en Gerri de la Sal (Figs. 8.5 y 8.6), cuya nave central se comienza a elevar sobre las laterales, son de sección cruciforme, de mayor capacidad para resistir el momento provocado por la resultante de los empujes.

Una solución, que no acaba de resolver el problema, consiste en construir contrafuertes dentro del edificio con lo que se mejora en algo el aspecto del espacio (Fig. 8.7), aunque en realidad aún se compartimenta más.

Permite crecer en altura y en anchura, ya que se cuenta con puntos sólidos para contrarrestar el empuje de las bóvedas, pero el interior sigue siendo de una sola nave

a la que se le suman unos espacios laterales sin demasiada continuidad, lo que resulta tan evidente que en ellos se colocan capillas dedicadas a cultos especiales (Figs. 8.8 y 8.9).

En cualquier caso el muro apenas pierde nada de su importante capacidad de limitar el espacio, que en este caso se convierte casi en único, en la nave central, al que se asoman otros, distintos, de las capillas.

Probablemente, el sistema más utilizado para dimensionar el contrarresto de los empujes de la bóveda debió ser una mezcla de empirismo y pseudociencia, gracias a proporciones que se fijarían sin excesivas justificaciones. Algunos constructores debieron desarrollar esquemas visualmente muy equilibrados, sin que fueran necesarias excesivas precisiones en su desarrollo.

En Italia, en algunos casos se recurrió al atirantamiento, aunque este sistema presentó muchos problemas dada la baja calidad y el alto coste del hierro utilizado. A su favor está que se puede colocar, si el resto del trabajo está bien ejecutado, sin que sea imprescindible conocer la dirección ni el punto de aplicación del empuje resultante de un arco o una bóveda, aproximadamente por encima de los arranques.

Pero la solución definitiva debía encontrarse de otra forma. No es posible anular los empujes de la nave central mediante los de las naves laterales, ya que se producen a un nivel inferior. Es necesario que la parte de muro comprendida entre el final de las naves laterales y el arranque de la central tenga consistencia suficiente y eso se logra con el perfeccionamiento del sistema constructivo, perfeccionamiento que se produce, paradójicamente, cuando se tiene que debilitar el muro para practicar en él las necesarias aberturas de iluminación. (Fig. 8.10). El esquema resultante de este doble empeño sigue presentando graves problemas que se manifiestan por inquietantes deformaciones en la estructura (Fig. 8.11).

Pero para abrir esas aberturas es necesario tallar el muro con jambas, arcos y refuerzos, y articularlo más. Debido a la experiencia acumulada se debía saber que los recrecidos de columnas insertas y otros elementos decorativos mejoran su capacidad resistente, y de esa

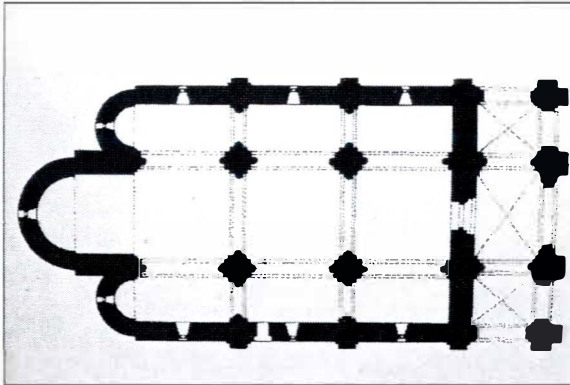


Fig. 8.6 Planta de la Iglesia de Gerri de la Sal

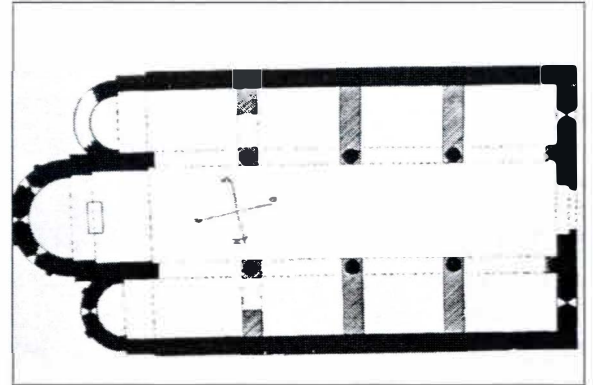


Fig. 8.7 Planta de la Iglesia de Tahull

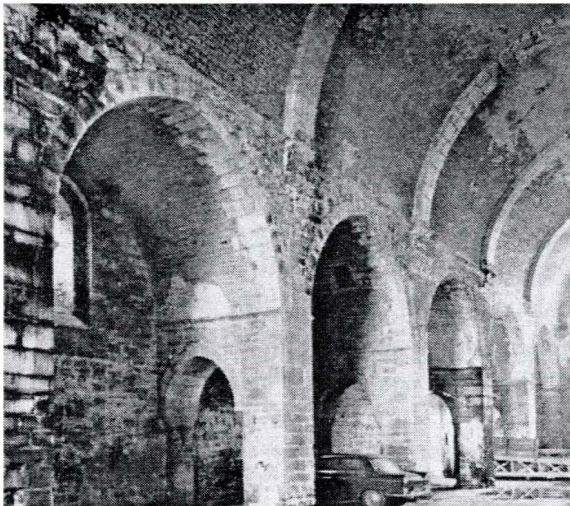


Fig. 8.8 "Scala Dei". Tarragona

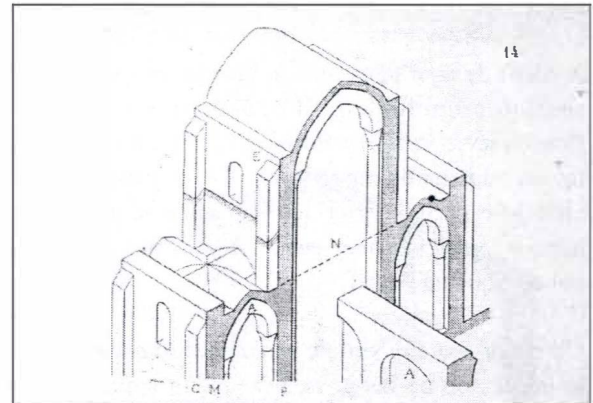


Fig. 8.10 Esquema de crecimiento de la nave central según Choisy

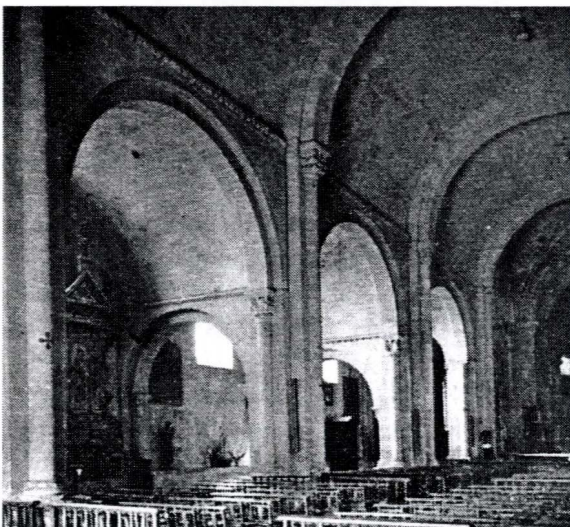


Fig. 8.9 Lescar

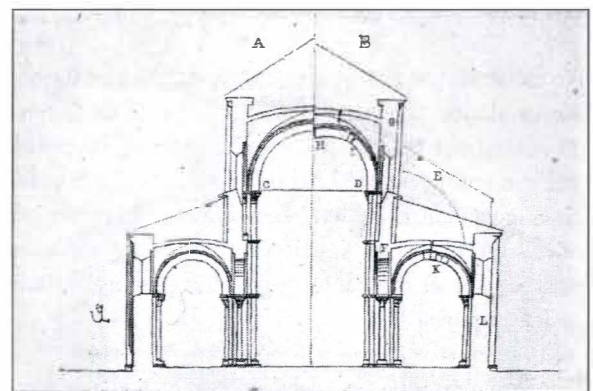


Fig. 8.11 Esquema de colapso de una catedral románica según Viollet le Duc

forma pudieron contar con puntos de apoyo más firmes y concretos que los que puede ofrecer un muro corrido.

Esta mejor talla de los sillares permite abandonar relativamente los grandes rellenos y concentrar las cargas, lo que sólo es posible con un plan constructivo más complejo en el que cada pieza está más diferenciada, sin por ello abandonar el esquema estructural inicial. Parece que se anuncien las posibilidades constructivas del gótico. Las columnas deben ser aparejadas con mayor cuidado, y las bóvedas se articulan sobre arcos fajones en los que el trabajo del cimacio apenas es relevante debido a las dimensiones del conjunto, y aunque siguen apareciendo deformaciones, el resultado es mucho más fiable.

A partir de aquí se puede entender, siempre con las salvedades apuntadas en cuanto a la cronología, que cuando se inicia el proceso de crecimiento se produce una variación sustancial: el muro deja de ser la pantalla "pesante" que hemos descrito, y pasa a ser un elemento muy articulado, en un proceso inverso, organizándose en elementos constructivos diferenciados. (Fig. 8.12).

Desde el punto de vista arquitectónico esta articulación facilita la diferenciación del muro según un esquema que después se mantendrá en el gótico con los elementos típicos de este estilo: aparece claramente definido el triforio, que ya no es tribuna, ni matroneo; el claristorio que supera el concepto de ventana; columnas; aberturas de las naves laterales, etc. Ocurre lo mismo en planta y se complican los elementos del transepto, el cimborrio, crucero, girola, deambulatorio, absidiolos, etc., lo que obliga, además, a concretar nuevos elementos constructivos despiezados con una técnica cada vez mejor, aunque ello suponga la pérdida del clasicismo de la planta basilical, clasicismo que, a juicio de algunos autores, quizás fuera una rémora. Además de incorporar al románico rústico y rural del primer momento una serie de elementos artísticos y estéticos, el muro adquiere, tanto en el interior como en el exterior, otro lenguaje.

A pesar de todo, las iglesias se siguen deformando (Fig. 8.13). De la inquietud que esas deformaciones, paulatinas e imparables y que en algunos casos causa-

ron el hundimiento del edificio, provocó en los constructores románicos, es posible que se deriven, como veremos, las soluciones góticas, posibilitadas por una talla cada vez más cuidadosa y un recibido más regular.

Ya durante el románico se ensayan otras soluciones. Se desarrolla un sistema que divide la nave central en crujías, sin que este esquema modifique significativamente el espacio interior ya que la división se hace a la altura de la bóveda. En algunos caso estas crujías no incorporan ningún sistema nuevo; sólo es nuevo, y eso relativamente, el esquema del conjunto (Figs. 8.14 y 8.15).

Pero la solución que mejor funciona en todos los aspectos es la nave central cubierta con bóvedas de crucero.

Las bóvedas de crucero fueron usadas exhaustivamente por los romanos y no han dejado de utilizarse en cualquier época. Presentan algunas dificultades de replanteo y su desuso, en algunos casos, se ha debido a la posibilidad de utilizar otro tipo de bóveda. Los bizantinos apenas las usaron, pero en Europa se encuentran en mayor o menor grado en toda la etapa prerrománica, aparejadas, con gran habilidad constructiva, con piedra de laja (Fig. 8.16).

En un principio se aplica sobre los primeros esquemas de contrafuertes interiores (Fig. 8.17). Santa María Laach es un ejemplo muy significativo. A pesar de que fue destruida durante la última guerra, su reconstrucción se hizo con una gran fidelidad.

Cubierta con bóveda de crucero en toda su longitud, la construcción de la original se inició en 1096, y como se tardó más de un siglo en acabarla, es probable que se incorporaran los planteamientos constructivos que dieron paso al gótico.

La hipótesis es muy verosímil. Una vez que se adopta el sistema de dividir la nave central en crujías para evitar las grandes deformaciones que sufre el edificio si se construye con cañón seguido, parece un razonamiento lógico, si se trata de conseguir más ligereza en el muro, que se sustituyera éste por un esquema parecido al de los arcos diafragmáticos que, dejando el

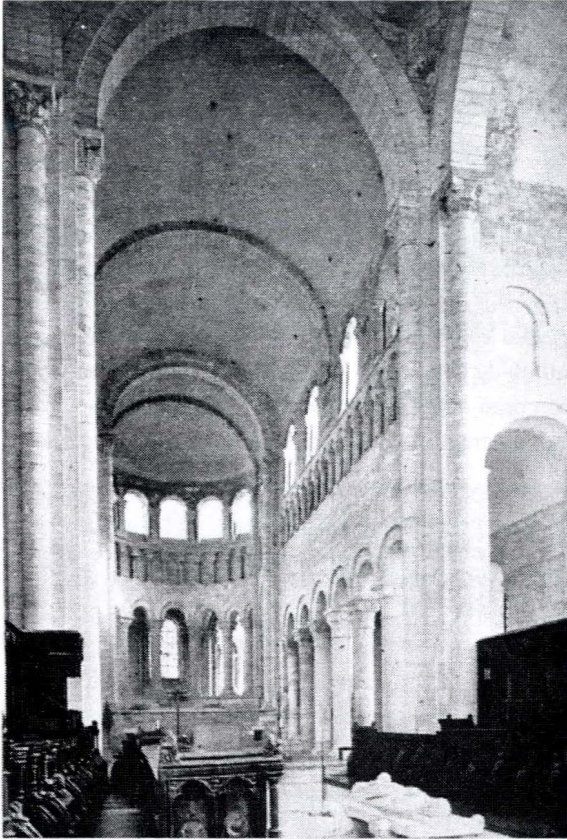


Fig. 8.12 Saint Benoît sur Loire

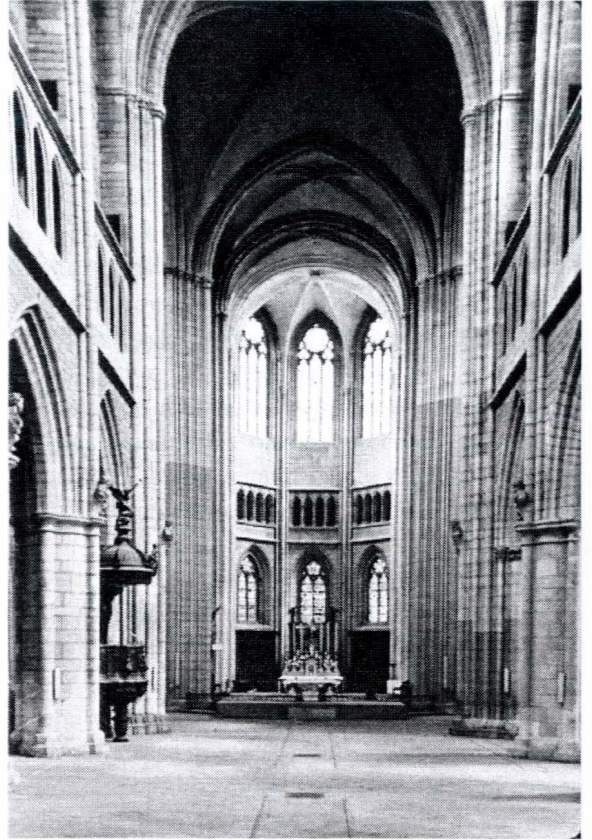


Fig. 8.13 Abadía de Dijon

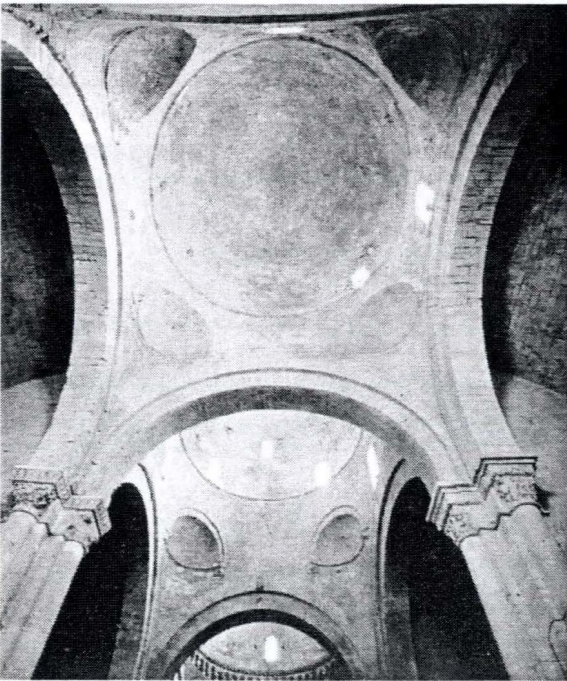


Fig. 8.14 Molise



Fig. 8.15 Orcival

espacio de la nave continuo, se evidencian capaces de sustentar la superficie de bóveda que les corresponde. Aunque no se manejen los conceptos de forma explícita, es evidente que se anulan los empujes en el sentido paralelo al eje de la nave con lo que, en esa dirección, no se produce habitualmente ninguna deformación, ni surge ningún problema significativo. Si las superficies de las bóvedas que gravitan sobre cada uno de los pilares en los que se apoyan los arcos, todavía diafragmáticos, son sensiblemente iguales, esos empujes se anulan entre sí. Los empujes se suman en la dirección perpendicular al eje, pero ahí se tiene una relativa experiencia. Se sacan los contrafuertes fuera y se calan en la parte interior del edificio con pasos cada vez mayores, lo que obliga a articular cada vez más las pilas.

Para este esquema, la bóveda ojival cuatrimpartita parece ser la más apta, y todas las sugerencias que plantea, compatibles con las motivaciones de índole teológica, y espiritual de la época, van conformando de una manera rápida aunque paulatina, el resto de la estética gótica.

La sustitución del muro por un arco igual al que divide la bóveda transversalmente es muy clara en algunos ejemplos románicos.

De esta forma no son sorprendentes los ejemplos en los que se conjugan ambos estilos, situación aún no suficientemente estudiada y que en algunos casos se denomina genéricamente, y sin demasiados compromisos, solución cisterciense: con arcos de medio punto como soporte del muro, el triforio y el claristorio apenas insinuados, o en sentido contrario, con arcos de ojiva como soporte del muro lateral y bóveda de medio cañón con fajones perpiaños. En todo caso se puede suponer que esta transición se produce en la frontera entre los siglos XII y XIII, cuando era innumerable el número de iglesias que se empezaban románicas y se acababan góticas (Fig. 8.18). Como ya hemos dicho, los trabajos de construcción podían durar centurias, por lo que la influencia de las nuevas ideas sobre el equilibrio estructural de las iglesias podía ser incorporadas mientras el esquema inicial respondiera a unos mínimos, dejando de lado en esa incorporación los aspectos estéticos, o incorporándolos como resultado del cambio estructural.

## 8.2.1 Las fábricas

### 8.2.1.1 Los cimientos

Se puede encontrar todo tipo de cimientos en todos los grados de ejecución imaginables sin que se pueda deducir nada a partir de este dato. Como opina Kuback, en este caso, es imposible establecer relaciones fiables entre cronología y calidad. Lo que sí ocurre es que cada caso de cimentación queda explicado por las circunstancias que rodean a cada edificio.

En una primera etapa, en general, se aprovechan los cimientos de construcciones anteriores cuando existen. Un replanteo limpio y coincidente totalmente con el proyecto no se da hasta que las obras alcanzan una dimensión importante. En obras significativas como San Pablo del Campo y Sant Cugat del Vallés se acepta una cierta irregularidad con tal de aprovechar parte de lo construido. En esta época, los monasterios importantes se construyen casi siempre en lugares destacados en los que se han ido superponiendo construcciones en cada etapa histórica. La secuencia más habitual es la siguiente: sobre un primitivo asentamiento ibérico se construye un campamento romano que da lugar posteriormente a una agrupación visigoda con una pequeña iglesia de la que se conservan los cimientos, que son los que se utilizan, dos y tres veces, hasta que se construye la iglesia románica cuyos restos perviven hasta hoy, mejor o peor conservados, cuando no debajo de otra etapa gótica.

La razón es que a lo largo de muchas centurias las formas de vida han sido muy similares, por lo que los criterios para la selección de los lugares de asentamiento son coincidentes: proximidad a manantiales y a tierras de labor, cruce de caminos, facilidad de defensa, etc.

Cuando se trata de obras pequeñas de nueva planta los cimientos son una mínima prolongación del muro, que tiende más a obtener una superficie regular para apoyo de la obra de fábrica, que a un reparto de cargas sobre el terreno, concepto éste que probablemente nunca estuvo en la intención de los constructores.

Para la datación de cada fase de una obra subsisten los problemas enunciados, aunque estas primeras etapas, por su rusticidad, no ofrecen apenas dudas.

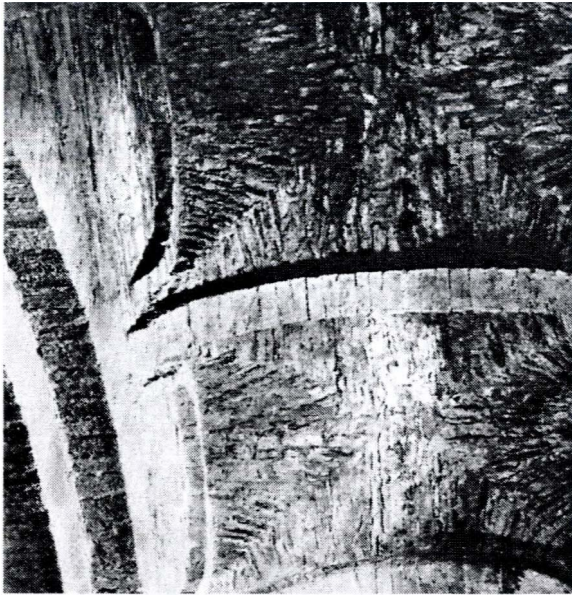


Fig. 8.16 Bóvedas de crucería de piedra de laja



Fig. 8.17 Santa María Laach

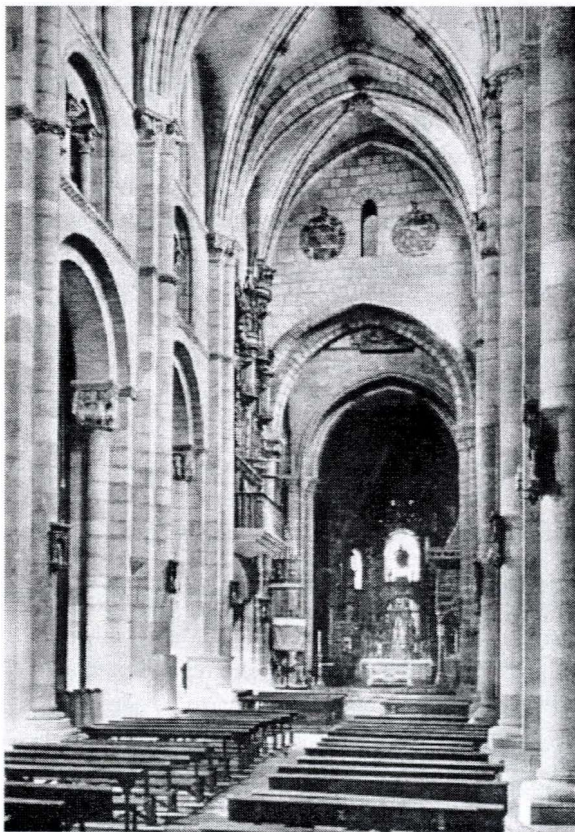


Fig. 8.18 San Vicente. Avila

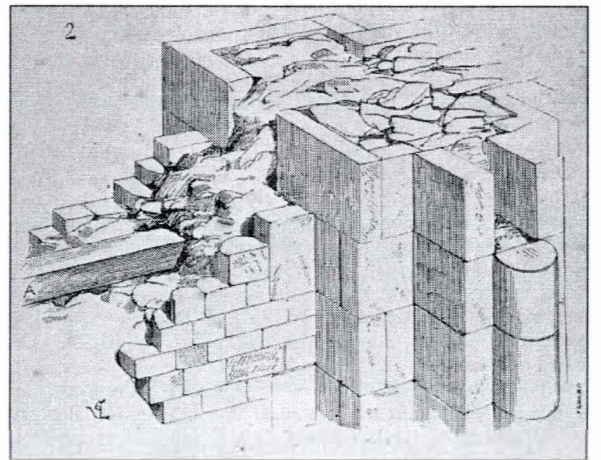


Fig. 8.19 "Emplectum" románico según Viollet le Duc

### 8.2.1.2 Los muros

Durante muchos siglos, excepto en casos muy concretos, como el mudéjar español o algunas fábricas mixtas, fundamentalmente italianas, casi va a desaparecer el ladrillo. Las razones pueden ser muy variadas, pero todas alrededor de las dificultades que presenta su fabricación. Ello debió provocar el olvido de las técnicas de fabricación, creando una inercia a favor de otros materiales, inercia que se pudo nutrir de la mala calidad de los que se obtuvieron en hornos artesanales en los que no se controlaba en absoluto el proceso, por lo que las obras de este material, cuando se hicieron, debieron ser muy percederas.

Abundando en este esquema se puede aducir también que debido a la especial naturaleza de las obras de ladrillo, que necesitan especificaciones muy concretas para cada detalle, cosa difícil por la falta de la sistematización y de tamaños comunes, este material no era el mejor vehículo para transmitir obras tan estandarizadas como las que se generan en el primer románico.

Por último se puede considerar que el ladrillo consume energía, leña en este caso, que no debía ser fácil de obtener teniendo en cuenta que su uso preferente debía ser en las necesidades domésticas.

Se puede entender como un paso importante para sistematizar el programa constructivo románico el hecho de que el material empleado fuera, en cada caso, la piedra local, mejor o peor trabajada, con técnicas que el uso cotidiano volvió controlables, por lo menos en lo que al proceso de puesta en obra se refiere.

En general se abandona también el sistema de muros homogéneos con las caras exteriores mejor o peor aparejadas, y se vuelve al *emplectum*, pero las superficies exteriores, que en el sistema romano son cubiertas por aplacados o por revocos, durante el periodo románico suele ser de piezas talladas que rematan el conjunto, sistema del que se encuentran muchos antecedentes, entre ellos el asturiano; queda por ver si se acababan revocadas como sugiere la frase del abad Suger. La característica más importante del sistema es la utilización de mampuestos de pequeñas dimensiones, en todas las calidades posibles de talla en las caras exteriores (Fig. 8.19).

Se puede justificar esta solución como una elección consciente. Dice Viollet: "Emplear el método romano más ordinario, es decir, construir las fábricas de macizos de ripio encerrados en paramentos de ladrillo o de sillarejo era poner en la obra más brazos de los que tenían a su disposición. Construir por medio de grandes bloques de piedra de cantería cuidadosamente labrados y colocados exigía transportes imposibles, caminos sólidos, número considerable de obreros, acémilas, medios costosos o de instalación difícil. Optaron por el término medio. Elevaron los puntos de apoyo principales empleando para los paramentos piedra de labra a modo de revestimiento y llenaron los interiores de mampostería. Para los muros accesorios adoptaron una mampostería desbastada en los paramentos, o sillarejo, encerrando de igual modo una fábrica de mampuestos y mortero".

Se puede aceptar en parte la versión de Viollet, aunque puedan existir otras justificaciones. Los grandes bloques, además de los problemas señalados, suponen un trabajo estereotómico más complejo, ya que en cada uno de ellos deben quedar resueltos muchos detalles de diseño. Trabajar con piezas más pequeñas permite una mayor simplicidad en cada una de ellas.

En la actualidad cada vez se admite con mayor seguridad que los sillarejos pequeños son una pervivencia de las técnicas bajoimperiales romanas, de las que hay múltiples ejemplos como la murallas de Barcelona o los sillarejos de recuperación del conjunto de Tarrasa.

En las zonas más pobres, o con menores posibilidades técnicas, se trabaja con rellenos de barro o de tapial.

En algunos casos se introducen en el muro, en el lecho de mortero, unos durmientes de madera. Su función puede ser la de zunchos de reparto para las solicitaciones puntuales de los arcos fajones, o la de evitar las discontinuidades a que dá lugar la irregularidad de los morteros. Una fábrica tan inconsistente como ésta tendería a alabearse antes de caer por su propio peso, o empujada por esfuerzos laterales, y los durmientes pueden evitar en parte ese alabeo. El sistema no parece que tenga continuidad, quizás debido a que, en general, la madera se pudre en el interior del muro y lo debilita, aunque Rondelet dice que encontró madera en excelentes condiciones en el interior de unos muros

del s. XII, durante las demoliciones efectuadas en París con motivo de la apertura de los bulevares.

La regularidad de las hiladas carece de importancia en esta etapa. La parte vista de los muros presenta una gran irregularidad en el aparejo (Fig. 8.20), cuya intención parece ser la de rellenar la superficie de la pared sin que se respeten las leyes de la traba, aunque a veces se haga por ser más fácil el aprovechamiento de los lechos de cantera.

La capacidad resistente de estos muros no está en proporción directa con su espesor. Las diferencias que presentan en la calidad de ejecución, desde los morteros al aparejo, son tan amplias que es difícil adjudicar una capacidad de carga a cada caso concreto. Esta situación se va a mantener hasta que las fábricas sean homogéneas y se construyan con materiales de resistencia controlable.

De todas formas, cuando se trata de muros de grandes alturas, como ocurre en las torres, se produce un aligeramiento de la sección en altura, lo que algunos autores relacionan con la "búsqueda inconsciente del sólido de igual resistencia" (Figs. 8.21 y 8.22).

La regular disposición de los huecos y la perfecta secuencia con la que aumenta su número, al tiempo que disminuye la sección de los muros, sugiere alguna intención en este sentido. Parece evidente que aumentar la sección en la parte inferior supone mayor seguridad, mientras que aligerar la parte superior alivia el peso y facilita la construcción, puesto que se debe subir menos material. Se entiende positivo construir según estas dos exigencias, que se pueden deducir de la observación de la realidad. De todas formas, si se rellenara todo el espesor del muro aún se estaría muy lejos de la fatiga máxima admisible para la parte inferior del muro. También se justifica la menor sección en cada nivel por la necesidad de recibir los forjados intermedios y las escaleras, que de esa forma se apoyan en los retallos y no quedan empotradas en la fábrica. Una vez planteados todos estos problemas, en su solución no se debe descartar la intencionalidad estética con la que se proyectaron algunas de estas torres (Fig. 8.23), ya que no parece respetuoso considerarlas una respuesta inmediata a un problema constructivo.

El equilibrado ritmo de crecimiento en altura supone una argumentación de importancia en contra de una hipótesis basada en la pura lógica constructiva. El aligeramiento es tan irrelevante desde el punto de vista del peso, y tan importante desde el del equilibrio formal, que en este caso no merece la pena aventurar otras razones. El resultado es impecable y al disminuir la sección se disminuye, además, el peso.

No obstante existen ejemplos en los que esa disposición es inversa y pueden existir gran cantidad de razones mucho más inmediatas que la justifiquen.

Debemos suponer, a la vista de la gran cantidad de edificios que se construyen con los mismos esquemas en áreas muy remotas, que se normalizan los sistemas de ejecución, siempre con las limitaciones propias de cada momento y lugar. Desde este punto de vista se puede justificar, como hace Viollet y acepta Puig i Cadafalch, que los medios auxiliares llegaron a ser comunes en todo el área de desarrollo del primer románico, reduciéndose el tamaño de los sillarejos a un tamaño que pudiera subir un hombre a la espalda por unos andamios muy deficientes, pero cuya construcción, más o menos estándar, se había universalizado. Los detalles de coronación de los muros y de las aperturas de huecos también son comunes en todo el periodo, por lo que se puede asegurar que las soluciones viajaron, en un tiempo muy corto, por toda Europa, unificando el proceso constructivo (Fig. 8.24).

La mayor y casi única preocupación debió ser el proceso de ejecución, la necesidad de colocar piedra sobre piedra de manera que se mantuvieran durante la construcción; todo lo demás debió reducirse a unas fórmulas muy primarias y confusas, con referencias antropomórficas, codos, pies, dedos, etc., sobre las que iniciar el trabajo, siempre referido, como en los seiscientos años anteriores, a una planta basilical con ábside.

### 8.2.2 Las cubiertas

Por todo lo anterior las cubiertas en la primera etapa románica son fundamentalmente de dos clases:



Fig. 8.20 Muro del narthex de San Pedro de Roda

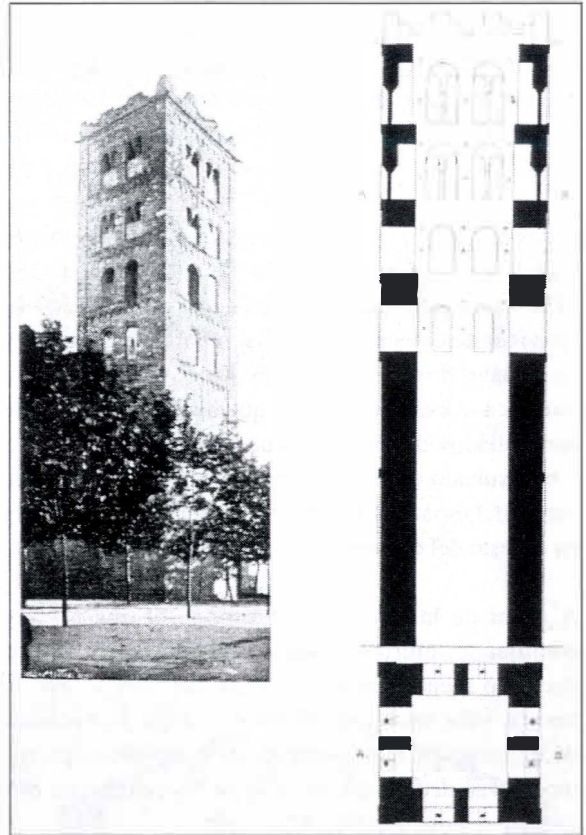


Fig. 8.21 Sección del campanario de Breda según Puig i Cadafalch

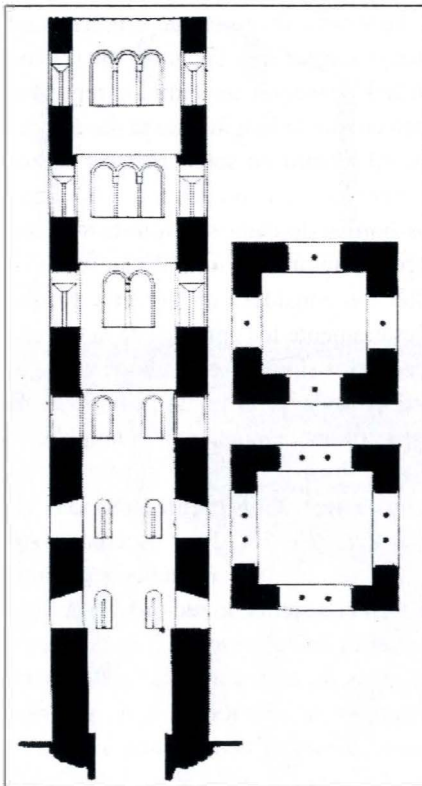


Fig. 8.22 Sección del campanario de Vic, según Puig i Cadafalch

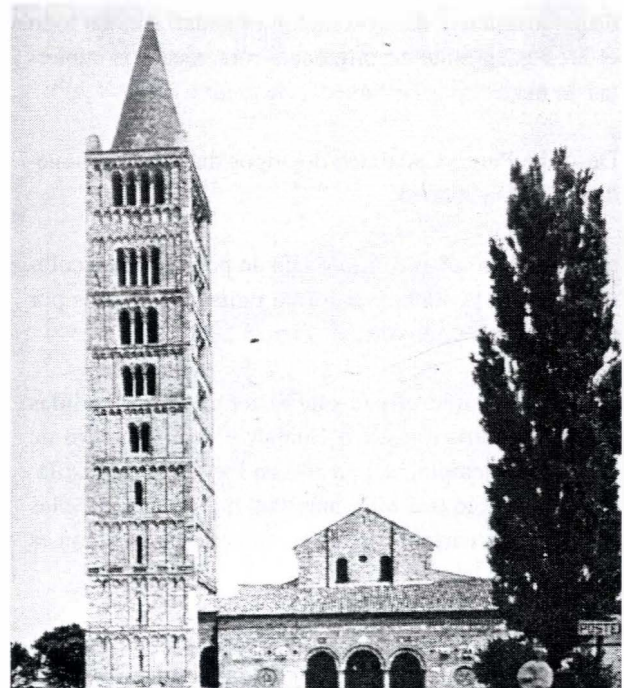


Fig. 8.23 Pomposa

1) De madera a base de encaballados muy simples en los que la triangulación se deriva de la necesidad de acoplar las pendientes a la coronación de los muros, en la dimensión menor de la luz, sin que sea posible demostrar que obedece al conocimiento de la indeformabilidad del triángulo y de sus ventajas. Son muy pocas las que, con materiales originales han llegado hasta nuestros días (Fig. 8.25). No adopta una disposición única. Respetando las dos aguas imprescindibles, las vigas se colocan transversal o paralelamente al eje de la nave (Figs. 8.26 y 8.27). En el segundo caso se modifica el esquema clásico que apoya las vigas o los encaballados en los muros que limitan la nave central, y el resultado es una mayor compartimentación transversal del espacio sin que se consigan grandes mejoras en el resto del esquema.

A pesar de la libertad que supone el que no haya empujes, el muro se convierte en una pantalla con mayor o menor capacidad expresiva, en la que los huecos altos resuelven de forma simple la necesidad de iluminación, aunque las naves laterales tampoco se incorporan decididamente a la nave central, que es el espacio dominante (Fig. 8.28).

2) Pero, como ya hemos indicado, la verdadera "revolución" románica en lo constructivo se produce cuando se sustituyen, como solución estandarizada en todo el área geográfica de influencia románica, las cubiertas de madera por las bóvedas de piedra.

Describe Puig i Cadafalch dos tipos distintos de bóvedas según su aparejo:

a) Una a base de piedras de laja de poco espesor colocadas sobre la cimbra de forma radial y cubiertas por una capa de mortero de cal (Figs. 8.29 y 8.30).

Las ventajas que ofrece este sistema son entendidas por los constructores. En Gualter y en San Pedro de Roda, por ejemplo, se construyen los muros con sillarejo, que exige una talla más sencilla que las dovelas por tener las caras ortogonales, mientras la cubierta es de piedra de laja.

Antecedentes de este sistema se encuentran en algunos puentes romanos, lo que no tiene por que significar ninguna continuidad, sino la constatación de que en

todas partes se usan los mismos sistemas cuando coinciden los materiales y el enunciado de los problemas.

b) La otra se construye con piedra más trabajada, adovelada y la cantidad de mortero necesaria depende en cada caso de una mayor o menor perfección en la talla (Fig. 8.31).

En los dos sistemas es imprescindible el uso de cimbras muy resistentes en toda la cubierta, lo que justificaría la existencia de arcos fajones como una manera de disimular las juntas en el caso en que se utilizara una cimbra parcial.

También en los dos sistemas se produce el empuje sobre los muros, aunque, si los morteros son de buena calidad, lo que ocurre raramente, las bóvedas de piedra de laja se pueden considerar, con los años, bóvedas concrecionadas. Los empujes dependen del peso de la bóveda y, en menor medida, de la forma del intradós, no del despiece.

En cualquier caso la construcción de las bóvedas de medio cañón plantea una serie de problemas prácticos importantes. Es necesario disponer de cimbras que cubran toda la luz, o aceptar que las juntas de relleno se noten, y es difícil conseguir un intradós regular a partir del momento en que la longitud de la nave supera unos mínimos. Al intento de solucionar estos problemas puede deberse la aparición del arco fajón, que se situaría en los bordes de cada sección de vertido, aunque según algunos autores se trata de un refuerzo estructural. Viollet los considera un defecto, ya que concentran innecesariamente los empujes de la bóveda en unos puntos concretos sin que se garantice el aligeramiento del resto, pero desde el punto de vista de la percepción del espacio suponen una mejora notable.

Se dan casos intermedios. Con piedras talladas en mayor o menor medida (Fig. 8.32) se efectúan todo tipo de bóvedas, algunas de claro ascendente bizantino en su trazado y en el sistema de recibido, o coincidentes quizás por ser la única solución eficaz. En este caso, las coincidencias no deben achacarse de forma inmediata a una influencia concreta ya que, posiblemente, pertenezcan, como ya hemos indicado en el capítulo primero, al repertorio ineludible de las "buenas soluciones del oficio".

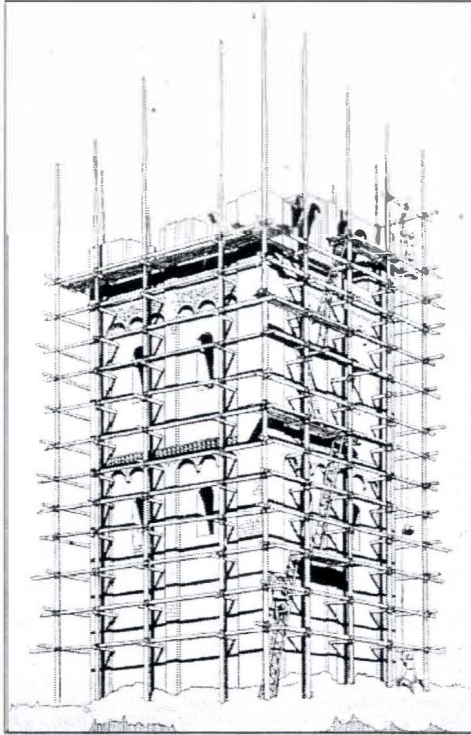


Fig. 8.24 Construcción de una torre románica según Puig i Cadafalch

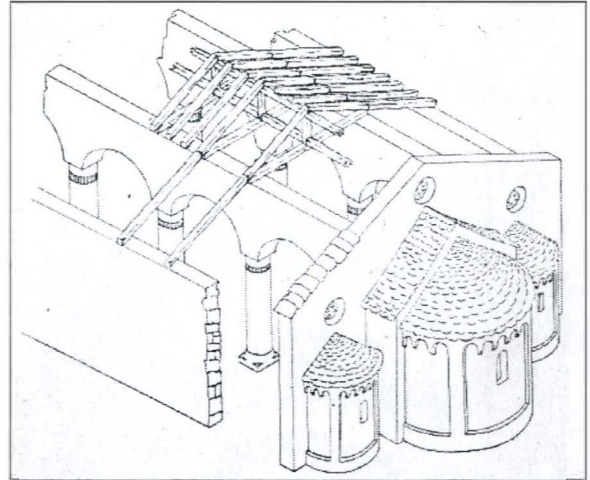


Fig. 8.25 Cubierta de madera según Puig i Cadafalch

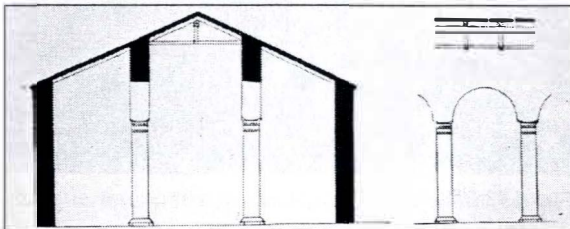


Fig. 8.26 Cubierta de madera transversal al eje de la nave

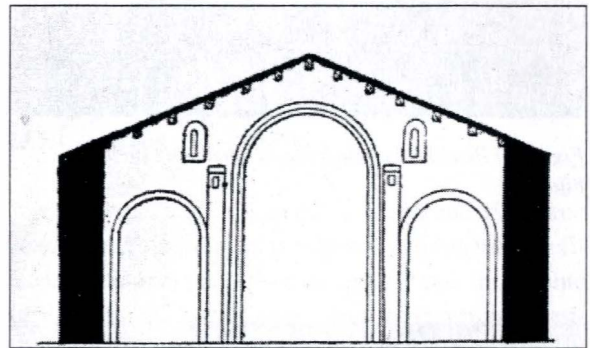


Fig. 8.27 Cubierta de madera paralela al eje de la nave



Fig. 8.28 Santa María. Lomello

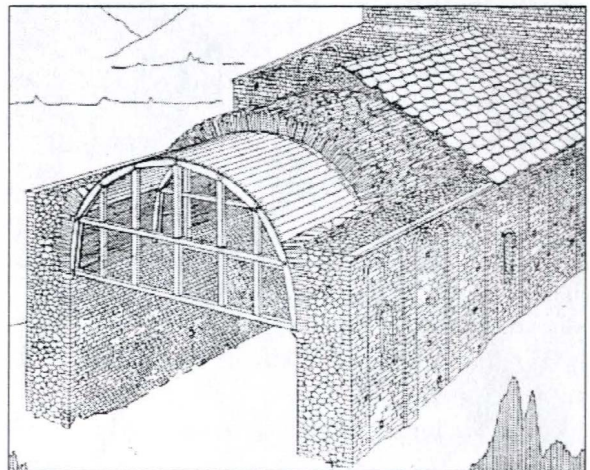


Fig. 8.29 Construcción de bóveda de piedra de laja según Puig i Cadafalch

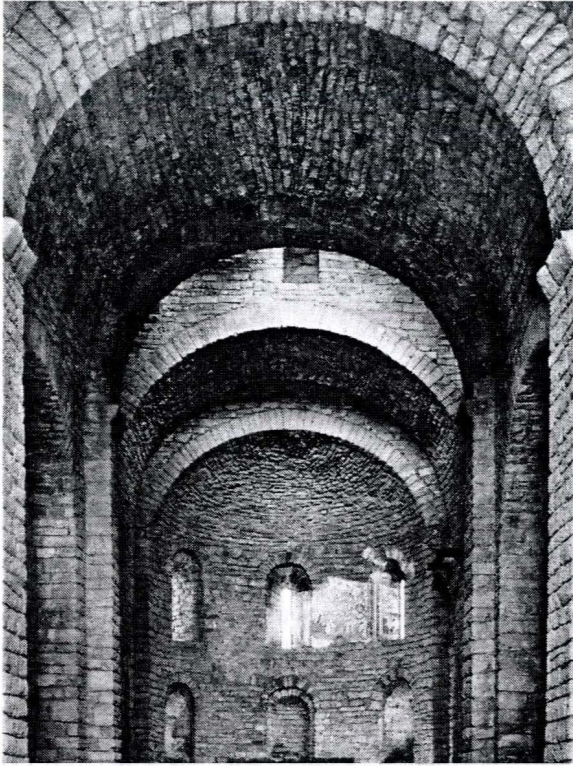


Fig. 8.30 Bóveda y semicúpula de ábside de piedra de laja.

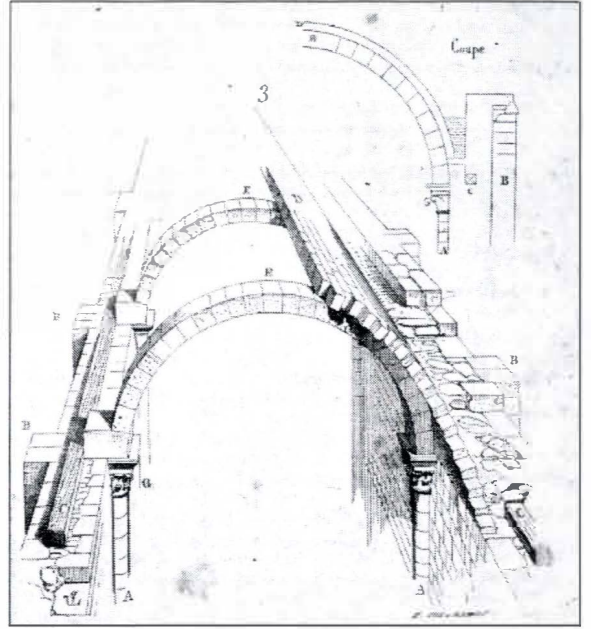


Fig. 8.31 Esquema de bóveda adovelada según Viollet le Duc

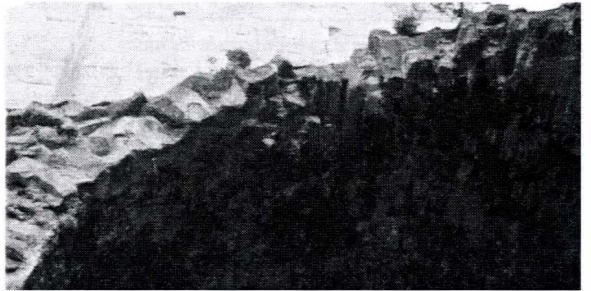


Fig. 8.32 Bóveda de Santa María de Alet

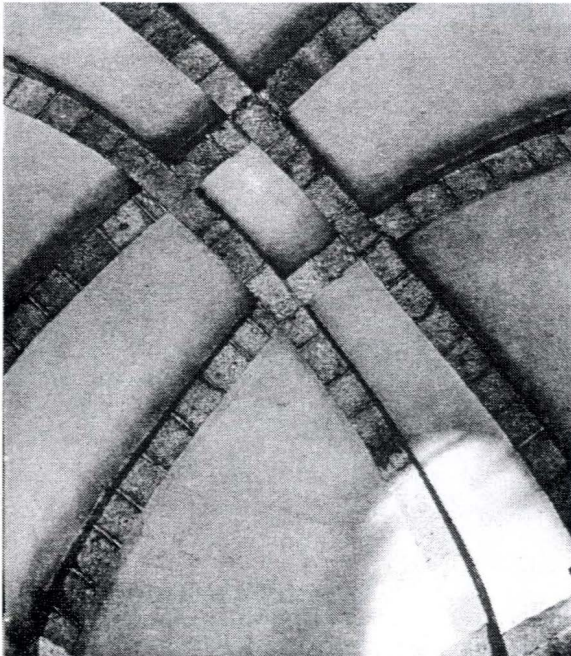


Fig. 8.33 Cúpula nervada en La Vera Cruz. Segovia



Fig. 8.34 Cúpula nervada en La Vera Cruz

### 8.2.3 Las sobrecubiertas

Para proteger la cubierta abovedada de las aguas de lluvia y evitar la degradación de los deficientes morteros de cal, sobre ellas se organiza un acabado a dos aguas rematado con piezas cerámicas de muy baja calidad, bardas de paja o losas de piedra. Esta estructura secundaria era normalmente de madera sobre el relleno de la bóveda, aunque en algunos casos se daban las pendientes con ese mismo relleno, aligerado con piezas de cerámica.

### 8.2.4 Los nervios

Dado el carácter eminentemente evolutivo de la construcción románica, se puede entender que los nervios están sujetos a distintas valoraciones, tanto desde el punto de vista estructural como desde el estético.

En algunos casos, muy pocos, los nervios son realmente un armazón que rigidiza las bóvedas que se montan sobre ellos, aunque es muy complicado establecer el esquema estructural resultante (Figs. 8.33 y 8.34). Puede que se trate de la pervivencia de algún esquema más complejo, en cuya construcción se introducen inconscientemente, debido a la confusa doctrina constructiva de la época, modificaciones de importancia que lo convierten en algo singular. Pero lo que sí se puede asegurar es que en casi todos los casos se trata de un recurso constructivo que permite dar un remate digno y regular a la línea de contacto entre dos sectores abovedados, que sin ese elemento son muy difíciles de rematar (Figs. 8.35, 8.36 y 8.37). En todo caso se puede suponer que su uso se universalizó por su utilidad, sin que se llegara a distinguir estrictamente su función.

Esta confusión sobre la finalidad última, entre decorativa y estructural, de los nervios, se manifiesta aún con mayor intensidad en el caso de desproporciones importantes entre el tamaño y presencia de los nervios en relación con las luces cubiertas y más, como en el caso de Torres del Río (Fig. 8.38), cuando se asimilan de forma tan directa formas cuya intencionalidad estética es evidente, pero cuyo esquema estructural es tan complejo y definitorio. En este caso los nervios tienen

una clara inspiración en el *mirhab* de la Mezquita de Córdoba, pero su robusta construcción da lugar a una estructura muy compleja e impredecible en su comportamiento

Cuando la solución se lleva al extremo, como ocurre en las salas capitulares, los requerimientos del esquema han de ser muy estrictos. Las superficies cubiertas deben ser idénticas alrededor de las columnas de soporte, y la simetría, tanto de la situación como de la robustez de los arcos alrededor del punto de apoyo sobre la columna, no admite errores (Fig. 8.39). La pequeña sección de algunos fustes es excesivamente audaz para que sea consciente, pero en todo caso exige que no se produzca la más mínima excentricidad en las cargas ya que, aunque el trabajo a compresión pura puede acercarse al límite de lo posible, un pequeño momento en la base provocaría sin duda el hundimiento del conjunto.

### 8.2.5 Los arcos

En la construcción protorrománica, en general, el arco fue un elemento manejado muy restrictivamente, deficientemente aparejado y en el que lo más importante era la forma del intradós sin que se observaran excesivas precauciones en su construcción (Fig. 6.5.13).

Se puede considerar que una de las características que definen el paso definitivo al primer románico, con la asunción de todos sus postulados estéticos y sus recursos técnicos, es la aparición sistemática de los arcos con las dovelas talladas radialmente, más o menos regulares, y montados sobre cimbras.

Se pueden señalar dos características específicas en este primer periodo.

En general la clave casi siempre es partida, constituida por dos piezas, con lo que cada semiarco tiene una cierta capacidad de asentamiento independiente (Fig. 8.40), y por otra, no se considera necesario tallar las dovelas iguales sino que, es de suponer que para aprovechar las piezas de piedra, se tallan de cualquier tamaño mientras se respete el radio del intradós y la anchura del arco (Fig. 8.41).

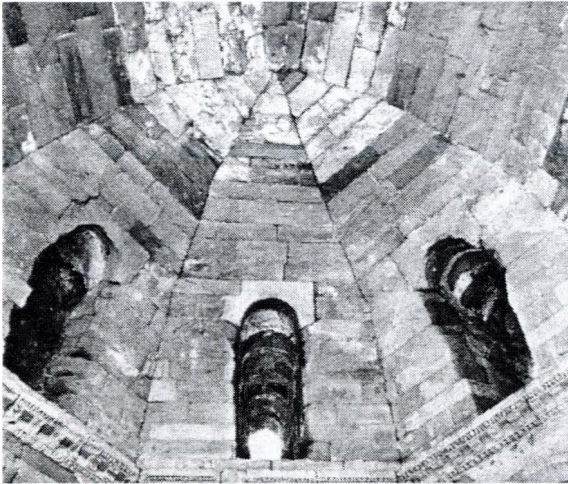


Fig. 8.35 *Bóveda del coro en Santa María de Alet*

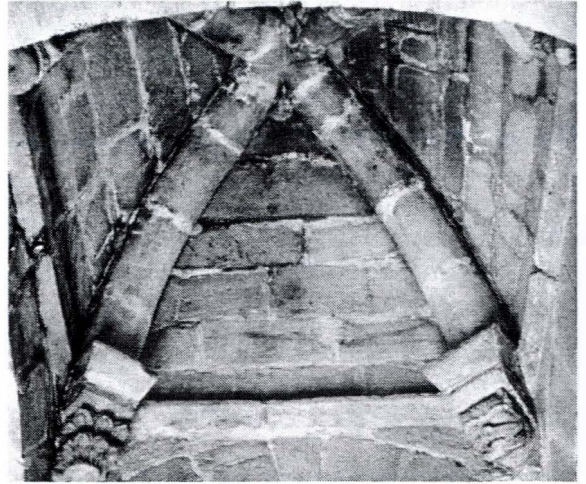


Fig. 8.36 *Bóveda del baldaquino en San Juan de Duero*

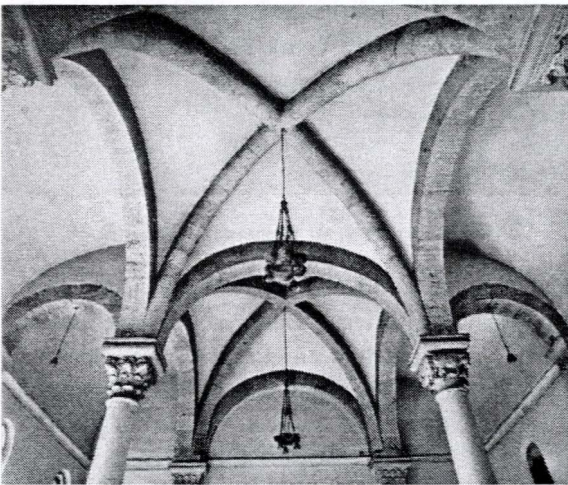


Fig. 8.37 *San Benedetto, Brindisi*

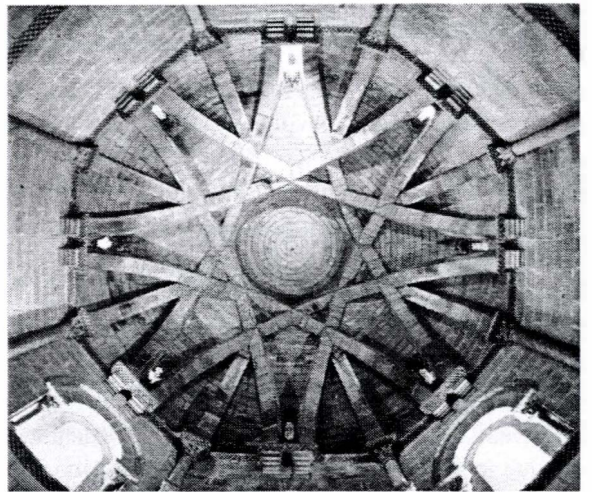


Fig. 8.38 *Cúpula nervada, Torres del Río*

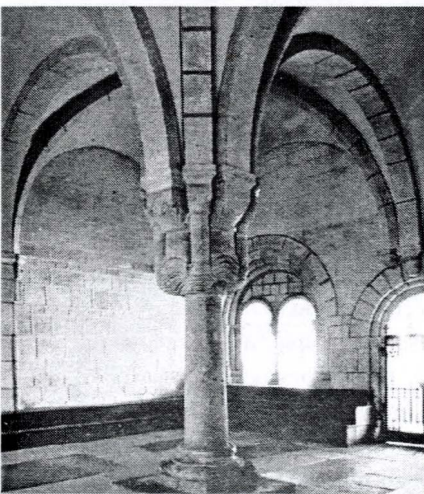


Fig. 8.39 *Sala capitular del monasterio de Zwettl*

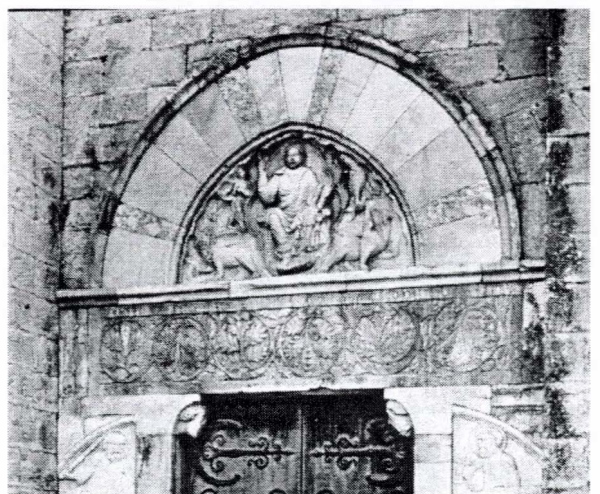


Fig. 8.40 *Puerta con arco adovelado. Maquelonge*



Fig. 8.41 Puerta de la iglesia de Bossost



Fig. 8.42 Puerta sur de la iglesia de Canales de la Sierra

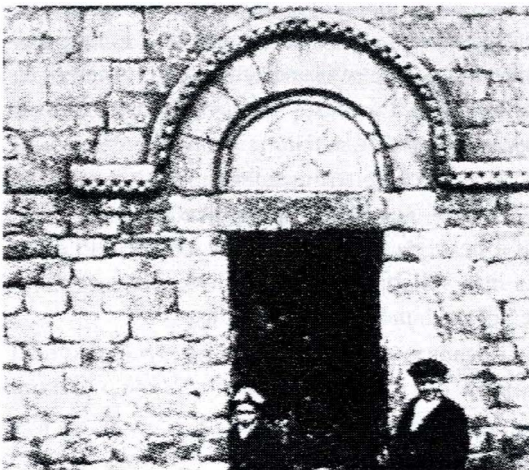


Fig. 8.43 Puerta con tímpano sobre dintel en Tredós



Fig. 8.44 Claustro de Sant Cugat del Vallés

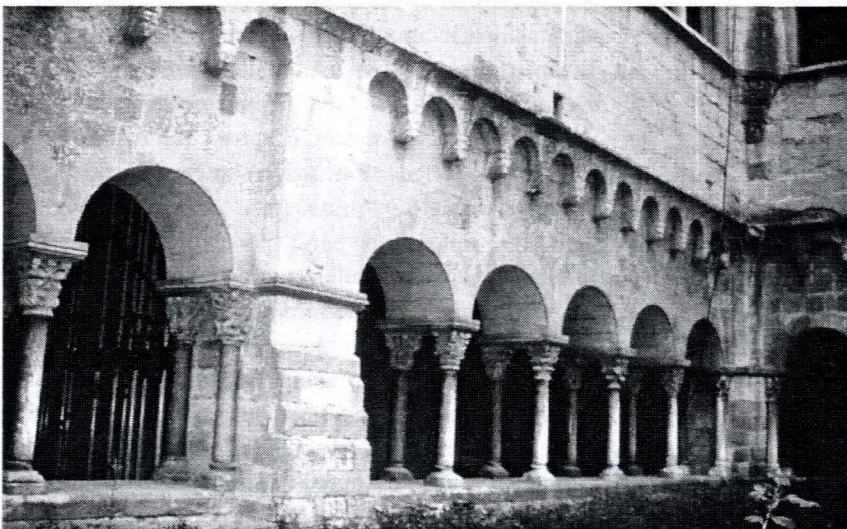


Fig. 8.45 Contrafuertes del claustro de Sant Cugat del Vallés

Como novedad notable aparece un esquema para los arcos sobre las entradas: los arcos por roscas (Fig. 8.42). Su intención es dar más representatividad a la puerta sin por ello abrir en exceso el hueco, con lo que se interrumpiría en mayor medida la continuidad del muro. Aprovechando su espesor, a partir de la primera rosca situada en la cara interior, se superponen varias, cada vez con mayor radio, hasta la cara exterior. El apoyo de cada rosca se hace sobre unas columnas colocadas en diagonal sobre la anchura del muro.

Este sistema resuelve muchos problemas a la vez. Aumenta hasta unos límites insospechados la capacidad de la puerta como elemento representativo -en el gótico el número de roscas crecerá de forma exorbitante-, sin por ello debilitar excesivamente el muro. Simplifica la construcción, ya que se pueden superponer las roscas sobre la primera con apeos mínimos, y sirve para rematar lateralmente, en la jamba, el relleno del muro con una articulación mayor que la que aportarían unas piezas planas.

A partir de esta solución, el dintel, que hasta ese momento ha sido el elemento que cierra el hueco de la puerta por la parte superior, se convierte en un elemento decorativo independiente, el tímpano, y como señala quizás de forma exagerada Choisy, es la única pieza en toda la construcción románica y gótica que sigue trabajando a flexión. (Fig. 8.43)

El desarrollo y la estandarización de esta forma servirá en el gótico a un complicado mecanismo teológico, que encontrará en ella el lugar en el que colocar toda la compleja iconografía imprescindible para la correcta descripción de las aspiraciones espirituales de los constructores de las catedrales.

A pesar de no ser una novedad, el uso de los arcos yuxtapuestos alcanza en los claustros románicos una técnica casi perfecta. Las arcuaciones de los claustros establecen un apoyo continuo, aunque calado, hacia un patio descubierto de uso múltiple. Al principio suelen estar cubiertos con madera, a una sola agua hacia el patio, aunque con posterioridad han sido cubiertos por bóvedas de crucería góticas en muchos casos, lo que provoca a veces deformaciones importantes en los arcos, que no están dimensionados para estos empujes.

En general responden a un esquema bastante uniforme. Sobre un pretil continuo de aproximadamente 80 cm de altura, se levantan las columnas -bases, fustes y capiteles, independientes y simplemente apoyados-, y sobre éstos se construyen los arcos (Fig. 8.44), que se refuerzan en las esquinas con unas pilas aparejadas de tamaño variable. A veces, y cuando están cubiertos con bóvedas, que en el románico suelen ser de medio punto, se refuerza el conjunto con contrafuertes cada tres o cinco arcos (Fig. 8.45).

También se usa como soporte de una compleja descripción teológica, en la que cada capitel trata un tema concreto, aunque hay ejemplos con todos los capiteles iguales.

Los detalles en los que se percibe un gran conocimiento del problema constructivo son muchos, aunque quizás el más destacable sea la selección de los materiales para las columnas. Las bases y los capiteles suelen ser de piedras de menor resistencia que los fustes, de forma que si éstos sufren desplomes o giros, aquéllas actúan como almohadillas que permiten esos movimientos a costa de una degradación mínima sin dañar la pieza más solicitada, el fuste, cuyo colapso supone casi siempre el hundimiento del claustro.

### 8.2.6 Los cimborrios

Aunque siempre se pretendió resaltar la importancia del crucero, la forma definitiva se consagra en cuanto el románico incorpora las soluciones desarrolladas en Bizancio para plantar una cúpula sobre un cuadrado. La más utilizada es la que complementa las esquinas del cruce de las naves con trompas, que en casi todos los casos se encuentran perfectamente aparejadas y definidas (Fig. 8.46).

Sobre estas trompas se elevan las cúpulas semiesféricas adoveladas y con nervios confluyentes en la clave, rellenas las enjutas con mortero de cal y cubiertas por entramados de madera a cuatro aguas. No suelen llevar tambor, es de suponer que ante las dificultades que presenta contrarrestar los empujes de la cúpula en el perímetro, y en muy pocos casos sirven para iluminar el presbiterio.

### 8.2.7 Los ábsides

El ábside forma parte de las basílicas desde el momento en que se empiezan a usar como iglesias cristianas. Es el único elemento que se conserva en todas las vicisitudes que sufre la planta a través de los siglos, sea cual sea su dimensión y el sistema constructivo que sirva para materializarla, puede que debido a que en él se focaliza el culto. La presencia corpórea de Cristo, conseguida en la Eucaristía, o su simple exposición crucificado, justifica más que sobradamente el esfuerzo y hace imprescindible un espacio destacado.

En un principio los ábsides son diminutos y cuando aumentan las dificultades adoptan formas cuadradas, más fáciles de construir y de cubrir con entramados de madera, pero a partir del momento en que es posible una mínima calidad en la talla, se vuelve de forma generalizada a los ábsides de planta semicircular, en algunos casos ligeramente peraltada. En las etapas finales del románico se complican en planta con pequeños absidiolos dedicados a cultos especiales. Desde el punto de vista constructivo supone cierta mejora, ya que esos elementos sirven para contrarrestar los empujes de la cubierta.

Como la nave principal, sufre un proceso de crecimiento, tanto en planta como en alzado, conforme se van mejorando los sistemas de construcción de los muros. También se ensanchan las ventanas, muy pequeñas al principio, (Fig. 8.47) que crecen en proporción a la superficie total (Fig. 8.48). Esta evolución supone un mayor riesgo en el contrarresto de los empujes de la semicúpula de cubierta, y sólo es posible cuando el muro se articula con un mayor porcentaje de sillares sobre la masa del relleno.

Las cubiertas de los ábsides son casi siempre cúpulas de cuarto de punto, aparejadas al principio en piedra de laja (Fig. 8.30) y más tarde adoveladas, y en algunos casos decoradas con nervios. Se puede establecer en este caso una relación directa entre la cronología y la perfección de la talla, en un ejercicio "profesional" que posibilitará inmediatamente los complejos ábsides góticos.

La cubierta exterior, a una sola agua, se apoya normalmente sobre un recocado del relleno de la bóveda.

### 8.3 La estructura resultante

La estructura resultante de las complejas construcciones del último románico no se puede considerar como un conjunto si no es en la medida en que, al estar los elementos yuxtapuestos, el equilibrio de unos influyen en los otros. Se puede entender que cada sección transversal debe estar en equilibrio y éste es muy complejo de definir, ya que es difícil adjudicar unas características concretas a cada elemento. De todas formas los cimborios se pueden considerar elementos aislados que arrojan cargas concretas sobre las pilas; las paredes laterales y los contrafuertes deben soportar el empuje de las bóvedas y los momentos que éstos provocan sobre ellas, y los ábsides rara vez "empujan" al resto de la estructura. Lo que ocurre es que la gran superficie que suelen ocupar en planta las catedrales románicas de la última época complica el problema, ya que es muy difícil que los asentamientos sean iguales en todo el conjunto, debido a la heterogeneidad que se produce por el poco control de la ejecución. En cualquier caso cada elemento presenta su propia seguridad y sólo si cada uno supera el mínimo aceptable se puede considerar que el conjunto es estable.

### 8.4 El legado románico

El legado románico es sociológico, técnico y artístico. Estructura el ámbito rural en las ocho centurias siguientes y en las zonas en las que no ha sido posible la industrialización de los procesos agrícolas casi hasta nuestros días.

El artístico es más difícil definir, ya que apenas aparece en las corrientes posteriores sino como motivo de contemplación. Puede que los críticos y estudiosos de la Historia del Arte encuentren continuidades significativas del románico como estilo en otras etapas de la Historia, pero serán siempre casuales o forzadas por algún manierismo. El románico sólo ha sido objeto de contemplación, extasiada desde luego, y eso en la última centuria. Apenas otros restos son detectables de forma evidente en el desarrollo cultural de Occidente.

El técnico es muy importante, pero sólo para la etapa inmediatamente posterior. Proporciona a los construc-

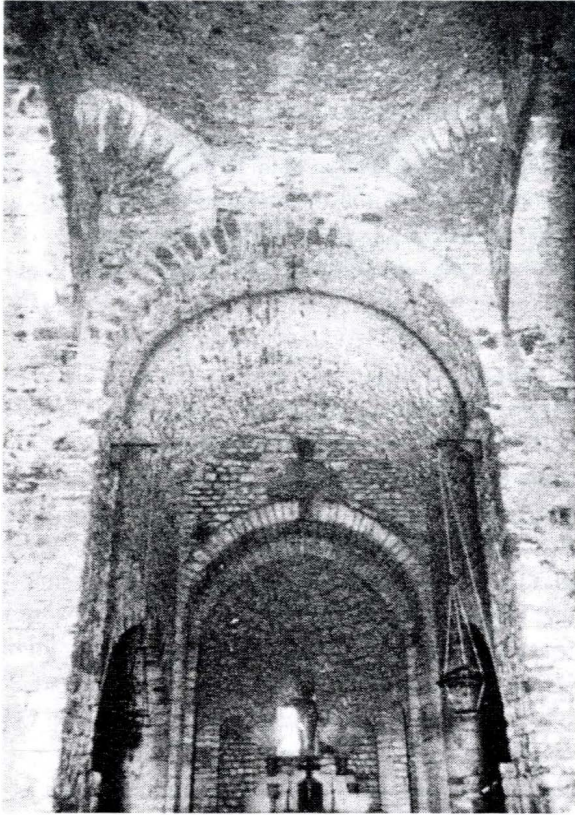


Fig. 8.46 Trompas del cimborrio de Sant Llorenç de Munt

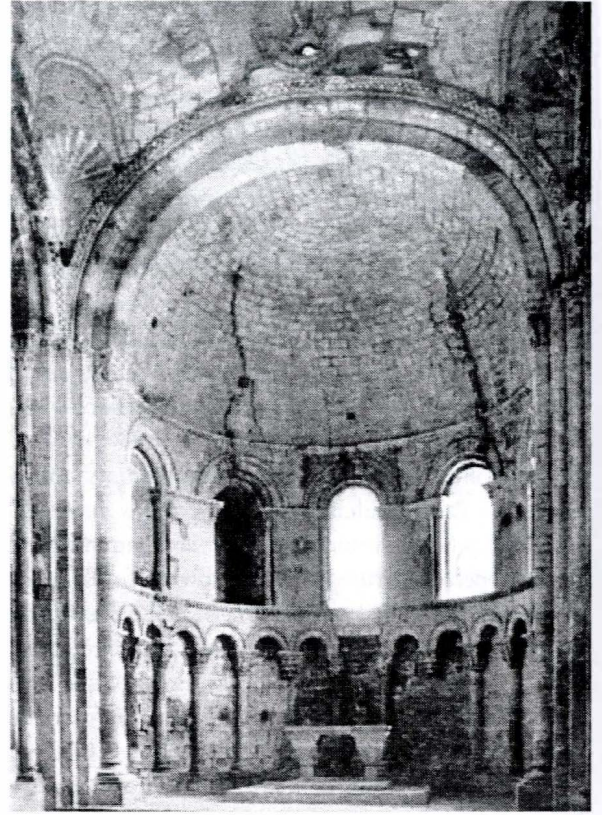


Fig. 8.48 Abside de la iglesia de Loarre

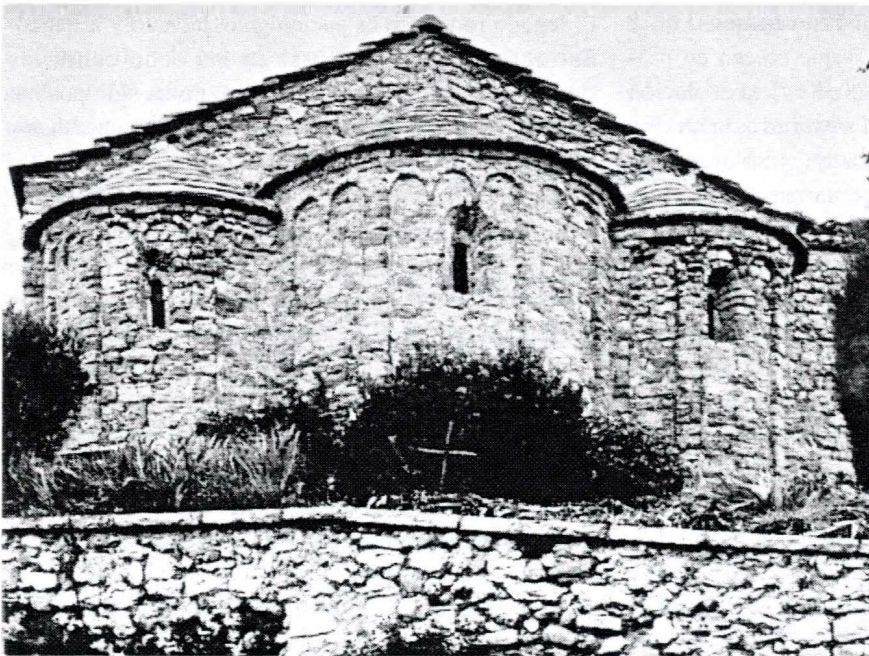


Fig. 8.47 Absides de la iglesia de Tossa de Montbui

tores una gran soltura en el manejo de las grandes construcciones de piedra trabada que va a permitir lo que ya hemos llamado en otra ocasión las insensateces góticas. Casi todas sus conquistas en el campo de la ejecución serán básicas para el desarrollo del nuevo estilo. A partir de un repertorio constructivo basado en

la bóveda de cañón, con o sin perpiaños, en la crucería en algún caso, en los muros de sillarejo de perfección creciente, en el manejo de la talla de los elementos auxiliares, entre otros extremos relacionados con el manejo de la piedra, se está posibilitando la gestación del gótico.



## 9. Construcción arquitectónica gótica

### 9.1 El escenario

A partir de la segunda mitad del s. XII se va a producir un cambio muy significativo en el "aspecto" de las construcciones. Este cambio obedece a unas modificaciones sustanciales de algunos conceptos religiosos y litúrgicos y se produce como resultado de un proceso reflexivo bastante complejo que obliga a los constructores a conseguir una nueva definición del espacio interior de las iglesias.

La variación más importante por su relación con el proceso constructivo es la valoración de la luz como una expresión terrenal de la naturaleza divina. En el intento de materializar la luz con edificios cada vez más esbeltos y luminosos se producen los avances y las osadías en el esquema constructivo, constantemente requerido por los arquitectos para superar la etapa anterior, hasta que, agotado el modelo espiritual, estética y técnicamente, cae en desuso y es olvidado, quizás injustamente, durante cuatrocientos años.

Desde el punto de vista sociológico se produce una evolución positiva de los asentamientos humanos, aunque el conjunto de condiciones que posibilitan esta etapa es muy complejo y, en muchos casos, de una gran dureza. En algunos aspectos se hacen más fluidas las relaciones culturales, se genera riqueza acumulable en mayor proporción de la que ha sido posible desde la desaparición del imperio romano, se estabilizan los oficios especializados y con conocimientos específicos como actividad cotidiana, la organización de las cuestiones comunes alcanza una cierta eficacia y se acometen trabajos, las catedrales, que implican a todos los estamentos de cada comunidad, bendecidos, en el más estricto sentido del término, por la naturaleza trascendente del empeño.

Todas estas mejoras de las circunstancias materiales favorecen la aparición del nuevo estilo y hacen posible su desarrollo. Mientras el primer románico es, en general, un hecho rural que evoluciona hacia mayores empresas constructivas en torno a los monasterios, el gótico es desde su origen, un fenómeno urbano, sólo posible como resultado de la voluntad de comunidades mucho más complejas y evolucionadas. Por que uno de los cambios más espectaculares es el de las proporciones en las que se contruye. El nuevo sistema permite unas magnitudes muy poco usuales hasta el momento (Fig. 9.1), lo que supone, además de un alarde técnico, un cambio en la mentalidad y en la asunción de responsabilidades por parte de la comunidad constructora, sin cuyas aportaciones y esfuerzo no hubieran sido posibles los espectaculares resultados conseguidos como manifestación de una actitud colectiva.

La catedral gótica, máximo exponente de la construcción de la época, es una necesidad no sólo religiosa, sino también social, como punto de reunión polivalente -en ella se celebran mercados y reuniones de todo tipo, incluso enterramientos del común-, y como demostración de la potencia económica y de la pujanza espiritual de cada comunidad, aunque las distintas realidades que dan soporte a su construcción no permiten asegurar una linealidad automática en ese enunciado.

Construir es el principal y casi único trabajo colectivo de la época. Los medios puestos a disposición de esta actividad suponen, como en ninguna otra ocasión de la historia, un altísimo porcentaje de la capacidad de trabajo de la Europa medieval, y bajo ese punto de vista se pueden aceptar como válidas y verosímiles muchas de las complicaciones que se producen en el sistema constructivo, y que no son aceptables si se plantean

como respuesta a un esquema estructural estricto. La naturaleza trascendente del empeño justifica de sobra cualquier demasía.

Existe una gran diferencia entre este esfuerzo y el que con otros supuestos realizaron los romanos. Mientras estos construían infraestructuras y obras de utilidad inmediata, el esfuerzo medieval, y más exactamente el de la época gótica, se orienta casi exclusivamente, al margen de los castillos y las obras de defensa, a dotar a las comunidades de un espacio en el que desarrollar los aspectos espirituales de la vida, sin que exista una conciencia colectiva tendente a la mejora del entorno cotidiano.

Ese esfuerzo está conducido por unos requerimientos muy estrictos que deben resolverse con los limitados medios de la época. Como un imperativo categórico ineludible aparece en primer lugar la necesidad de construir cada vez más alto y más liviano para dejar entrar la luz, aligerando las paredes y los elementos portantes.

Es notable la progresión en altura que se produce coincidiendo con la cronología de las obras: Noyon, 26 m de altura, Laon, 28 m, París, 30 m, Chartres, 38 m, Reims, 40 m, Amiens 42,5 m, hasta San Pedro de Beauvais con 44 m, cada catedral pretende superar a la anterior en un proceso que sólo detendrá la imposibilidad material de sobrepasar el límite que marca la experiencia (Figs. 9.2 y 9.3).

Es difícil, fundamentalmente debido a la falta de datos, definir bajo qué condiciones de diseño y con qué sistema de proporciones se entendía posible ese crecimiento, pero el caso es que, fueran cuales fueran esas normas, éste se produjo hasta el límite que demostró Beauvais, cuyos problemas constructivos, hundimiento y posterior reconstrucción, fueron una frontera cierta que no se osó traspasar posteriormente.

En segundo lugar, la evolución del estilo exigió la complicación de los trazados de las cubiertas y las pilas con una intención exclusivamente formal, ya que esa complicación no supuso ninguna aportación a la estabilidad del conjunto, sino todo lo contrario (Figs. 9.4, 9.5, 9.6 y 9.7). El aumento de las dificultades en la talla es realmente espectacular.

Para responder a esas exigencias, que se resuelven con la brillantez que es posible contemplar todavía hoy, los instrumentos siguen siendo los mismos que en la anterior etapa románica. Lo único que ha cambiado, y mucho, es la mentalidad y la experiencia constructora conseguida en el trabajoso proceso de crecimiento del románico.

La única herramienta técnica es una geometría muy simple que apenas es entendida como algo abstracto, sino como un instrumento útil en casos muy concretos, y con él deben resolver los inmensos problemas que plantea el crecimiento en altura de las naves y la complejidad de las soluciones de cubierta.

Además de los problemas relativos a la fiabilidad del proyecto como estructura estable, la concreción del trabajo plantea tres problemas a los constructores góticos.

1) En primer lugar tuvieron que disponer de un sistema estructural que permitiera proyectar desde los primeros ejemplos, de alturas cercanas a los 25 m, hasta los últimos de más de 40, y las progresivas complicaciones de los trazados de las bóvedas con el mismo esquema básico. Es difícil aventurar una opinión sobre el resultado de esa evolución de no haber podido adaptar el esquema a ese proceso. En este punto es necesario suponer que las complicaciones que desde el punto de vista técnico plantea el crecimiento, la progresiva complicación de las formas y el adelgazamiento de los elementos resistentes, no fueron valorados en su verdadera magnitud por los constructores góticos que actuaron siempre confiados en soluciones anteriores de demostrada viabilidad y cuyas condiciones de equilibrio no conocieron a fondo nunca. Todas estas líneas evolutivas fueron seguidas de una manera bastante inconsciente hasta que la realidad impuso los límites de uso a costa de hundimientos.

2) En segundo lugar, una vez planteada una solución, fue necesario trazarla y tallarla pieza a pieza, trabajándolas en las tres direcciones del espacio con una gran exactitud, en un momento en el que no existen casi ninguno de los medios auxiliares de que disponemos hoy. No disponen, o por lo menos no tenemos conocimiento que dispusieran, de métodos gráficos parecidos a nuestra geometría descriptiva, ni de sistemas unifor-

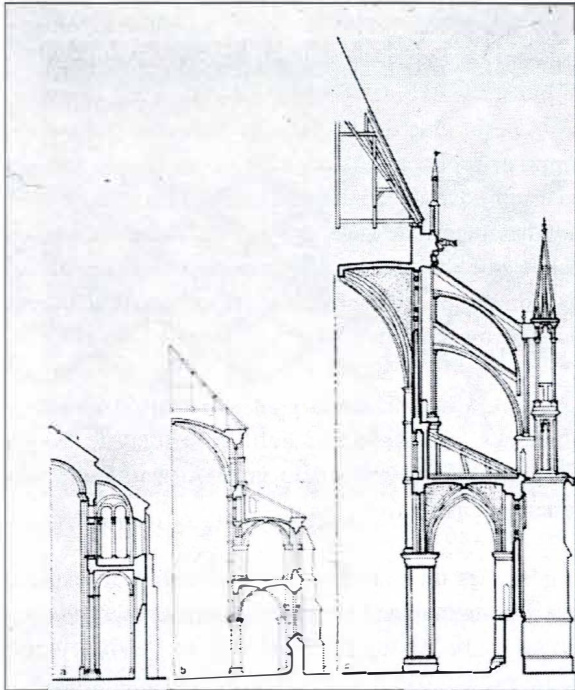


Fig. 9.1 Comparación de las secciones típicas del románico y el gótico. Sant Foy de Conques, Laon y Chartres según Marck

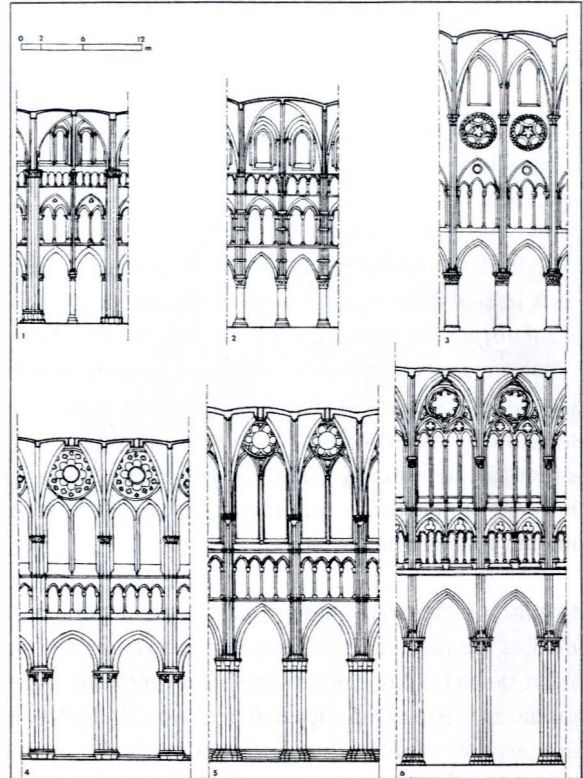


Fig. 9.2 Alzados parciales de las naves de Noyon, Laon, París, Chartres, Reims y Amiens

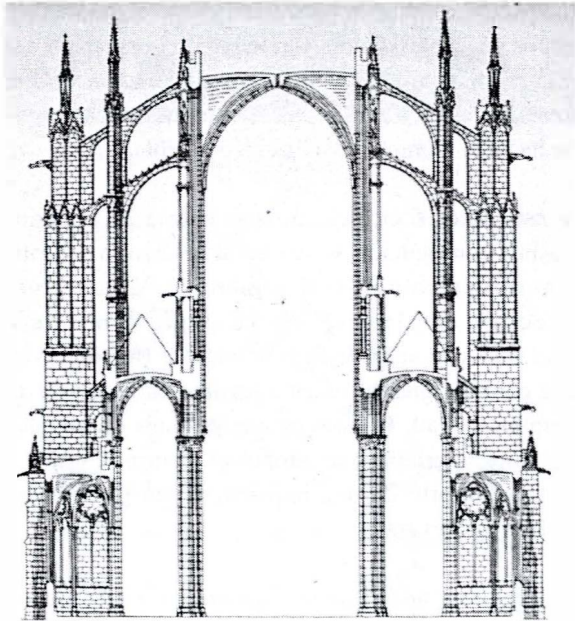


Fig. 9.3 Sección de San Pedro de Beauvais

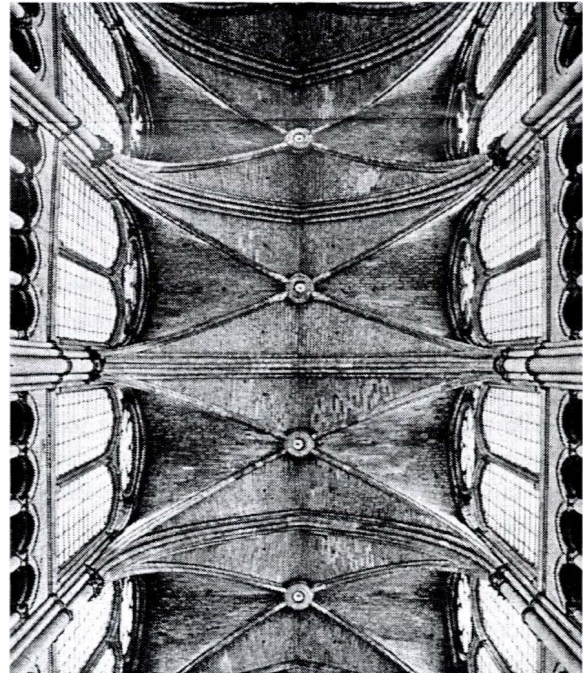


Fig. 9.4 Bóveda de Reims

mes de medidas, entre otras carencias. Las herramientas son de baja calidad y muy caras, no hay papel, y así un largo etcétera que conforma un panorama muy difícil, a pesar del cual se llega a una gran perfección en la talla de los millones de piezas que componen los edificios.

3) Por último tuvieron que recibir en obra esas piezas, para lo cual fue necesario todo un sistema de marcado, transporte, almacenaje y elevación sin que fueran posible excesivos retoques, ni apenas errores, debido a las características del material básico, la piedra, que no admite apenas tolerancias por la imprescindible exactitud del encaje y al derroche de energías que hubiera supuesto un mínimo desorden en el movimiento a sangre de las piezas.

Como complemento imprescindible a esa pobreza de medios técnicos debemos suponer la gran profesionalidad de todos los participantes en el proceso, conseguida en periodos de aprendizaje muy dilatados. En este aspecto es difícil hoy hacernos cargo de las enormes posibilidades y la extraordinaria ayuda que suponen los buenos operarios cuando los procesos, a pesar de ser repetitivos, necesitan un gran cuidado en cada fase. La talla de las piezas que componen una catedral debe ser de una gran exactitud, lo que no es posible conseguir sino es en la confianza de que todos hacen bien su trabajo, sin más controles que los que cada cual establece sobre sí mismo.

## 9.2 El esquema constructivo

Viollet le Duc entiende el inicio del gótico como si se tratara de una floración espontánea, bastante misteriosa y completa en todos sus términos, que se produce en la abadía de Vezelay hacia 1185. Es probable que en ella aparezcan reunidos por primera vez todos los elementos que componen este sistema constructivo, pero la mayor parte se ha generado en el románico y aún con anterioridad.

Al margen de otras consideraciones de orden artístico y funcional, en el caso de la estructura los edificios continúan la línea del último románico y son un conjunto complejo de elementos de piedra trabada, de

forma que los empujes de cada uno de ellos sirven para encajar y asegurar el todo. En general el papel de los morteros es mínimo, sobre todo en las primeras etapas de la vida del edificio, si bien con el paso del tiempo es probable que contribuyan en alguna medida a la estabilidad del conjunto. Durante la construcción e inmediatamente después del descimbrado, incluso es posible que durante los primeros decenios, las piezas que componen el conjunto trabajan casi exclusivamente a compresión.

Es difícil, a la vista de la gran variedad de formas y soluciones, establecer una definición total de lo que hoy entendemos por estilo gótico, y más aún por esquema constructivo gótico.

Lo gótico es un concepto convencional, pero expresa muy claramente una idea global concreta que se manifiesta en casi todos los aspectos de la vida y con mucha exactitud en los procesos de creación artística.

Los primeros en emplearlo, con una evidente intención denigratoria, fueron los arquitectos renacentistas Filarete y Manetti, pero en particular fue Vasari para significar su carácter bárbaro, del norte, *la maniera tedesca, o maniera dei Goti*, en contraposición con las exquisitas tradiciones clásicas. Esta actitud negativa comienza a cambiar a partir del s. XVIII -Goethe y algunos de sus discípulos vieron en él la expresión del genio germánico-, y se inicia la recuperación de sus valores estéticos y artísticos con una mayor comprensión hacia el momento que los hizo posible.

Los estudiosos franceses, al darse cuenta de la importantísima contribución de su país al desarrollo del estilo, lo recuperaron bajo el nombre de "arquitectura francesa", basándose en la expresión *opere francigeno*, que aparece en la crónica de Burchard van Halle para designar el sistema seguido en la iglesia de Wimpfen-in-Tall. El caso es que después de algunas escaramuzas eruditas se adoptó el término "gótico" como definitorio de una importantísima parcela del universo medieval.

Aunque la definición de la arquitectura gótica tiende más a considerarla un sistema compuesto por una serie de elementos, de los que quizás el más visible y acentuado sea el arco apuntado en *sesto acuto*, lo cierto es

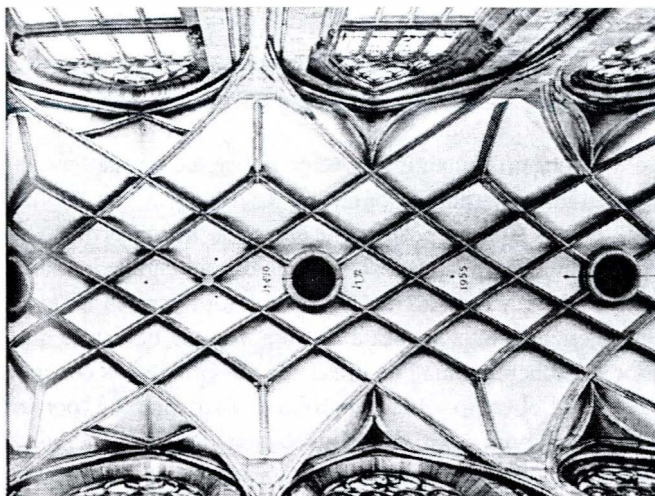


Fig. 9.5 Bóveda del coro de Friburgo

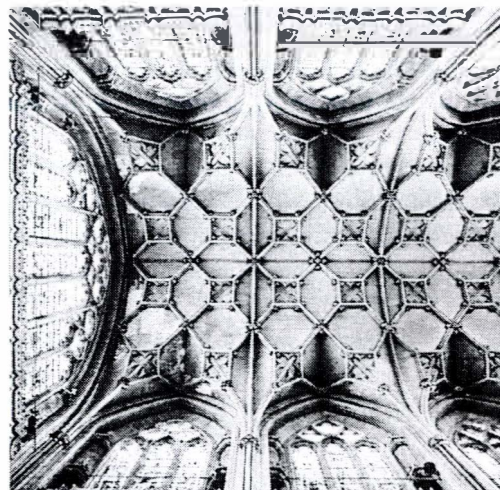


Fig. 9.6 Bóveda de Wells

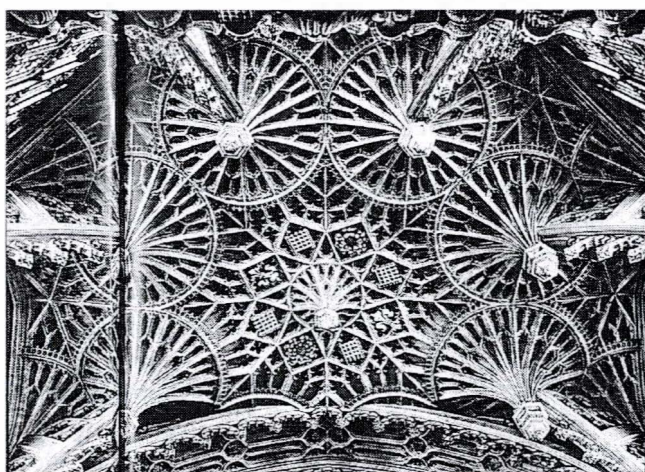


Fig. 9.7 Bóveda de Westminster

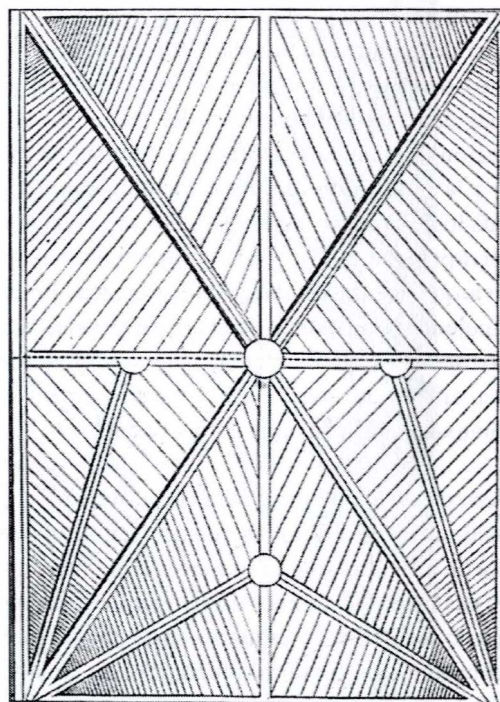


Fig. 9.8 Bóveda cuatripartita con tiercerones y cadenetes

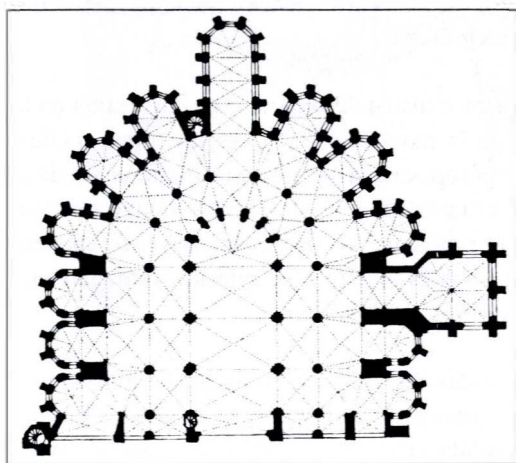


Fig. 9.9 Planta del coro. Le Mans

que casi ninguno de esos elementos es original ni único del estilo, aunque todos, cuando se integran en él, sufren adaptaciones muy características: los nervios de crucería, las ventanas con celosías ogivales, los ábsides y absidiolos, etc., adquieren en el nuevo estilo una fisonomía específica. Los escasos elementos totalmente originales, como arbotantes, pináculos, y las sucesivas complicaciones de los nervios de la cubierta, puede que se deriven de las exigencias estructurales del nuevo sistema, pero a la larga participan más en sus aspectos artísticos y estéticos que en ningún otro de los relacionados con el proceso constructivo.

El principal defecto de esta forma de clasificación es que no aporta ningún elemento de síntesis que permita entender al estilo en toda su amplitud como movimiento espiritual y artístico. Por que el problema es que el gótico se produce en áreas muy diferentes, tanto sociales como económicas, con resultados formales muy diversos en los que es difícil encontrar unas normas de modulación artística. La inteligible universalización del románico se debe a la unidad de programas y a la relativa uniformidad sociológica de las gentes que lo desarrollan. A partir de ahí su evolución se hace incorporando nuevas formas sobre una base constructiva que apenas cambia, aunque crezca. En el gótico, siguiendo la tendencia de la crítica artística actual, casi nos tenemos que contentar para su definición con la percepción diferenciada del espacio gótico, desde el punto de vista más inmediato y sensitivo.

Pero desde el punto de vista constructivo y arquitectónico, al margen de otras consideraciones formales, se puede aventurar que lo que es casi privativo del gótico es su capacidad de evolución dentro del mismo esquema, o sin que este esquema sufra modificaciones de importancia, por la combinación, en muchos casos arbitraria, de unos elementos que se pueden considerar comunes.

Por lo que respecta a la percepción del espacio, desde el punto de vista sociológico y teológico las causas son las que hemos enunciado, pero en lo constructivo no parece lógico aceptar que la soltura con la que manejan su repertorio se pueda justificar con una floración espontánea y casi instantánea. Es raro, a lo largo de la historia de la humanidad, que, excepto en el caso en que se produzca la aportación detectable de

unos datos o unos hechos muy nuevos, unos esquemas tan complejos como los góticos sean una creación totalmente *ex novo*, máxime cuando, como en este caso, casi todos los elementos que constituyen su repertorio se han utilizado de una manera o de otra en la anterior etapa románica. La articulación de los muros que se produce a partir de un determinado momento en las iglesias románicas no carece en nada de lo que, quizás más desarrollado, será la técnica gótica de talla y puesta en obra. Lo que ocurre es que el esquema románico presenta unos problemas concretos y el estilo gótico contribuye a su solución, por lo que existen justificaciones relacionadas con la realidad de las obras, además de las ya mencionadas, para la consolidación del nuevo esquema.

A la vista de las deformaciones que debidas a los empujes aparecen en las estructuras románicas, con desplomes notables de los muros y las pilas (Fig. 8.13), se debe aceptar que tratar de evitarlas supuso una aspiración unánime de los constructores medievales porque suponían un riesgo cierto para el edificio. Esas deformaciones evolucionan progresivamente y es difícil predecir si se van a detener, o si van a proseguir hasta la ruina total de la obra. La bóveda seguida de medio cañón, o apuntada, por más que pueda servir de signo identificativo de la estética románica, es ante todo una solución constructiva relativamente fácil de trazar y construir y que resuelve el problema de la combustibilidad de las cubiertas de madera, que son las que en principio completan el esquema basilical del que se derivan casi todas las plantas eclesiales, pero sus empujes son impresionantes. El gótico puede ser, entre otras cosas, el resultado de tratar de evitar estos problemas.

Los primeros intentos de solución se concretaron en la división de la nave central en crujías transversales. Aunque eso supuso una serie de servidumbres desde el punto de vista estético, desde el constructivo resolvió bastante el problema, y con esa intención se encuentran innumerables ejemplos de iglesias, rotundamente románicas (Figs. 8.14 y 8.15).

De entre todas las soluciones arqueadas útiles para cubrir las plantas rectangulares o cuadradas en que queda dividida la nave de la iglesia, la que presenta mayores ventajas es la bóveda de crucería, que tiene



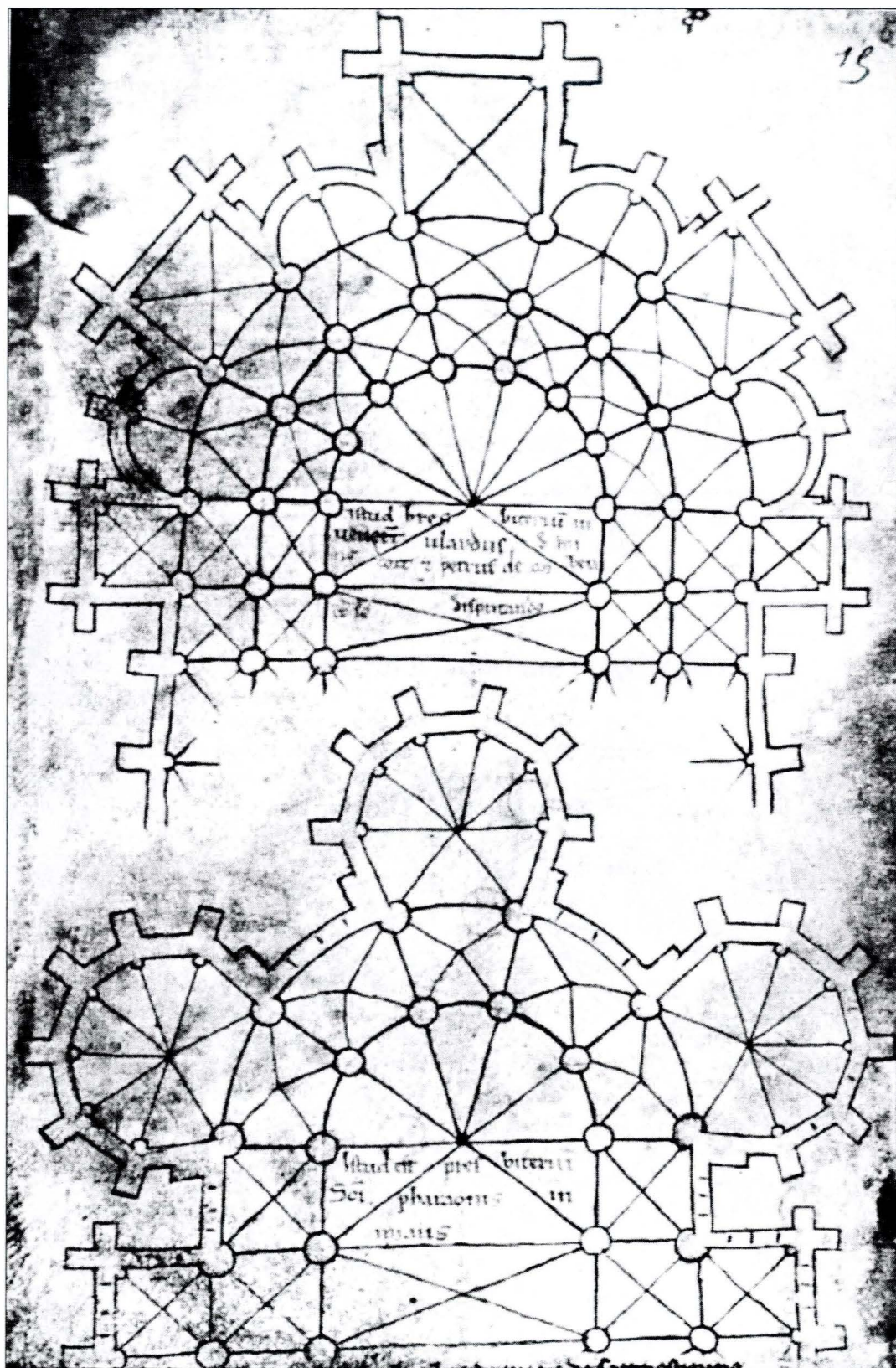


Fig.9.11 Lámina del Album de Villard de Honnecourt

una cierta tradición en el románico y mucha en los sistemas romanos (Fig 8.17). A cambio de una mínima variación en la percepción del espacio, variación que a tenor de los comportamientos humanos habituales, sin duda fue valorada tanto positiva como negativamente, se consiguen grandes ventajas al localizarse los empujes en unos puntos concretos. No debieron ser necesarios excesivos esfuerzos para aceptar este resultado.

Esta solución presenta además ventajas de ejecución muy inmediatas: reduce el volumen y, por lo tanto, el peso del elemento de cubierta y aligera el muro, lo que permite resolver de forma menos comprometida la iluminación de la nave central, muy dificultosa cuando se utiliza sistemáticamente la bóveda continua. El muro, que antes era un elemento imprescindible en el equilibrio del conjunto, se convierte, y de qué forma, en una pantalla luminosa sin apenas limitaciones, permite disponer de arcos formeros en la dirección del eje mayor de la nave, y bajo ellos es posible abrir huecos inmensos.

Las otras soluciones para cubrir las crujías -cúpulas sobre pechinas o trompas, o cúpula por arista -necesitan de un mayor volumen edificado, mientras que la bóveda baída, única solución similar, necesita de unas cimbras muy importantes y regulares para la misma luz.

No obstante la bóveda de crucería presenta un problema si se quiere conseguir que la arista de intersección de los dos cañones ojivales que la forman quede bien definida como una línea curva sin sinuosidades. La talla de las piezas presenta en ese punto una gran dificultad, ya algunas piezas se solapan y al menor movimiento o asentamiento aparecen irregularidades en la arista. La mejor solución desde el punto de vista constructivo es colocar un tapajuntas moldurado a lo largo de toda la línea. Esta solución ha sido usada en el románico, y en el gótico es el mejor apoyo de la progresiva complicación que sufren las bóvedas de cubierta.

A partir de la crucería se pueden generar sin excesiva dificultad una serie de formas que es posible trazar en planta hasta la saturación casi total del intradós de las bóvedas. Como primer paso surgen los nervios cade-netes y los terceletos (Fig. 9.8), que se pueden compli-

car hasta los ejemplos de las figuras 9.5 a 9.7. Los formeros se desdoblán en una gran cantidad de líneas de moldurado que descienden por las pilas hasta el suelo y que, quizás por su superabundancia, sirven para garantizar la continuidad del espacio en el plan terreno.

El problema de contarrestar los empujes también se reduce con respecto al modelo románico. Gran parte de ellos se anulan entre sí a través de las componentes longitudinales de las resultantes de las bóvedas, y los transversales se pueden equilibrar con soluciones parecidas a las usadas para contarrestar los de las bóvedas de medio cañón, mucho más importantes. Es probable que en su origen los arbotantes fueran una solución para esos empujes, no la única ni la mejor, y que su evolución estuviera sometida a otras consideraciones.

### 9.3 El proyecto gótico

Para explicar la aparente complicación de los proyectos hay que dar una respuesta que tenga en cuenta los supuestos anteriores sobre los medios disponibles, ya que las exigencias son muy evidentes.

El sistema debe permitir proyectar de forma estandarizada las cada vez más complejas plantas góticas, con la geometría muy simple que pueden manejar, y sus condiciones de estabilidad se tienen que alcanzar naturalmente dentro de la capacidad evolutiva del sistema.

Una vez trazado el contorno del edificio, contorno cuya definición se efectúa a semejanza de las basílicas romanas, y en el que se pueden dar múltiples variantes, pero en el que se respeta la tendencia cruciforme del conjunto, se insertan en él unos módulos que cubren completamente la planta. Estos módulos se adaptan a cualquier forma poligonal o curva mientras se puedan descomponer en triángulos, cuadrados, rectángulos, trapecios, trapezoides y figuras semejantes, de lados rectos o curvos (Fig. 9.9). En este aspecto tienen un gran interés las dos láminas del Album de Villard de Honnecourt (Figs. 9.10 y 9.11) en las que el método aparece como forma proyectual: Villard y su amigo Pierre de Corbie, según dice la leyenda,

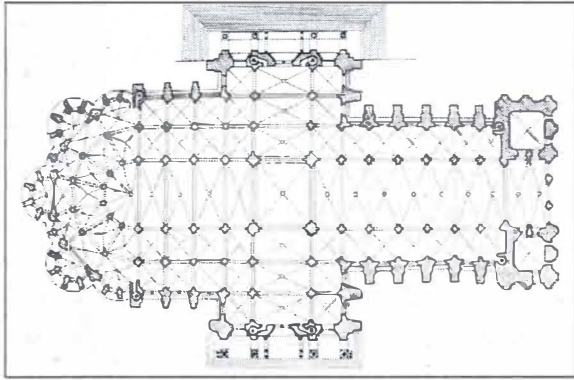


Fig. 9.12 Planta de la catedral de Chartres

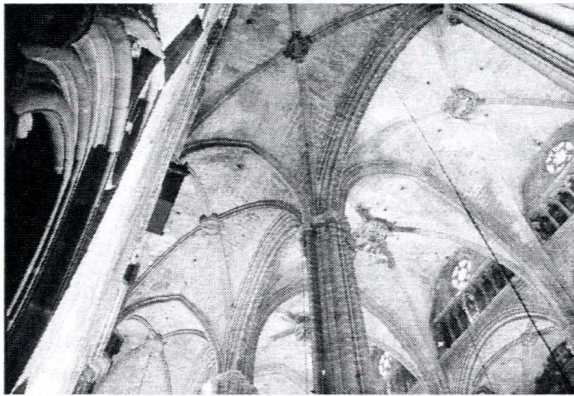


Fig. 9.14 Bóvedas de la catedral de Barcelona. Los arcos diagonales, con mayor luz, son de menor sección que los formeros

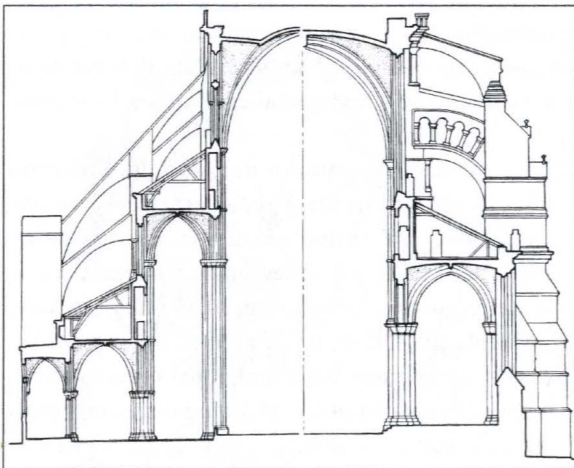


Fig. 9.15 Comparación de las secciones de Chartres y Bourges según Marck

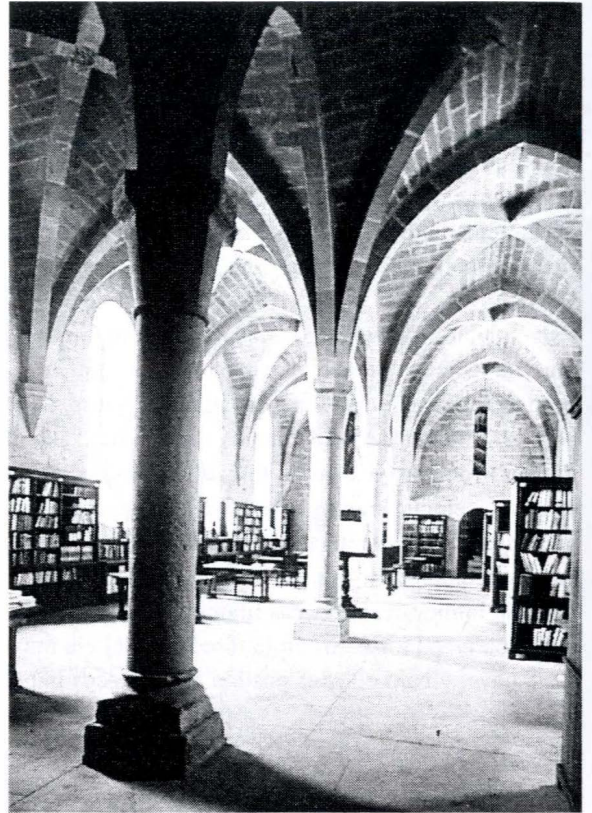


Fig. 9.13 Sala capitular. Poblet

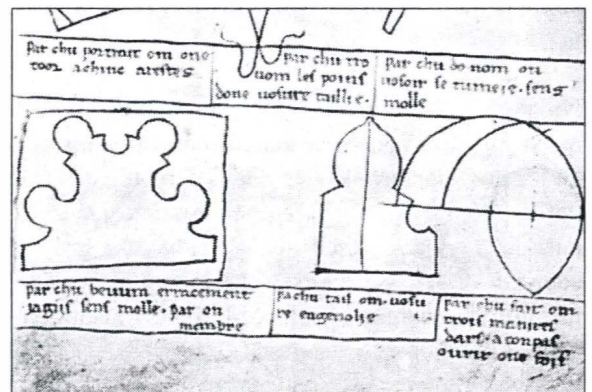


Fig. 9.16 Lámina del Album de Villard de Honne-court. En la parte inferior derecha aparece la forma de trazar arcos de distinta luz con el mismo radio

proyectan un cimborrio con ese sistema, *inter se disputando*.

Esta forma de trabajar no es nueva, aunque en el románico la complicación es menor, ya que las variaciones en altura no suponen alteración de la traza de la planta. Los muros apenas presentan modificaciones al crecer y la cubierta es muy simple con bóvedas seguidas, con o sin perpiños. En el gótico, al contrario, las complicaciones empiezan en los muros, que son de perfil muy variado en toda la altura, aunque las mayores se producen en la cubierta.

La decisión sobre las distancias entre los pilares y entre éstos y el muro se tomaría a partir de la experiencia acumulada, o siguiendo cualquier otro tipo de recomendación muy simple, aunque en algunos casos, como en Santa María del Mar de Barcelona, o en la catedral de Gerona, cuya luz de 23 m es la mayor de Europa, esas distancias crecen de forma notable sobre los modelos próximos, sin que se sepa de donde sacaron sus constructores la certidumbre sobre su estabilidad. No se debe pensar, pues, en una modulación muy estricta, sino en una trama en la que resaltan los pilares que dividen la planta en tres o cinco naves, a la manera tradicional de las basílicas. Para proyectar la cubierta basta ir uniendo cada uno de los vértices, pilares, a un punto más o menos central de la superficie que describe dónde irá colocada la clave, con el único requisito de que ésta esté colocada en la parte más alta del conjunto. Esta disposición inicial se complica a través del tiempo, y a esas diagonales se le van añadiendo otras líneas superfluas desde el punto de vista resistente, que representan nervios y que permiten la progresiva complicación del conjunto.

Mientras se opongan los nervios uno a uno, o a la bisectriz de dos se oponga otro, el conjunto tiene grandes posibilidades de ser estable, aunque a veces algunos edificios presentan desviaciones importantes de estos esquemas y se siguen manteniendo en pie.

Cuando estos módulos son perimetrales es necesario que el lado exterior de cada uno de ellos descansa sobre un muro, cuyas dimensiones se determinan gráficamente, de una manera bastante poco exacta, y sobre todo sin que dispongan de ningún sistema que les permita definir la capacidad resistente necesaria

(Fig. 9.12). En todo caso, aunque existieran esas fórmulas de dimensionado, rudimentarias y confusas, siempre de origen empírico, la heterogeneidad de la ejecución las volvería inoperantes. Nosotros dimensionamos contando con materiales homologados y cuyas características conocemos, o podemos suponer y controlar, lo que no es el caso gótico.

A partir del dibujo de los nervios es posible definir la forma y el moldurado de las pilas sobre las que se apoyarán. Basta con hacer corresponder a cada nervio, del que se ha supuesto la forma, a veces con varias líneas de molduras, otras molduras correspondientes en la pila. Con ello queda definida, no sólo la forma de la pila, sino la dirección de cada moldura y su posición exacta. Es posible que la necesidad de colocar todas las molduras de los nervios en planta determine las dimensiones mínimas de las pilas.

Cuando la simetría en planta es exacta, como ocurre en las salas capitulares, la pila se adelgaza hasta convertirse en una columna simple con basa, fuste y capitel en la que convergen los nervios (Fig. 9.13), y ya hemos visto que esta forma de construir se ha usado en la etapa románica en casos parecidos, aunque más simples.

Con este sistema es posible, la demostración está en la realidad de lo construido, edificar cada vez más alto y más liviano. Los muros exteriores se adelgazan para conseguir una luminosidad cada vez mayor y el trazado de cubiertas y pilas se hace cada vez más complejo dentro del mismo esquema, mientras que la altura de pilas y muros crece, casi sin límite y sin que presenten demasiados problemas. Queda por ver, y con los datos actuales es imposible demostrar que existiera, si en el planteamiento se tiene en cuenta detalles relacionados con la estabilidad del conjunto. En este aspecto cabe recordar que en ningún caso la sección de los nervios está proporcionada a la superficie de cubierta que teóricamente carga sobre ellos (Fig. 9.14). Los nervios diagonales, que además de "soportar" más superficie de cubierta tienen mayor luz, son los que menos sección tienen, mientras que los formeros, que son los mejor estribados, son los de mayor sección.

Las complicaciones que van apareciendo en su moldurado tienen una intención puramente estética, ya que no dependen de la luz a cubrir, y tampoco existe una

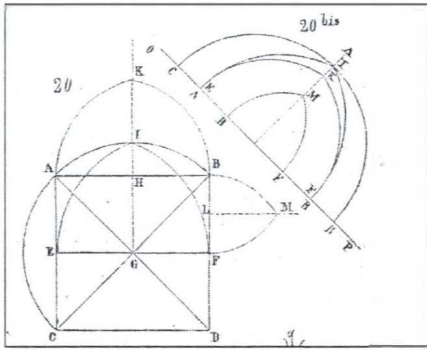


Fig. 9.17 Trazado de arcos diagonales y formeros según Viollet

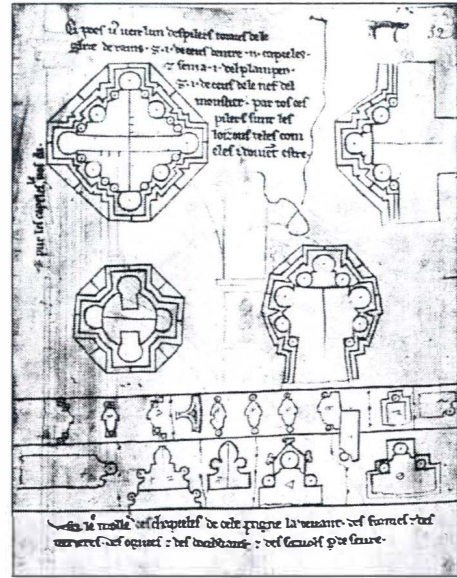


Fig. 9.18 Lámina del Album de Villard de Honnecourt con las plantillas para nervios

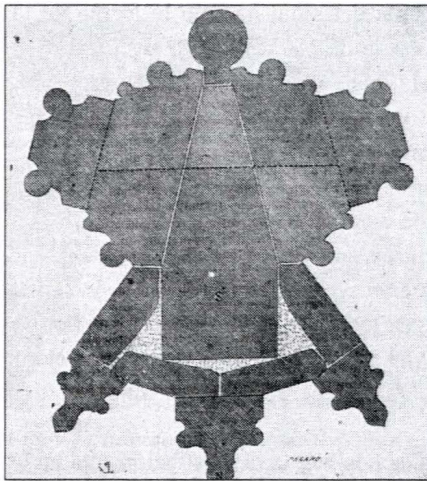


Fig. 9.19 Despiece del arranque de los nervios en una pila según Viollet

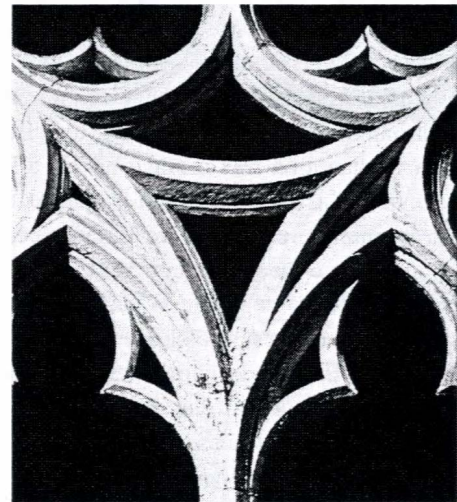


Fig. 9.20 La perfección en la talla y en el encaje es el único recurso para la estabilidad de algunas formas

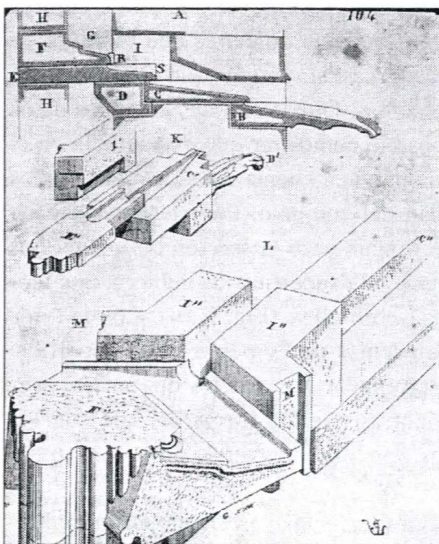


Fig. 9.21 Despiece de un gárgola en el remate de un muro según Viollet

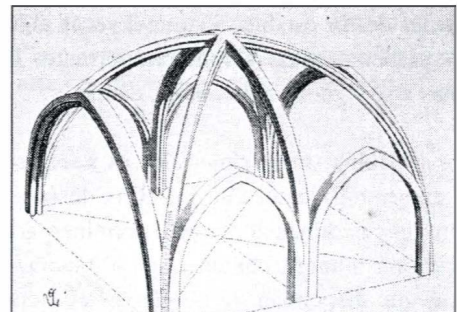


Fig. 9.22 Arcos previos a las bóvedas según Viollet

relación exacta entre la altura, la sección de las pilas y su forma. A pesar de los esfuerzos de algunos autores, aún no ha sido posible demostrar que existieran relaciones de este tipo entre los elementos que constituyen la estructura de los edificios. Para dibujar este proyecto sólo es necesario manejar, como ya hemos dicho, una geometría muy simple.

Sobre este esquema se introducen los elementos decorativos, a veces como elementos superpuestos y otras tallando artísticamente los elementos estructurales, teniendo en cuenta de manera muy estricta los criterios teológicos que conforman el conjunto del proyecto.

El hecho de que la clave sea la pieza más alta del conjunto y que el extradós de los nervios sea curvado, origina, forzosamente, unas bóvedas arqueadas que en conjunto son estables sea cual sea la forma en que trabajen una vez entradas en carga. Se puede construir, además, cada casco de la bóveda independientemente del conjunto mientras se dispongan de cimbras suficientemente rígidas, problema menor en el desarrollo del proceso.

Es posible que con la dimensión adecuada de las dovelas, una ejecución esmerada y el endurecimiento correcto de los morteros, en algunos casos la bóveda trabaje como una lámina en la que los esfuerzos de tracción estén absorbidos por los rozamientos, o de cualquier otra forma, a la manera en que lo están en las bóvedas tabicadas.

Pero no es éste el único sistema de rellenar el espacio entre los nervios. Conforme se complica el trazado aparecen soluciones que desvirtúan el método y se llega, como límite formal y al margen de los requerimientos estructurales, a las bóvedas de yeso colgantes de entramados de madera, o a aparejamientos casi planos, adovelados de manera muy justa, en casos en los que cualquier otra solución, con el mismo resultado formal, hubiera sido más sencilla.

Los proyectos se estructuran combinando según criterios relacionados con la moda estética, soluciones simples. Esta combinación puede ser tan compleja como se quiera mientras se cumplan los requisitos apuntados anteriormente.

Para las naves centrales se respetan casi siempre los cuadrados o rectángulos, mientras que en las girolas, cimborrios y crucerías se complican las soluciones con triángulos, trapecios, trapezoides de lados curvos, etc., trazados muy regularmente en planta.

En todo caso, como ya hemos indicado, las cargas de cada módulo acaban en los pilares, y en los casos en los que el edificio permanece en pie es de suponer que pasan por el tercio central de los mismos.

Es seguro que, además de estas consideraciones, en el proyecto deberían influir otras cuyo carácter vendría definido por las particularidades de este tipo de obras. La vulnerabilidad al agua de los morteros, sobre todo en los primeros años de la vida del edificio, debió obligar a soluciones que tuvieran en cuenta la necesidad de evacuarla. A esta necesidad es probable que se deban algunas variantes de los arbotantes y el cuidado en la talla de algunos elementos.

Todo este trabajo se realiza en planta y permite una gran variedad de soluciones. En alzado se trabaja de forma parecida, aunque con mayor complejidad. En todo caso las respuestas no son únicas y la gran variedad que presentan las secciones de las principales catedrales evidencia que no existen unas ideas concretas sobre los empujes de las bóvedas y su situación exacta, es decir, del mejor sitio para colocarlos (Fig. 9.15).

#### 9.4 La talla

A partir de la definición del proyecto era necesario tallar cada pieza. Tampoco existen datos de la época sobre este extremo. Es necesario confiar, pues, por una parte en la profesionalidad de los tallistas y, por otra, en la existencia de usos y recursos prácticos que, según se desprende de la realidad de lo construido, fueron extraordinariamente útiles. No hay que olvidar la escasa profundidad de los conocimientos geométricos, por lo que en el trabajo era obligada esa simplicidad.

El trazado ojival de los arcos y las bóvedas, al margen, o además, de otras consideraciones de índole artística

y espiritual que seguramente posee, presenta una extraordinaria ventaja para industrializar y seriar el proceso: permite construir arcos de luces muy distintas a partir de dovelas talladas con un único radio. Según Pol Abraham todos los arcos de Chartres están realizados con seis radios. Este recurso debió pesar muy favorablemente en el momento de consagrar la forma como definitiva. El sistema está descrito en una de las pocas láminas de Villard de Honnecourt que no necesitan aportaciones posteriores para su comprensión (Fig. 9.16). En este aspecto parecen perfectamente válidos, dentro de la falta de datos que corroboren su vigencia, los esquemas básicos de Viollet, ya que estos, u otros, se pueden realizar con una gran sencillez (Fig. 9.17). Sólo se modifica, y muy poco, el radio de la parte próxima a la clave.

Una vez definido el radio, la sección de cada nervio se dibuja en plantillas de madera, cuero o tela, que sirven para tallar cada pieza. En una lámina del Album de Villard (Fig. 9.18), se indica explícitamente que las siluetas son modelos para el tallado de las dovelas.

Es posible que cada módulo esté encomendado a un equipo, al frente del cual figura una persona capaz de resolver los problemas de talla y puesta en obra de las piezas singulares, como la clave o los arranques, o las interferencias de diseño de una moldura en otra, o de las molduras con los muros.

La falta de previsiones sobre la capacidad resistente de cada elemento, incluso la falta de una preocupación explícita sobre esa capacidad resistente, se deduce de las irregularidades que se observan en la puesta en obra. Estas irregularidades se deben a dos razones: por una parte prima sobre cualquier otro concepto la necesidad de la colocación, es decir, que lo prioritario es que una forma determinada se pueda construir, y por otra, que la capacidad resistente del conjunto se puede suponer y garantizar si se mantienen las proporciones de una obra a las siguientes, o si se varían muy poco.

La regularidad en el despiece puede venir impuesta, no sólo para conseguir la calidad visual de lo construido, sino por la necesidad de uniformar el peso y tamaño de las piezas, aunque dentro de esa uniformidad se observen variaciones sustanciales de tamaño, quizás dependientes de los trabajos en cantera.

Por lo que respecta a las piezas secundarias de la estructura, las que forman el conjunto decorativo, es necesario aceptar que se trabajan según el mismo esquema. De esta forma se obtiene un repertorio que permite el trazado casi industrial de las soluciones particulares.

La complejidad de las formas interfiere en los trazados de tal manera que es difícil, a pesar de los esfuerzos de Viollet por demostrar lo contrario, encontrar despieces en los elementos resistentes que permitan a los elementos trabajar "limpiamente", o hacerlo en las mejores condiciones para resistir las cargas y los empujes (Fig. 9.19).

En muchos casos, sobre todo en los elementos secundarios como claustros, agujas, desagües, rosetones, etc., la estabilidad del conjunto se basa en el perfecto encaje de las piezas que lo componen, por lo que la talla debe ser muy cuidadosa (Fig. 9.20).

Parece que lo lógico sería una organización del trabajo por equipos a los que se les suministra unos datos mínimos sobre el gálibo general del elemento, un dibujo del resultado final y una plantilla con la forma de los nervios. A partir de ahí las piezas se retocan en el taller una y otra vez hasta que su encaje es correcto, ya que no son posibles retoques posteriores en obra, ni ajustes durante el recibido.

A pesar de que los dibujos de Viollet le Duc son excesivamente "maquinistas", la complicación en los trazados góticos hace que, fuera cual fuera el sistema, se pudieran diseñar, para los puntos singulares, unos encajes muy dificultosos, aunque seguramente más relacionados con los problemas de ejecución que con cualquier otro aspecto (Fig. 9.21).

## 9.5 La construcción

Mientras que en casi todos los sistemas constructivos es posible deducir el proceso sin demasiadas complicaciones, aunque nos cause asombro en algunos de ellos, como en las pirámides, o en los gigantescos trabajos públicos romanos, la organización que los hizo posible sin los medios que a nosotros nos parecen imprescindibles

dibles, en el caso gótico el proceso de puesta en obra influye de forma definitiva en el resultado final. Al margen de los problemas ya citados de proyecto y talla de las piezas, la secuencia de construcción debió tener una gran importancia. Hemos dicho que el románico se define por la sección, ya que se puede considerar que, excepto el cimborrio y los ábsides, las fuerzas que actúan en cada punto, en el caso de la sección clásica de muros y bóvedas seguidas, son coplanarias, pero en el gótico componen el equilibrio otras fuerzas en direcciones muy variadas que, a pesar de que teóricamente se pueden descomponer en componentes según direcciones dadas, actúan durante la construcción, ya que el edificio sólo está en equilibrio cuando está acabado.

Por ello es necesario describir un proceso que contemple el complicado esquema estructural de una catedral como susceptible de fraccionarse y de alcanzar el equilibrio parcial en cada fase.

Hay que imaginar previamente las carencias cotidianas ya referidas, que debieron dificultar extraordinariamente el delicado proceso de talla y recibido de las piezas, aunque todo se resolvió de forma satisfactoria con una precisión y una profesionalidad sorprendentes.

Una vez efectuado el replanteo, tan exacto como fuera posible comprobando una y otra vez las medidas hasta conseguir la regularidad de la planta del proyecto, se comienzan a subir los muros sobre los cimientos por el perímetro. Conseguida la altura prevista en muros y pilares, trabajo en el que podía tardarse varios años, se acomete la cubierta por módulos.

Es posible que el esquema resistente propuesto habitualmente sea un esquema constructivo, es decir, que sea el que permite un desarrollo más lógico de los trabajos y el que justifique la utilización sistemática de los nervios para rematar las aristas de las bóvedas (Figs. 9.22 y 9.23).

Se empieza por izar la clave, que se coloca sobre un castillete y de la que partirán los nervios. Estos se cimbran de forma simétrica, a partir del centro y hacia los arranques previamente dispuestos sobre pilas y muros, y se inicia la colocación de las dovelas. De esta forma

sólo es necesario retocar una por nervio, la última inmediata a la clave, para que las acopladas en obra sirvan sin problemas de numeración ni de encaje, dado que todas están talladas con un radio convenido y el molduraje definido en unas plantillas.

A partir de la ejecución de los nervios, y sin descimbrar éstos, se continua el trabajo de construir las bóvedas. Así se obtiene, por una parte un elemento que las separa sin que sea necesario tallar la junta de unión entre ellas y, por otra, un apoyo que compartimenta la luz, con lo que sus cimbras se apoyan en las de los nervios haciendo disminuir su envergadura. No necesitan llegar hasta el suelo, ya que disponen de apoyos intermedios, y si los nervios están bien cimbrados cada cuarto de bóveda puede ser estable.

Uno de los problemas a solucionar es la secuencia general en la que se levantan las bóvedas, la progresión de los trabajos y los tiempos de descimbrado. O se acepta una cierta capacidad de la estructura para aguantar disimetrías durante el proceso, o se acepta que todo permanece cimbrado hasta casi el final, lo que es dudoso si se tiene en cuenta que la duración media de la construcción de una catedral se mide en décadas. Esta es la parte más comprometida del proceso y se debe suponer que mediante apeos provisionales, apuntalamientos, o por el simple conocimiento empírico de la capacidad de soportar empujes laterales de algunos elementos, se solucionó el problema. El resto son meras cuestiones de organización parecidas a las que hoy pudiera presentar cualquier obra, con la limitación lógica que la época impone a los medios auxiliares, pero con la inestimable ventaja que supone la identificación de los operarios con su trabajo, conseguida a través de la conciencia religiosa.

Sobre la mano de obra necesaria se pueden hacer algunas suposiciones. Parece ser que hasta un número mínimo de tallistas especializados para avanzar en los trabajos. En los mejores momentos de avance de una catedral, una dovela al día por 20 ó 30 tallistas, serviría para hacer progresar de forma notable la obra. Incluso aceptando la mitad de ese rendimiento es posible suponer una marcha regular, dependiendo cada caso de la complicación formal del trabajo. Mayor dificultad debían plantear las cimbras, menos "codificables" y con mayores problemas para la provisión de

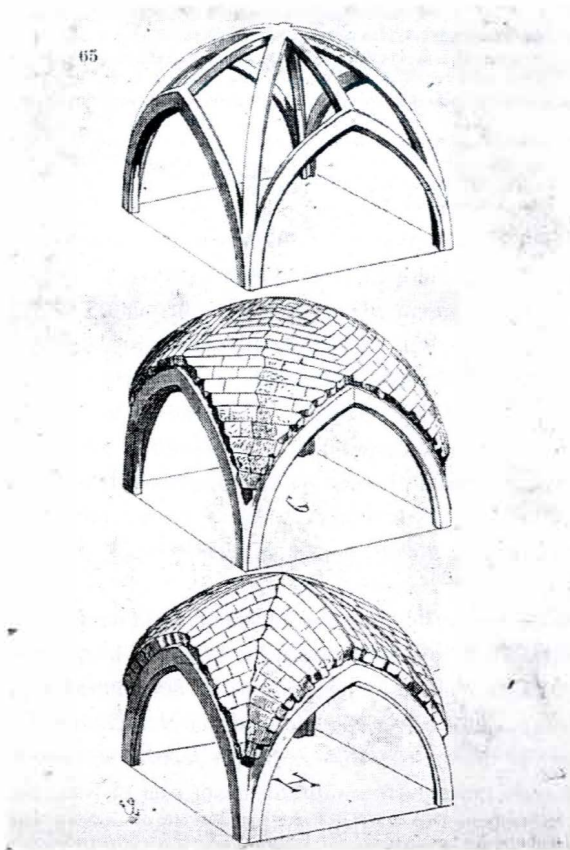


Fig. 9.23 Dos tipos de aparejo de bóvedas según Viollet

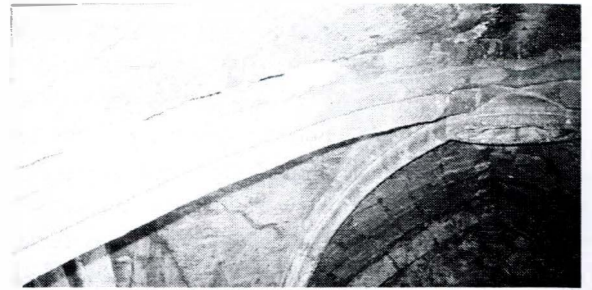


Fig. 9.24 Bóvedas góticas sobre las capillas barrocas en Sant Cugat del Vallés. Los nervios se han separado de las bóvedas cuatrimpartitas hasta 6 cm en algunos casos

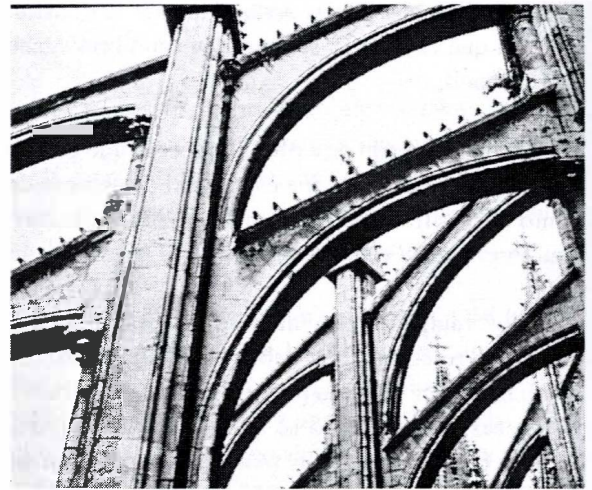


Fig. 9.25 Reims

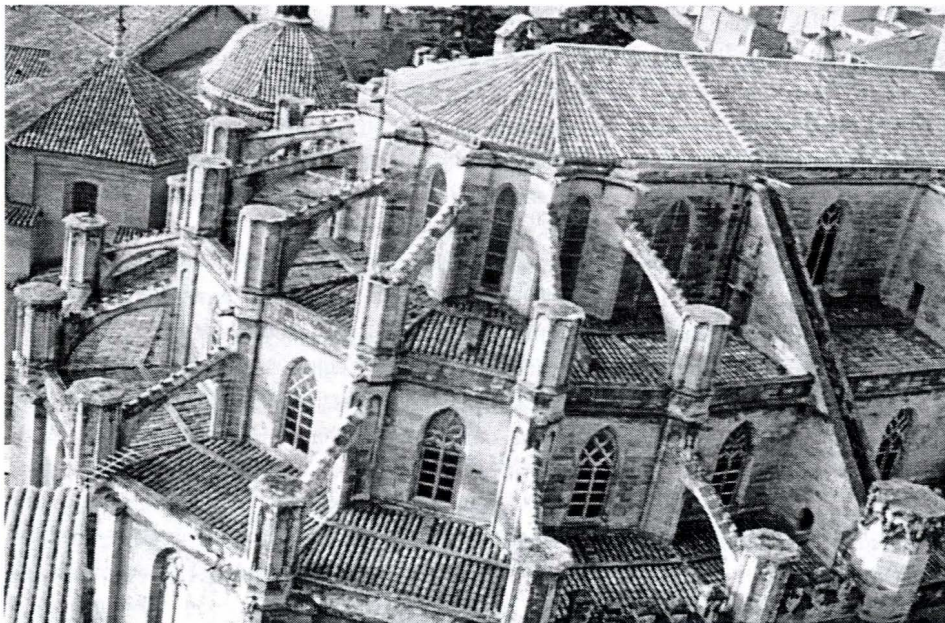


Fig. 9.26 Arbotantes y contrafuertes conviven en la catedral de Tortosa

buena madera en las cantidades necesarias si se tienen en cuenta las mermas de uso.

A partir de estos equipos básicos se puede pensar en una gran cantidad de ayudantes o de tallistas de menor cualificación técnica para hacer los sillares de los muros, pastar la cal, subir los materiales, recibirlos, transportar las piezas desde la cantera, de donde llegan casi listas para evitar los gastos de transporte de deshechos, etc. Por los pocos datos que se conservan, de hecho, el principal gasto era el del transporte: si las canteras se suponen, como es muy habitual, a unos diez kilómetros de la obra, es posible, en el mejor de los casos, un viaje al día para cada carro, aproximadamente 1 m<sup>3</sup>. A la vista del volumen de material necesario, este cálculo hace imprescindible una gran organización para resolver los problemas de mantenimiento del transporte: alimentar a los bueyes, reparar los carros, etc.

Probablemente el trabajo en obra se dispusiera por tajos concretos, crujías, arcos, plementerías, etc., de los que se harían cargo cuadrillas expertas en cada caso, aunque por la mucha duración de algunas catedrales, esta organización debió sufrir alteraciones conforme variaban las circunstancias concretas.

## 9.6 La estructura resultante

Desde que Viollet expuso su teoría sobre el funcionamiento del edificio gótico, se mantiene una polémica bastante agria sobre el papel que cada uno de los elementos representa en el conjunto y sobre el esquema que hace posible el equilibrio final.

La polémica, basada en la búsqueda de lógica interna en la estructura, que se considera imprescindible se puede centrar en la aceptación o la negación de tres puntos, ya que los demás argumentados son consecuencia de éstos.

1) Los sectores de las bóvedas se apoyan sobre los nervios y éstos conducen los empujes a las pilas, trabajando como soportes.

2) Los arcos ojivales contribuyen, además, a aligerar

ese empuje, por lo que son usados sistemáticamente con una intención preferentemente estructural.

3) Estos empujes, cuando no se anulan entre sí por la oposición exacta de arcos de igual magnitud y carga, se contrarrestan por medio de los arbotantes, cuyo efecto se ve reforzado por los pínáculos, o por contrafuertes con la suficiente anchura. En todo caso, las resultantes deben pasar por el tercio central de los pilares para evitar unos esfuerzos para los que está preparado este tipo de fábricas.

Sea cual sea la teoría que se aplique, es inevitable que se cumplan estos puntos si el edificio está en equilibrio, lo que sucede, evidentemente, con todos los que han llegado hasta nuestros días, por lo que el error es improbable. La cuestión está en saber si los constructores góticos dispusieron de un sistema de proyecto que les garantizara ese equilibrio de forma estricta. No parece que eso sea cierto. Es imposible que llegaran a enunciar las complejas condiciones de estabilidad que se alcanzan en una catedral, condiciones que aún resisten nuestra capacidad de análisis por la escasez de datos sobre el verdadero comportamiento de los materiales y los elementos y, mucho menos, que previeran su evolución en periodos dilatados de tiempo. Su sistema proyectual, afortunadamente, era lo suficientemente versátil y confuso como para que respondiera a las exigencias que les planteaba el momento estético y espiritual en el que realizaron sus trabajos, sin ser excesivamente conscientes del riesgo que estaban corriendo.

El problema se genera en el intento de dar una única respuesta a una variedad inmensa de situaciones. Lo común era el repertorio formal y el espíritu de lo que se pretendía conseguir y, a partir de ahí, cada caso es una solución concreta que hay que definir en particular.

Como ya hemos dicho, las fábricas en general son semejantes a las del último románico, aunque mejor talladas y recibidas y, por la mejora de los medios auxiliares, con piezas de mayor tamaño. Por todo ello pueden responder a mayores sollicitaciones.

Presentan las mismas dificultades de ejecución: la calidad de la cal de los morteros y el orden de los rellenos

pueden ser muy diversos, ya que se fabrica con los mismos escasos conocimientos sobre el proceso, aunque en algunas zonas se llegara a saber el mejor sistema para obtener los mejores resultados. Requiere la misma lentitud en los trabajos para conseguir una consistencia mínima de lo construido antes de seguir subiendo, y presenta las mismas dificultades para trabajar como un elemento único.

Cuando se siguen algunas recomendaciones de uso, como la de fabricar la cal con la misma piedra que los sillares, se puede producir casualmente, con el tiempo y la presión, una recristalización basada en las afinidades cristalográficas entre ambos materiales. Según Fitchen la resistencia media de los morteros alcanza de 1 a 2 Kg/cm<sup>2</sup> a la tracción, y 10 ó 12 Kg/cm<sup>2</sup> a la compresión, aunque éstos sean unos valores sin aplicación inmediata en ningún caso.

El conjunto no es una masa uniforme. El diferente comportamiento de cada una de las tres capas que componen los muros ante los esfuerzos de compresión tiende a disgregarlo, y en los casos límites es posible que sólo trabajen las caras exteriores, limitándose el relleno a rigidizar el conjunto y a dotarlo de un peso que puede equilibrar en algunos casos los momentos provocados por los empujes de las bóvedas.

La estructura del muro se mejora al aumentar el número de elementos que se definen en él, lo que sucede conforme se hacen más complicados los trazados e, incluso, cuando por aumentar el número y tamaño de los huecos, casi todo el elemento está tallado y encajado.

Todas estas consideraciones son válidas de forma general, aunque es posible encontrar situaciones regresivas sobre los muros románicos. Lo que sí se puede afirmar es que las catedrales góticas presentan casi siempre, incluso para la misma técnica en la ejecución, las mejoras en la talla imprescindibles al cambiar de estilo.

El papel que cada elemento desempeña dentro del esquema debe remitirse a cada caso concreto sin pretender soluciones válidas para la totalidad de los edificios. En este aspecto la polémica planteada puede ser inútil. Para unos, los nervios son resistentes, en ellos

se apoyan las bóvedas y conducen los empujes a las pilas, mientras que para otros son simplemente un refuerzo de las mismas. En nuestro caso defendemos que se trata, sobre todo, de un recurso constructivo. A la vista de la gran variedad de casos, no se puede afirmar que exista un único patrón de comportamiento del conjunto. A veces los nervios, si no se agrietan, son los elementos resistentes, mientras que en otros casos sobreviven colgados de las bóvedas, y en algunas circunstancias se comportan independientemente, separándose de éstas y evolucionando como lo permite su despiece y situación (Fig. 9.24).

Lo cierto es que siempre son elementos decorativos que se deben construir antes que las bóvedas, que no garantizan su estabilidad, aunque puede que sí faciliten su construcción y en algo su talla, y que su contribución a la estabilidad del conjunto es compleja y debe decidirse en cada caso, sin que sea posible establecer una teoría única sobre su función exacta.

El trabajo del arbotante ha sido analizado desde muy diversas ópticas y tampoco hay un veredicto unánime. Quizás la excesiva inmediatez de la explicación de Viollet, que en muchos casos añadió arbotantes a obras que habían sobrevivido siglos sin ellos, en un trabajo que es difícil juzgar, haya deformado hasta cierto punto lo que sobre ellos se ha dicho.

A partir de la teoría sobre la división de las iglesias en crujías como justificación del esquema gótico, los arbotantes puedan presentar una relación mayor con los empujes que contrarrestan. Es obvio que en los pilares se anulan los empujes paralelos al eje de la nave y se suman los perpendiculares a él. Puede que los arbotantes, con todas las limitaciones que se quieren sobre la exactitud de su trazado y de su colocación, se originaran en el intento de contrarrestar esos empujes. Otra cosa es que se generen a través del exacto mecanismo que describe Viollet.

Probablemente se convierten en un apeo que hubiera podido ser provisional, y que en muchos casos es superfluo a partir del momento en que el edificio adquiere consistencia por el fraguado definitivo de los morteros y se consigue el equilibrio final, lo que es difícil que supieran con seguridad los constructores góticos, pero, siempre se incorporan a la silueta carac-

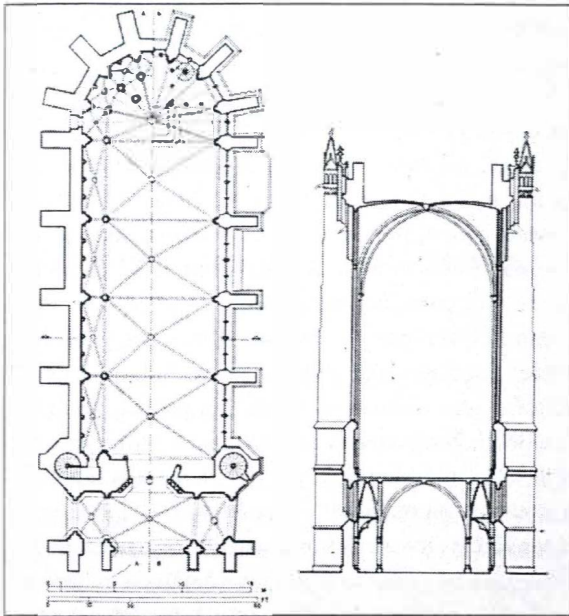


Fig. 9.27 Sección y planta de la Sainte Chapelle. París

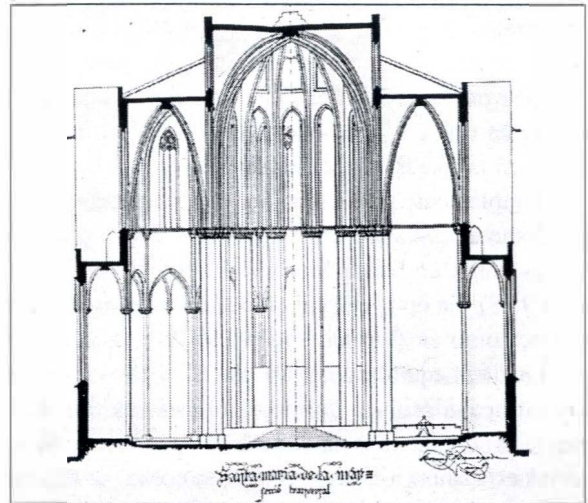


Fig. 9.28 Sección de Santa María del Mar, según Bonaventura Bassegoda

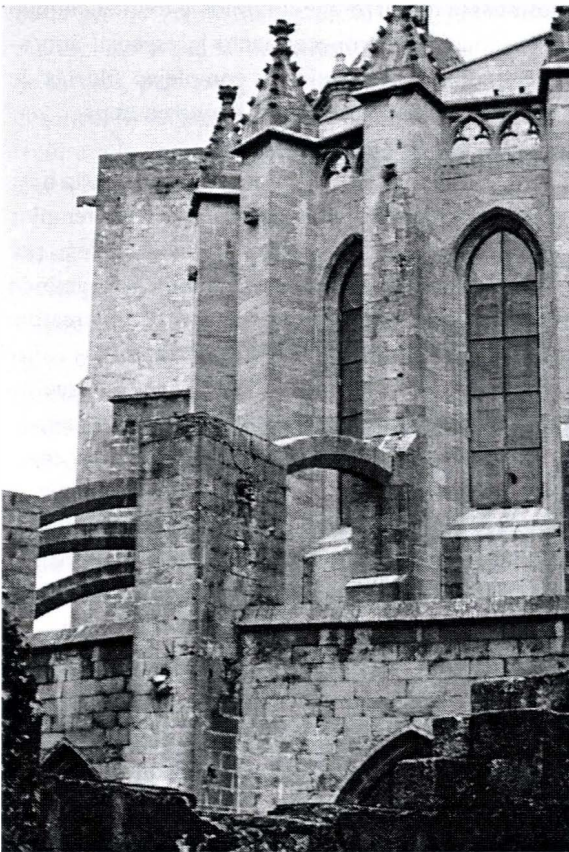


Fig. 9.29 Abside de la catedral de Gerona

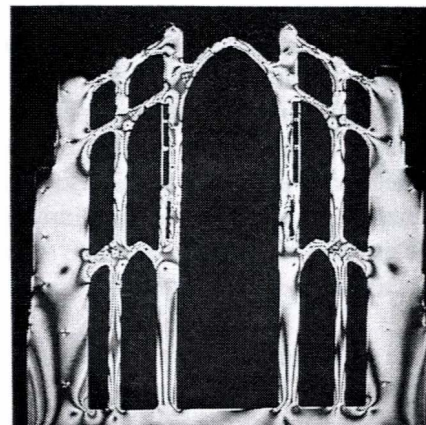


Fig. 9.30 San Pedro de Beauvais según Marck

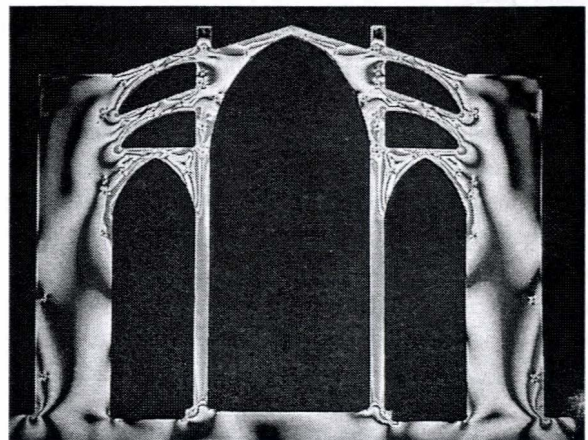


Fig. 9.31 Catedral de Palma de Mallorca según Marck

terizando la “forma” gótica (Fig. 9.25), unas veces como supuesto elemento estructural, otras como soporte de los desagües o de adornos (Fig. 9.26), mientras que en otras conviven con contrafuertes, como en la catedral de Palma de Mallorca, o desaparecen simplemente sustituidos por contrafuertes exteriores como en la Sainte Chapelle (Fig. 9.27), o son interiores como en Santa María del Mar, en Barcelona (Fig. 9.28). En otros casos ni tan siquiera llegaron a acabarse, como en Gerona (Fig. 9.29), lo que no alteró para nada el equilibrio del ábside. El hecho de que en secciones distintas ocupen posiciones distintas demuestra que su contribución al equilibrio de las naves está sujeta a excesivos albrures como para que su proyecto y construcción obedezca a unas especificaciones estrictas. En cada caso pueden o no contribuir al esquema estructural, y no se deben establecer teorías de validez universal sobre su función. En los ensayos fotoelásticos realizados por el profesor Robert Marck sobre secciones de catedrales góticas, aparecen una gran cantidad de solicitaciones, señaladas por el distinto color que la luz polarizada provoca sobre la maqueta de la estructura (Figs. 9.30 y 9.31), en elementos que, teóricamente, si se pretende un esquema de validez general, deberían trabajar con el mismo estado de tensión en todos los casos.

### 9.7 El legado gótico

Puede considerarse paradójico que un estilo que nos causa tanta admiración no haya dejado casi ningún rastro perceptible, ni técnica ni artísticamente, al margen de algunos intentos del siglo pasado por recuperar más sus formas que su espíritu.

Desde el punto de vista constructivo el hecho es perfectamente lógico y no necesita excesivas explicaciones. Si por razones históricas, se volvieran a dar las condiciones que posibilitaron la construcción de las

catedrales, probablemente tendríamos otras cosas de las que ocuparnos.

Pero desde el punto de vista estético y artístico, al margen de algunos intentos en el siglo pasado por resucitar una determinada “espiritualidad” de la mano del estilo gótico, o asimilar lo que se supuso eran sus esquemas estructurales al nuevo material, el hierro (Fig. 12.40), cualquier neogótico ha naufragado víctima, entre otras cosas, de las contradicciones y las dificultades formales que plantea la exuberancia de su repertorio a la técnica moderna. No es éste su único punto débil. Ninguna catedral es igual a otra y en cada una de ellas el tratamiento de los elementos adquiere una notable originalidad. Lo común es la percepción del espacio y los sentimientos que esa percepción genera, y en eso no parece que haya habido acierto en los intentos creativos de un neogótico, por lo que parece imposible un neogótico académico.

Lo que nos sugiere y sobrecoge del gótico es su dificultad y lo que en él percibimos de misterioso. El impresionante esfuerzo que intuimos y todo el cúmulo de sensaciones que provocan tanto la especial atmósfera de sus interiores como las complejas siluetas de sus exteriores. Y ahí acaba todo, lo que no es poco.

Las formas nunca han podido, por lo menos hasta hoy, con las depuradas fórmulas derivadas de los templos griegos. Lo neoclásico es más asimilable, quizás por que es más estricto y menos exuberante, o, también como posibilidad, porque para que el proceso creativo gótico llegue a la superlativa expresividad de los edificios originales necesita de esa “espiritualidad” que ha sido imposible resucitar en cualquier época posterior. Y al recurrir al término “espiritualidad” sólo hacemos una simplificación usual, sin saber muy bien de que se trata, aunque probablemente se refiera al cúmulo de saberes, ignorancias y creencias que hicieron posible las catedrales.

## 10. Construcción arquitectónica en el Renacimiento

### 10.1 El escenario

La aparición del espíritu renacentista provoca un cambio radical en la forma de construir en relación con la etapa gótica anterior, que sólo es comparable al que ocurre cuando aparecen el acero industrial y el cemento Portland en el siglo XIX, o, anteriormente, a la génesis y desarrollo de las estructuras pétreas trabadas que, iniciándose en el primer románico, culminan en las catedrales góticas.

Sería prolijo enumerar los postulados que conforman ese espíritu y que se manifiestan en todos los órdenes de la vida, pero para nuestro interés puede servir una descripción sucinta de lo que, en relación con la arquitectura y la construcción ocurre en Florencia entre los siglos XIV y XV.

La razón es que es en Florencia donde se manifiestan antes que en ningún otro lugar las características fundamentales del Renacimiento. Jacobo Burckhardt sostiene que “el pensamiento político más elevado y las formas más variadas del progreso humano se hallan reunidos en la historia de Florencia, la cual, en ese sentido, merece el nombre de primer estado moderno del mundo”. Alrededor del año 1400 era “la ciudad por excelencia, la más importante forja no sólo del espíritu italiano, sino del moderno espíritu europeo”.

Desde el punto de vista artístico, prácticamente desde el momento en que es posible una mínima organización ciudadana, en Florencia están presentes los principios que conformaron el arte clásico latino, por lo que es lógico que fuera allí donde cristalizó, desde los inicios del s. XV lo que en la Historia del Arte se conoce como periodo renacentista, que en este caso se debe considerar más como la asunción consciente de

unos códigos estéticos y artísticos que nunca habían muerto, que como un renacimiento propiamente dicho, aunque la universalización del concepto y las matizaciones que ha sufrido a través de la historia hagan casi innecesaria esta puntualización.

Lo cierto es que Italia apenas había sido gótica, aceptando esta forma de decir como una simplificación útil. Según Benvenuto Supino: “En Italia las formas medievales extrajeron su fuerza del arte clásico y a éste sacrificaron gran parte de las nuevas tendencias. En Florencia el sentimiento clásico se modifica, no se puede negar, en el periodo gótico, pero las formas tradicionales de la arquitectura latina parecen impregnarse de esta nueva forma para volver, después de un brevísimo experimento, a imponerse en el Quattrocento”.

Esta escasa penetración del gótico en Italia -en Roma sólo existe una iglesia gótica, Santa Maria *Sopra Minerva*, próxima al Panteón-, no es suficiente para explicar el fenómeno florentino. Florencia es una ciudad perfectamente estructurada social, económica y políticamente con más de cien mil habitantes, en la que se encuentran, desde el s. XI, manifestaciones evidentes de la continuidad de la cultura clásica (Fig. 10.1), casi desaparecida en otros lugares en los que hubiera estado más justificada su permanencia. Roma en esas fechas es una gigantesca ruina, no valorada en absoluto por sus habitantes, en la que, hasta que el papado no decide promocionar la sede vaticana y convertirla en el *caput mundi*, la autoridad está en manos de unos señores feudales independientes que controlan cada una de las colinas sin ninguna cohesión como ciudad.

Florencia está en ebullición cultural y políticamente desde antes del 1300. Osa desafiar a ciudades mayores

y su comunidad se ve contantemente sacudida por las enrevesadas -florentinas- luchas por el poder político. Aunque no se queda al margen de las circunstancias negativas del momento histórico -sufrir la gran hambruna de 1315 a 1317 y al poco tiempo es devastada por la peste que en 1348 asoló Europa. lo que da pie a la hipótesis de que este último acontecimiento, cuyas consecuencias debieron ser de una gravedad extraordinaria en todos los órdenes, retrasara el alumbramiento y la universalización del nuevo espíritu-, es una unidad poderosa que extiende su influencia a través del comercio, la política y la guerra a una amplia zona, y cuya especial idiosincrasia se explica en la declaración sobre la torre del Giotto -que no es religiosa a pesar de estar al lado de Santa María; tiene la coronación almenada y los escudos de algunos nobles en el zócalo-, y que debe alzarse, "para honor de su pueblo, poderosamente unido, de gran espíritu y libremente soberano". Los ciudadanos participan en las polémicas artísticas y están interesados en los problemas comunes de urbanismo, embellecimiento y defensa, y se construyen unas grandes murallas de 8,5 Km de perímetro y 12 m de altura, probablemente sobre restos de las antiguas murallas romanas.

Como otro dato de interés que justifica el desarrollo de la nueva mentalidad, cabe señalar que en Florencia se produce, antes que en ninguna otra ciudad, el proceso de urbanización de la nobleza, con la aparición de los palacios en sustitución de los castillos rurales, que se volverán inútiles y vulnerables con el uso bélico de la pólvora. En 1250 se acaba el Bargello y en 1310 el *Palazzo Vecchio*, ambos con unas características claramente renacentistas de palacios urbanos, cuando en el resto de Europa al gótico le quedan aun casi tres siglos de vida. A final del s. XIV se construye el palacio Davanzati con agua corriente en los pisos que se subía hasta los depósitos colocados en la cubierta, a la manera de la Roma antigua, con cubos.

En el resto de Europa existe una relación directa entre el grado de penetración del gótico y la tardanza en la aparición de los criterios renacentistas. Cuando hace más de un siglo que en Italia se contruye de acuerdo al nuevo concepto, el gótico aún tiene que producir en España algunas de sus variantes más espectaculares y es Francia donde con más retraso se asumen estos postulados constructivos.

El hecho de que las permanencias clásicas se depuren y se concreten, no evita que sigan estando presentes algunos aspectos de lo medieval. De todos los conceptos que conforman la cultura gótica, el que, relacionado con la arquitectura y la construcción, sobrevive de forma más determinante es el que entiende la creación arquitectónica sujeta a condicionamientos geométricos. La geometría ha sido imprescindible, a pesar de que se concibe más como una herramienta práctica que como una ciencia abstracta, en los complejos replanteos góticos y puede que su manejo estuviera reservado a unos pocos entendidos. El conocimiento de algunas relaciones, como la versión más simple del triángulo pitagórico, la proporcionalidad de los triángulos, el trazado de los arcos, o algunos aspectos de la geometría euclidiana, importada por los árabes, por muy primario que pueda parecer, posibilita una serie de operaciones que de otra forma serían extremadamente complicadas, como el trazado de ángulos rectos, el control de los replanteos en altura, la coincidencia de los sectores circulares, o la forma de obtener la proporción áurea, y así una serie de cuestiones absolutamente necesarias para el desarrollo de algunas construcciones complicadas.

De tal forma son sorprendentes esos conocimientos que durante la Edad Media se ha tenido que recurrir a la autoridad de San Agustín -"y todo lo hizo (Dios) según el número, el peso y la medida"-, para quitar a la misteriosa ciencia sus connotaciones esotéricas. En la nueva etapa la geometría será objeto de un tratamiento más abstracto, aunque su intención seguirá siendo la utilidad inmediata y su aplicación a la pintura, la escultura y la arquitectura.

Pero mientras las plantas de las catedrales se proyectan según complejas interpretaciones de los textos teológicos, durante el Renacimiento el mérito consistirá en adecuar el proyecto a los cánones griegos y romanos, trabajosamente rescatados de un olvido de casi diez siglos. Todavía, como en la Edad Media, sigue siendo un juego de proporciones dictado por autoridades inapelables: los teólogos en un caso y los clásicos en otro, aunque aquéllos no abdican de sus privilegios arquitectónicos y siguen, casi hasta el final del Barroco, efectuando sus aportaciones al proceso proyectual. La obra de Juan de Villalpando *El Tratado de la arquitectura perfecta* en la última visión del Profeta Eze-

quiel, no es sino uno de los más importantes intentos de adecuar ordenadamente algunos aspectos teológicos a la arquitectura que se suceden a lo largo de doscientos años, hasta la aparición del neoclásico, de forma menos espectacular, sobre todo por la intervención de los jesuitas en algunos aspectos filosóficos del Barroco.

Se potencia el uso de los módulos como base del sistema proyectual -según Kostof las relaciones de la iglesia de San Lorenzo, de Brunelleschi, se basan en el semidiámetro de la columna-, y durante todo el periodo importan más las escalas y las relaciones entre los elementos, minuciosamente deducidas del estudio y la observación de las ruinas clásicas, que las dimensiones finales.

Como consecuencia de la inquietud por los desarrollos geométricos se produce un "invento" de extraordinaria importancia en todo el proceso constructivo, ya que permite una nueva interpretación del espacio: la perspectiva.

Dice Giedion: "A principios del siglo XV, en Florencia, esta concepción del espacio fue traducida en términos artísticos a través del descubrimiento de la perspectiva. En el decurso de los cinco siglos siguientes la perspectiva iba a ser uno de los hechos fundamentales en la Historia del Arte. El principio de la perspectiva (etimológicamente vista desde lejos), originó en el siglo XV una total revolución que encerraba una completa y violenta ruptura con la concepción plana y desarticulada del espacio medieval y que constituyó su expresión artística. Los artistas y hombres de ciencia indagaron sus secretos con un empeño y un orgullo fácilmente explicables. Su manera de sentir a este respecto se manifiesta en la entusiástica exclamación de Paolo Ucello: '¡Qué concepto tan bello es la perspectiva!'. La perspectiva no fue invención de una sola persona: fue la expresión de toda una época".

Se sabe que fue Brunelleschi quien intuyó el punto impropio, en el que fugan las líneas del cuadro (Fig. 10.2), -utilizó este recurso para hacer unas composiciones de Santa María de la Flor en las que se reflejaba el cielo sobre superficies pulimentadas de estaño-, y así, progresivamente, se completa el sistema hasta la forma que lo conocemos hoy. No vamos a intervenir

en la polémica sobre a quién corresponde el mérito del descubrimiento de cada uno de los conceptos que permiten a Miguel Angel la síntesis en su Tratado de la pintura, y cuyas reglas completas formula Pelerin en 1505, pero el resultado es que la perspectiva permite, para siempre a partir de ese momento, la gráfica previa del proyecto: la protografía (Figs. 10.3, 10.4 y 10.5).

Se producen, además, una serie de avances de gran importancia para el desarrollo del proceso constructivo. El papel es ya de uso común y poco más tarde se va a inventar la imprenta (1448). Rafael Sanzio va a establecer la correspondencia entre el alzado, la planta y la sección, lo que permite la descripción exacta de lo proyectado, con lo que se dispone de unos instrumentos de extraordinaria importancia para el manejo de las técnicas constructivas y proyectuales, que se perfeccionan con la incorporación de escalas y petipiés para la lectura de los planos.

Como resultado del nuevo espíritu aparece la figura del hombre versado en todos los saberes de su época, y con la unidad de los conocimientos se favorece la interacción de las ciencias. Los ingenieros son además, orfebres, escultores, pintores, geómetras, filósofos o arquitectos, figura esta última que aparece por primera vez en la historia como responsable personal de sus trabajos. Durante la Edad Media el proyecto es encargado, según todos los testimonios, a expertos de los que en el mejor de los casos conocemos simplemente el nombre, mientras que el desarrollo de los trabajos se encomienda a talleres constituidos por obreros agremiados, de normas severas y secretas, que desarrollan su actividad casi independientemente del esquema general, aportando en cada caso su personal manera de interpretar el encargo. Con el nuevo espíritu casi todas las obras se firman y aparece con todas sus consecuencias la arquitectura de autor.

Se puede detectar, quizás como un aspecto negativo de la nueva situación el completo distanciamiento entre los obreros y la obra que ejecutan. Durante la Edad Media cada pieza formaba parte explícita y reconocible de un conjunto que pretendía expresar los sentimientos trascendentes de la comunidad, y eso provocaba una identificación personal de cada obrero con su trabajo. En el nuevo sistema es prácticamente imposible esa identificación, debido a que el trabajo manual

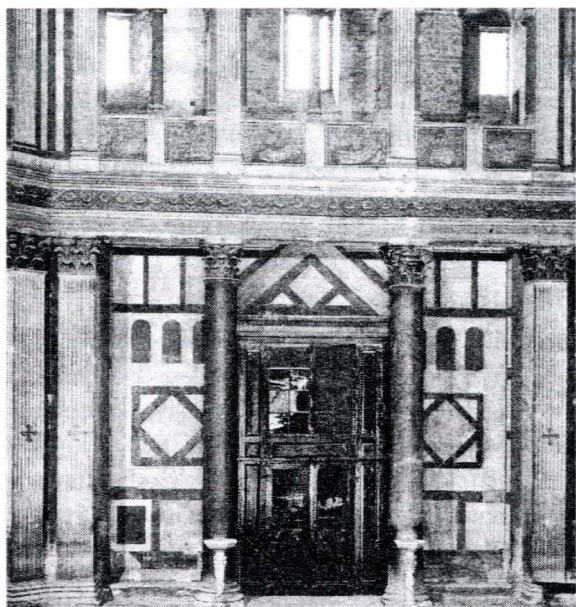


Fig. 10.1 Interior del Baptisterio de San Juan

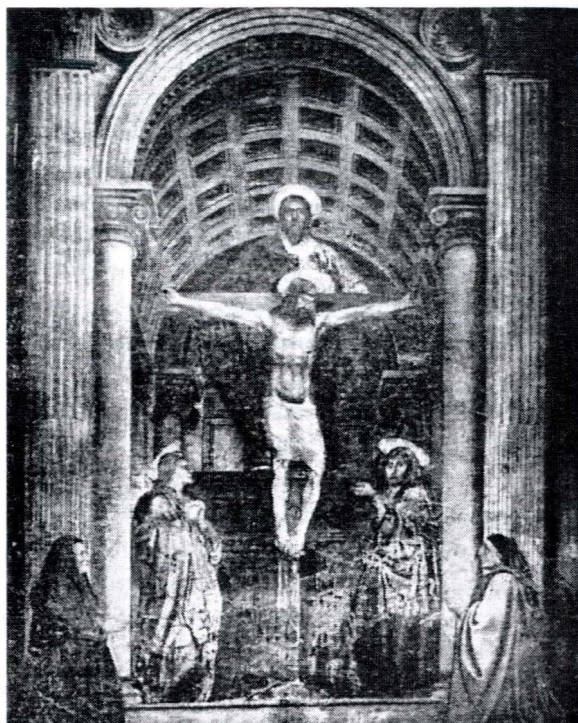


Fig. 10.2 La Trinidad de Massaccio. Florencia

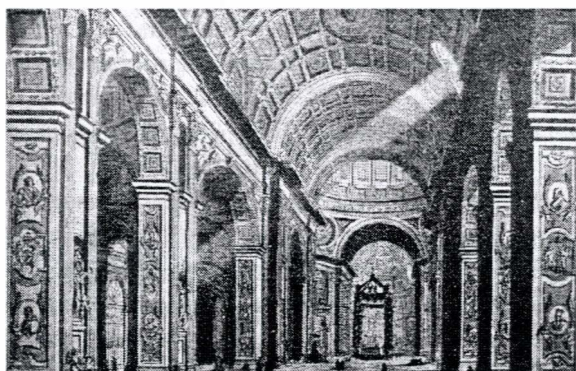


Fig. 10.4 Proyecto de Maderno para el interior de San Pedro. Roma



Fig. 10.5 Interior de San Pedro. Roma

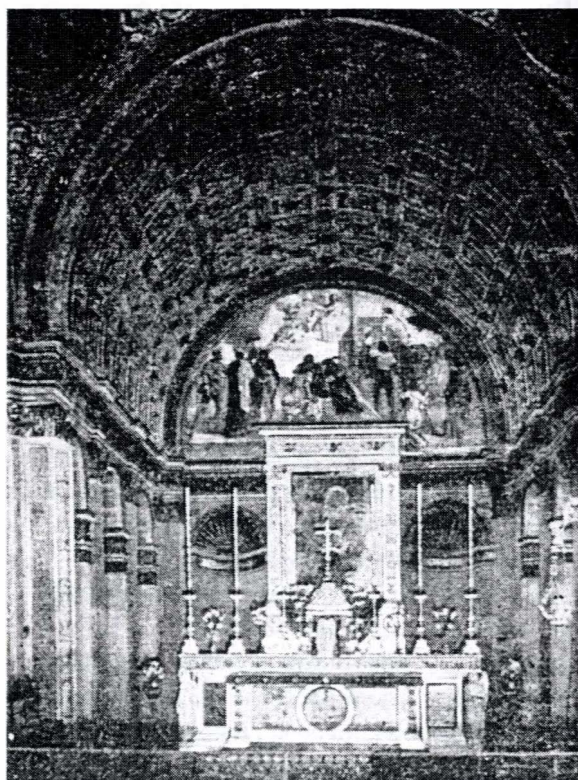


Fig. 10.3 Coro ilusionístico en Santa María "presso San Saitiro". Milán

es menos diferenciado, la responsabilidad y la gloria de la creación artística es muy concreta, y la comunidad que encarga el edificio lo hace a un responsable, no a sus miembros, que sólo participan en el empeño terrenal de su construcción a cambio de dinero. Esta situación, iniciada entonces, dura hasta hoy, agravada por el carácter cada vez más anónimo y despersonalizado de cada especialidad, y algunas consideraciones de orden filosófico sobre la naturaleza del trabajo.

Lo dicho queda explícito en la referencia que Vasari hace de los incidentes sucedidos durante la construcción de la cúpula de Santa María de la Flor, en la Vita de Filippo Brunelleschi. El arquitecto, actuando como contratista o responsable único de la obra, se impone a la organización gremial. Tuvo, lo que es un raro privilegio, una de las más sonadas huelgas que se han producido en el sector. Vasari relata así el asunto: “Estaban colocando ya las últimas hiladas alrededor de las ocho caras y los albañiles trabajaban animosa y eficazmente, pero apremiados por Brunelleschi más de lo acostumbrado, a causa de algunos tropiezos habidos en la ejecución de las mampostería y por los distintos problemas que diariamente surgían, llegaron a incomodarse. Aprovechando esta situación y movidos por la ambición de ser compensados por un estipendio más alto, se pusieron de acuerdo todos los capataces para interrumpir la obra, pretextando que el trabajo era duro y peligroso y que no seguirían abovedando sin estar mejor retribuidos, aunque el salario que percibían era superior al que habitualmente se pagaba; pensaban de esta manera vengarse de Brunelleschi y sacar provecho para sí. Se creó una situación desagradable tanto para los obreros como para Brunelleschi, el cual, después de reflexionarlo, decidió un sábado por la tarde despedirlos a todos. Viéndose despedidos y sin saber cómo resolver el problema creció su descontento. El lunes siguiente Brunelleschi llevó a la obra diez “lombardos” y acompañándoles les fue diciendo, “haced aquí de esta manera y allí de aquella”. En un sólo día les instruyó, hasta el punto que pudieron trabajar varias semanas. Por otra parte, los obreros, viéndose despedidos y sin trabajo, después de haber sufrido esta afrenta y no teniendo otro sitio de más provecho que aquél, hicieron saber a Brunelleschi que volverían de buena gana y tratarían de hacer las cosas lo mejor posible. A pesar de ello Brunelleschi los tuvo sin repuesta durante muchos días, haciéndoles creer

que no los admitiría, pero después los reintegró al trabajo con un salario inferior al que tenían al principio, y así donde pensaban obtener mucho provecho perdieron y tratando de burlarse de Brunelleschi se perjudicaron”.

En el desarrollo de los acontecimientos, tal y como los relata Vasari, están presentes todos los datos, a *grosso modo*, de una huelga moderna. Una situación como esta es impensable, por muchas razones, en la sociedad gótica, coetánea en el resto de Europa. Lo importante es que Brunelleschi no sólo era el constructor y administrador de la obra, sino, y por encima de todo, su creador, y su autoridad prevalecía en cualquier conflicto, por lo que los obreros perdían cualquier protagonismo y quedaba rota la indentidad entre el proyecto y sus ejecutores que había funcionado durante la Edad Media.

Es evidente que en este contexto, tanto si es causa como si es efecto de los cambios, era imposible que pervivieran los modos góticos basados en la reiteración casi anónima de unos modelos que requerían una gran cantidad de mano de obra muy experta, con una cierta capacidad de innovación y una tendencia perfeccionista casi obsesiva en la ejecución de cada pieza.

A partir de ese momento, y quizás sea ésta una de las razones de nuestra escasa capacidad para imaginar las condiciones de trabajo y las técnicas medievales, éstas son despreciadas sistemáticamente hasta que el Romanticismo las rescata en la medida de lo posible.

## 10.2 Los datos de partida

Además de ese espíritu clásico que persiste en Florencia, en todo Occidente ha permanecido latente una admiración profunda, teñida de desconocimiento, por la antigüedad clásica. El problema puede que residiera en la incapacidad de la sociedad medieval para asumir ese clasicismo, muy preocupada por la ortodoxia religiosa, pero la inquietud por esos valores siempre estuvo presente, unas veces de forma explícita, como en la breve etapa carolingia, y otras como una remota referencia que en ningún caso fue absolutamente olvidada. Esta sospecha de una realidad artística que se suponía

de gran calidad, cristalizó en un hecho que, por lo que respecta a la arquitectura, marcaría todo el proceso de creación casi hasta nuestros días: Poggio, el inventor de la escritura encadenada en letras minúsculas, descubre íntegro el manuscrito de Vitruvio en la abadía de Sant Gall en 1414.

Existen datos sobre la pervivencia de Vitruvio a lo largo de toda la Edad Media -hay más de sesenta y nueve códices registrados-, pero el caso es que su vulgarización se hace sobre el descubrimiento de Poggio. A partir de ese momento Vitruvio será citado como autoridad indiscutible, no sólo desde el punto de vista compositivo y artístico, sino técnico. Sus citas y referencias aparecen como uno de los principales méritos, tanto del proyecto como del esquema constructivo, en casi todos los autores hasta finales del s. XVIII. Desde su descubrimiento -la Reeditoria de L. B. Alberti, publicada unos años más tarde, es un intento de reescritura del texto vitruviano, a la que se suman aportaciones y experiencias del autor-, hasta los enciclopedistas, quizás por la tantas veces referida impresionante presencia de las ruinas romanas, y por la certeza de la eficacia de la organización imperial en casi todos los aspectos, la autoridad de Vitruvio no sufrió el más mínimo menoscabo a lo largo de más de cuatrocientos años.

Pero no es la única fuente. El interés por el mundo antiguo se manifiesta, además, en el estudio de sus formas y de los sistemas constructivos que les dan soporte físico, lo que provoca, entre otras cosas, un rescate inteligente de esas formas de construir, adaptadas a las necesidades de la época.

Sobre el caso, Vasari dice: "Vieron, (Brunelleschi y Donatello), el modo de construir los muros que tenían los antiguos y les pareció descubrir un cierto orden, semejante al de los miembros y los huesos... juzgándolo muy diferente del que se usaba en aquellos tiempos. Y comprendieron que en lo que se refiere a las esculturas de los antiguos, lo mismo que en los edificios no faltaba orden ni estilo... sostenían con robustez sus formas y poseían elegancia e inventiva correspondiente a la función para la que fueron destinados, lo mismo que los adornos... Pensaron pues hallar el modo de volver a construir muros con la excelencia y artificio de los antiguos con sus proporciones musicales,

haciéndolos con sencillez y economía, siempre que no fueran en detrimento de su calidad... y una vez vistas estas grandes cosas y sus problemas... no les faltó entendimiento para comprender los métodos empleados y los instrumentos necesarios.

"Diseñaron casi todos los edificios de Roma y de muchos lugares de los alrededores sin establecer grandes precisiones, tomaron medidas de las alturas y anchuras según sus posibilidades, calculando y tratando de deducir las longitudes, etc. En muchos lugares mandaban excavar para estudiar los restos de algunos edificios y sus características, si eran cuadrados y de cuántos ángulos, o perfectamente circulares y ovales, o de qué forma. Donde podían conjeturaban la altura, o medían de base a base para averiguarla, y lo mismo hacían con los tejados y resaltes de los edificios. Todo esto lo anotaban en sus tiras de pergamino para luego acotar los planos con guarismos de ábaco, signos que sólo Brunelleschi entendía".

En torno a estos edificios Brunelleschi trabajó muchos años, porque encontraba en ellos muchas diferencias en la mampostería, en la calidad de las columnas, en los basamentos y capiteles, en los arquivoltas, frisos, cornisas y frontones, en los distintos cuerpos de los templos y en el grosor de las columnas que supo distinguir con su fino espíritu de observación. Utilizó la mayor parte de estos modelos en el tiempo y lugar que consideró oportunos, como puede comprobarse en sus edificios".

No se debe uno dejar llevar por el entusiasmo del biógrafo del arquitecto florentino. Nada más lejos de la realidad que el aprovechamiento de las técnicas constructivas de los antiguos por Brunelleschi, que precisamente, a pesar de sus indudables conocimientos sobre la construcción romana, es de los pocos innovadores de la construcción renacentista. Sólo aprovecha el concepto, que ya estaba en el espíritu de los constructores italianos con anterioridad.

Además de la curiosa pervivencia del secretismo en los saberes de los arquitectos -"acotar los planos con guarismos de ábaco, signos que sólo Brunelleschi entendía"-, el texto evidencia que Brunelleschi trabajó en la interpretación de los modos romanos, aunque no parece que llegara a utilizarlos.

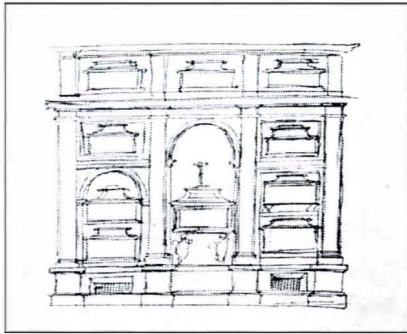


Fig. 10.6 Apunte de J. de Herrera para el altar de las reliquias. El Escorial

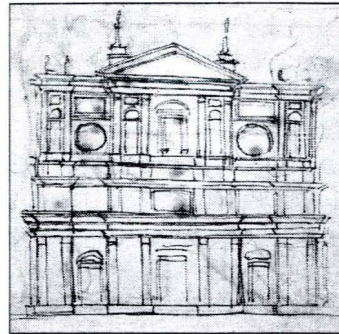


Fig. 10.7 Proyecto de M. Angel para San Lorenzo. Florencia

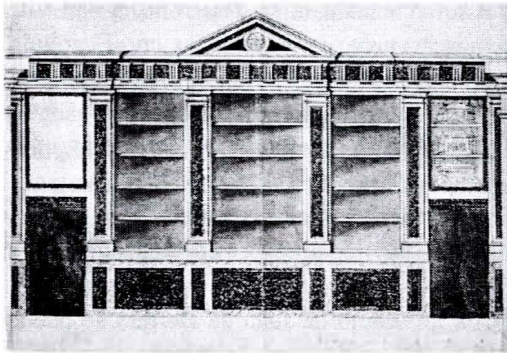


Fig. 10.8 Alzado de J. de Herrera para el altar de las reliquias. El Escorial.

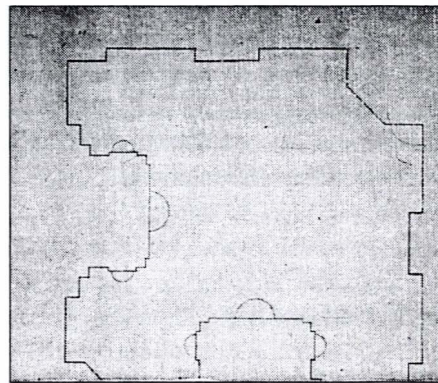


Fig. 10.9 Planta de las columnas de la iglesia de El Escorial

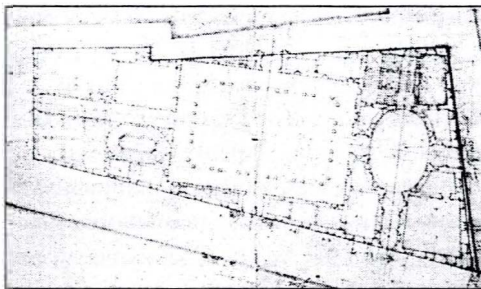


Fig. 10.10 Propuesta de Borromini para el Palacio Carpegna

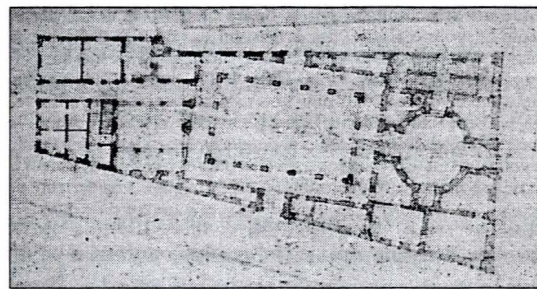


Fig. 10.11 Propuesta de Borromini para el Palacio Carpegna

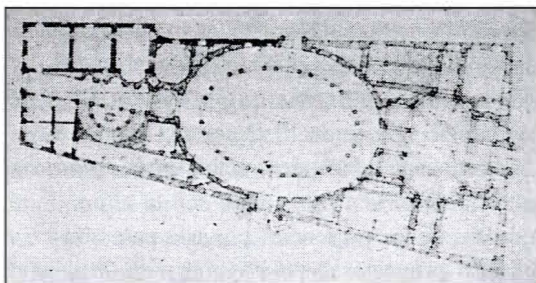


Fig. 10.12 Propuesta de Borromini para el Palacio Carpegna

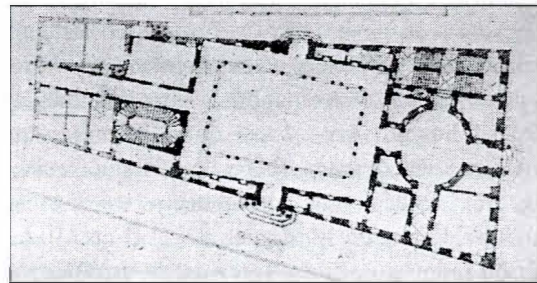


Fig. 10.13 Propuesta de Borromini para el Palacio Carpegna

La expresión "los nervios y los huesos", dicha en el s. XV, es una lección de humildad para algunos profetas de la arquitectura moderna. Claro que la piel es más piel y los huesos más huesos con los elementos resistentes de que disponemos hoy, pero en todo caso, y como consecuencia de éstas y otras observaciones, se llegan a diferenciar explícitamente: el proyecto volumétrico, tanto exterior como interior, como "invención" ajustada a las reglas canónicas clásicas; la estructura, entendida como un soporte que merece una atención casi mínima; y la decoración, mediante el uso masivo y exhaustivo de los recubrimientos, de los que tienen como modelos innumerables y extraordinarios ejemplos romanos, y en los que introducen novedades importantes una vez que se entiende la capacidad expresiva de las superficies, entre ellas el revocado blanco o jaharrado, que aparece como una manera novedosa y distinta de valorar los interiores.

### 10.3 El proyecto renacentista

Sobre los proyectos renacentistas tenemos muchos más datos que sobre los medievales y conocemos mucho mejor su génesis y evolución. Se entienden como una "invención" de formas ajustadas a los cánones clásicos. En lo que quizás sea una herencia medieval, se trabaja sobre la planta y el alzado como elementos básicos, y la valoración volumétrica se efectúa posteriormente con la superposición de ambos.

Se establece la planta según unos modelos en los que prima el aspecto simbólico del edificio más que su utilidad, que se da por supuesta si en esa primera fase se respetan los criterios básicos correspondientes a cada tipo arquitectónico y a su representatividad, y se describen las secciones de los elementos resistentes como parte de la forma.

Los alzados se componen, o se "inventan", en expresión de la época, combinando las formas clásicas según criterios artísticos, sobre una idea previa que pretende una determinada visión de conjunto, coincidiendo en el lenguaje gráfico arquitectos tan distantes como Juan de Herrera y Miguel Ángel (Figs. 10.6 y 10.7). Ni tan siquiera la diferencia de escala entre ambos proyectos se deja apreciar en el tratamiento

gráfico casi idéntico. Esta forma de trabajar ha llegado hasta nuestros días y son muchos los arquitectos que comienzan a trabajar los alzados sobre un dibujo mínimo y expresivo de la intención principal de las futuras fachadas.

El paso siguiente debía ser la delineación del alzado (Fig. 10.8) ajustando las escalas para su correcta interpretación en obra.

Es posible que este sistema de proyectar fuera muy parecido al medieval, con la gran diferencia de que en un caso las referencias para su desarrollo, a partir de las normas de proyecto ya enunciadas en el capítulo anterior, se encuentran en el complejo mundo de la teología y de las confusas recomendaciones usuales sobre la estabilidad del conjunto, mientras que en el otro, sin renunciar a ese tipo de complejidad, se introduce la composición de los modelos clásicos. En este caso nos es más fácil comprender el desarrollo de los trabajos debido a las características del sistema constructivo. Con un dibujo de Juan de Herrera se puede "construir" El Escorial, o, por lo menos, intentarlo, mientras que con el dibujo del maestro Carlí de la fachada de la catedral de Barcelona no sabríamos por dónde empezar, quizás por que nos faltan los operarios especializados, capaces de pasar a la talla con el solo bagaje de su experiencia.

Para garantizar la estabilidad se usan una serie de normas dispersas y de base poco científica, además de recetas de oficio que tienden a mejorar la durabilidad del edificio, entendida en el sentido más amplio. En el tratado de Alberti todas las recomendaciones aparecen mezcladas, tanto si se trata de normas sobre estabilidad, como sobre elección de materiales, como de ejecución. Puede que ello se deba a que la división según esos criterios se establece posteriormente.

En el diseño de las plantas nunca aparecen explícitas correcciones dimensionales por motivos resistentes. La superficie de las columnas que proyecta Juan de Herrera para la iglesia de El Escorial (Fig. 10.9) se define por su capacidad para incluir unas columnas simuladas que estén en proporción con la altura de la iglesia dentro de la "presencia" prevista para ellas. En los sucesivos proyectos de Borromini para el palacio Carpegna se advierte que la sección de los muros no

depende de la luz de la crujía que soportan, sino de su situación en la planta. Un punto realmente notable es la parte en la que el patio toca a la fachada lateral (Figs. 10.10, 10.11, 10.12 y 10.13). En ella apenas queda sección de muro, sacrificada a la máxima anchura del patio, que es la parte representativa del proyecto. Son también importantes las correcciones del eje y el intento de regularizar las estancias de las esquinas regruesando los muros irregularmente.

Este sistema de proyectar lleva a conclusiones sorprendentes. Al considerarse prioritario el sistema de proporciones, al margen de módulos basados en la utilidad o en el uso humano, es posible un crecimiento desproporcionado de los edificios que sólo se deja notar por comparación (Fig. 10.14). En el palacio Strozzi, los tres pisos son más altos que los edificios próximos de cinco y seis plantas, y el palacio Pitti (Fig. 10.15), de 27 m de altura y tres plantas aparentes, está subdividido en algunas zonas del interior por pisos intermedios.

En general este crecimiento cuando no se trata de obras singulares, no plantea demasiados problemas constructivos, ya que casi siempre se trabaja sobre esquemas estructurales muy simples, y los muros, como veremos, no reciben apenas empujes.

La situación no es muy distinta por lo que respecta a las bóvedas y cúpulas. En los grandes proyectos, cuando intervienen estos elementos también se manifiesta la importancia relativa que los arquitectos renacentistas prestan a los sistemas constructivos concretos, quizás porque no formaba parte de su formación el conocimiento exacto de cómo resolverlos y confiaron su ejecución a la práctica habitual de los constructores.

Vasari pone en boca de Brunelleschi unas ingenuas justificaciones para la solución empleada en la cúpula de Santa María de la Flor. La explicación dada fue la siguiente: "Considerando las dificultades de esta obra, magníficos señores obreros, hallo que no puede en modo alguno hacerse perfectamente esférica, atendido que sería tan aplanada en la parte superior donde va la linterna que sobrecargándola se arruinaría prestamente. Sin embargo me parece, que aquellos arquitectos que no miran a la eternidad de la obra, no tienen amor a la posteridad, ni saben como se logra.

"Mi propósito es construir interiormente esta bóveda por paños, como están las caras de su tambor, dándoles la medida y la forma del arco apuntado, porque con este arco que siempre empuja hacia arriba, y sobrecargado por la linterna, se ayudaran mutuamente a hacerse duraderos. Y ha de ser gruesa en el arranque de tres brazos y tres cuartos en su pie, e ir gradualmente estrechándose exteriormente hasta su cierre en donde ha de colocarse la linterna. Y la bóveda ha de cerrarse con el espesor de un brazo un cuarto. Después se hará por el lado exterior otra bóveda que en su arranque tendrá el grosor de dos brazos y medio para resguardar del agua la interior, la cual también disminuirá gradualmente a proporción, a fin de reunirse en la base de la linterna con la otra, de modo que sea arriba su grosor de dos tercios. Póngase en cada ángulo un estribo, que serán en total ocho, y dos en cada cara repartidos que serán dieciséis; y así en la parte exterior como en la interior, entre dichos ángulos de cada cara pónganse dos estribos, cada uno del espesor de cuatro brazos en su arranque, y enlácense ambas bóvedas por muretes hasta la base de la linterna, repartidos uniformemente. Háganse luego veinticuatro estribos alrededor de dichas bóvedas, y seis arcos de dovelas fuertes y largas, bien abarrotados de hierros, los cuales estén estañados, y encima de dichas piedras, tirantes de hierro que una dicha bóveda con sus espolones. Hay que hacerla maciza de arranque en la altura de cinco brazos y cuarto, y después proseguir los estribos esperando las bóvedas.

"El primero y segundo círculos, en el arranque, refuérense con perpieños de piedra dura, de manera que las dos bóvedas de la cúpula descansen encima de dichas piedras. Y a la altura de nueve brazos de dichas bóvedas, constrúyanse bovedillas entre uno y otros estribos con gruesos encadenados de madera de encina, que enlacen dichos estribos a fin de que den rigidez a la bóveda interior, y cúbranse dichos encadenados con planchas de hierro para que hagan de escalera. Los estribos murados, todo de sillares de piedra fuerte, e igualmente las catas de la cúpula todas de piedra fuerte, ligadas con los estribos hasta la altura de veinticuatro brazos, y de aquí arriba, múrese de ladrillo o de piedra esponjosa, según calculo de quien lo haga (el trabajo), lo más ligero posible. Hágase en el exterior un pasillo en la base de la linterna que sea por abajo galería con estribos agujereados de dos brazos de altu-

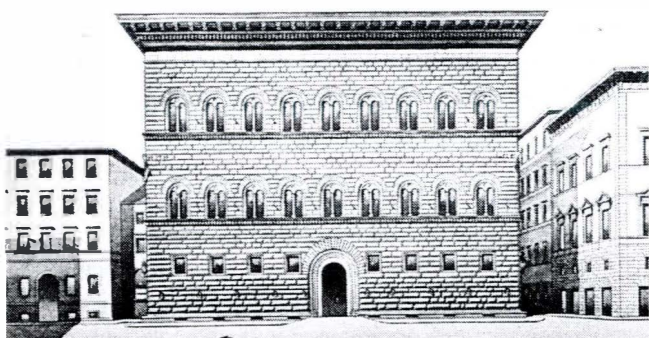


Fig. 10.14 Fachada del Palacio Strozzi

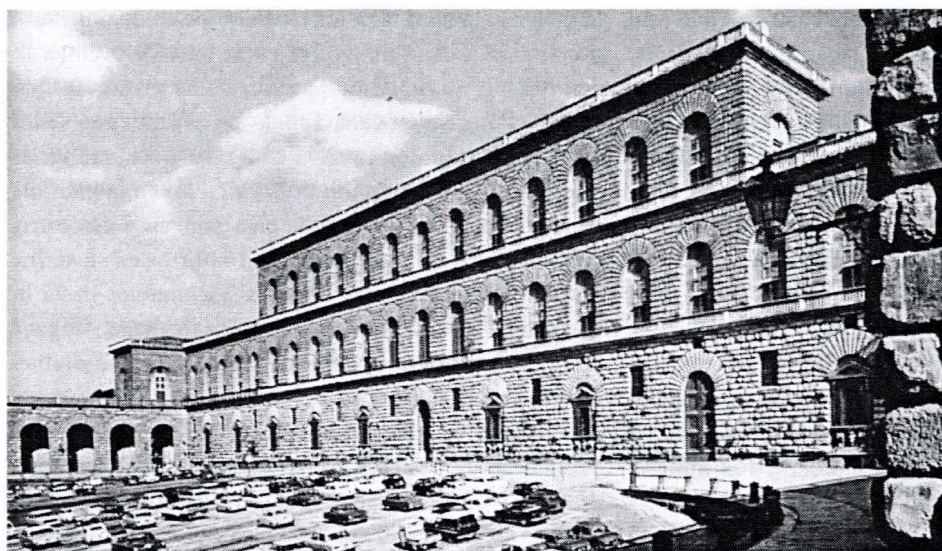


Fig. 10.15 Palacio Pitti

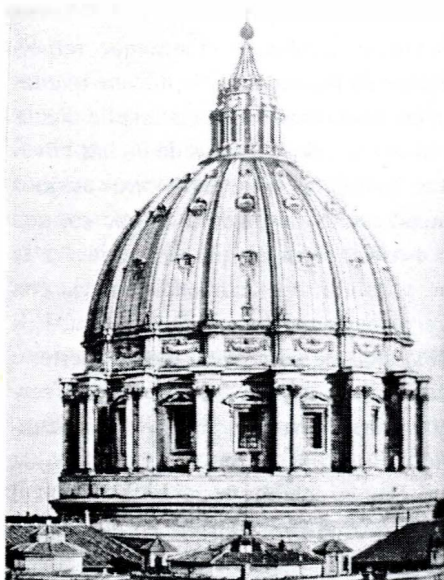


Fig. 10.16 Cúpula de San Pedro. Roma

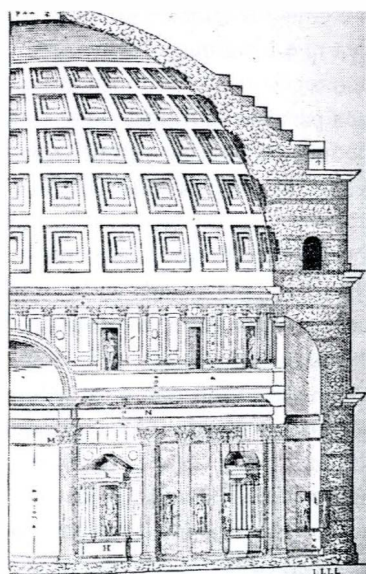


Fig. 10.17 Sección del Panteón de Adriano según Palladio

ra en relación con los de las tribunillas interiores, o mejor, dos pasillos, uno sobre otro encima de una cornisa bien adornada; y el pasillo superior sea descubierta. Las aguas de la cúpula, diríjase sobre una canal de mármol, ancha de un tercio, arroje el agua, por lo cual será fábrica de piedra fuerte debajo de la canal. Háganse ocho caballetes de mármol en los ángulos de la superficie de la cúpula exterior, grandes como se requiere y altos de un brazo sobre la cúpula, terminando en cornisa en la parte alta, ancha de dos brazos sobre el tambor por todas partes. Vayan disminuyendo desde sus arranques hasta el fin. Fabriquense las cúpulas del modo arriba dicho, sin armazones hasta los treinta brazos de aquí para arriba del modo que aconsejarán los maestros encargados de construirlas, por cuanto la práctica aconseja lo que debe hacerse después”.

No entraremos en el comentario exhaustivo del texto vasariano, entre otras razones porque, al no disponer de una versión fidedigna, su análisis puede resultar inútil. No obstante se pueden extraer del texto tres consecuencias inmediatas, y una sorpresa. La sorpresa es la frase final: “por cuanto la práctica aconseja lo que debe hacerse después”. La mayor y más difícil obra construida en mil quinientos años, se prevé, en una frase que después repetirá casi textualmente Miguel Ángel cuando se refiera al modo de construir la cúpula de San Pedro, construida según una práctica que nadie tiene.

Como consecuencia, en primer lugar se puede constatar que es la proporcionalidad simple la base del sistema de dimensionado, sin ninguna otra justificación para las medidas que deben tener cada uno de los elementos que componen la bóveda, ni para su evolución al progresar en altura. El espesor de la bóveda disminuye hasta dos tercios del que tiene en el arranque sin mayor explicación, lo que ocurre, según ésta u otra regla, en los demás elementos. La aplicación de la proporcionalidad lineal al “cálculo” de los elementos constructivos es la única fórmula conocida en la época: para una luz doble de otra, el arco debe ser el doble de grueso, o cosas parecidas.

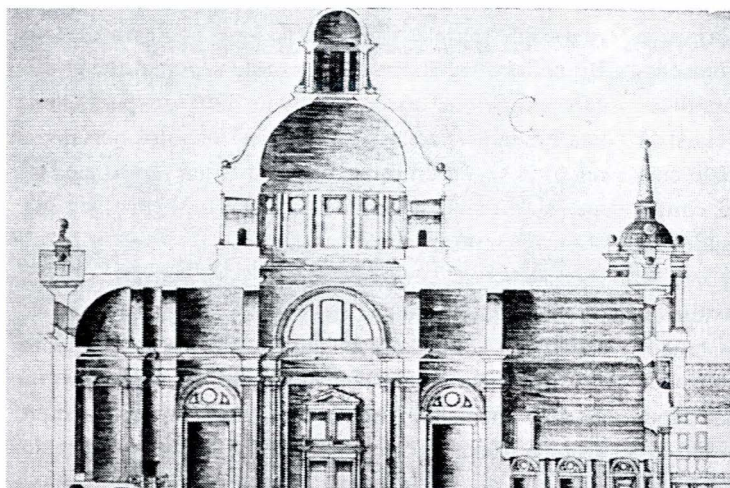
En segundo lugar tenemos la justificación de la bóveda exterior, exclusivamente prevista, según la versión de Vasari, para evitar que el agua dañe la interior,

revocada y presumiblemente pintada en la idea de Brunelleschi. Ningún dato permite suponer que el cálculo exigiera el equilibrio de dos bóvedas para cubrir una luz tan espectacular. Los estribos y los nervios se reparten según un esquema geométrico inmediato, sin que medie más explicación o, por lo menos, sin que Vasari la transcriba.

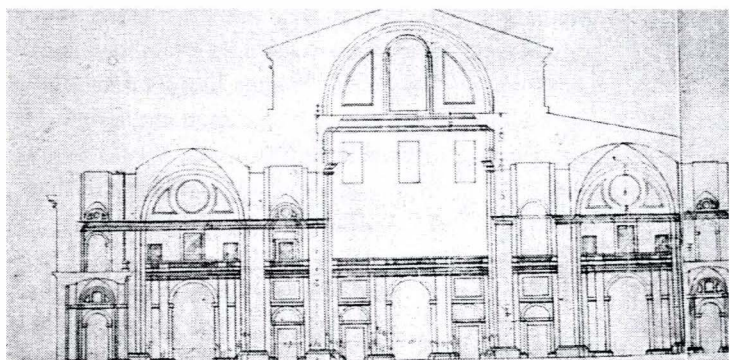
En tercer lugar cabe sorprenderse de la relativa impunidad con la que se manejan los esfuerzos, totalmente contraria a un análisis cuantificado. Se va a construir en arco apuntado, “porque este es un arco que siempre empuja hacia arriba”. No parece que el precedente del Panteón de Adriano, perfectamente esférico, haya influido en Brunelleschi. Es evidente que una forma apuntada es más fácil de realizar sin cimbra, y que gráficamente da mayor sensación de estabilidad que el medio punto, pero nunca “empuja hacia arriba”. Es la única interpretación que se puede aportar a la supuesta explicación de Brunelleschi. Quizás, y esto es una suposición libérrima, la expresión *quinto acuto* hace innecesarias otras explicaciones más concretas.

Este ejemplo no crea escuela, y mientras en la Edad Media construyen unas estructuras de piedra que han de estar perfectamente definidas y despiezadas, durante el Renacimiento se busca la determinación de un espacio, pasando a un segundo plano el sistema por el que se define.

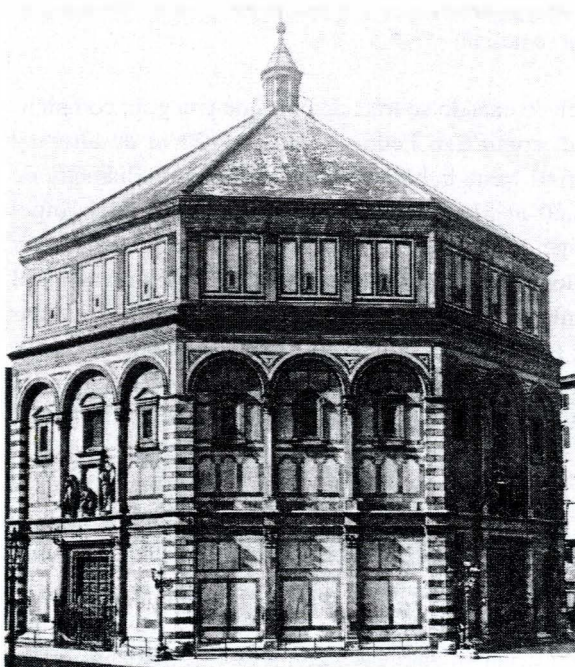
Incluso cuando se trata de obras de una gran complejidad, como San Pedro de Roma -120 m de altura y 136.61 hasta la bola de la linterna con un diámetro de 42.20 m-, lo importante es la forma. Miguel Ángel exige que se respete la que él propone en caso de su muerte, aunque Bramante añade las columnas en el tambor, tal vez para reforzar la estabilidad del conjunto. La cúpula está bastante agrietada, aunque la causa principal de sus problemas sea que dos de las pilas están cimentadas sobre las gradas del hipódromo de Nerón, de magnífica fábrica romana, mientras que las otras dos se apoyan en el terreno. Es difícil decidir si la estabilidad se debe a que Miguel Ángel, como se dice, trazó el perfil haciéndolo coincidir conscientemente con el simétrico de la catenaria (Fig. 11.15), lo que evitaría esfuerzos de flexión a las secciones que trabajarían únicamente a compresión, sin que se pueda asegurar sobre qué datos se basó para hacerlo, o si, por



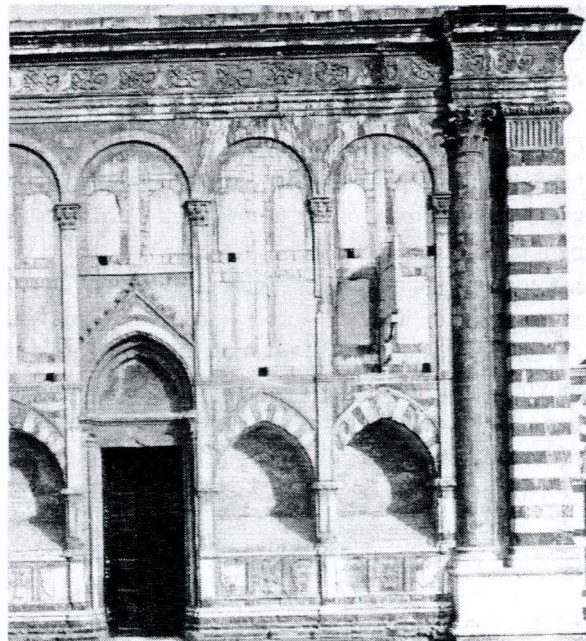
*Fig. 10.18 Sección de J. de Herrera para la iglesia de El Escorial*



*Fig. 10.19 Sección J. de Herrera para la iglesia de El Escorial*



*Fig. 10.20 Baptisterio de San Miguel. Florencia*



*Fig. 10.21 Detalle de la fachada de Santa María Novella. Florencia*

el contrario, es debida a la esmerada ejecución, efectuada 26 años después de la muerte de Miguel Ángel por los arquitectos Fontana y Porta (Fig. 10.16), a pesar de la rapidez con que se hizo: se construyó en 24 meses, con 800 hombres trabajando día y noche.

Esta actitud se deja notar en los dibujos de Palladio del Panteón de Adriano en Roma. Apenas intenta la interpretación de la estructura (Fig. 10.17). En su descargo hay que decir que quizás no supiera cómo funcionaba exactamente, pero lo cierto es que en las zonas en las que sí hubiera sido posible describirla recurre sólo a la definición de la silueta.

Los estudios sobre los sistemas romanos en este caso se reducen a la pura descripción del espacio, pasando por alto, quizás por ignorancia, el verdadero concepto estructural que los hace posibles. Todo está entendido en cuanto a la forma y nada en cuanto al sistema, que no es usado en las grandes bóvedas renacentistas.

Otro ejemplo significativo es el de las trazas de J. de Herrera para la iglesia de San Lorenzo en El Escorial (Figs. 10.18 y 10.19), en las que las zonas correspondientes a la estructura están cómodamente en blanco, sin que se aporte el más mínimo dato que permita su construcción.

No obstante debieron existir unos mínimos recomendados de los que Fray Lorenzo de San Nicolás recoge algunos. En todo caso, al no poderse garantizar la homogeneidad del conjunto más que mediante reglas de oficio, el resultado es siempre aleatorio. Debieron tener, además, la certeza en la capacidad resistente de las secciones empleadas y supusieron que los problemas, cuando se presentaban, se debían a la calidad de los materiales y al cuidado en la ejecución, cosas que dejaron bajo la responsabilidad de los constructores.

Los conocimientos constructivos casi nunca fueron objeto de desarrollos pormenorizados en los tratados. La transmisión oral y la consulta profesional, institucionalizada en muchos casos en juntas de expertos sobre problemas concretos, debió ser suficiente de la misma manera que, con mayor secreto, funcionó en la Edad Media. Las referencias a la antigüedad clásica debieron limitarse, en este campo, a una mínima lectura del mínimo y confuso Vitruvio.

#### 10.4 Características básicas de la construcción arquitectónica renacentista

Durante el periodo gótico la construcción, a la que una serie de condicionantes ha exigido unas características funcionales muy concretas, consiste fundamentalmente en unas estructuras prodigiosamente decoradas, que no se pretende nunca disimular u ocultar: forman parte esencial del lenguaje arquitectónico, y apenas existen elementos constructivos al margen de ellas. Podrán ser superabundantes y en algunos casos superfluas; su complejidad, sobre todo en las últimas etapas, se puede considerar innecesaria, pero en todo caso quedan perfectamente explícitas, y en ellas encuentra la arquitectura la base de su extraordinario repertorio.

Este sistema se basa en el desarrollo de la cantería como soporte del proceso constructivo. Se trabaja la piedra casi exclusivamente, excepto en algunos casos aislados, como el mudéjar español.

En la construcción renacentista, por el contrario, la estructura ocupa un secundísimo plano, al servicio siempre de los valores compositivos, que de acuerdo con las normas clásicas deben imperativamente definir el conjunto del edificio.

Con este planteamiento era casi obligada la sustitución paulatina de la cantería por la albañilería, debido tanto a las razones técnicas apuntadas, como a la más práctica de su menor precio. Ha crecido la demanda de construcción en proporciones elevadísimas y es necesario acudir a ella con sistemas menos complejos y onerosos. Se pierde con ello parte de la importantísima "presencia" de la construcción medieval, pero se gana en versatilidad y en posibilidades constructivas. En general los edificios son, como dice Puig i Cadafalch, unas estructuras pobres, lujosamente vestidas, dicho sea esto con las reservas oportunas, porque cuando esa estructura es la cúpula de San Pedro o la de Santa María, la palabra "pobre" quema en la boca.

Desde el punto de vista estructural se va perdiendo el esquema unitario en el que cada elemento constructivo participa en la capacidad resistente del conjunto de forma específica, contribuyendo a la estabilidad total. Cuando se aprovechan esos elementos, lo que sucede con frecuencia, se hace aisladamente e integrados en

otro esquema de finalidad menos estructuralista y más subordinados a la composición formal del edificio, dando la impresión de que se ignora su razón de ser, ya que una de las características importantes de este concepto es que no se fundamenta en ninguna novedad técnica, sino tan sólo en una nueva concepción del proyecto. Según Kostof, en Santa María, Brunelleschi evitó los arbotantes de forma consciente, sustituyéndolos por los nervios entre las dos cúpulas.

### 10.5 Los antecedentes y los primeros ejemplos

Ya hemos dicho que, como convenio, es posible señalar con fechas exactas y nombres concretos el inicio de un proceso cuyas raíces, en Italia y singularmente en Florencia, se hunden en los siglos precedentes.

Estos antecedentes y su filiación son fácilmente detectables. Jacobo Burckhard llama al románico tardío florentino "protorrenacimiento", del que es un ejemplo muy significativo el Baptisterio (1150) (Fig. 10.20), al que algunos autores consideran más relacionado con la antigüedad clásica como ejemplo tardío, que con un románico que apenas se percibe en algunos detalles y desde luego para nada en el sistema constructivo.

Incluso cuando se trata de formas y elementos claramente góticos ya hemos dicho que en Italia encontraron en la antigüedad clásica una poderosa fuente de inspiración, por lo que adoptaron un aspecto muy específico, en el que está también presente el Románico (Fig. 10.21).

En todo caso la diferente valoración de los elementos arqueados con respecto a los ejemplos góticos clásicos es evidente, de la misma forma que el paso del gótico a la plenitud clásica renacentista, excepto en algunos ejemplos muy notables, tampoco es rotundo y se producen mezclas curiosas en las que no hay que descartar intervenciones posteriores.

La Logia Lanzi, con bóvedas cuatrimpartitas y arcos rotundamente góticos en *sesto acuto*, se construye sin contrafuertes, y el interior se trata según un concepto que después será habitual, con las superficies blancas, o, en todo caso, enlucidas y pintadas (Fig. 10.22).

Este lenguaje arquitectónico exige, desde el punto de vista estructural, menos precisión del sistema constructivo que las limpias tracerías pétreas, y posteriormente a la construcción de la estructura, la posibilidad de una menor pesantez y una mayor "limpieza" por la incorporación de acabados superficiales. Se puede considerar dentro de la línea que Jacobo Burckhard llama protorrenacentista, y que son referencias previas, inmediatas y muy perceptibles, de algunos aspectos de obras renacentistas puras como el Hospital de los Inocentes y otras.

Quizás esta situación se deba, en parte además de a determinados conceptos estéticos, a la pervivencia de los sistemas constructivos romanos, aunque, naturalmente, muy alterados. El uso de la albañilería, en vez de la cantería en los elementos estructurales genera unas soluciones obligadas que el Renacimiento utiliza como parte de su repertorio expresivo.

El caso es que, puestos a señalar una fecha y un nombre para el momento en que se produce una obra claramente adscribible al nuevo estilo, es posible que los primeros años del s. XV y Brunelleschi sirvan de forma bastante exacta a ese fin.

Brunelleschi es orfebre, escultor, ingeniero, geómetra y arquitecto. Su formación es la típica de un florentino de su tiempo. La definen dos famosos epitafios: *Huius celeberrimi templi mira testudo*, y sobresaliente en las *Plures machinas divino ingenio ab eo ad inventae*; (Admirable cabeza de este celeberrimo templo, numerosas máquinas inventadas por él con divino ingenio) y el otro como *antiquae architectura instaurator*. (Instaurador de la arquitectura antigua).

Desde la *Sagrestia Vecchia* a la capilla Pazzi, reitera los mismos elementos despojándolos de cualquier referencia anterior e investigando con ellos en el nuevo lenguaje. Resalta los nervios siguiendo un esquema parecido al de Santa Sofía e ilumina en la base del tambor. La solución de la cúpula sobre trompas tiene casi mil años. Lo novedoso es el lenguaje expresivo, muy riguroso en las proporciones, marginando los aspectos visibles del esquema constructivo (Figs. 10.23, 10.24, 10.25 y 10.26). La *Sagrestia Vecchia* (Fig. 10.27), a juicio de algunos autores, se puede considerar como un precedente de lo que será



Fig. 10.22 Loggia Lanzi. Florencia

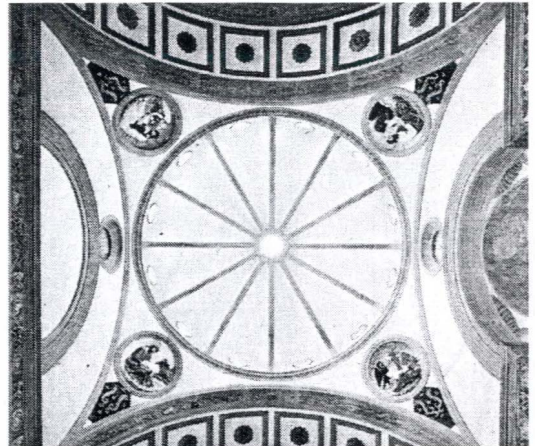


Fig. 10.23 Interior de la cúpula de la "Sagrestia Vecchia"

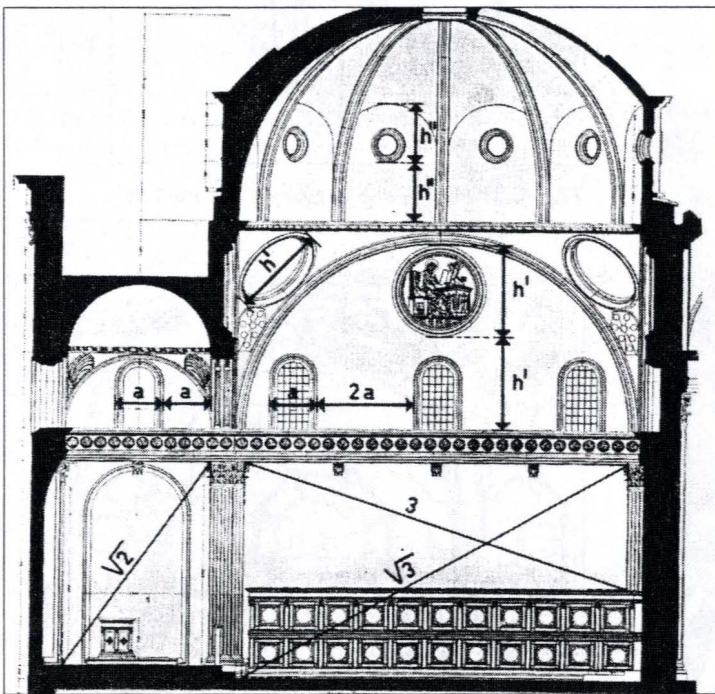


Fig. 10.25 Esquema compositivo de la "Sagrestia Vecchia"

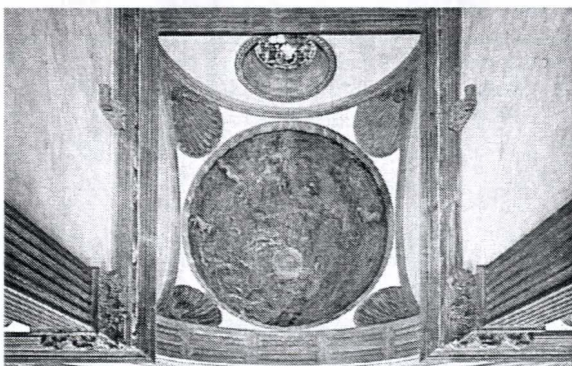


Fig. 10.24 Cúpula de la "Sagrestia Vecchia" con la cúpula astrológica sobre el altar

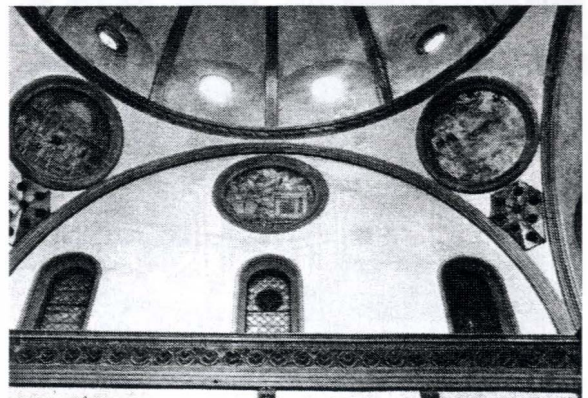


Fig. 10.26 Detalle de la "Sagrestia Vecchia"

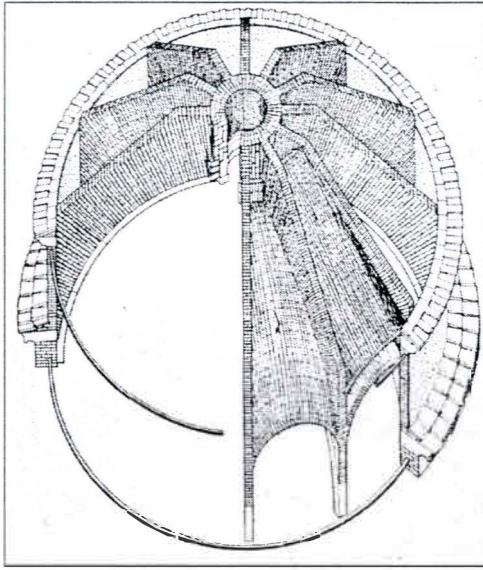


Fig. 10.27 Esquema constructivo de la cúpula de la "Sagrestia Vecchia"

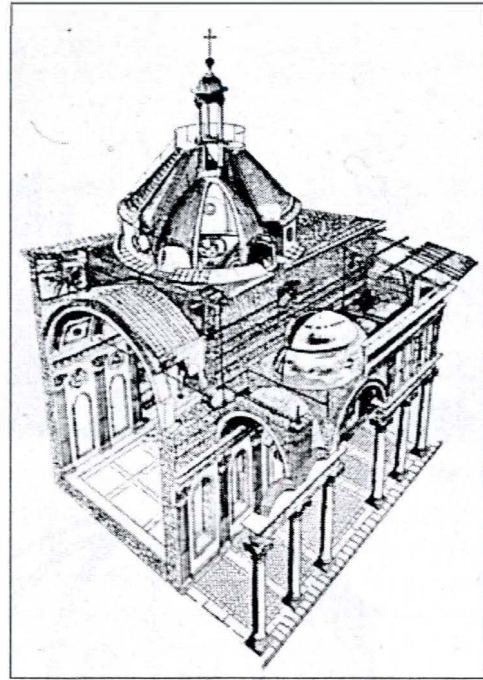


Fig. 10.28 Perspectiva y esquema constructivo de la capilla Pazzi

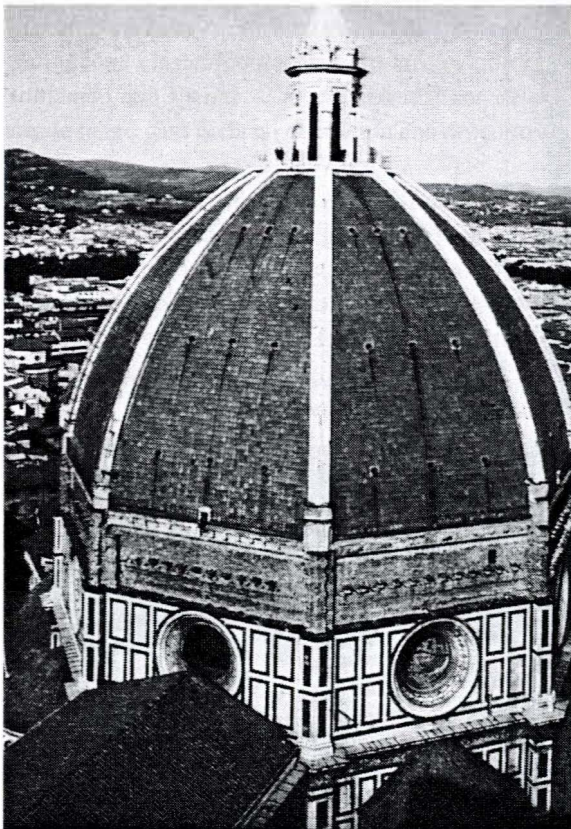


Fig. 10.29 Cúpula de Santa María de la Flor. Florencia

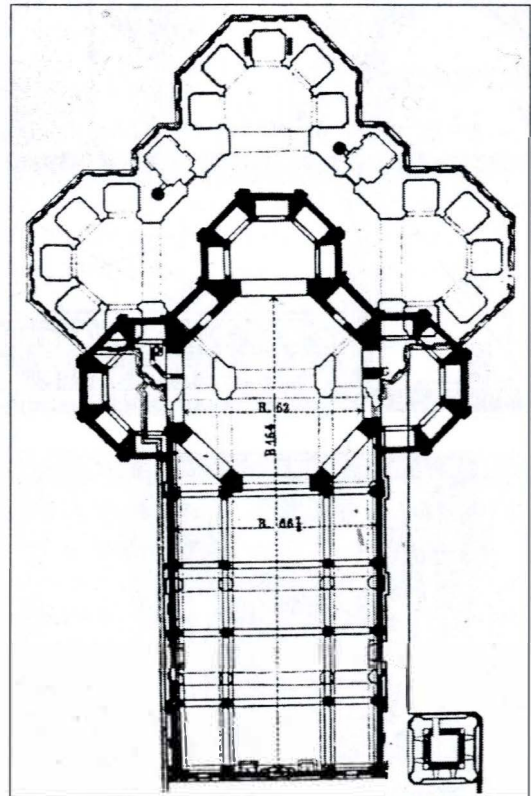


Fig. 10.30 Planta original y ampliación de Santa María de la Flor

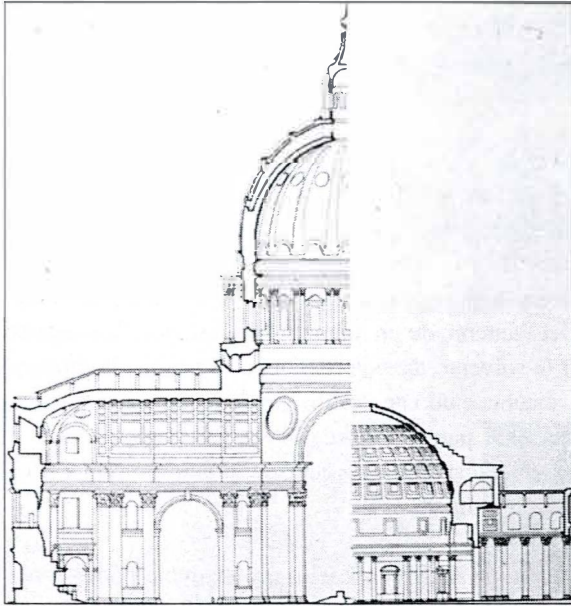


Fig. 10.31 Secciones comparadas del Panteón de Adriano y de San Pedro. Roma

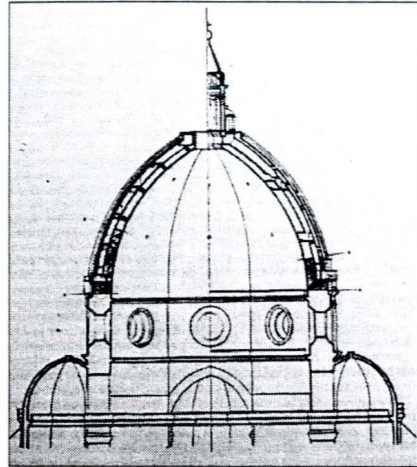


Fig. 10.32 Secciones comparadas del proyecto inicial de Brunelleschi (izq.) y de lo realizado

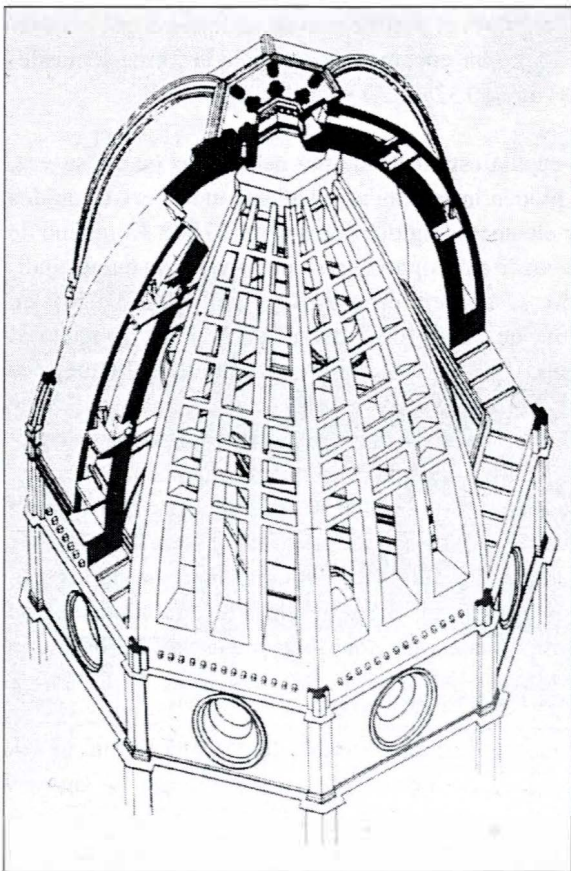


Fig. 10.33 Axonometría del esquema constructivo de Santa María de la Flor

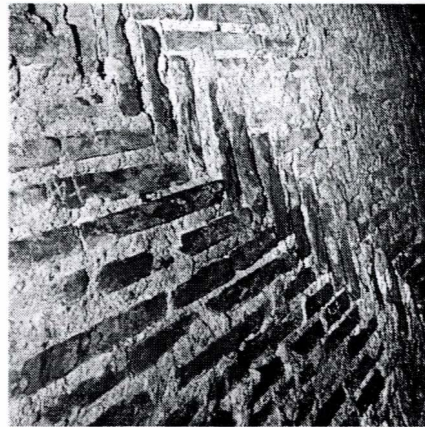


Fig. 10.34 Aparejo en "espina de pez" de la cúpula de Santa María de la Flor

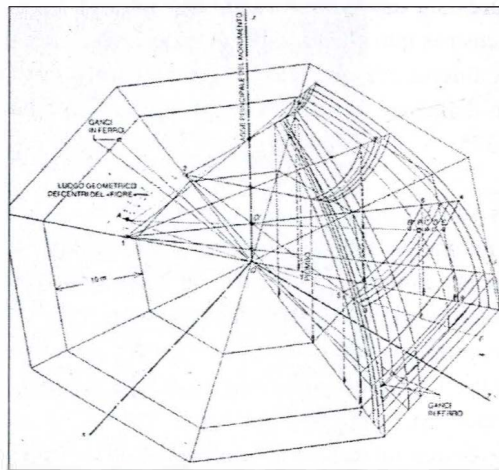


Fig. 10.35 Sistema de replanteo de la cúpula de Santa María de la Flor

su magna obra de Santa María de la Flor, adaptado a unas dimensiones mucho mayores, y en una de sus últimas obras, la capilla Pazzi, mantiene esquemas parecidos con soluciones muy simples y coherentes que anuncian una nueva forma de entender el proceso constructivo (Fig. 10.28).

El 19 de agosto de 1414 el arte de la lana de Florencia convoca un concurso para un modelo a escala reducida de la cúpula de Santa María de la Flor (Fig. 10.29), inacabada desde hacía cuarenta años. El proceso seguido para su terminación resulta paradigmático por las fórmulas empleadas, por las circunstancias que rodean la obra y por la personalidad de su autor. Se presentaron dos equipos, y el concurso se falló a favor del dirigido por Brunelleschi, después de grandes polémicas con el otro equipo capitaneado por Ghiberti. Este planteamiento inicial, que responsabiliza a unas gentes concretas de un trabajo dificultoso y al que hay que aportar novedades técnicas, es radicalmente distinto al del proyecto de una catedral gótica, en donde el autor contaba con la experiencia acumulada de todos los participantes en los trabajos y unas técnicas contrastadas en múltiples ocasiones, y aunque sobre ellas pudiera establecer algunas modificaciones, la esencia de los trabajos era perfectamente conocida.

Es imposible saber si Arnolfo di Cambio, autor del primer proyecto de lo que debía ser la nueva catedral en sustitución de Santa Reparata, o alguno de los arquitectos y artistas que intervinieron con posterioridad en él, Giotto, Andrea Pisano y Francesco Talenti, tenían prevista una cubierta concreta para el cimborrio. El caso es que alguna esperanza debieron tener de que la cubierta era posible, para mantenerlo con el inmenso diámetro, 43 m, con el que quedó sin cubrir desde 1375.

Algunos autores opinan que la cubierta prevista debía ser estrictamente gótica y que las dificultades para construir las cimbras y la escasez de operarios fue lo que desaconsejó su construcción. Aunque es cierto que por entonces era difícil conseguir carpinteros, atraídos por los buenos salarios que pagaba la república veneciana para la construcción de barcos, lo más probable es que fuera sólo la prudencia y la certeza de las dificultades materiales para construir con garantías una cimbra capaz de soportar a 91 m de altura la

ingente masa de la cúpula la que desaconsejó su continuación. Estando fijadas las dimensiones faltaba el sistema para ejecutar el trabajo.

No habían dejado de acumular insensateces. Primero se amplió la luz de la cúpula, haciendo crecer la planta, y después se agravó el problema recreciendo un tambor de 8 m sobre los pilares (Fig. 10.30). La única referencia anterior era, a mucha menor altura, la cúpula del Panteón, de un diámetro similar, pero construida con la solvente técnica romana de vertidos de puzolana, sistema caído en desuso y prácticamente imposible de realizar para los florentinos, caso parecido al que debió plantearse al proyectar la cúpula de San Pedro en Roma (Fig. 10.31).

La solución de Brunelleschi, que se debía poder construir sin cimbras según las bases del concurso, fue el aparejo en espina de pez para una cúpula ochavada de arista bizantina, después de deshechar la cúpula *a creste e vele*, similar a la utilizada en la *Sagrestia Vecchia*. Para el perfil curvo de las caras eligió el *quinto acuto*, por encontrar poco fiable la forma semiesférica (Fig. 10.32).

La cúpula está formada por ocho caras que, a su vez, se dividen interiormente mediante unos nervios unidos por elementos rigidizadores (Fig. 10.33). El relleno de esa cuadrícula sigue líneas curvas y, como hemos indicado, se apareja en espina de pez (Fig. 10.34), de forma que al colocar cada ladrillo, éste contacta al menos por tres caras con los ya colocados, lo que hace más difícil que resbale hacia dentro. Como ya dijimos al hablar de los sistemas de abovedamientos bizantinos, una vez cerrado el anillo en cada plano horizontal la estructura es estable si resiste el perímetro de la base, ya que los empujes debidos al peso de cada cara se anulan en cada nivel. En la intersección de los sectores cilíndricos Brunelleschi situó unos nervios de marmol blanco que contribuyen a definir la forma por el exterior.

Debido a la imposibilidad de establecer una teoría mínimamente fiable sobre cuales fueron los apoyos técnicos que permitieron a Brunelleschi garantizar el resultado, y entendiendo que probablemente fue sólo su gran capacidad para asumir riesgos y su extraordinaria confianza en sí mismo la que le permitió afrontar

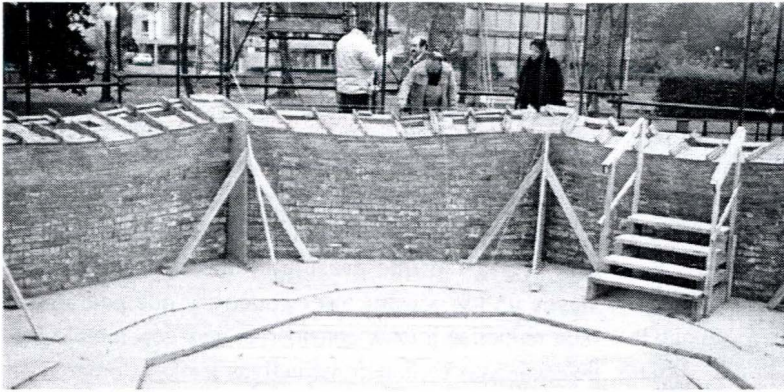


Fig. 10.36 Construcción de la réplica a escala de la cúpula de Santa María de la Flor

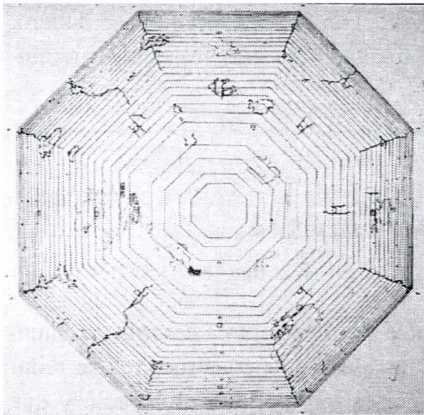


Fig. 10.37 Grietas existentes en la cúpula de Santa María de la Flor

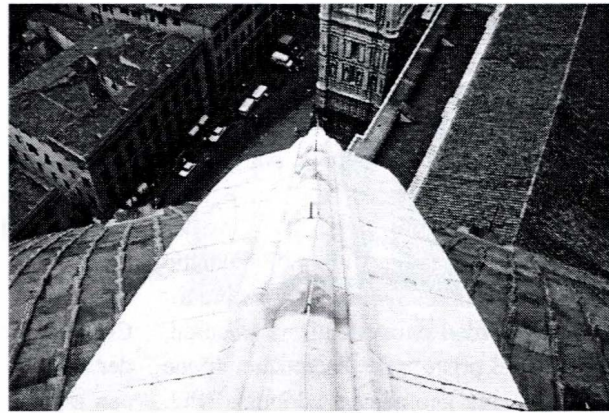


Fig. 10.38 Exterior de un nervio en la cúpula de Santa María de la Flor



Fig. 10.39 Santa María de la Flor con la torre de Giotto a la izquierda

el trabajo, hay que suponer que su gran problema, una vez decidida la forma, debió ser el del replanteo, o sea, la necesidad de dibujar la forma prevista en la obra sin disponer de un plano de trabajo que cubriera toda la planta y teniendo que crecer sobre el trabajo ejecutado. Hay que tener en cuenta que la mayor y casi única seguridad en la estabilidad de la obra se debía deducir de la exactitud en el sistema de trazado.

Existen varias teorías sobre cómo se realizó, aunque la más fiable en la actualidad es la sostenida por Massimo Ricci, que supone un sistema bastante simple basado en la proporcionalidad de triángulos y en unas plantillas que definían, en planta y en la proximidad de los andamios, la curva del aparejo y la rectitud de las caras (Fig. 10.35). Este sistema se ha intentado con éxito en una réplica a escala de la cúpula, por su descubridor (Fig. 10.36).

La cúpula, una vez acabada, se ha comportado, debido al esmero de su construcción, como una masa homogénea con escasa capacidad para trabajar a tracción, por lo que ha seguido el proceso de discretización que es de esperar de la forma geométrica adoptada (Fig. 10.37). La cuestión está en saber la velocidad de propagación de ese proceso, por que de ella dependerá la supervivencia o la destrucción de la cúpula, ya que debido a sus dimensiones será muy difícil cualquier intervención activa sobre el conjunto (Figs. 10.38 y 10.39).

Parece ser que Brunelleschi tenía previsto unos encañados de madera de encina a la manera de zunchos, a diversas alturas, que no llegaron a colocarse.

En resumen, en esta obra aparecen casi todos los ingredientes, no sólo de la construcción renacentista, sino del espíritu de la época, a pesar de que, uno a uno, los elementos en ningún caso son novedosos. La fórmula genérica es la cúpula por arista bizantina, el arco básico es casi gótico, y el aparejo se conoce y se usa desde hace centurias en todo el Mediterráneo. Lo nuevo es lo que aporta Brunelleschi en la combinación de estos elementos para la resolución del problema, la silueta como referencia, la osada concepción del proceso constructivo y, sobre todo, la elección de la albañilería como fórmula en sustitución de la dificultosa y pesada cantería medieval. El responsable del proyecto

lo es a la vez de la construcción, y de su inventiva surgen “máquinas maravillosas” que facilitan los trabajos.

Es probable que, sin que lo recoja Vasari y sin que haya llegado hasta nosotros ninguna explicación, el diseño de la cúpula responda a los conocimientos del diseño gráfico que presumiblemente formaban el bagaje de los constructores góticos, y que podía muy bien reducirse a unas consideraciones generales sobre determinadas formas constructivas y a la valoración de su capacidad resistente según apreciaciones bastante ingenuas por las que, consideraba, como hace Alberti, que el arco más apuntado era más resistente que ningún otro.

## 10.6 El sistema constructivo

Como consecuencia de la manera ya descrita de entender el proyecto, los elementos constructivos se reducen a ser los soportes que definen el espacio y que recibirán los acabados.

El cambio más notable, como hemos dicho, se produce con la sustitución de la cantería por la albañilería, aunque es probable que en Italia esta sustitución no fuera demasiado notoria, ya que siempre mantuvieron en mayor o menor medida esa forma de construir. Tanto el Baptisterio de San Miguel como la abadía Fiesolana, ambos construidos en el s. XI en Florencia, están construidos con mampuestos recibidos con mortero de cal, y presentan la superficie con entrantes y salientes de espera para recibido del aplacado.

A partir de estos conceptos, y con los sistemas romanos como referencia inmediata, se generan unos modos de fabricar la construcción que pretenden, sin otras limitaciones que las impuestas por los materiales, la consecución física de los elementos básicos. Los conocimientos de resistencia de materiales se reducen a meras aproximaciones a ciertas “virtudes” de cada uno de ellos, sin ninguna base científica, aunque con una gran experiencia acumulada sobre su comportamiento, y el dimensionado, última justificación de cualquier estimación sobre estabilidad, se

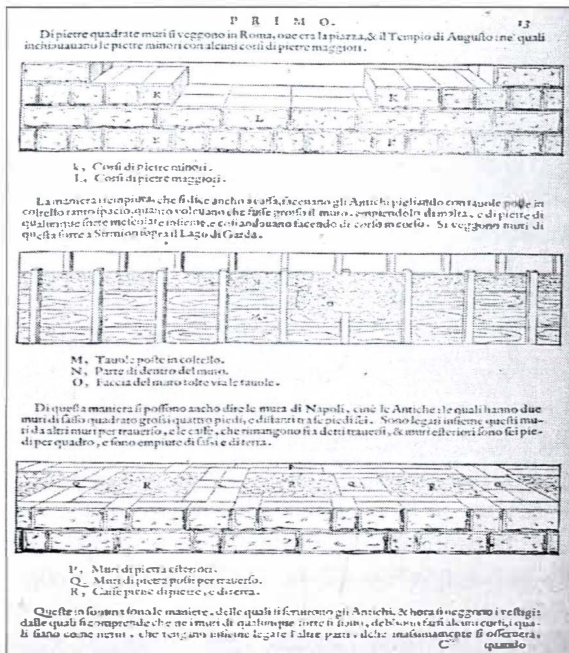


Fig. 10.40 Dibujos de muros de Palladio

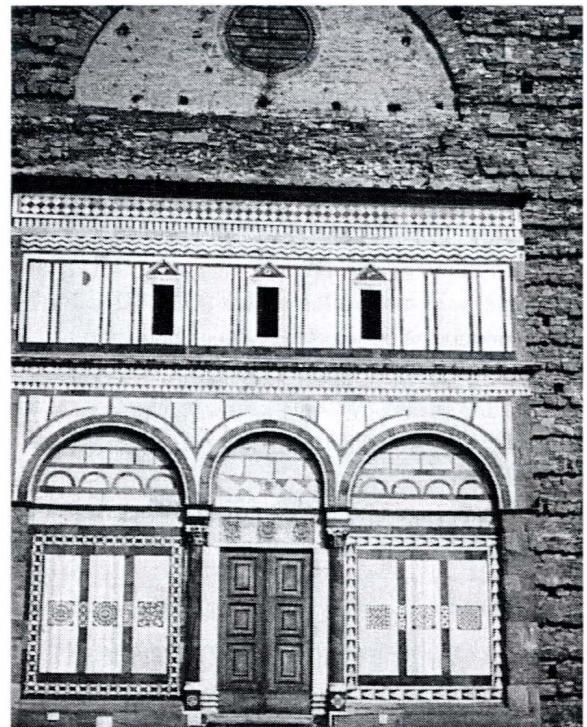


Fig. 10.41 Abadía Fiesolana. Florencia. El aplacado fue realizado por los monjes en el s. XII aprovechando restos romanos

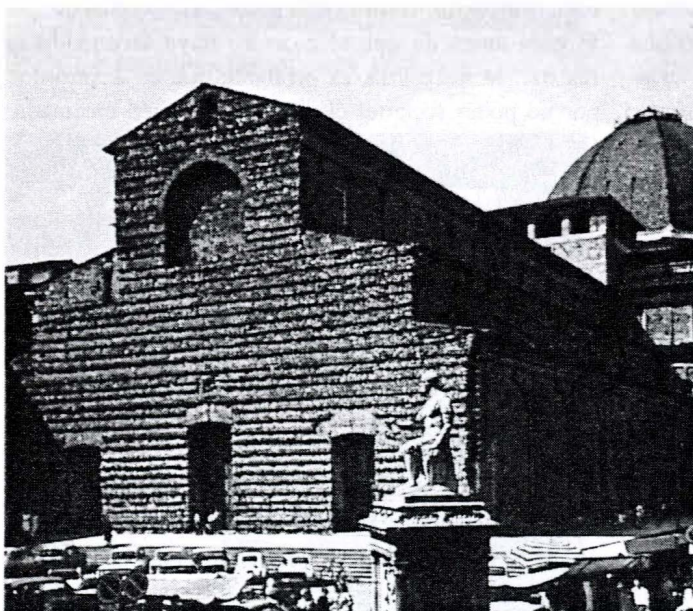


Fig. 10.42 Fachada inconclusa de la iglesia de San Lorenzo. Florencia

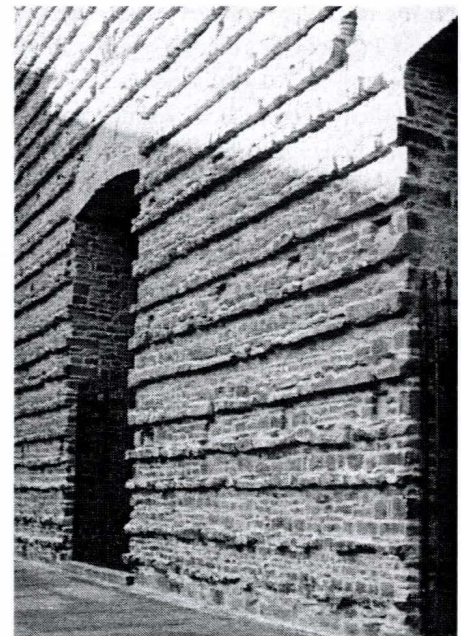


Fig. 10.43 Fachada de San Lorenzo. Detalle

efectúa basándose en una mezcla de práctica y teoría, entendiéndose esta última como una serie de recetas más o menos misteriosas, pero que en algunos casos dan buen resultado.

Las limitaciones en el campo científico obligan a que el sistema perviva con ligeras modificaciones hasta que, con la incorporación paulatina de las fórmulas de resistencia de materiales en los s. XVIII y XIX, el dimensionado se convierte en una ciencia cierta.

El caso es, además, que los primeros trabajos de Brunelleschi se inspiran directamente en soluciones constructivas bizantinas, que han sido experimentadas hasta la saciedad en la etapa románica y a las que da una novísima lectura estructurándolas rigurosamente.

La albañilería presenta ventajas notables, más allá de su coste, con respecto a la cantería: es más versátil, los elementos se componen *in situ*, precisa menos preparación, tanto de medios auxiliares como de mano de obra, y es más ligera.

### 10.6.1 Los muros

Por lo que respecta a los muros, la influencia teórica de los modelos romanos es innegable. Tanto Alberti como Palladio se refieren a estos modelos de forma explícita (Fig. 10.40), a pesar de que en sus descripciones los muros que no forman parte de un edificio, por ser unos elementos casi abstractos, y su aparejo reviste, a simple vista, el mismo esmero que los demás dibujos, aunque no quede explícita su relación con la resistencia a las diversas sollicitaciones a que van estar sometidos. De todas maneras estas variantes son más retóricas que prácticas, y se deben a un intento culturalista.

Los muros en general suelen destinarse a revestir, y se fabrican con los materiales más diversos. A esta solución pueden contribuir los innumerables *opus mixtum* romanos, o la simple práctica. Alberti se queja de la calidad de los rellenos, y se puede entender que su ejecución, debido a que los edificios rara vez plantean problemas estructurales, no presenta ninguna dificultad (Figs. 10.41, 10.42 y 10.43).

No existe una diferenciación en el nivel de acabado de los materiales destinados al exterior, si acaso un cierto trabajo de desbaste para planear la superficie. La calidad de la fábrica que forma el núcleo a revestir depende de la categoría de la obra. Desde las parejadas totalmente de ladrillo, a muros cuyas caras exteriores aparecen como aparejos sólidos, pero que en su interior ocultan una masa informe de cascajo y mortero. No se emplean ladrillos triangulares a la manera romana más que en muy contadas ocasiones, y en el grueso del muro se prevén las formas para el aplacado de los elementos ornamentales, o para un enlucido (Figs. 10.44 y 10.45).

Este sistema se ha continuado hasta hace bien poco, cuando se ha tratado de aplacar formas de piedra a un muro de ladrillo (Figs. 10.46, 10.47 y 10.48). La construcción del muro se supedita en general a la espera de ese aplacado. Otras veces se usan los aplacados como encofrado del muro, aunque siempre con el mismo criterio (Fig. 10.49).

Durante la ejecución el principal problema será definir en qué momento se produce el fraguado del mortero para poder cargar sobre lo construido. Hasta finales del siglo XVIII no se tienen conocimientos químicos suficientes para interpretar correctamente lo que ocurre en la masa, y se trabaja sobre datos basados en la experiencia de cada constructor. Si se continúa la fábrica antes de que el mortero haya alcanzado la resistencia necesaria, es probable que se desmorone por no poder soportar el peso de lo recién ejecutado. Como además se producen asentamientos y retracciones, los tratadistas aconsejan ir levantando el edificio por tongadas horizontales, con lo que se consigue un reparto uniforme y progresivo de las cargas, tiempo para que frague el mortero al tener que reseguirse todo el perímetro, y uniformidad en cada capa de mortero. Este sistema permite además disponer zunchos horizontales y *diátomos* en la obra, según recomienda Alberti.

Se dan por sabidos y resueltos los detalles para la ejecución de los elementos ornamentales, hasta que en el s. XX se pretende, a través del análisis de las acciones exteriores sobre cada uno de ellos, desmenuzar su composición introduciendo otros materiales, lo que no se sabe si es bueno o malo. En esta línea, en la actuali-

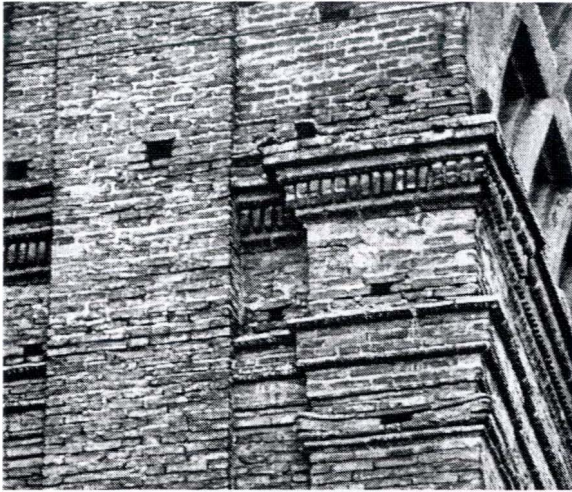


Fig. 10.44 Detalle de la fábrica del templo Malatestiano

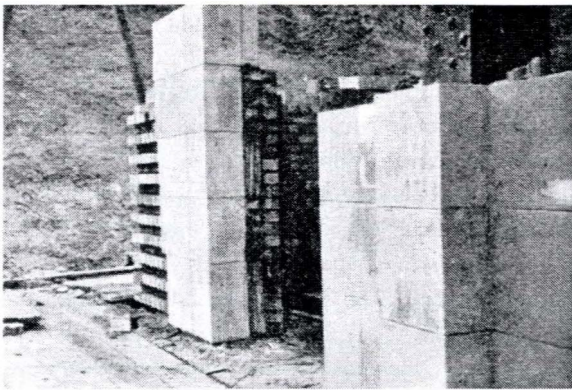


Fig. 10.46 Edificio en construcción, 1920, según Warland

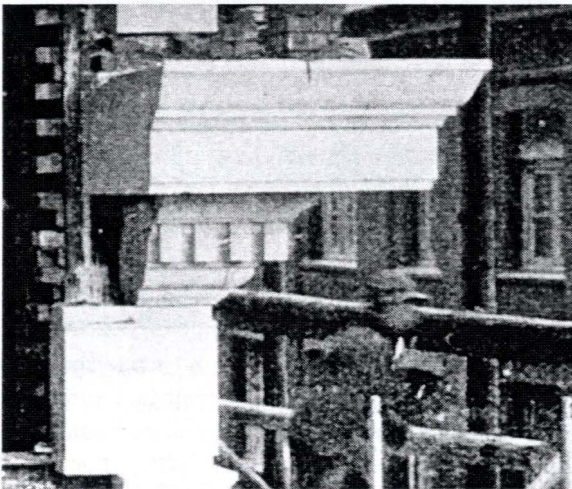


Fig. 10.47 Edificio en construcción, 1920, según Warland

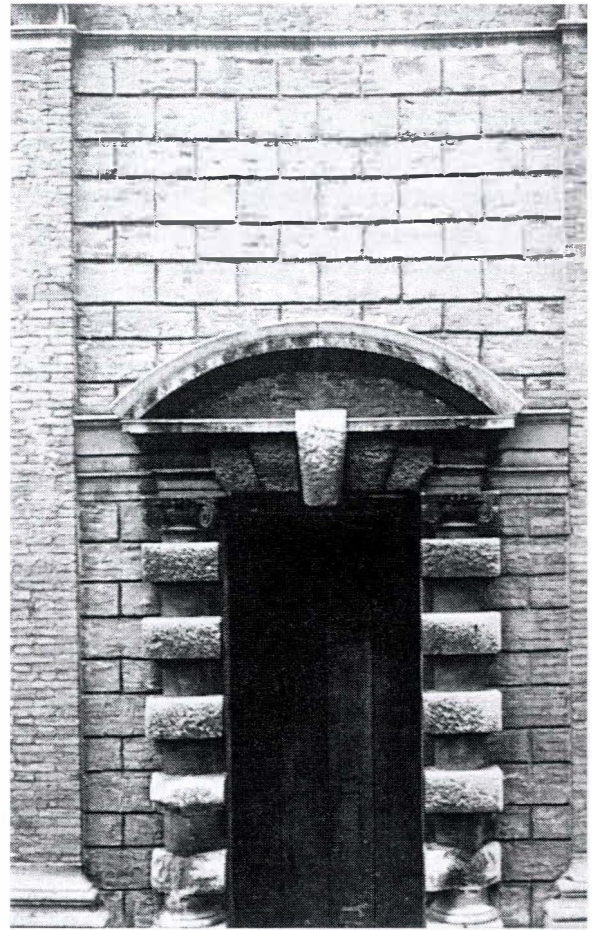


Fig. 10.45 Ventana del Palacio Thiene

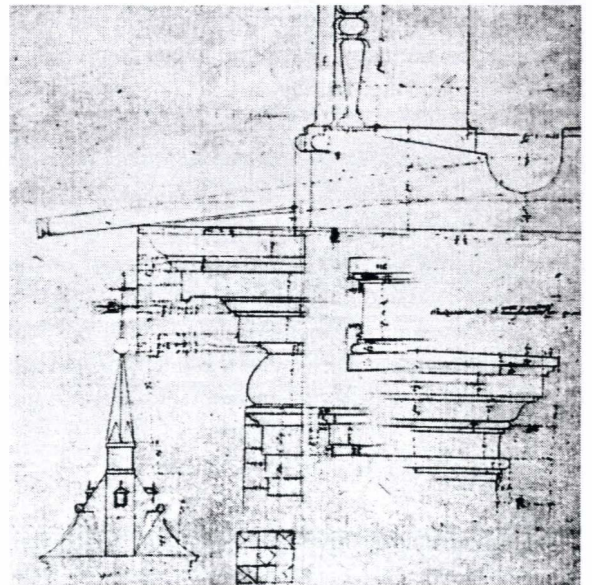


Fig. 10.48. Dibujo de Juan de Herrera para unas cornisas en el Escorial

dad se llega a soluciones de una gran endeblez conceptual (Figs. 10.50 y 2.12) en el intento de rescatar únicamente las formas.

Este tipo de construcción, de menor "calidad" que la gótica, presenta una serie de puntos débiles que se evidencian con mayor importancia cuanto más se roza el límite de lo posible en las dimensiones del muro.

Los zócalos y las coronaciones deben organizarse mejor para evitar su vulnerabilidad al agua de lluvia. El zócalo se construye, por lo menos teóricamente, a base de grandes sillares, a poder ser enterizos.

La coronación de los muros se resuelve, por motivos compositivos, con una cornisa de grandes dimensiones, el *cornicione*, que debido a su peso y a que su vuelo sólo se puede construir con grandes sillares muy trabados, actúa como nuestros zunchos, abrazando y protegiendo la fábrica (Fig. 10.51).

En los huecos se siguen las recomendaciones vitruvianas, perfectamente legibles en las ruinas romanas, y se fabrican sistemáticamente arcos de descarga sobre los dinteles. Como consecuencia de la adopción de los procedimientos de la albañilería, se modifican algunos conceptos y los elementos que componen los huecos, jambas, alféizares y dinteles, evolucionan sustituyendo los elementos pétreos por terracota primero, y despojándolos después de cualquier significación que no sea la valoración exclusiva del propio hueco como base de la composición (Fig. 10.52).

La estabilidad de los muros, constantemente rebajados en su sección en razón de la economía constructiva, se pretende mejorar anclando los forjados por medio de pasadores en las cabezas de las vigas, que actúan dando rigidez al conjunto, aunque en casos de asientos diferenciales, o en el de movimientos relativos entre las paredes, presentan el inconveniente de concentrar en las paredes exteriores los movimientos del edificio.

### 10.6.2 Los acabados superficiales

El uso de la albañilería como sistema constructivo es posible si, como ocurre en la construcción arquitectó-

nica renacentista, se puede diferenciar la parte resistente, el muro fabricado con mampuestos o ladrillos, que en esta época todavía no quedan vistos, del tratamiento superficial imprescindible para considerarlo acabado. Este concepto se desarrolla, además, con la ayuda del ejemplo, tomado como referencia obligada, de las obras romanas, en las que queda claramente establecida la distinción que describe Vasari entre la piel y los huesos del edificio.

Se desarrolla, como consecuencia de esta manera de entender el proyecto y el proceso constructivo, un repertorio amplísimo de acabados superficiales. Los aplacados en todo tipo de materiales se complementan con una serie de calidades desconocidas o minusvaloradas en la etapa gótica, como los revocos, bien en superficies lisas, bien para fabricar las molduras sobre recrecidos de espera en la fábrica. Se ejecutan con mortero de cal en grandes gruesos, a la manera bizantina, cuyo manejo ha mejorado por los conocimientos empíricos adquiridos, convenientemente difundidos a través de los oficios, que han perdido su secretismo, o desarrollados específicamente en áreas concretas. Este sistema, si está bien ejecutado, es muy duradero si las piezas del aplacado resisten a la intemperie. Su escasa rigidez le permite adaptarse a los movimientos de la fábrica y en general no aporta sales solubles ni perjudica a las piezas que constituyen el aplacado, si las cales están bien elegidas y el proceso de cocido y apagado ha sido correcto.

Como consecuencia de la independencia entre el elemento resistente y el aplacado, éste evoluciona hasta la desaparición de los despieces que reflejan las leyes de la traba propias de los aparejos resistentes, y adquiere un lenguaje expresivo propio, más de acuerdo con una intención representativa y simbólica. Toda la carga estética y cultural renacentista está presente en ellos (Fig. 10.53). Los despieces de Alberti en el palacio Rucellai son una clara manifestación de sus conocimientos y de su voluntad de asumirlos como parte de la herencia clásica, simulando un *opus reticulatum* perfeccionado en el zócalo y un pseudoisodomo, convenientemente recercado en jambas y dinteles, para el resto de la fachada. Los *opus mixtum* han dejado de ser un recurso constructivo para el aprovechamiento racional de los materiales y se convierten en un lenguaje meramente decorativo.

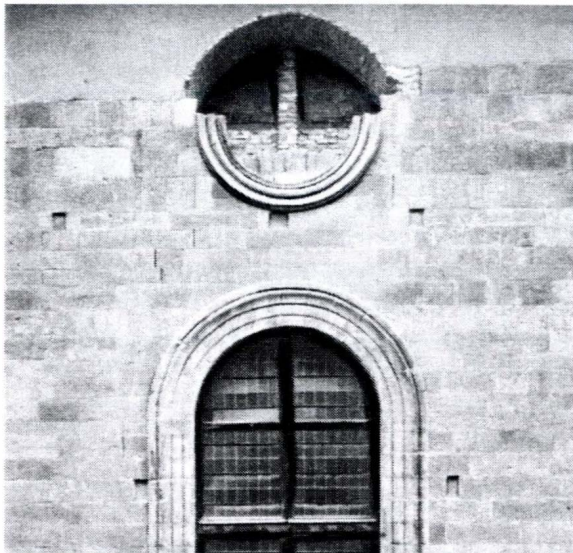


Fig. 10.49 Palazzo del partito Guelfo de Brunelleschi. Florencia

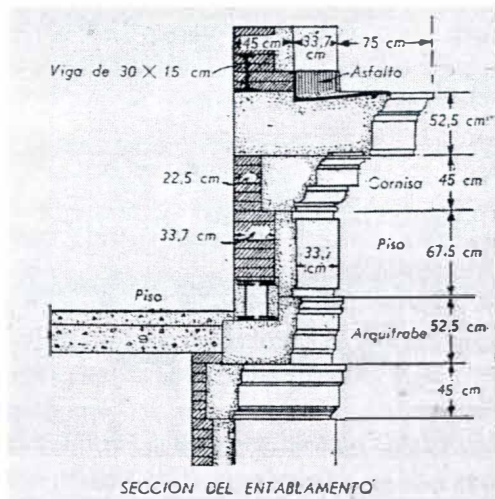


Fig. 10.50 Detalle de construcción de una cornisa moderna según Warland

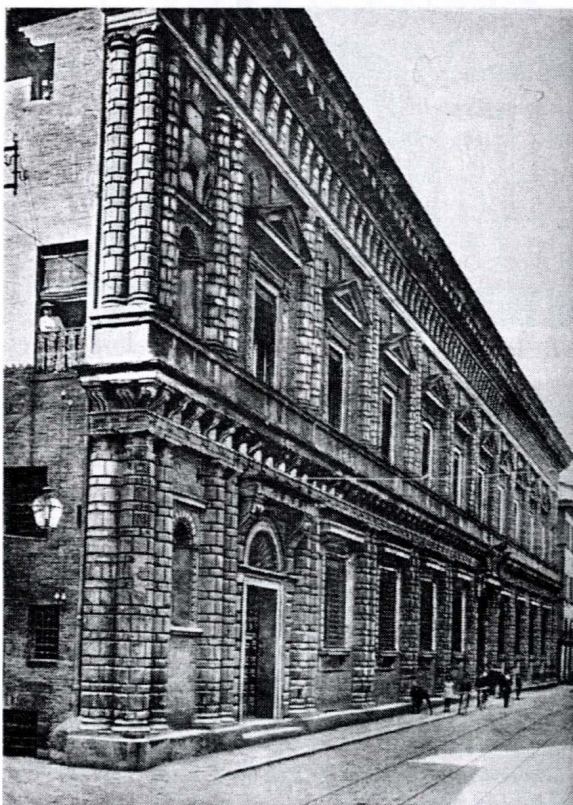


Fig. 10.51 Palacio Fantuzzi. Bologna



Fig. 10.52 Villa Godi. Palladio

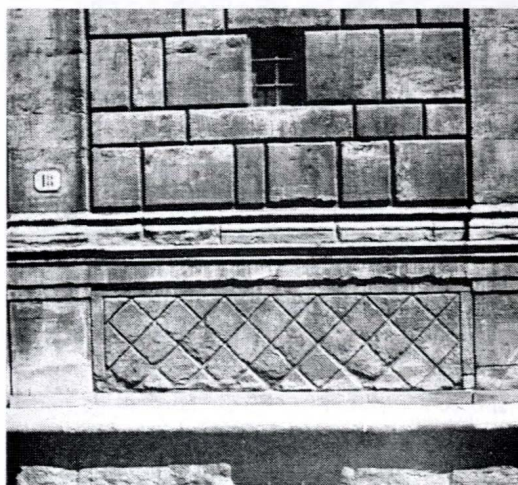


Fig. 10.53 Detalle del aplacado del zócalo del palacio Rucellai. Florencia

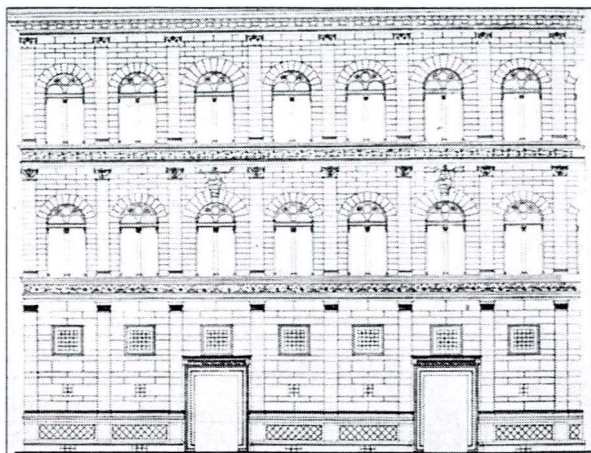


Fig. 10.54 Despiece aparente del palacio Rucellai. Florencia

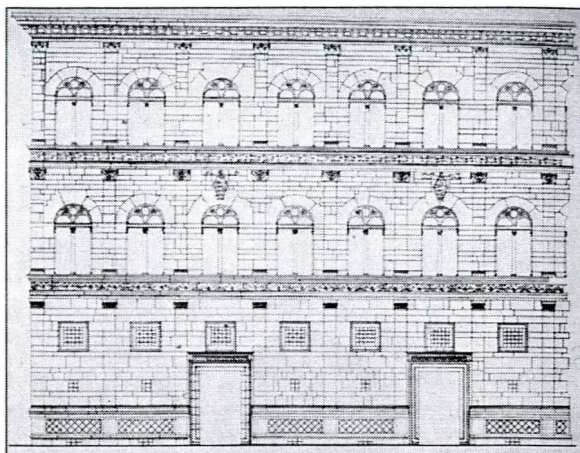


Fig. 10.55 Despiece real del Palacio Rucellai. Florencia

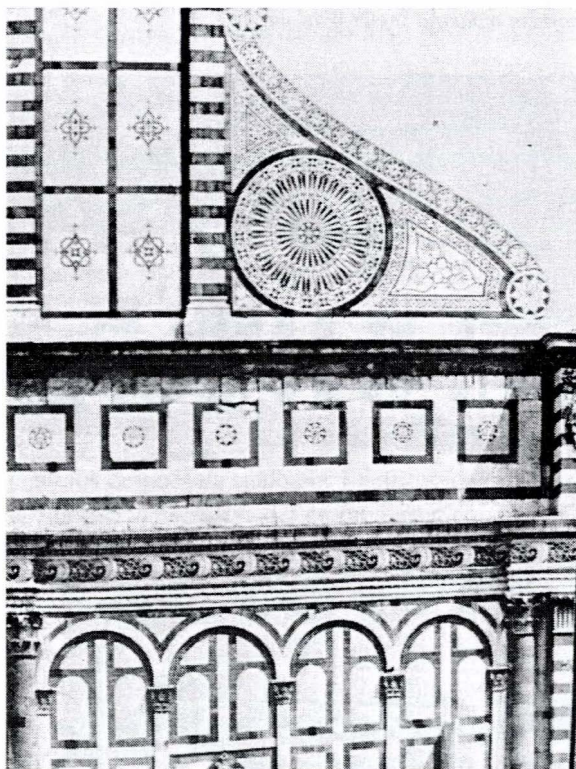


Fig. 10.56 Aplacado de mármol en Santa María Novella. Florencia



Fig. 10.57 Capilla de San Pedro. Roma

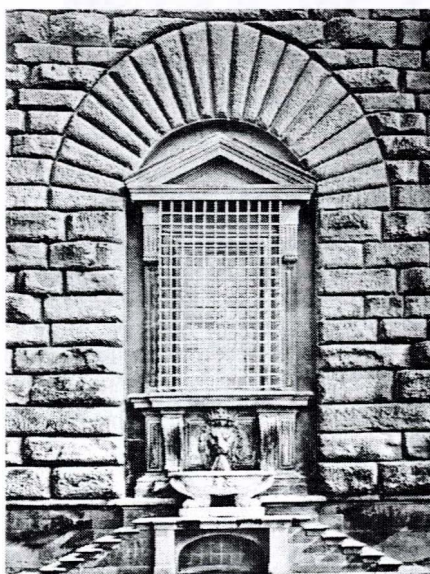


Fig. 10.58 Ventana del Palacio Pitti. Florencia

El concepto de aplacado como algo sobrepuesto es evidente, no sólo en su aspecto sino en su ejecución. En el Palacio Rucellai, por ejemplo, el despiece real no se corresponde con el aparente (Fig. 10.54 y 10.55), simulado después de la colocación.

Esta independencia funcional permite conseguir cualquier efecto del amplio repertorio de materiales, desde las delicadísimas taraceas de mármol de Santa María Novella a los *bunniatos* pétreos de aspecto belicoso de algunos palacios (Figs. 10.56, 10.57 y 10.58), pasando por complicadísimas composiciones de terracota (Fig. 10.59), como en el nartex de San Pedro en Roma.

Como en el caso de los proyectos de fachadas, no parece que el cambio de escalas influya en la concepción del acabado, y se tratan de forma similar superficies muy distintas por su tamaño.

Formando parte de esta evolución y recuperando una tradición veneciana para viviendas humildes, se incorpora el enyesado a los interiores, manejo en el que Palladio se manifiesta con extraordinaria maestría. Existen muchas razones para esta incorporación. Quizás una de las más importantes sea que las superficies blancas regulares sirven mejor al nuevo concepto de "dibujo", que adquiere la definición de las formas a través de los complejos órdenes compositivos clásicos. El resultado del enyesado blanco, sobre el que destaca la composición de los elementos en la uniforme *petra serena* florentina, de un color gris casi de imprenta que Brunelleschi usó conscientemente en sus trabajos en la *Sagrestia Vecchia*, es un argumento evidente a favor de esta teoría (Fig. 10.60). El recurso es utilizado con posterioridad exhaustivamente y es una de las más novedosas contribuciones que la albañilería ha aportado a la arquitectura desde entonces (Fig. 10.61).

Otra gran innovación, derivada inmediatamente del uso de la albañilería, fue la valoración de la obra vista de ladrillo como un acabado noble. En España, acompañada por la piedra y buscando un efecto cromático, según Fernando Marías, apareció hacia la "década de 1560 en las obras reales filipinas, concretamente en dos obras contemporáneas, como son el palacio de Aranjuez y la fachada de la iglesia conventual de las Descalzas Reales. La novedad debía proceder de Italia, ya que los arquitectos de estas obras fueron el

romanizado Juan Bautista de Toledo y, según algunos autores, el ingeniero militar italiano Francesco Paciotto. Su empleo -cajas de ladrillo rosado visto y pilastras, fajas o molduras de piedra- pasó de inmediato a otras obras de ámbito regio y así podemos encontrarlas, ya en la siguiente década, en la fachada meridional y la caja de escalera del Alcázar de Toledo, por ejemplo, trazadas por el arquitecto real Juan de Herrera. Es muy posible que este uso doble fuera el responsable del empleo del ladrillo, finalmente visto incluso en grandes superficies, de fines del siglo XVI -como por ejemplo en la fachada de la iglesia de las Bernardas de Alcalá de Henares, de Juan Gómez de Mora- y otras muchas obras conventuales de comienzos de la centuria siguiente, aunque no siempre podamos afirmar con rotundidad que no estuvieran enlucidos estos muros de ladrillo y que su revoco no se haya perdido con el transcurrir de los años".

La misma duda, basada en la falta de acabado, el desprendimiento de éste, o, simplemente el haber prescindido de él a la vista del efecto conseguido por una ejecución esmerada, surge en algunas obras venecianas contemporáneas e, incluso, en algunos ejemplos tempranos de Alberti.

## 10.7 Las bóvedas y cúpulas

Las grandes obras, como Santa María de la Flor o San Pedro, no llegan a crear sistemas constructivos repetibles que se puedan adscribir directamente a la época, y son el resultado de situaciones muy concretas. La despreocupación de los arquitectos renacentistas por el proceso constructivo convierte la construcción de cúpulas y bóvedas en un problema menor en manos de albañiles, "aparejadores" y constructores, por lo que, en cuanto las dimensiones superan los mínimos habituales, se convierten en problemas complejos. Las únicas grandes cúpulas que se construyen coetáneamente o con posterioridad, son las que proyectan Sinán y Ahmed en Edirne y Estambul, y el Gol Gombaz en Bijapur, en la India, de 38 m. Y después de que Wren levanta la compleja estructura de la catedral de San Pablo en Londres, en 1710, de 30,80 m de diámetro, sólo se construirá con una luz de cierta consideración Los Inválidos en París, con 27,60 m.

A pesar de esta carencia, la albañilería aporta muchas ventajas para la construcción de las bóvedas habituales en cimborrios e iglesias de planta central. A pesar de la soltura conseguida en el manejo de las bóvedas de cantería (Fig. 10.62), el paso a la albañilería va a permitir unas soluciones más versátiles y menos pesadas que las usuales hasta ese momento. Obras como Santa María de la Flor hubieran sido mucho más dificultosas de realizar en cantería, debido a la necesidad ineludible de cimbras y a la enorme cantidad de dovelas que hubiera sido necesario tallar, subir y recibir, en un proceso mucho más lento y complejo que fabricar, subir y recibir ladrillos.

La técnica empleada es casi siempre la usada en Bizancio, sin que se pueda asegurar, como siempre, cuál es el camino por el que se incorporan al repertorio renacentista, aunque no es descabellado suponer que fuera, en esas fechas, a través de la vía adriática. En España se encuentran desde 1540, aunque la más antigua documentada es la que Martín el Humano mandó construir en la Capilla Real de la Catedral de Barcelona en 1407, pero existen otras en Cataluña que están realizadas con la misma técnica. En cualquier caso la primera construida explícitamente con ladrillo es la de la iglesia de la Selva del Camp, en Tarragona, por Josep Blay a finales del s. XVI, que incorpora detalles de ejecución bizantinos. Las primeras hiladas están más inclinadas hacia el centro, lo que se percibe por el mayor espesor de la junta del extradós en las primeras hiladas (Figs. 10.63 y 10.64), que las juntas de las hiladas siguientes, colocadas casi paralelas y en saledizo por ahorrar la cimbra. En la misma iglesia se construyeron bóvedas por arista bizantinas en las sacristías, aunque las de la torre del monasterio de Sant Cugat del Vallés, del mismo modelo, pueden ser anteriores.

De todas formas aún se habrán de esperar algunos años para que el manejo de estas bóvedas se realice con soltura, sobre todo en las áreas en las que el gótico ha tenido una mayor presencia. En la ya citada iglesia de la Selva del Camp, a pesar de que la nave central se construye con la forma de bóveda con lunetos que como veremos será la habitual en el Renacimiento para casi todo tipo de edificios, el espesor, quizás por una cierta reserva mental de su constructor, es de tres roscas de *cairó*, piezas de unos 20x20 cm colocadas a

sardinell, o sea de 60 cm de grueso, recibidas con mortero de cal.

Como parte de ese nuevo repertorio constructivo aparecen las bóvedas tabicadas, de gran resistencia y rigidez. Su construcción es muy sencilla, ya que necesitan muy poco cimbrado, aunque lo habitual sea hacerlas sin ninguno; la adherencia rápida del material de agarrar y el poco peso de las piezas permiten cerrar la forma, si se posee la habilidad manual suficiente para conseguirlo con unas ayudas mínimas para el replanteo, que se reducen, en el caso de las semiesféricas y las baídas, a un centro fijo, que puede ser un anclaje de hierro, a partir del que se fija el radio con una lienza. Consisten en unas láminas construidas con piezas cerámicas delgadas, recibidas de plano con yeso, o cualquier otro ligante de fraguado rápido como algunos cementos naturales. Una vez cerrada la forma no es excesivamente difícil doblar o triplicar la primera lámina, con aparejos no coincidentes, y recubrir el conjunto con un pequeño grueso de mortero. Así están construidas las capillas barrocas del monasterio de Sant Cugat, como ejemplo temprano de esta técnica que se supone de tradición romana, derivada de los recubrimientos cerámicos que se colocaban sobre los encofrados para impedir la adherencia de la masa.

Su uso se mantuvo en España durante casi tres centurias y solo decayó su empleo en el siglo XVIII, momento en que es posible otro tipo de soluciones. En Cataluña han sobrevivido hasta hace muy pocos años -veinte según la experiencia personal de quien esto escribe, y es posible que aún se encuentren albañiles que sepan construir las-, para las zancas de escalera.

De entre todas las bóvedas tabicadas destaca la de lunetos por su utilidad y por el uso constante que de ellas se hace durante los dos siglos posteriores, y se puede considerar como una de las grandes aportaciones de la técnica renacentista a la construcción (Fig. 10.65).

Consiste en una bóveda rebajada continua, en la que se insertan lateralmente unos lunetos arqueados que se apoyan en los arcos de las ventanas o en muros ciegos. En realidad se trata de una bóveda de crucería generada por dos cañones de distinto diámetro, y así la consideran casi todos los tratadistas y los libros de talla del



Fig. 10.59 Narthex de San Pedro aplacado de terracota. Roma

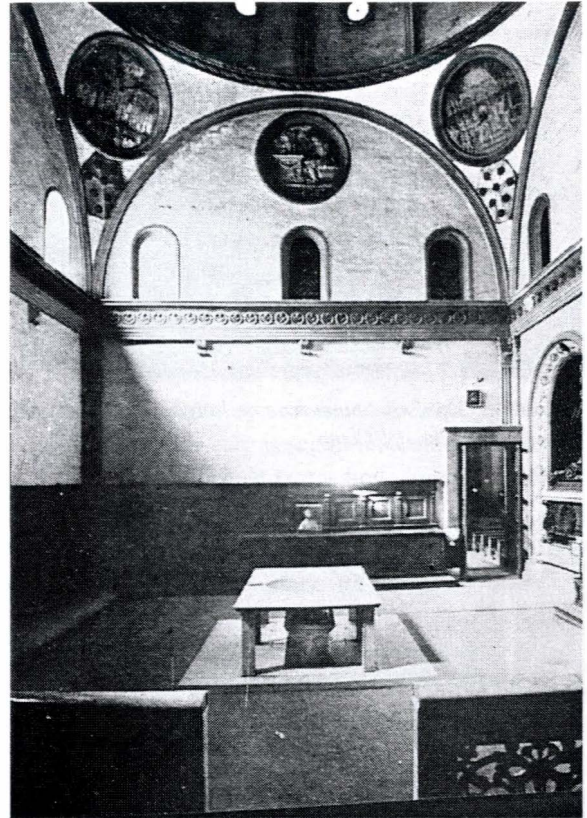


Fig. 10.60 "Sagrestia Vecchia", interior. Florencia

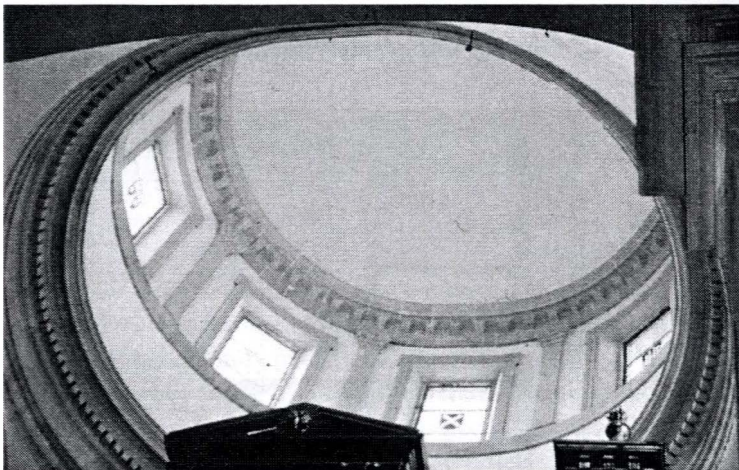


Fig. 10.61 Cúpula del cimborrio de la iglesia de San Andrés en La Selva del Camp. Tarragona



Fig. 10.62 Escalera de la Real Chancillería. Granada

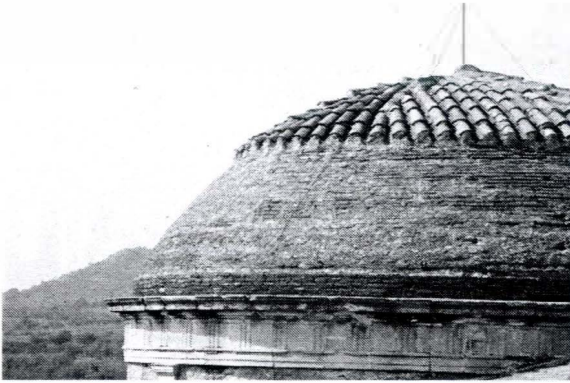


Fig. 10.63 Cúpula del cimborrio de la iglesia de San Andrés. La Selva del Camp



Fig. 10.64 Detalle de la cúpula del cimborrio de la iglesia de San Andrés. La Selva del Camp

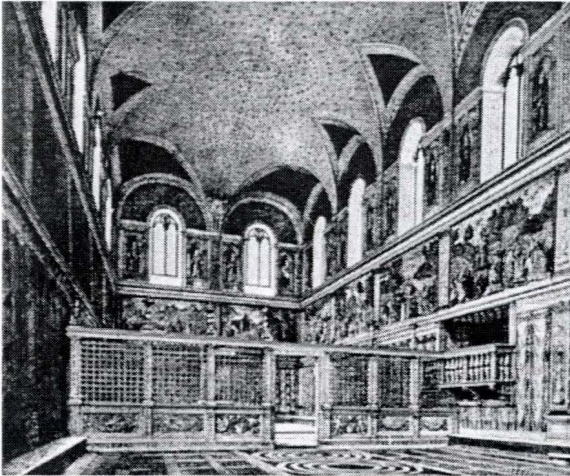


Fig. 10.65 Bóveda con lunetos de la Capilla Sixtina

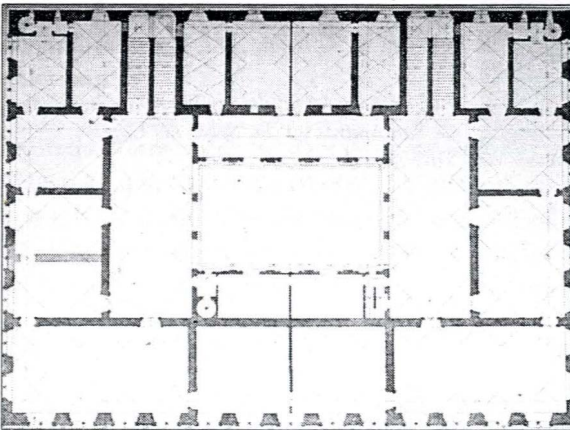


Fig. 10.66 Palacio Strozzi, planta. Florencia

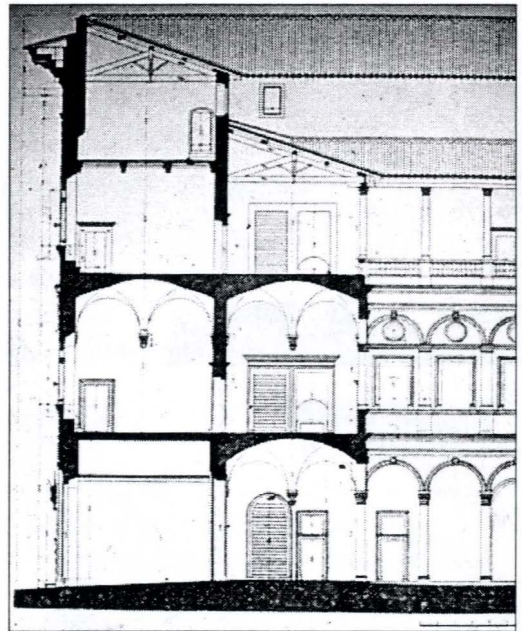


Fig. 10.67 Palacio Strozzi, sección. Florencia

s. XVII. Rodrigo Gil de Hontañón, Fray Lorenzo de San Nicolás y Alonso de Vandelvira consideran en sus tratados las bóvedas con lunetos como de crucería y sobre ellas recomiendan y dibujan similitudes en todos los aspectos.

Esta forma, que ya está insinuada en el nartex de Santa Sofía (Fig. 5.66) y en los mercados de Trajano (Fig. 3.48), une a las ventajas de las bóvedas tabicadas planas los refuerzos que suponen las aristas de los lunetos. De esa forma pueden estar muy poco peraltadas y cubren el espacio con un menor desperdicio de alturas que en cualquier otro sistema constructivo, con excepción de los forjados planos.

Este sistema permite cubrir luces irregulares y es adoptado en la construcción habitual de los palacios italianos (Figs. 10.66 y 10.67) como una herramienta utilísima, parecida a nuestros forjados reticulares, que se adapta a casi todas las distribuciones con tal de que existan, a una distancia razonable, soportes lineales, en plantas cuadradas, rectangulares o trapezoidales. En todo caso, con o sin lunetos, las bóvedas tabicadas resuelven de forma más simple de lo que ha sido posible hasta ese momento el problema de los entrepisos, aligerando los empujes sobre los muros y haciendo aumentar notablemente el volumen útil del espacio construido.

Las posibilidades de este tipo de abovedamientos son aprovechadas exhaustivamente en el desarrollo del espacio y las formas renacentistas. Con un sólo elemento constructivo, la bóveda de crucería, Palladio obtiene un brillante repertorio de soluciones arquitectónicas. Desde la insólita bóveda del refertorio de *San Giorgio Maggiore*, en la que la crucería corta la continuidad de la bóveda de cañón seguido sin otra justificación que la mejor descripción del espacio interior, estableciendo una discontinuidad que se refleja en el moldurado de la imposta, (Fig. 10.68) a la nave central de *Il Redentore* (Fig. 10.69), en la que apenas se insinúan los lunetos para la iluminación, creando una secuencia de curvas espaciales y rectas que se adelanta a algunos recursos barrocos, o el distinto tratamiento que recibe en Issepo Porto, o en Villa Foscari (Figs. 10.70 y 10.71), marcando los nervios en un caso, u obteniendo una superficie casi continua, muy levemente interferida por las penetraciones, en el otro, el

elemento constructivo se adapta a las soluciones arquitectónicas a la vez que resuelve con soltura el problema de la ejecución.

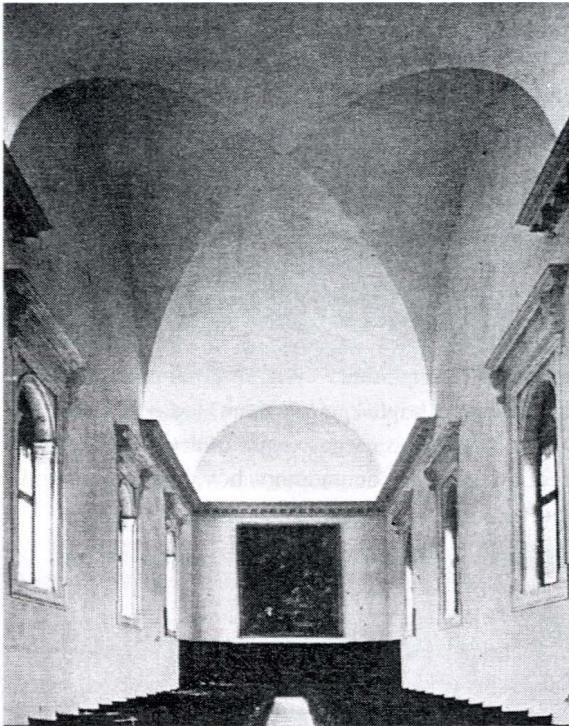
## 10.8 Las cubiertas

Las cubiertas se ejecutan con encaballados de madera, o directamente sobre las bóvedas. El encaballado, más habitual en la arquitectura civil, se arma con una triangulación muy simple que no tiene, todavía, intención de descomponer las cargas según direcciones dadas en el sentido en que lo entendemos hoy, aunque sabiendo de la indeformabilidad del triángulo.

Los acabados se perfeccionan sobre la anterior etapa, y aparecen las piezas cerámicas perfectamente cocidas y escuadradas, las tejas, la pizarra y las losas de piedra de pequeño espesor, recibidas sobre morteros, cuyas propiedades hidráulicas se refuerzan con cenizas.

## 10.9 El Renacimiento en España

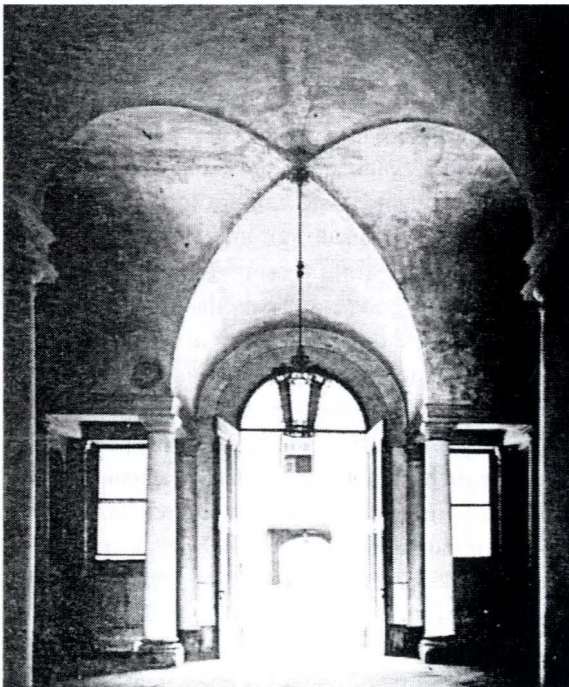
Según Fernando Marías, "En España el gran cambio del gótico al renacimiento consistió, estructuralmente, en la sustitución de la bóveda de crucería gótica por otras formas más clásicas: cúpulas y medias naranjas; bóvedas de cañón con o sin lunetos, baídas, esquinadas, por arista o agallonadas, todas ellas basadas en el arco de medio punto. Este cambio formal no estuvo forzosamente acompañado por un cambio de técnicas constructivas, que continuaron siendo medievales. Algunas bóvedas góticas son estrelladas, de estructura continua, en lugar de articulada, y al empleo generalizado de arcos de medio punto en vez de arcos apuntados, no sólo en las formas de los arcos cruceros sino también en los terceletes, contraterceletes, perpiaños y formeros e incluso, a dar al empino o rampante de sus bóvedas una figura de arco de circunferencia. El sistema presenta notables diferencias sobre las estructuras articuladas góticas: los nervios ya no separan los cascos de las enjutas sino que quedan integrados en la superficie de bóveda, entre otras cosas, y permite innovaciones formales como las que se aprecian en la catedral de Burgos":



*Fig. 10.68 Refertorio de los monjes de San Giorgio. Venecia*



*Fig. 10.69 Nave y cabecera de "Il Redentore". Venecia*



*Fig. 10.70 Bóveda tabicada de crucería de Palladio en Issepo Porto*



*Fig. 10.71 Bóveda tabicada de crucería de Palladio en Villa Foscari*

Este tipo de matizaciones sobre los efectos que algunos postulados renacentistas tuvieron sobre la construcción en el s. XVI, que sólo afectan a la forma sin cambiar los sistemas de talla y recibido de las piezas, se pueden desarrollar con gran aporte de datos eruditos, pero no explican el verdadero espíritu del cambio. Ocurre que la moda artística ya no se “conforma” con las formas góticas, que fueron posibles en otro contexto, sin que se haya producido una variación sustancial de los sistemas constructivos. De esa forma se explican las recomendaciones de Rodrigo Gil de Hontañón en el Compendio de arquitectura y simetría de los templos, conservado en manuscrito por Simon García (1681-1683), sobre los nuevos modelos de bóvedas y cúpulas, tratadas con una robustez contradictoria con las posibilidades de los nuevos sistemas.

También en España desde finales del s. XVI y a lo largo de todo el XVII se impone la albañilería con todas sus consecuencias de forma definitiva. La cantería se mantiene fundamentalmente según Palacios “a través de las obras públicas y ferroviarias del XIX” y, porque la nueva estética lo permite, el ladrillo, que después se revocará sustituyendo los elementos de piedra por cascos cerámicos, tabicados o a sardinel como fórmula habitual extendida a todo el ámbito geográfico peninsular. Las bóvedas de crucería tenían la ventaja de que se podía calcular perfectamente y con seguridad y exactitud el contrarresto necesario.

En todo caso, desde el punto de vista constructivo, se puede considerar que la situación a lo largo del s. XVI fue de una cierta confusión. La planta de las iglesias sufrió un proceso regresivo por el que apareció de nuevo el muro pesante del segundo románico en el que se insertaban las capillas, y desapareció la diaphanidad de la planta de tres naves separadas por pilas aparejadas (Figs. 10.72 y 10.73). Probablemente los muros de albañilería, que aparecen recubiertos por un aplacado de piedra, pero que no son los sólidos muros góticos aparejados en sillares, no ofrecían la suficiente seguridad y, desde luego, no se intentaron pilas con ese sistema. En las cubiertas se va sustituyendo poco a poco la cantería por la albañilería, pero en los primeros tiempos sin reducir secciones, como ya hemos indicado que ocurre en la iglesia de San Andrés de la Selva del Camp. En las de trazado más arcaico, la bóveda de la nave aún mantiene la apariencia de las góticas, con

cuatripartitas que arrancan directamente de los muros y con ábsides también “a semejanza” de los góticos, pero con sólo las nervaduras, decorativas, en piedra. Faltan aún algunas décadas para que todo el sistema renacentista, que ya será barroco, se imponga como la fórmula arquitectónica y constructiva coherente que posibilite de nuevo la pureza de un gran estilo.

### 10.10 El legado renacentista

En este caso, y ante la complejidad del tema, nos referiremos únicamente a los aspectos constructivos del legado renacentista que se pueden concretar en tres aspectos del proceso que han quedado incorporados, de alguna forma, a nuestra manera de entender la construcción:

1) A pesar de la presencia de los postulados racionalistas, en nuestro tiempo el aspecto volumétrico de los edificios monumentales se entiende como la suma de una serie de detalles de tecnología más o menos compleja, que deben desarrollar una idea formal previa que se expresa de forma primaria a través de unos dibujos muy simples y expresivos. El problema es que, mientras los arquitectos renacentistas y barrocos disponen de una serie de apoyos formales perfectamente codificados, en nuestro caso no existen más reglas que la confusa adecuación del aspecto a la estética imperante en cada época, que cambia, y esto se puede comprobar inmediatamente, en casi todas las décadas.

2) Por lo que respecta al proceso constructivo, de la incipiente preocupación por definir las mejores condiciones de funcionamiento de cada uno de los elementos que componen el edificio que se produce en el Renacimiento, hemos heredado la tendencia a fraccionar según criterios singulares sus características y, como contrapartida, el edificio sólo se entiende como conjunto desde el punto de vista compositivo.

3) A través de lo que hemos llamado el rescate inteligente de los modos romanos de construir, se devuelve al oficio todas las técnicas de la albañilería, que tendrán una vigencia de cuatrocientos años, hasta que se introduzcan los productos químicos, entre ellos el



*Fig. 10.72 Iglesia de Santa Eulalia.  
Esparraguera*



*Fig. 10.73 Iglesia prioral de San  
Pedro. Reus*

cemento Portland, en sustitución de los ligantes naturales, la cal y el yeso, y se estandariza la fabricación de los materiales cerámicos.

Todo se produce de la mano de un aumento extraordinario de la demanda de la cantidad de construcción, del incipiente cientifismo y de la necesidad de abaratar un proceso cuyo coste se demostró prohibitivo en cuanto cambiaron mínimamente las circunstancias sociales que permitieron el derroche medieval en mano de obra.

Parece evidente que la recuperación actual de las formas clásicas y neoclásicas se entiende a través de la interpretación renacentista, y aunque es difícil pronun-

ciarse sobre su vigencia, se puede aventurar que seguirán presentes de alguna forma en la arquitectura durante mucho tiempo. Ni siquiera con la introducción de algún nuevo material en el proceso, hecho que hoy no se intuye, en sustitución de la cerámica industrial, el acero y el cemento Portland y sus derivados, se corregiría la carencia de imaginación que evidenciamos en el manejo de formas cuya utilidad no sea inmediata, y que se produce desde el Barroco hasta hoy, lo que es absolutamente disculpable y comprensible, entre otras cosas porque desde entonces no ha dejado de presionar la demanda y, excepto en el caso de edificios singulares, el problema de los costes de la construcción cotidiana hace superfluo e injustificado cualquier intento en ese sentido.



## 11. Construcción arquitectónica precientífica

### 11.1 El escenario

La inquietud que en todos los aspectos de las ciencias y las artes supone la revolución renacentista se va a prolongar a lo largo de los siglos XVII y XVIII, en la búsqueda de certezas científicas sobre las que apoyar la nueva visión del mundo, menos mediatizada por interferencias de tipo trascendente, y que pretende describir la realidad de acuerdo con leyes objetivas.

Esta tendencia se manifiesta en todos los aspectos del conocimiento susceptibles de tener un tratamiento científico, y a lo largo de los s. XVII y XVIII se producen una serie de avances que, actuando de forma interactiva unos con otros, culminan, en nuestro caso, en los conocimientos exigibles hoy a un arquitecto en ejercicio.

Este camino, que en lo artístico abarca el Barroco, el Rococó, y una confusa etapa neoclásica en la que se mezclan conceptos clásicos a las inquietudes estéticas y filosóficas de la época, en el aspecto científico relacionado con la construcción se concreta en la lenta incorporación de una serie de conceptos físicos abstractos de extraordinaria complejidad, cuya comprensión y análisis están reservados a "una minoría de personas excepcionalmente dotadas", como dice Nervi, y que vulgarizados en formulaciones cuyo manejo es relativamente sencillo aún hoy son la base de nuestra ciencia de la construcción.

Durante este periodo, y como parte de un proceso que se inicia en los intentos científicos renacentistas, se intuye la posibilidad de definir y cuantificar con recomendaciones exactas la estabilidad y las demás características exigibles a las construcciones. A pesar de todo aún son pocas las novedades que puedan ser

directamente incorporadas al proceso. Los materiales siguen siendo los mismos que en la etapa anterior: la piedra, el ladrillo, la madera, el yeso y la cal, y las formulaciones que aparecen en los tratados no incorporan aún los descubrimientos científicos. Siguen siendo una mezcla de sentido común, constataciones empíricas y vagas recomendaciones de tipo práctico, a veces totalmente desacertadas y en el mejor de los casos inocuas y de escasa entidad científica, por lo que los esquemas constructivos originados durante el Renacimiento se van a mantener hasta finales del siglo XVIII.

Las limitaciones del sistema se harán notar en dos aspectos:

1) Como los proyectos arquitectónicos sólo pueden evolucionar en la medida en que lo permite el sistema constructivo, cuando se intentan traspasar esos límites, tanto por los excesos de escala, como ocurre con los proyectos de Boullé, como por la reducción al mínimo de las secciones resistentes, como ocurre en la iglesia de Santa Genoveva, en París, la construcción no encuentra fórmulas seguras que permitan superarlos. Pero no son éstos los únicos motivos. También el sistema constructivo debe responder a los cambios en los materiales con los que se pretenden materializar algunas formas, lo que no ocurre en este caso.

2) En segundo lugar, la falta de conocimientos para aprovechar las posibilidades que se intuyen al hierro como material de construcción, cuyas características mecánicas son muy distintas a las de cualquier otro de los utilizados hasta ese momento, y del que se empieza a disponer con una cierta abundancia.

Ocurre, además, que las especiales características de los estilos barroco y rococó van a necesitar para su

desarrollo una serie de soluciones menores, basadas en los perfeccionamientos prácticos de la albañilería, que van a perder importancia una vez que se extingan como opción artística.

A la manera de construir que se produce como resultado de estas circunstancias la llamaremos construcción precientífica.

## 11.2 Los datos de partida

Como inicio de ese proceso se puede entender que el Renacimiento y el inmediatamente próximo primer Barroco, han dejado definidos para los dos siglos siguientes una serie de conceptos constructivos, cuya base podría ser la tendencia a analizar cada parte del edificio y a definir sus características para, a partir de ellas y actuando sobre la ejecución, mejorar su durabilidad. Esta postura, cuyo origen puede estar en la creciente y progresiva demanda de construcción, exigida cada vez a menores costes, no siempre ha sido positiva, y mantenida a lo largo de centurias ha llevado en nuestros días a fijar con criterios excesivamente estrictos la singularidad de las propiedades de cada elemento constructivo, sin que esas propiedades se entiendan como condicionantes del conjunto del edificio.

Los primeros y más evidentes resultados de esta nueva forma de entender la construcción son los siguientes:

1) La estructura es un soporte resistente, aislante además en el caso de los muros, construido con el mínimo aporte de mano de obra y materiales, estos últimos trabajados lo menos posible, para recibir posteriormente un acabado o un recubrimiento. Dado este carácter subsidiario de los elementos estructurales, que han sido despojados de la calidad arquitectónica que tuvieron en la Edad Media, se empieza a considerar la posibilidad, más como una intuición que como un propósito explícito, de dimensionarlos únicamente con lo suficiente y necesario, con objeto de disponer con mayor criterio económico de los recursos. Se trata de hacer más racional el proceso constructivo basado en la albañilería, a pesar de que algunos aspectos epidérmicos, como las complicaciones formales barrocas, sugieran otra cosa.

Este concepto se potencia con lo que el Barroco exige de los elementos estructurales. El muro compuesto según las reglas del estilo se ondula y se complica hasta lo que algunos han considerado más como ebanistería que como arquitectura (Fig. 11.1). Este tratamiento es posible porque ya no debe reflejar un aparejo resistente, incluso debe ocultarlo, y se convierte sólo en el soporte de unas formas cada vez más complejas cuya materialización es más simple en albañilería, que trabaja con piezas más pequeñas y sólo tiene que respetar unas mínimas leyes de traba (Fig. 11.2), aunque sea necesaria una gran meticulosidad en la ejecución.

Los muros proyectados por Borromini en San Carlos *alle Quatre Fontane* (Fig. 11.3), por ejemplo, presentan tal complicación de trazado -prácticamente cada tramo es de una sección distinta, que cambia con la altura y que casi siempre es curva en una de sus caras-, que la única solución es la paciente labor de los albañiles, recortando cada pieza y recibéndola ajustada a las necesidades del proyecto.

2) Los acabados de esa estructura, como trabajo superpuesto, en todos los materiales y técnicas posibles. Este extremo nunca será un problema para la albañilería; siempre ha sido posible conseguir cualquier tipo de acabado, y sólo la moda ha impuesto sus dictados sobre lo que es oportuno en cada época. El material básico sigue siendo el mortero de cal, bien como adhesivo de otros materiales, bien como soporte de los tendidos, pintados o estucados.

3) El olvido, quizás provocado por el desinterés, de las técnicas medievales para integrar los elementos arqueados en la estructura del edificio, a pesar de lo que ello representa de limitación. No es suficiente que se mantengan y se perfeccionen las técnicas estereotómicas de la cantería y que se publiquen varios tratados sobre el tema; desaparece el concepto de edificio como conjunto sometido a múltiples empujes que se deben anular entre sí para su equilibrio final. Quizás se deba a un error metodológico en la compilación de los conocimientos medievales, o quizás sea que ese concepto, cuya realidad fue esplendorosa, no llegó a entenderse nunca como algo unitario; lo cierto es que, a partir del Renacimiento, se entiende la construcción como una suma de soluciones parciales, combinables

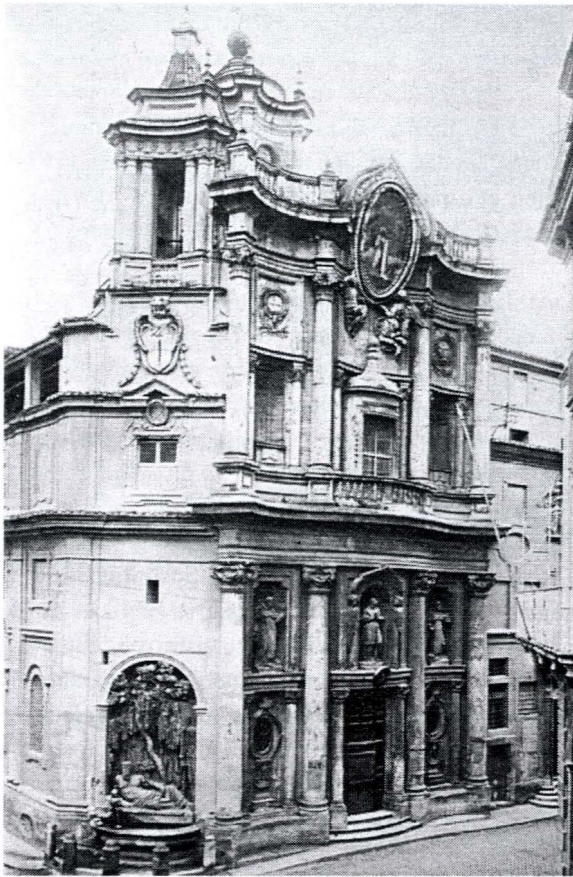


Fig. 11.1 Fachada de San Carlos "alle Quattro Fontane" de Borromini



Fig. 11.2 Sant'Andrea delle Fratte de Borromini

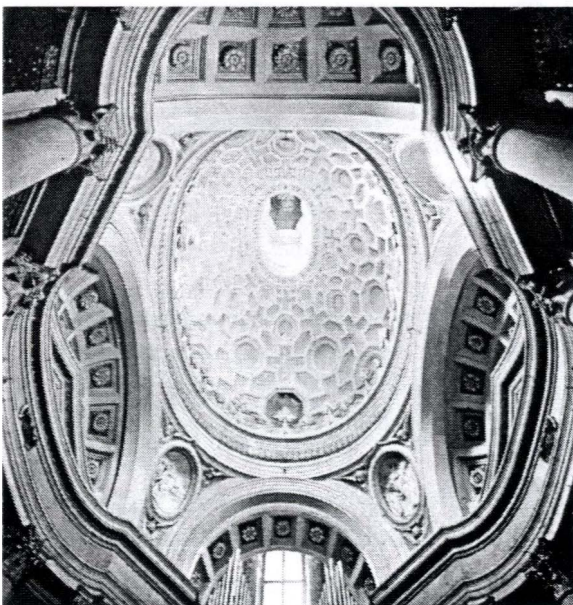


Fig. 11.4 Cúpula de San Carlos "alle Quattro Fontane". Interior

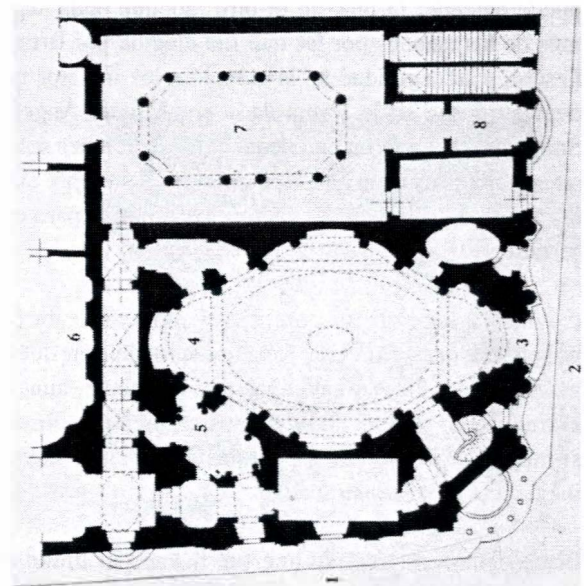


Fig. 11.3 Planta de San Carlos "alle Quattro Fontane" de Borromini

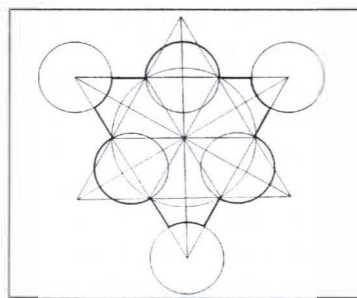


Fig. 11.5 Esquema de planta de San Ivo "alla Sapienza"

a voluntad según el proyecto, pero sin que el uso de alguna de ellas condicione el resto que se concibe como una composición artística.

Aunque durante el periodo precedente se han construido dos de las tres cúpulas de mayor luz existentes hasta el siglo XX, no aparecen conceptos que permitan la generalización de las soluciones y cada caso singular da origen a una técnica concreta, aunque siempre relacionada con los planteamientos de la albañilería. Incluso cuando se construyen luces menores, cada caso es tratado específicamente y conviven soluciones de todo tipo.

Por exigencias de los estilos la forma va quedando paulatinamente desligada del sistema. Mientras que en Santa María de la Flor la relación entre la forma y el sistema constructivo es estricta, de manera que no se puede entender la una sin el otro, aunque nada sepamos de las razones por las que fue elegida por Brunelleschi, y su seguridad en la solución, los intentos por demostrar que en la forma dada por Miguel Ángel a San Pedro se tuvieron en cuenta consideraciones sobre su estabilidad, nunca han sido rotundas y siempre quedará la duda sobre cuáles fueron los motivos para ese trazado.

Cuando las trazas se complican por causa de las modas estéticas barrocas, los elementos sufren deformaciones que limitan su capacidad resistente, aunque al tratarse en general de proyectos de menores dimensiones, los problemas de estabilidad tienen menos incidencia en su construcción.

El esquema constructivo que fue llevado al límite de sus posibilidades en la cúpula sobre trompas de Santa Sofía, en Constantinopla (Fig. 5.62), con 31 m de luz, en el que se contrarrestan los empujes con semicúpulas en dos de los cuatro lados del cuadrado en que se inscribe, en San Carlos *alle Quattro Fontane*, de Borromini, cuya cúpula, de base elíptica, sólo mide 18x10 m, sólo es una referencia remota. Las semicúpulas se convierten en unas formas comprimidas, semejantes a las que aparecen en la iglesia paleocristiana de San Lorenzo, en Milán (Fig. 4.6), que no están previstas para contrarrestar el empuje de la cúpula sino para completar la descripción del conjunto (Fig. 11.4). La planta, que según parece se correspon-

de con unos criterios filosóficos muy complejos, como la de San Ivo *alla Sapienza*, se inscribe en el solar sin que se tengan en cuenta en el espesor de los muros los empujes que deben soportar, con zonas en las que las secciones quedan casi degolladas por la necesidad de describir el espacio con la máxima libertad para hacer posible los postulados estéticos que se pretenden.

La máxima distorsión la provoca Borromini en la cúpula de San Ivo *alla Sapienza* (Figs. 11.5 y 11.6), en la que tres de los seis cascos que la componen se inician con el intradós curvado en sentido opuesto al que sería necesario para que trabajen contra la gravedad. El conjunto se define en planta como un juego gratuito de formas, que no tiene en cuenta la calidad resistente de los elementos. Esto no significa que todo se hiciera así, sino que entraba dentro de las posibilidades del sistema. No obstante, a la vez que se realizan estos ejemplos casi todas las obras se construyen, como es imprescindible, con las formas que puedan garantizar su estabilidad y que se basan en los conocimientos, siempre empíricos, que se han acumulado en los últimos dos siglos. De todas formas se deja notar la falta de sistemas específicos y el escaso desarrollo de las soluciones, y con menores luces se van a provocar mayores problemas.

4) La tendencia a analizar algunos aspectos parciales del proceso, lo que origina soluciones menores, a veces erróneas y contradictorias entre sí.

Uno de los problemas con los que se ha tropezado la construcción en todos los tiempos es la consagración de algunas fórmulas cuya justificación es más que dudosa y a las que la práctica constante vuelve inevitables. En esta línea podríamos considerar el consejo de Alberti sobre la necesidad de abrir agujeros próximos a los cimientos para facilitar la salida de los "humores malignos" del terreno. En la etapa precientífica, en la que se intenta un cierto rigor en el enunciado de los postulados constructivos, a veces les es difícil distinguir entre los que realmente responden a planteamientos relacionados con la realidad y los que obedecen a simples "supersticiones" del oficio, y que se enuncian con el mismo énfasis.

5) En este camino, la construcción como preocupación de los arquitectos pasa a un segundo plano, y se prima



Fig. 11.6 Cúpula de San Ivo "alla Sapienza" de Borromini



Fig. 11.8 Oratorio de Wurzburg de Neumann

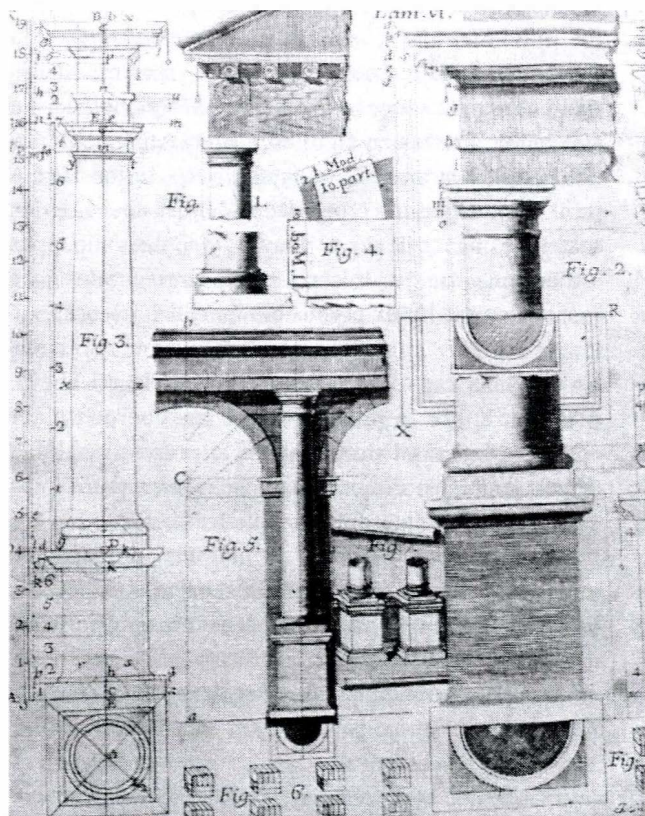


Fig. 11.7 Página del tratado de Rieger. Los aparejos de ladrillo están descritos en la parte inferior a una escala realmente ridícula

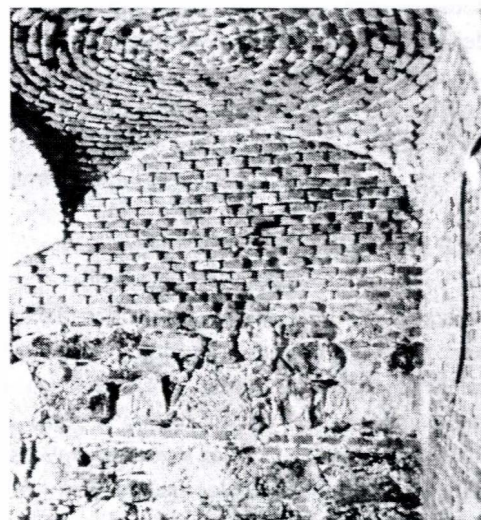


Fig. 11.9 Pared estructural del Hospital de Hombres de Madrid, hoy Centro de Arte Reina Sofía

el diseño arquitectónico sobre los aspectos constructivos (Fig. 11.7).

6) Lo que si progresa de forma notable, e inmediatamente es incorporado al proceso proyectual, es la geometría descriptiva. La posibilidad de definir y trazar curvas muy complejas en el espacio es aprovechada por los arquitectos barrocos y rococós y se consiguen composiciones volumétricas de una gran complejidad que, al no poder ser analizadas como formas estructurales, potencian la diferenciación entre la función y la forma, como no se va a producir en ningún otro momento de la historia de la arquitectura. Como ya hemos visto, en algunas composiciones barrocas se elude explícitamente la principal razón de ser de los elementos arqueados, y se generan, sobre una complicación en planta, elementos con unas curvaturas imposibles que casi impiden su trabajo como bóvedas (Fig. 11.8). A situaciones parecidas se ha llegado en casi todos los sistemas constructivos, pero siempre como resultado de una complicación en los trazados, no, como en este caso, como uno de los requisitos básicos del sistema, a no ser que se entienda el Barroco como la larguísima etapa final de la arquitectura renacentista.

### 11.3 La evolución científica

Antes hemos indicado que a los arquitectos barrocos les es difícil analizar desde el punto de vista estructural las complicadas formas que proyectan. El problema es que, a pesar de que disponen de las herramientas gráficas y del sistema constructivo, les faltan los datos y el lenguaje técnico que hubiera hecho posible su análisis.

Los primeros tímidos intentos de cuantificar algunos elementos según datos ciertos se producen, según los rastros que poseemos hoy, durante el Renacimiento. Tanto Alberti como Leonardo pretenden establecer relaciones entre las secciones de los elementos estructurales y su capacidad resistente. Debido a que aún no se han enunciado algunos conceptos sumamente complejos, imprescindibles para la correcta descripción de la realidad, estos intentos se establecen sobre la proporcionalidad simple: una viga de sección doble

aguantará el doble de carga. Pero cuando Leonardo pretende ir más lejos, considera otras variables y habla del doble de la luz, las ideas se confunden e incluso la redacción es confusa.

La ineficacia de este sistema de establecer las formulaciones de aplicación práctica se manifiesta al intentar trasladar a la realidad los sistemas estudiados en maquetas, tanto de obras como de máquinas. Lo que aguanta y funciona a escala reducida se rompe y se atasca al aumentar de tamaño, sin que se pueda dar una explicación convincente de estos hechos.

El primer paso fundamental para poner las cosas en su sitio lo da Galileo Galilei. Según Benvenuto, "a partir de 1638 se puede dividir la ciencia de la construcción en dos periodos. En el primero, anterior a la publicación de su "Discurso y demostración matemática de las dos nuevas ciencias relativas a la mecánica y a los movimientos locales", faltando aún el concepto de tensión y deformación, la *firmitas* de la estructura era encomendada a la disposición de sus partes para evitar los movimientos, -*l'insorgere di cinematismi*-, y la forma de un arco, o de los sillares de un muro, constituía la variable sobre la que operaban para obtener un sistema de fuerzas en equilibrio. En el segundo periodo, por el contrario, definida una cierta forma estructural, se indagan las propiedades de resistencia de los materiales para que no se rompan, y se determinan las dimensiones de las diversas partes estructurales para mantener en el límite permisible las sollicitaciones".

En el primer capítulo Galileo Galilei -"Ciencia nueva, primera, sobre la resistencia de los cuerpos a ser rotos"-, plantea el problema de la proporcionalidad directa entre las dimensiones de los elementos y su capacidad resistente, fórmula que había sido hasta ese momento el único modo de intentar una aproximación numérica a la descripción de la capacidad resistente. Este principio no es válido, evidentemente, y su falsedad se manifiesta cuando se aplica a casos concretos, como ya hemos indicado al pasar de las maquetas a la realidad.

Intuyendo que la proporcionalidad lineal de las dimensiones no es el sistema de relación entre una pieza y su capacidad resistente, plantea un problema referido a la construcción y sus elementos: "De esa forma, (si el

aumento de las dimensiones en proporción lineal supusiera siempre la rotura de los elementos) las pequeñas columnas no tendrían apenas riesgo de romperse en ningún caso, y las grandes podrían romperse simplemente por su propio peso". Como no es lógico que la resistencia decaiga con el aumento de volumen si se mantienen las proporciones, deduce que no todas las propiedades resistentes se deben a las características geométricas de la forma, y supone que en la capacidad de una pieza para resistir los esfuerzos se deben tener en cuenta otras cuestiones relacionadas con la calidad y naturaleza de la materia.

Discursea en forma dialogada sobre el problema, intuye las diferencias entre el isostatismo y el hiperestatismo -propone el ejemplo de una columna sobre dos apoyos a la que se coloca otro central, que es por donde se parte-, y acaba, a pesar de la limpieza del planteamiento, estableciendo una confusa teoría sobre las fibras y la capacidad de las colas naturales para ligarlas, lo que evidentemente no resuelve el problema.

En la segunda jornada pretende explicar por qué la misma sección se parte antes con una carga menor trabajando en voladizo, que en el caso de que esa carga sea axial, y a partir de esa consideración define el momento o "fuerza compuesta", haciendo intervenir explícitamente por primera vez la distancia de aplicación de la fuerza en la valoración de sus efectos. También intuye el momento de inercia al constatar que una tabla de canto resiste más a la rotura y flecha menos que la misma tabla plana.

A pesar de todo sus avances son simplemente conceptuales y no aporta ninguna solución concreta al problema del dimensionado.

El siguiente gran avance va a ser la incorporación al repertorio científico del concepto de elasticidad, debido a Hooke (1635-1703). Con la intención de resolver el problema de construir un cronómetro exacto, describió la fase elástica de deformación de los muelles en la que ésta es proporcional a la fuerza que la provoca, aunque no acabó de encontrar una explicación para las variaciones debidas a la longitud de la pieza y a su sección en la determinación de los valores numéricos de esas deformaciones.

Es Bernoulli (1654-1705) quien encuentra la solución y enuncia uno de los principios básicos de la ciencia de la construcción: La deformación es directamente proporcional a la carga y a la longitud e inversa a la sección, y está ligada en cada material a un coeficiente específico, llamado hoy módulo de Hooke, o módulo de elasticidad de un material.

Aplicando esta teoría a una viga en carga, se supuso, acertadamente que las deformaciones que se producían en la parte superior debidas a la compresión se debían equilibrar con las de extensión de la parte inferior. En 1684 Mariotte introduce la noción de eje neutro, pero define su posición erróneamente, y Parents (1666-1716) la fija definitivamente en la zona de equilibrio de los esfuerzos sobre la sección transversal de las vigas.

En 1760 Euler publica su *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum*, en donde define un centro de masa o centro de inercia en cada sólido relacionado con la forma, no con las fuerzas a que está sometido, y el momento de inercia.

Casi contemporáneamente, en 1785, Coulomb publica sus estudios sobre la torsión, el empuje de tierras, las bóvedas, el rozamiento, etc.

Todos estos descubrimientos son recopilados por L.M. Navier y publicados en 1826 como texto de las lecciones explicadas por él en la Escuela Politécnica de París y traducidos en España por Celestino del Piélago diez años más tarde.

Además de estos conceptos se van incorporando al proceso, vulgarizadas como técnicas complementarias, una serie de disciplinas que facilitan la paulatina introducción del cientifismo. Monge publica su geometría descriptiva en 1799, como resultado de una serie de trabajos anteriores. La definición del sistema métrico decimal se incorpora como parte de estos avances, unificando las unidades en las que expresar las causas y los efectos de las cargas. Aunque su uso fue anulado en Francia por Napoleón, funcionaba desde 1803 en Italia y en España desde 1830, y la muestra definitiva de metro se construye en 1875. El 20 de mayo de ese año se ratifica la convención internacional a la que se adhieren todos los países menos los anglosajones.

De todas formas hay que entender que estos avances no influyen directamente en la construcción, que sigue apegada a las formas tradicionales. Falta aún algún tiempo y muchas circunstancias favorables para que esos conocimientos se conviertan en algo manejable que permita modificar los esquemas estructurales. En algunos casos son temas excesivamente abstractos y en otros no se acierta, en el más literal sentido del término, a incorporarlos al repertorio cotidiano de los constructores.

No obstante la inquietud por la mejora del proceso es patente entre los teóricos, y a partir de esta situación se va a plantear a lo largo del s. XIX, con todo rigor, la disyuntiva entre ajustar los proyectos y su filosofía a los conocimientos técnicos o seguir con los planteamientos artísticos como norma básica.

Mientras que la gran mayoría de los arquitectos siguen interesados aún durante unas décadas por las formas y la perfección clásica de los estilos, como demuestran los tratados en los que los temas técnicos reciben un tratamiento casi imperceptible, los ingenieros y los teóricos no encuentran, excepto en contadas ocasiones, un campo apropiado dentro de la construcción estrictamente civil para aplicar sus conocimientos.

#### 11.4 La práctica de la construcción

Es difícil seguir paso a paso la evolución en la primera etapa. Para ello contamos fundamentalmente con una serie de tratados, ya que la práctica de la construcción, en general, no se corresponde con esa evolución, de la misma forma que las mejores soluciones de nuestra tecnología no son las que se emplean en todas nuestras obras.

A pesar de que los avances obtenidos en el desarrollo de los complejos problemas de la mecánica abstracta y de la resistencia de materiales no se incorporan al proceso constructivo hasta bien entrado el s. XIX, a lo largo de lo que hemos llamado etapa precientífica se producen algunas mejoras provocadas por dos tipos de razones.

1) En primer lugar por la aceptación por parte de los

constructores de unos esquemas que, sin llegar a lo que pudiéramos llamar cientifismo, se basan en la constatación de que algunas "recetas" del oficio funcionan mejor que otras, es decir, por la experiencia acumulada, difundida en esta época a través de algunos tratados que basan su información en la realidad de las obras. En algunos casos se desconocen las causas exactas que justifican su idoneidad, pero éste, como ya expusimos al hablar de los requisitos de la fábrica, en construcción es un mal menor. Basta con que se constate que con algunas soluciones se mejora realmente el proceso para que queden definitivamente incorporadas a él.

Estas aportaciones al proceso constructivo dictadas por la experiencia no son privativas de esta época. En cualquier etapa, el manejo constante de un determinado material o la repetición de unas soluciones concretas han generado una serie de recetas prácticas, extraordinariamente útiles y que constituyen la razón de la durabilidad de muchas obras antiguas. Hoy en día son difíciles estas aportaciones al proceso por varios motivos, entre los que se podrían destacar un excesivo pseudocientifismo en la aplicación de técnicas y productos que ignora la experiencia, la falta de aprendizaje básico en los operarios, la acumulación de pseudonovedades impuestas por el sistema de mercado, la rapidez en la comercialización de estos productos y técnicas que depende más de la eficacia de la mercadotecnia que de otras consideraciones, etc.

2) En segundo lugar por la difusión de algunos postulados sencillos de la física más inmediata que permiten evitar errores de bulto. Este hecho genera también un proceso inverso. Cuando la realidad como problema es descrita de forma incompleta e inexacta, la solución puede resultar mucho menos adecuada que cuando se recurre a la experiencia. Esta situación se mantendrá hasta mediados del s. XIX, sobre todo en lo que se refiere a cimentaciones y a los elementos arqueados, bóvedas y cúpulas, aunque, en mayor o menor medida, se produce en casi todos los campos en los que se intenta una mínima codificación científica y objetiva de los problemas y sus soluciones.

La realidad es que las condiciones que hubieran posibilitado una evolución más rápida no se dan hasta mucho más tarde. En el fondo el repertorio de materia-

les sigue siendo el mismo que al principio del Renacimiento, prácticamente el mismo que el de los romanos, y los conocimientos científicos básicos, o sea, los que podían servir para describir con justeza la realidad del proceso constructivo, como hemos visto, no están disponibles a lo largo del periodo. Lo que si ha progresado desde Alberti ha sido la actitud reflexiva y la conciencia de que se puede y se debe mejorar el proceso ajustándolo a los enunciados que debe dictar una ciencia de momento inexistente.

Con esa actitud se producen una serie de intentos confusos de escasa validez, aunque a veces resulten muy imaginativos y probablemente fueran imprescindibles para los pasos siguientes. Los reiterados intentos de "armar" con flejes metálicos algunos esquemas clásicos, o la pretensión de reducir paulatinamente el apuntamiento de las bóvedas tabicadas y reforzarlas con nervaduras ocultas bajo el pavimento, forman parte de esos esfuerzos por convertir la construcción en un proceso más científico de lo que había sido hasta ese momento.

Por su parte, los ingenieros, casi siempre militares o ligados de alguna manera a la actividad militar, deben establecer normas simples y comprensibles que permitan construir con economía, concisión y con las garantías exigibles a unos trabajos que inmediatamente van a sufrir la inspección implacable de la actividad bélica, todas las obras necesarias para un ejército en campaña. Esto les obliga a ser pioneros en la aplicación de los pocos datos científicos de que disponen, y a establecer teorías sobre los procesos constructivos que tienden cada vez más a un tratamiento escueto de lo suficiente y necesario en esas construcciones. Sobre sus conocimientos y sus experiencias va a fundamentarse, en un primer momento, el desarrollo de la ciencia de la construcción.

#### 11.4.1 Los cimientos

Hasta que Terzaghi asigna una resistencia específica a cada terreno en magnitudes de manejo sencillo en 1925, no se dispone de una herramienta relativamente fiable para decidir con seguridad la cimentación de un edificio, aunque con anterioridad se sabía que se debía

relacionar con la importancia del edificio, es decir, su peso y la capacidad resistente del terreno, conceptos expresados con estas palabras desde los tiempos de Alberti.

Con anterioridad al Renacimiento sólo pudieron recurrir como teórico a Vitruvio quien, bastante parco, recomienda en este caso, descender "hasta lo sólido y macizo", que es prácticamente lo único que aparece en todo el tratado con respecto a la cimentación.

No obstante existen trabajos notables de consolidación realizados con unas técnicas en algunos casos muy sofisticadas, que han hecho posible que llegaran hasta hoy edificios situados en terrenos de poca consistencia. Los templos aztecas, construidos sobre terrenos pantanosos, Notre Dame de París, cimentada sobre un entramado de pilotes, y Venecia, entre otros, son ejemplos de cimentaciones difíciles realizadas correctamente.

A partir de Alberti los cimientos aparecen explícitamente referidos en casi todos los tratados, y se tiene constancia de la necesidad de relacionar la anchura del cimiento con la carga que trasmite la parte correspondiente del edificio. Lo que ocurre es que no se tienen los instrumentos para establecer esa relación. Faltan, además de las formulaciones que lo permitirían, las unidades en las que definir la capacidad resistente de aquél y en las que expresar las cargas.

Durante dos mil años se fija la calidad de los terrenos de una manera muy simple, diferenciándolos en buenos y malos sin mayor precisión. Se entiende que sobre los terrenos buenos se puede cimentar, en general, mientras que es necesario traspasar los malos hasta encontrar la capa adecuada.

Existen desde Alberti sistemas empíricos para establecer esta clasificación -pruebas de sonido y otras que pretenden definir la compacidad de los terrenos-, instrumentos para comprobar la profundidad de las distintas capas, llamados tientaguas, y una clasificación descriptiva de la calidad de los terrenos bastante confusa y con lagunas.

Lo cierto es que no se dispone de sistemas fiables -Ortiz Sanz, en la traducción de Vitruvio publicada en

1787, considera "en realidad indefinible" la anchura del cimiento-, y se vuelve la mirada atrás a la vista de los magníficos resultados de las cimentaciones romanas, que han hecho perdurar durante muchos siglos de años edificios muy complejos. En 1796 Bails cita a Vitruvio como autoridad indiscutible y la expresión "sólido y macizo" aparece en unas ordenanzas de Barcelona de 1860 como descripción de los terrenos necesarios para cimentar.

Las fórmulas empleadas son relaciones simples entre la altura de los muros y la de los cimientos, o entre ésta y la anchura, pero siempre como recetas misteriosas que no tienen en cuenta ni el peso del edificio ni las características del terreno, en un juego puramente geométrico, y en ellas es más importante, en general, la profundidad que la anchura.

No obstante se van recopilando una serie de recomendaciones prácticas de gran utilidad, que evidencian en algunos casos una gran intuición sobre el comportamiento de los conjuntos, en algunos casos muy superior al fraccionamiento con que nosotros consideramos las condiciones de trabajo de estos elementos. Cuando una casa está contigua a otras, es tolerable un cimiento más ligero que si está aislada, y las casas de las esquinas de una manzana deben cimentarse mejor que las que están en el centro, ya que "sostienen también las intermedias", según Rieger.

Los cimientos deben construirse, según Scamozzi, "con igualdad en todo el recinto", con lo que se consigue un asiento uniforme y responden uniformemente a las cargas de la obra, que a su vez también debe levantarse igualada en su perímetro para conseguir el endurecimiento de los morteros de cal. También se reitera desde Alberti la necesidad de nivelar el plano de cimentación para evitar deslizamientos.

Puesto que los morteros utilizados en los cimientos son de cales grasas aéreas, que tardan mucho en recristalizar y más sin están enterradas, al faltarles la aportación de dióxido de carbono imprescindible en el proceso, y son muy vulnerables al agua y a la humedad, la fábrica de los cimientos debe ser recibida casi en seco, con sillares grandes muy ajustados, que se deben colocar respetando la posición del lecho de cantera, que es como resisten más a compresión. En la

coronación de los cimientos se debe organizar a modo de un zuncho, de forma que se repartan uniformemente las cargas procedentes de los muros. Esto, cuando aún no se dispone de materiales que trabajen a tracción, se consigue con sillares de gran tamaño, que tienen por objeto, también, evitar los agrietamientos provocados por las dilataciones y contracciones de la base del muro.

Aunque Coulomb define en el s. XVIII, con muchas inexactitudes, el ángulo de rozamiento de tierras y la altura crítica de los taludes verticales de arcilla, y establece la teoría sobre el empuje de los terrenos, estos conceptos sólo encuentran aplicación, de momento, en las construcciones militares.

Durante el siglo XIX, a pesar de los avances teóricos de Rankine en Inglaterra, Darcy y Boussinesq en Francia, y Rebham y Zimmerman en Alemania, se produce una gran confusión en la aplicación de esas teorías, lo que provoca algunos hundimientos sonados -como el de los silos para granos de Saint Louis, que bascularon completamente sobre la losa de cimentación al ser cargados-, hasta que en 1913 se crea la Comisión Geotécnica bajo la dirección de Fellenius, que consigue una cierta unanimidad en los planteamientos y codifica, en la medida en que es posible en una ciencia empírica como es la Mecánica del Suelo, los métodos de análisis y cálculo. Este empirismo se dejará notar hasta hoy: tanto la norma española como Terzaghi recomiendan como base de cualquier decisión sobre el tema la experiencia acumulada en cada zona, con las mismas palabras que Alberti en el s. XV.

En los cimientos de esta etapa se puede encontrar, pues, todo tipo de fábricas, y en ningún caso existirá una adecuación estricta entre el peso del edificio y sus dimensiones. De lo que sí se puede estar seguro es de que, en los edificios que se han mantenido, el conjunto terreno, cimiento y muro ha alcanzado un equilibrio que no se debe alterar en ningún caso, a no ser que se tenga constancia de que las condiciones originales han cambiado por deslizamientos del terreno o alteraciones parecidas. Cualquier nueva intervención provocará nuevos asentamientos que, por pequeños que sean, pueden acarrear nuevos problemas a los edificios cuya estructura se pretende mejorar. La compactación secular de los terrenos siempre actúa a favor del edificio.

### 11.4.2 Las fábricas

Los muros, durante casi trescientos años, se convierten en una masa para recubrir a la que progresivamente, por razones obvias de ahorro de material y espacio, se reduce la sección tratando de conseguir lo suficiente y necesario para su estabilidad.

Son fundamentalmente de mapostería o ladrillo (Fig. 11.9), aunque se usa la sillería escasamente y casi siempre recercando fábricas de otros materiales.

Desde Alberti los perfeccionamientos posibles en las fábricas pretenden tres objetivos:

1) Aumentar la resistencia mecánica, lo que se consigue cuidando tres aspectos:

**1.1)** Atendiendo a la homogeneidad del conjunto con una colocación ordenada y seleccionando las piezas de tamaño regular. Para conseguir el correcto descenso de las cargas en una masa en la que es difícil garantizar esa homogeneidad, y siguiendo una tradición romana, se suelen colocar zunchos cerámicos o de piedras más duras y homogéneas cada metro y medio, (cinco pies). Esta práctica se sustituye con el tiempo por la nivelación de los mampuestos mayores o más irregulares con ladrillos.

**1.2)** Cuidando los puntos singulares: jambas, esquinas, coronamiento y zócalos, tratándolos de forma específica según el trabajo que desempeñan en el conjunto. Para esos puntos, en general se recomiendan aparejos más robustos con piezas de mayores dimensiones que en el resto del muro. Para los huecos se recomienda siempre el arco de descarga y las cornisas se aparejan con piezas engatilladas para conseguir una cierta capacidad de trabajo a tracción en esa zona.

**1.3)** Con la correcta disposición de la pared, o las columnas sobre los cimientos: "Y cualesquiera cosas semejantes que pusieron las asentaron unas sobre otras a plomo sobre el centro", según Alberti.

2) La resistencia a las agresiones de los agentes externos: agua, viento y terremotos, etc. Esta preocupación, sobre todo al agua, se justifica por la mala calidad de los morteros, lo que hace a estas fábricas especialmen-

te vulnerables. La defensa de las agresiones de la intemperie se confía a los aplacados y tendidos, y como normas generales previas se diferencian dos partes que reciben un tratamiento distinto: el zócalo, que debe servir para repartir cargas sobre los cimientos e impedir el paso de la humedad, y la coronación que debe impedir las escorrentías de las aguas de lluvia en el grueso del muro, además de recercar el conjunto impidiendo su agrietamiento por dilataciones y contracciones. También se justifican por esta causa algunos detalles en las ventanas, como los escupidores en los alféizares y el recercado de las jambas.

Contra los terremotos poco pueden hacer, ya que aún no se conoce ni su origen ni sus efectos, aunque algunos teóricos como el padre Feijoo intuyen su naturaleza vibratoria relacionándolos con la "virtud eléctrica". Desde la Edad Media la única solución ha sido, además de las encomiendas divinas, el aumento de las secciones hasta unos límites que siempre serán desconocidos.

Los efectos del viento también pueden ser muy espectaculares, ya que, aunque este tipo de fábricas suelen ser muy pesadas, al no poder resistir apenas ningún esfuerzo de flexión, la presión continuada o la acumulación de fisuras generadas por las oscilaciones pueden provocar la caída, con deformaciones previas de importancia. Según Marck los arbotantes se justificarían más para contrarrestar la acción del viento que por el empuje de las bóvedas, demostrando con ensayos fotoelásticos que influye decisivamente en el equilibrio de las importantes masas de las catedrales góticas.

3) La materialización de unas fábricas de difícil ejecución debido a la baja calidad de los morteros. La técnica más habitual, y casi única posible, consiste en subir todo el perímetro de la obra en tajos de pequeña altura, al objeto de conseguir el endurecimiento imprescindible de la parte construida antes de cargar una nueva tongada. Con este sistema se consigue, sin que quizás sean demasiado conscientes de ello los constructores, una carga paulatina y lenta de los cimientos, lo que contribuye a la estabilidad final del conjunto. Existen datos sobre derrumbes instantáneos por aplastamiento de muros a medio construir desde la construcción de Santa Sofía, y aunque, como es natural, sólo han que-

dado testimonios marginales de los cientos de pequeños derrumbes que sin duda se debieron producir, de algunos comentarios se puede deducir que esta preocupación estuvo presente siempre en el ánimo de los constructores.

#### 11.4.2.1 El dimensionado

El dimensionado se efectúa de forma empírica hasta la aparición de la norma actualmente en vigor. Desde las recomendaciones de Fray Lorenzo de San Nicolás relacionando la anchura de las naves con el espesor de los muros, hasta las fórmulas recogidas por Rieger, casi siempre se relaciona la altura del edificio con la anchura de los muros sin tener en cuenta la luz de las crujías ni otros extremos como la densidad del muro o su aparejo. Lo que ocurre es que su espesor, una vez desaparecida la tendencia gótica hacia el aligeramiento y la esbeltez, es más que sobrada en casi todos los casos para las cargas que los solicitan. Cuando se plantea el problema de la dimensión mínima, lo que ocurre por primera vez en la construcción de la iglesia de Santa Genoveva de París, para definirla sólo se dispone de los datos sobre la resistencia a la compresión de las piedras y la comparación de las secciones de los pilares con otras obras ya construidas.

Rondelet (Fig. 11.10) proporciona un sistema gráfico para obtener el espesor de los muros en el que lo relaciona con las medidas generales de la pieza aislada, sin tener en cuenta la rigidización que suponen las esquinas, pero es evidente su falta de rigor. Consiste en trazar sobre la diagonal del alzado del muro un arco de circunferencia con  $1/8$  de la altura como radio, haciendo centro en una esquina. La distancia horizontal entre ese punto y la línea que representa la altura del muro es el espesor que éste debe tener. Este sistema es recomendado en algunos tratados de principios de s. XX y figura en los apuntes de las clases impartidas en la ETSAB hasta 1931.

En los muros de contención, que fueron descritos e incluso dimensionados por Vitruvio, se utiliza a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, y de acuerdo con los trabajos de Coulomb, una estática gráfica muy simple que tiene en cuenta el ángulo de rozamiento de

las tierras, aunque éste es siempre de  $45^\circ$ , y no se tienen en cuenta otros extremos como la humedad de los terrenos, la existencia de grietas, etc.

#### 11.4.2.2 La ejecución

En la ejecución de las fábricas, una vez generalizados los conceptos expuestos sobre los beneficios que aporta la homogeneidad del conjunto, desde el Renacimiento y hasta que la industrialización y el coste de la mano de obra imponen los muros de cerámica como material casi exclusivo, se utilizan todo tipo de materiales, con un abandono casi total del *opus emplectum*: cuando existen tres capas en el muro, las exteriores son casi siempre de muy poco grosor, quedando explícito su carácter de recubrimiento.

Desde las cuidadas fábricas de ladrillo para revestir o revocar de algunas obras notables, hasta las heterogéneas en las que intervienen cerámica, mampuestos, ripios y cantos rodados alternados, pasando por aquéllas en las que durante siglos se mantiene una tecnología local relacionada con un determinado material, durante este dilatado periodo es posible encontrar de todo. Mejora notablemente la calidad de los morteros, la especialización artesanal y la experiencia en el manejo del limitado conjunto de materiales de que disponen.

El hecho de que, en general, no se apliquen métodos de cálculo o de comprobación de la resistencia de las fábricas -en Barcelona una ordenanza fijaba obligatoriamente el espesor del primer piso en 60 cm y 30 cm para el resto, lo que según sus redactores "son espesores suficientes, sancionados por la práctica"-, centra todo el interés de los constructores en la calidad de los aparejos, y en todos los tratados aparecen de forma más o menos codificadas unas "leyes de traba" y unas precauciones de ejecución, tanto en ladrillo como en sillares o fábricas mixtas.

Otro paso importante consiste en diferenciar las sollicitaciones mecánicas, que se agrupan en cuatro causas:

1) El aplastamiento por el peso propio o los pesos que sobre él gravitan.

- 2) El vuelco por efecto de empujes exteriores.
- 3) La dislocación de las paredes, bien debido a los asentamientos diferenciales, bien a las dilataciones y contracciones térmicas o, por último, a causa de los esfuerzos cortantes provocados por diferentes estados de carga.
- 4) La desagregación de sus componentes por efecto de los agentes atmosféricos.

A partir de este esquema básico la mejor ejecución se basa en las siguientes recomendaciones:

- 1) Regularizar el espesor de las juntas.
- 2) Colocar las hiladas horizontales y las llagas verticales. Cuando se trata de mamposterías mixtas se disponen zunchos de ladrillo en la medida de lo posible, repartidos en toda la altura de la fábrica.
- 3) Utilizar el máximo número de tizones en los muros de más de un ladrillo de espesor.
- 4) El uso constante del rompejuntas en el aparejo.
- 5) El refuerzo de esquinas, jambas y dinteles con aparejos especiales.
- 6) El uso de morteros de calidad controlada cuya composición se detalla de forma muy sencilla.

A partir de la normalización de las medidas de las piezas cerámicas los espesores de los muros se fijan en múltiplos del tizón de la pieza, comprobando, a lo sumo, si la sección prevista es suficiente para las cargas que debe soportar.

Con respecto a los morteros, hasta que no se aplica a principios del s. XIX el análisis químico a la composición de las cales, se trabaja sobre datos poco científicos, aunque en algunas áreas geográficas concretas se llegara a controlar exactamente los detalles que proporcionaban el mejor material. Las proporciones y calidades de los áridos las fija la práctica de forma muy ajustada, y no se tiene ningún sistema para controlar el resultado como no sea el comportamiento de la obra hecha. Los ensayos para controlar la calidad de

los morteros son muy posteriores, aunque las recetas de uso debieron ser muy útiles.

El aglomerante más usado es el mortero de cal. La base la constituye el carbonato cálcico, material muy abundante en la naturaleza. Cuando se calienta a 850°C se descompone en óxido cálcico y dióxido de carbono. El dióxido de carbono se disipa en el aire y el óxido cálcico en contacto con el agua se convierte en hidróxido cálcico o cal apagada. Esta cal apagada, en presencia de dióxido de carbono, se convierte en carbonato cálcico más agua, endureciendo y aglomerando las piezas con las que está en contacto.

En el manejo de la cal se ha progresado muy poco y aún hoy son necesarios unos periodos de tiempo dilatados entre su apagado y su utilización en obra para conseguir morteros de calidad. Durante mucho tiempo se creyó que la carbonatación se iba extendiendo a toda la masa del mortero, aunque hay pruebas que demuestran que sólo es un fenómeno superficial e incompleto. En cualquier caso, su capacidad para agrietarse progresivamente, en un proceso de discretización muy lento, la hace insustituible en algunas restituciones y restauraciones en las que serían desaconsejables otros ligantes más rígidos.

Una mejora importante, usada desde los romanos y conocida por sus efectos, no por sus causas, fue el uso de las cales hidráulicas industriales. Como producto definido las utiliza por primera vez Jhon Smeaton a finales del XVIII, aunque haya que esperar hasta 1818 para que Vicat enuncie la composición y el mecanismo químico que les confiere las propiedades hidráulicas que proviene de la existencia de silicatos en las arcillas que, como impurezas, contiene la cal.

Durante el s. XIX se comercializaron en cantidades importantes los cementos naturales, cuyas características químicas se pudieron fijar con una cierta exactitud a partir de las calizas utilizadas, pero cuya falta de homogeneidad dificultó su uso en empeños de mayor entidad. Lo único que se pudo garantizar fueron sus cualidades hidráulicas, y en ningún caso su capacidad resistente y su comportamiento ante las distintas agresiones que sufren las fábricas. Siempre se entendieron como materiales auxiliares para revocados o en condiciones de trabajo muy especiales.

### 11.4.3 Los acabados

Se continúan usando, dependiendo de la calidad de la obra, todo tipo de materiales, consolidándose un importante tráfico comercial, desaparecido desde el tiempo de los romanos, sobre todo en la cuenca mediterránea y entre Francia y España, por lo que todas las calidades pueden estar presentes en cualquier obra.

La novedad consiste en incorporar el revocado, pinto o estucado en algunas obras importantes. También se impone el estuco blanco o crema para los interiores, sobre yeso o sobre revocos muy afinados de mortero de cal. En su origen era una invención veneciana, empleada en construcciones sencillas durante el primer Renacimiento. Se utilizó por motivos económicos hasta que se puso de moda en los siglos XVI y XVII, formando parte de los recursos cromáticos barrocos.

## 11.5 Las bóvedas y las cúpulas

Aunque la estructura pasa a un plano secundario, la idea de conseguir la definición de las condiciones suficientes y necesarias para el correcto dimensionado de los elementos arqueados, comienza a preocupar a los teóricos a partir del s. XVI. Hasta ese momento, como ya hemos dicho, los intentos de formular relaciones entre secciones y resistencias se basan en la proporcionalidad lineal. Dada la ineficacia del sistema se acaba imponiendo como criterio que la única seguridad procede de la correcta ejecución, como aparece en todos los tratados.

Alberti ensaya unas explicaciones sobre el comportamiento de los arcos, las bóvedas y las cúpulas. Lo más notable es que las sugerencias de la forma son las que justifican la valoración de la capacidad resistente de los elementos y eso hace confusas sus explicaciones. Por una parte el arco apuntado, debido a que "rompe los pesos contrarios como con proa contrapuesta" es el más firme, y por otra el de medio punto, debido a la sensación de equilibrio que se desprende de su redondez, es el único no aparejado a "ruina y caída". En ningún caso aparece un dato que permita el trazado de arcos con dimensiones, relacionadas con su capacidad portante o con cualquier otro extremo.

Leonardo, a pesar de su extraordinaria capacidad intuitiva, tampoco supone ningún adelanto aprovechable desde el punto de vista práctico, pero aporta algunos conceptos de interés y un sistema muy primario para dimensionar proporcionalmente la sección del arco en relación con la carga. Lo cierto es que ninguno de los conceptos intuitivos por él son de aplicación práctica excepto cuando recomienda que "el arco no se romperá si la cuerda del arco de fuera (extradós) no toca el arco de dentro (intradós)". No sabemos en que caso se puso en práctica esta recomendación, que desde luego no se cumple en ningún arco gótico, aunque su vigencia en los tratados hasta finales del s. XVIII sea una referencia de su predicamento científico. Describe la sobrecarga o carga de uso, el concepto de resultante y el de carga de rotura, intuye el momento y destaca la importancia de la simetría y la correcta distribución de las dovelas. También define sin equívocos uno de los principios de la estática, el de la igualdad de fuerzas, donde queda perfectamente claro que la resultante de todos los empujes debe ser nula.

Algunos de sus postulados, derivados simplemente de la observación directa, son de gran utilidad: "El modo de hacer un arco permanente es rellenar sus ángulos de buen relleno hasta su enrase en la clave". Es un detalle que refuerza la seguridad de los arcos, si están bien estribados, ya que permite reconducir la línea de presiones con el peso del relleno, impidiendo que puedan levantarse por los riñones.

Exige que el arco y la carga sean coplanarios, pues: "el arco no está dispuesto para ser empujado de través, porque cuando la carga no se dirige al pie del arco poco dura".

A pesar de que maneja unos conceptos tan ajustados para analizar el comportamiento mecánico de los arcos, la capacidad resistente que sugiere la forma sigue siendo la base para valorar cada uno de ellos, a la manera en que lo hace Alberti: "El arco poco curvo es seguro para su propio peso, pero si se carga conviene componer muy bien su trasdós". "El arco muy curvado será en sí mismo débil, cuanto más se carga menos problemas tendrá en su trasdós". Cuanto más apuntado es un arco, es decir, cuanta mayor sensación visual da de no caer, más resistencia se le adjudica. Por el contrario, "la parte del arco que sea más plana

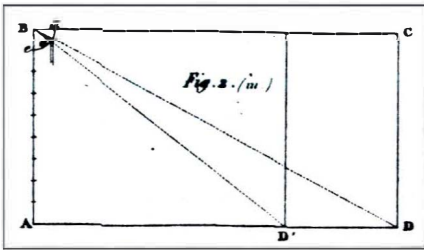


Fig. 11.10 Sistema de dimensionado de la sección de un muro según Rondelet

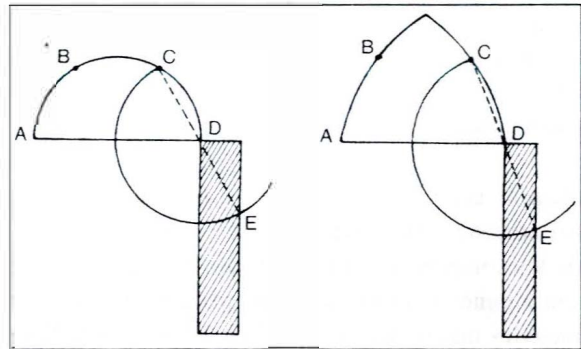


Fig. 11.11 Sistema de dimensionado de los estribos de Vitone según Benvenuto

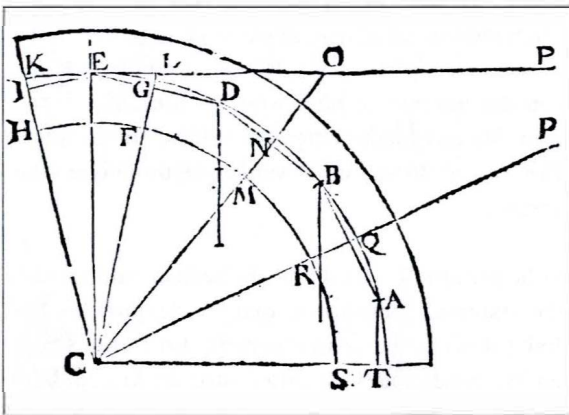


Fig. 11.12 Sistema de comprobación de la estabilidad de los arcos de De la Hire

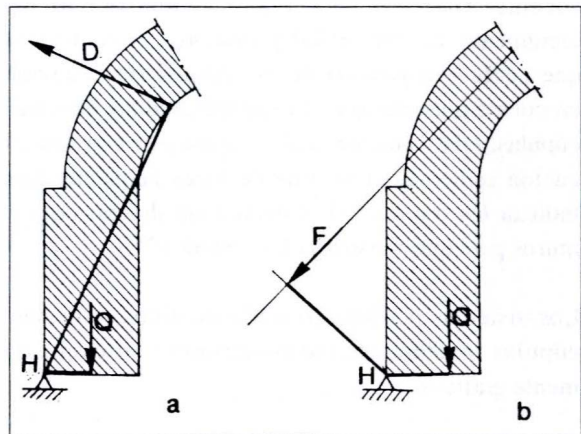


Fig. 11.13 Sistema de comprobación de los estribos de De la Hire según Benvenuto

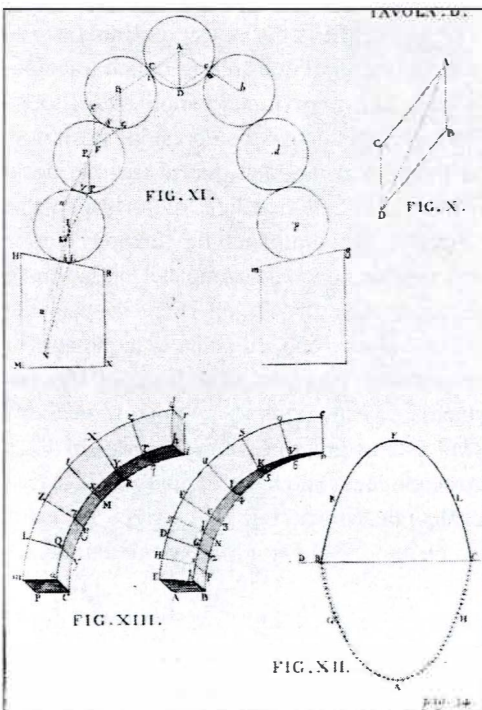


Fig. 11.14 Aplicación a la talla de dovelas de la curva catenaria según Poleni

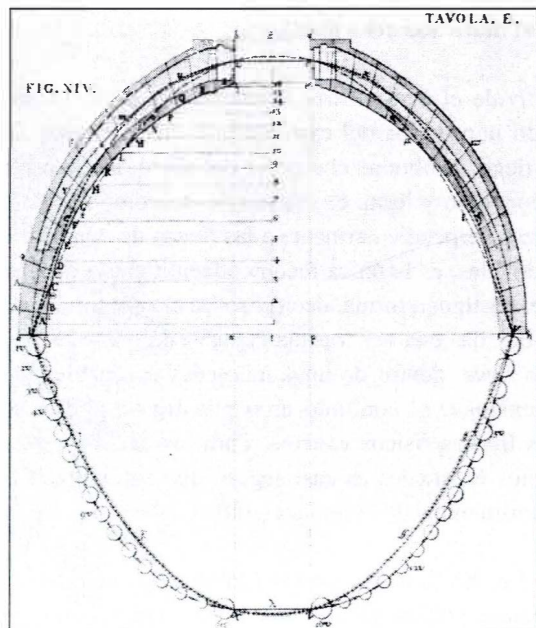


Fig. 11.15 Comprobación del trazado de la cúpula de San Pedro con la catenaria según Poleni

hará menor resistencia al peso puesto encima". A pesar de todo es el inicio del camino del análisis científico de los arcos, pero en una vertiente eminentemente teórica.

Relacionado con el dimensionamiento de los elementos arqueados se plantea el problema del dimensionado de los contrafuertes. En la tratadística española aparecen algunos intentos ingenuos de definirlos mediante métodos más o menos científicos. Según indica Rodrigo Gil de Hontañón en su tratado, la bóveda de crucería presentaba una indudable ventaja con respecto a las formas "romanas", ya que se podía definir perfectamente, con seguridad y exactitud el contrarresto que necesitaba para sostenerse en pie. Hay que tener en cuenta que más que la resistencia de las bóvedas y cúpulas, relativamente fácil de conseguir con una ejecución esmerada si se trata de luces pequeñas como indican los tratados, el problema era dimensionar los muros para que resistieran los empujes.

Los sistemas de dimensionado de arcos, bóvedas y cúpulas inmediatamente posteriores son exclusivamente gráficos.

Recogido en los tratados de Vitone, P. Derand y Berruguilla, aparece un sistema (Fig.11.11) muy simple de relacionar la forma y dimensiones de un arco con el muro que debe restringirlo.

Se divide el arco en tres segmentos iguales. Prolongando uno de los del extremo una medida igual a la que tiene, se obtiene el espesor del muro. Es de origen desconocido y hasta el sistema de descomposición de fuerzas perpendicularmente a las líneas de contacto de las dovelas, es la única recomendación cierta que permite, de alguna forma, decidir sobre el espesor de cada una de ellas una vez trazada la curva del intradós. Esta regla sirve, dentro de unos márgenes razonables para dimensionar el conjunto arco pilastra de apoyo con unos límites físicos exactos. Para las cargas y pesos propios habituales es casi seguro que se cumplen los requerimientos de la estática gráfica.

En el s. XVII se inician los cálculos por medio de la mecánica gráfica, método que resulta muy poco útil al principio debido a la poca concreción de sus postulados. La mejora consiste en que las fuerzas se represen-

tan mediante vectores proporcionales a su magnitud y con la dirección adecuada. Con estos principios desarrolla su sistema De la Hire, publicado de 1666 al 1699, que se basa en asimilar el estado de equilibrio de las dovelas al de tres fuerzas concurrentes. Se traza una horizontal por la clave y según el ángulo de las impostas se deduce la fuerza que soporta cada dovela y, a partir de una cierta altura, se averigua el empuje sobre los apoyos (Fig. 11.12), mediante algunos atajos que simplifican los puntos oscuros del trazado (Fig. 11.13). El problema de la junta del salmer lo resuelve considerando la resultante obtenida en el punto en que se parte el arco, o sea, a los 30° del arranque, y la discusión del método se basa sólo en intuiciones: para Belidor, sin que medie ninguna explicación, ese punto está en los 45°, lo que no es verdad según lo que sabemos hoy.

Pero la primera posibilidad de definir una bóveda según sistemas científicos aparece después de que Leibnitz describa la curva catenaria. En Roma se discuten las condiciones de estabilidad de la cúpula de San Pedro y Benedicto XIV encarga al marqués de Poleni, físico y arqueólogo en la universidad de Padua, un estudio que se publica en 1784. En él, Poleni relaciona esta curva con el trazado de San Pedro (Figs. 11.14 y 11.15). Si la curva está definida por el peso propio de un material que sólo trabaja a tracción, su simétrica sobre el eje horizontal garantiza que todas las secciones trabajarán sólo a compresión. Posteriormente se ha pretendido también que el trazado de la catedral de San Pablo, en Londres, reconstruida por Christopher Wren -contemporáneo de Newton, Hooke y Boyle, y al que se conocía como "el más grande geómetra de nuestros tiempos"-, en 1675, después del incendio de Londres en 1666, coincide con una aplicación muy esquemática de esta curva (Fig. 11.16). No existe constancia de este extremo, aunque, seguro que esta necesidad estuvo presente en su ánimo. En 1713 escribió: "A la aplicación de los principios de la estática y a la correcta distribución de las cargas y los estribos de los arcos se debe el éxito en la arquitectura".

Algún tipo de reflexión sobre este principio debió aconsejar la compleja organización de la cúpula de San Pablo. Está constituida por tres estructuras superpuestas: una cúpula semiesférica de 33 m de diámetro y 45 cm de espesor, en ladrillo, un cono que arranca

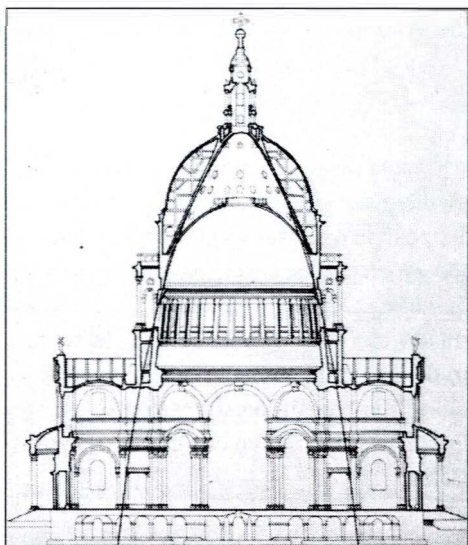


Fig. 11.16 Sección de San Pablo con la posible curva centenaria superpuesta a la estructura

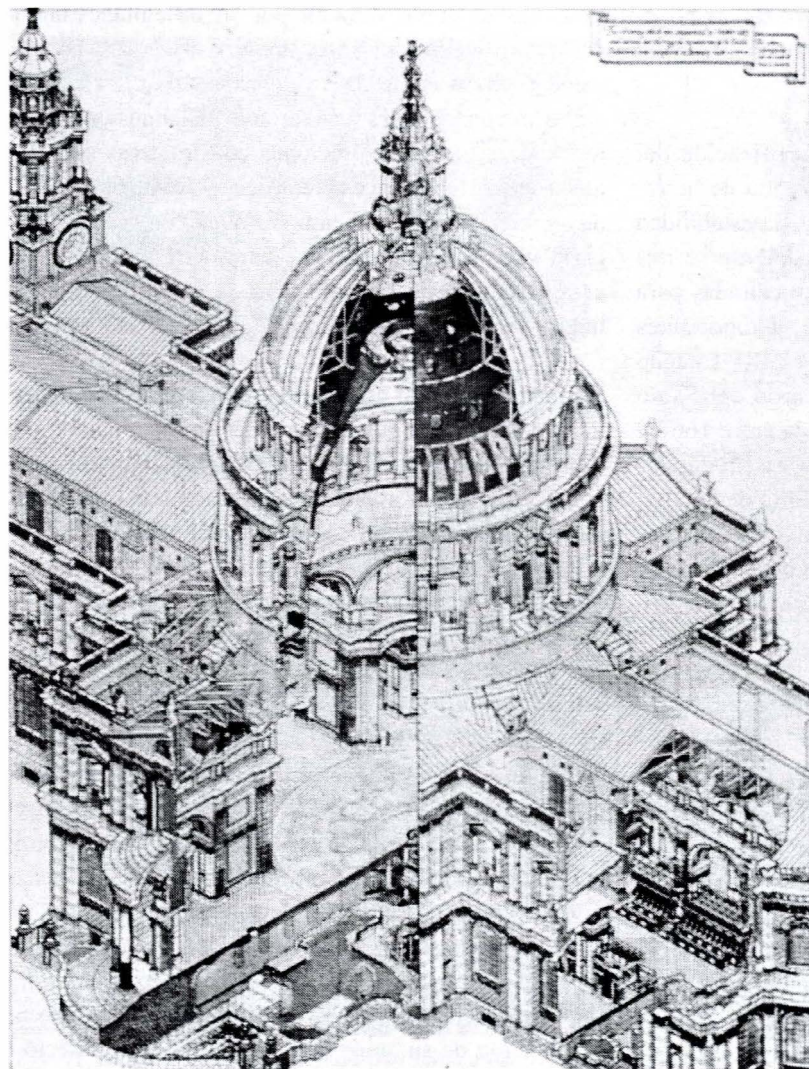


Fig. 11.17 Axonometría del esquema constructivo de San Pablo. Londres

de la imposta común con esa cúpula y que sostiene la linterna, también de ladrillo de 45 cm de espesor, en saledizo, y por último y apoyándose en este cono, una estructura de madera que soporta la cubierta exterior de plomo. La imposta de todo el conjunto está encadenada por tirantes de hierro y rellenos. El hecho de que sea el cono el que sostenga la linterna, abunda en la suposición de que trató de diferenciar las cargas y sus efectos, independizando el trabajo de la cúpula primera, regular y que sólo soporta el peso propio, del peso puntual de la coronación y que, a la manera de Brunelleschi, entendió la necesidad de convertir el conjunto en una referencia simbólica, dada la importancia de la obra en el Londres del s. XVII, montando, en el más literal sentido del término, una cúpula escenográfica sobre una estructura de madera. Esta preocupación por “aparentar” una determinada silueta le llevó a elevar las paredes del perímetro sobre el apoyo de las bóvedas interiores, simulando en el exterior un segundo piso inexistente (Fig. 11.17).

Existen muchos ejemplos de esta simplificación del proceso constructivo provocada por la falta de herramientas científicas con las que asegurar la estabilidad de las bóvedas y las cúpulas. Prácticamente se imponen las de madera más o menos estructuradas para el perfil exterior, y otras más livianas, autoportantes exclusivamente, para el interior (Fig. 11.18). Cuando se intentan otros alardes, como la Iglesia del Santo Sudario en Turín, de Guarini, construida entre 1667 y 1694 (Fig. 11.19), la escasa luz evita casi todas las complicaciones, y se consigue el equilibrio de la compleja organización de los sucesivos niveles de arcos exclusivamente con un replanteo y una ejecución muy cuidadosos.

## 11.6 La encrucijada

Ocurre que las exigencias que plantea la arquitectura al sistema constructivo a lo largo de esos doscientos años no son excesivas, por lo que es posible replantear la disyuntiva entre ambas disciplinas. El Barroco y el incipiente Neoclásico tienen de sobra con lo acopiado por la práctica desde los inicios del Renacimiento para conseguir materializar los proyectos, y pueden recurrir a soluciones de compromiso cuando el problema supe-

ra los límites de lo habitual, con unas mínimas precauciones basadas en algunas remotas consideraciones científicas.

La cuestión se plantea hacia el final del periodo, cuando los avances científicos empiezan a inquietar a los proyectistas. Es posible que esas inquietudes se hubieran manifestado en cualquier caso y se puede pretender que, de no haberse resuelto por la vía científica, hubieran originado una gran confusión ante la imposibilidad, tanto de una vuelta atrás, como de continuar con unos modelos que habían llegado casi a su agotamiento con el sistema constructivo con el que era posible materializarlos.

En realidad esa confusión estará presente en la etapa siguiente, a la que llamaremos revolución industrial, y será causada como veremos por las dificultades tanto de los arquitectos como de los constructores, entendiendo a éstos como los responsables de la ejecución de los proyectos, para generar nuevos lenguajes arquitectónicos y nuevas soluciones constructivas con los que asimilar los avances científicos y las posibilidades de un material, que si bien no es nuevo en la construcción, va a irrumpir en unas cantidades y con unas características desconocidas hasta ese momento: el hierro.

Se puede pretender que cierta arquitectura se adelanta a la construcción, por lo menos en la imaginación de espacios cuya materialización es imposible, aunque, como veremos, la evolución del proceso constructivo que se produce a partir de inicios del s. XIX no va a servir a esos supuestos sino que, como es natural, generará su propio lenguaje, por más que éste estará relacionado con todo el bagaje anterior. Los fantásticos proyectos de Boullé, de quien no se discute ni su sólida formación ni su capacidad como gran imaginador de formas y ambientes de gran calidad, intentan, mediante un hábil manejo de las escalas, desbordar los límites de lo posible en su época (Figs. 11.20 y 11.21), en un camino que después se evidenciará imposible de recorrer, tanto desde el punto de vista estético como desde el constructivo. Esos proyectos no se pudieron construir en su época, pero no van a ser construidos en ninguna otra, por lo menos en la forma en que él los plantea. Probablemente incluso en la intención de su autor sean sólo dibujos arquitectó-

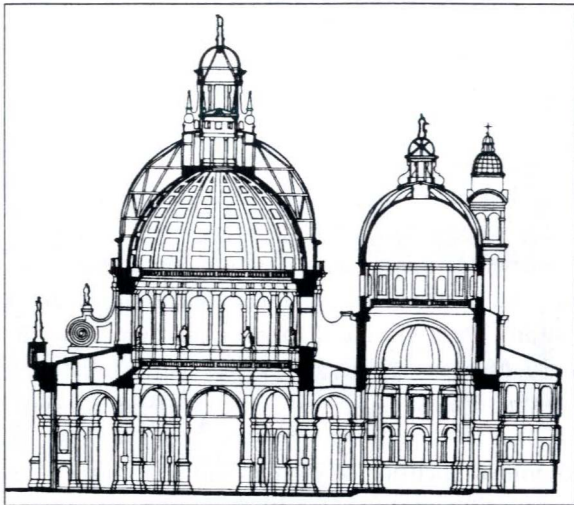


Fig. 11.18 Santa María "della Salute" de Baltasar Longhena. Venecia

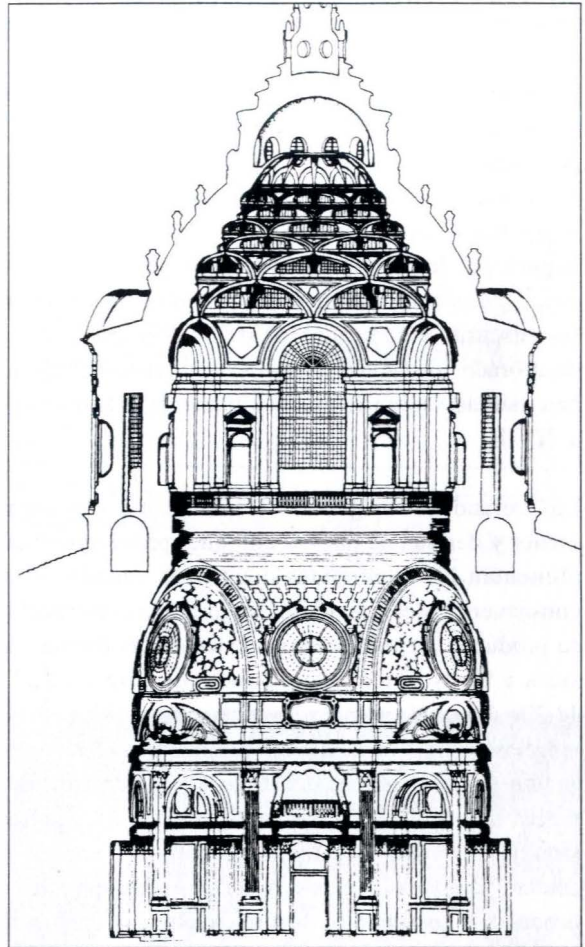


Fig. 11.19 Sección de la iglesia del Santo Sudario de Guarino Guarini. Turín

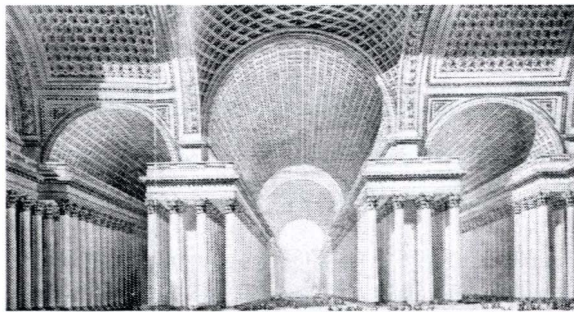


Fig. 11.20 Proyecto de Boullé para una sala de audiencias

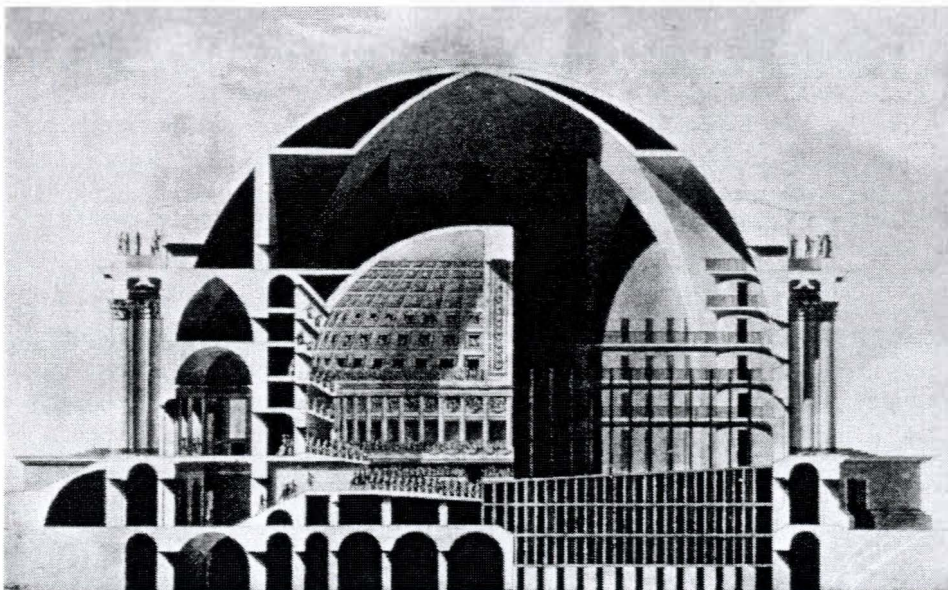


Fig. 11.21 Proyecto de Boullé para una sala de ópera

nicos sin otro interés que la elucubración formal. Cuando se dispone de sistemas para cubrir grandes luces, lo que ocurre a finales del s. XIX, las inquietudes arquitectónicas han ido por otros derroteros, y la pervivencia de las formas clásicas se produce en otros contextos que pretenden su integración en las nuevas técnicas con otros lenguajes. La construcción nunca llegará, por imposición de otros criterios arquitectónicos, a preocuparse de resolver las inmensas bóvedas, las cáscaras gigantescas de geometría perfecta, las desaforadas pirámides y las fachadas inacabables que han marcado sobre el papel su límite en la frontera del s. XVIII.

Las verdaderas exigencias se plantean a una escala menor y derivan de nuevos enfoques proyectuales que alimentan las inquietudes científicas cuando, como consecuencia del intento de “mejorar” la construcción, se producen algunas trasposiciones de las formas clásicas a otros sistemas constructivos (Figs. 11.22 y 11.23). En el Neoclásico, las trabes monolíticas de los templos griegos se sustituyen por complicadas organizaciones que refuerzan con flejes de hierro unos despieces imposibles de albañilería y cantería. La pretensión de reducir las secciones al mínimo es uno de los acicates de estos intentos, pero en esta etapa sólo se producen experimentos bienintencionados destinados al fracaso por la escasa validez científica de los postulados en los que se apoyan.

Faltan los sistemas de cálculo que determinen dónde se ha de colocar el hierro y cuánto debe colocarse. La sorprendente cualidad de este material de trabajar a tracción aún no se aprovecha de la mejor manera y todo se reduce a unos intentos, en algunos casos de cierta utilidad, para descomponer las fuerzas que actúan en la estructura, cuya magnitud aún no se sabe expresar en unidades manejables, para que sean absorbidas por esos flejes.

En todo caso conviven dos formas de enfrentarse a los problemas constructivos. Una, más intuitiva y quizás en esos momentos más eficaz, trata de encontrar en la tradición, por la pura adaptación de los sistemas y la trasposición de formas, los métodos válidos para hacer avanzar el proceso constructivo, mientras que otra pretende incorporar, quizás con excesiva urgencia, lo poco que se maneja como conocimiento científico.

Describir mal la realidad y reducirla a números erróneos es más peligroso que recurrir a la experiencia, aunque esto sea menos innovador.

Cuando Sufflot proyecta la iglesia de Santa Geneveva, según Benévolo: “En París surge un amplio debate en torno a su construcción, cuando se intenta asignar a los elementos tradicionales una función estática precisa y las dimensiones mínimas compatibles con tal función”. Para ello se dispone, como única herramienta, de mecanismos capaces de medir la resistencia de los materiales.

“La primera discusión se produjo sobre la forma, y en ella ya estuvo presente la disyuntiva entre un sistema orgánico como el gótico, textual, u otro más abstracto cargado de intenciones filosóficas y políticas”. Prevalciendo este criterio se diseñó una cúpula semisférica sobre unas columnas muy finas (Figs. 11.24 y 11.25), sin que en su determinación se pudiera aportar ningún dato científico más que una remota referencia a la resistencia a la compresión de las piedras que las componen.

Por motivos políticos ligados a la coyuntura del momento, durante la revolución se cambia el destino religioso que quiso darle Luis XVI por uno más acorde con los nuevos tiempos y se convierte en Panteón de los Hombres Ilustres.

Al aplacar los pilares con piedras duras se detectaron grietas, lo que causó una gran alarma, aunque esta posibilidad ya había sido anunciada por Pierre Patte, autor de un libelo contra la obra. La respuesta, adecuada a los medios del momento, fue bastante pobre: Aunque los responsables son arquitectos, se solicita el dictamen de los ingenieros militares que sólo pueden opinar de la resistencia de las piedras, comprobada mediante ensayos realizados en muestras cúbicas de pequeñas dimensiones. Como era de esperar el resultado fue contradictorio. Como sección la de las pilas era más que suficiente, aunque se rompieran los sillares y aparecieran grietas. Se comprueban las secciones de las pilas (Fig. 11.26) y al final, sin que nadie pudiera aportar una explicación coherente de la situación, se procedió a rellenar el intercolumnio de los apoyos, lo que no acabó de resolver el problema, pues continuó el agrietamiento.

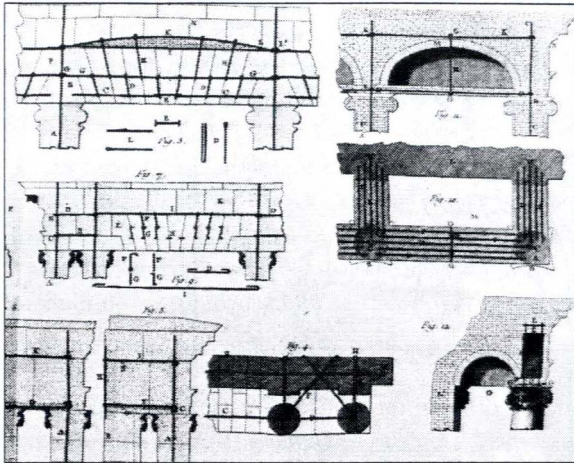


Fig. 11.22 Armadura para el orden jónico según Patte

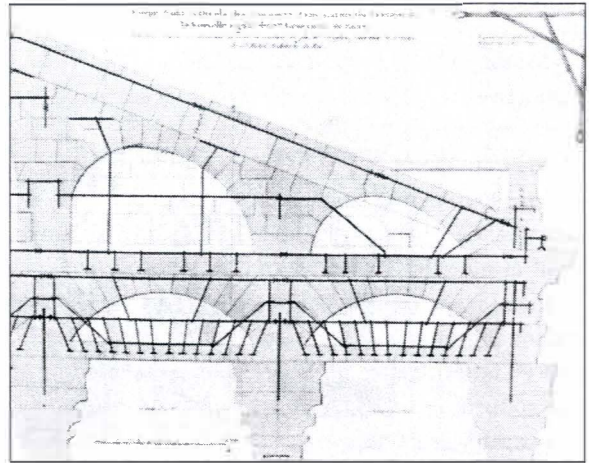


Fig. 11.23 Armaduras para los intercolumnios y los contrafuertes de Santa Genoveva según Patte



Fig. 11.24 Santa Genoveva, vista de la nave

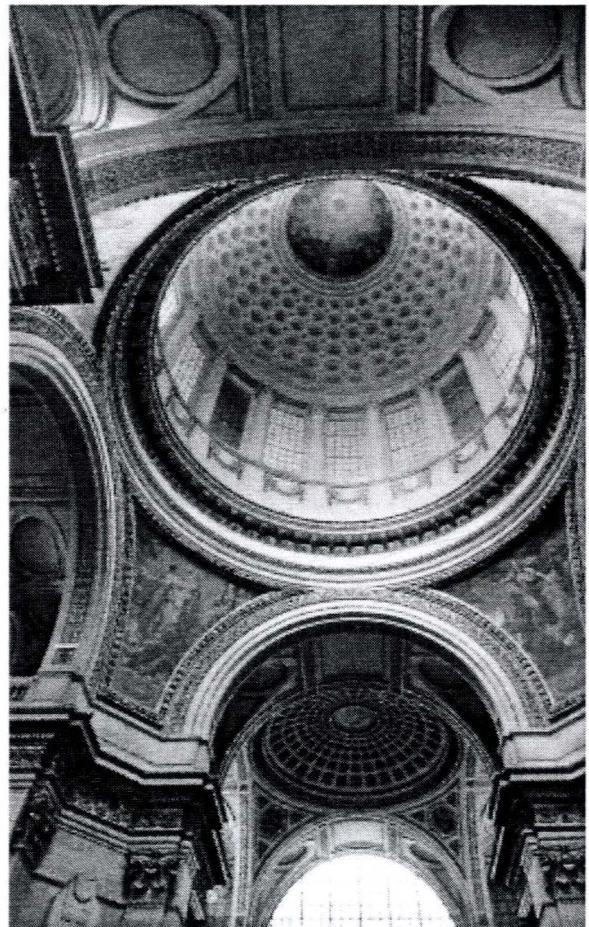


Fig. 11.25 Santa Genoveva, vista de la cúpula

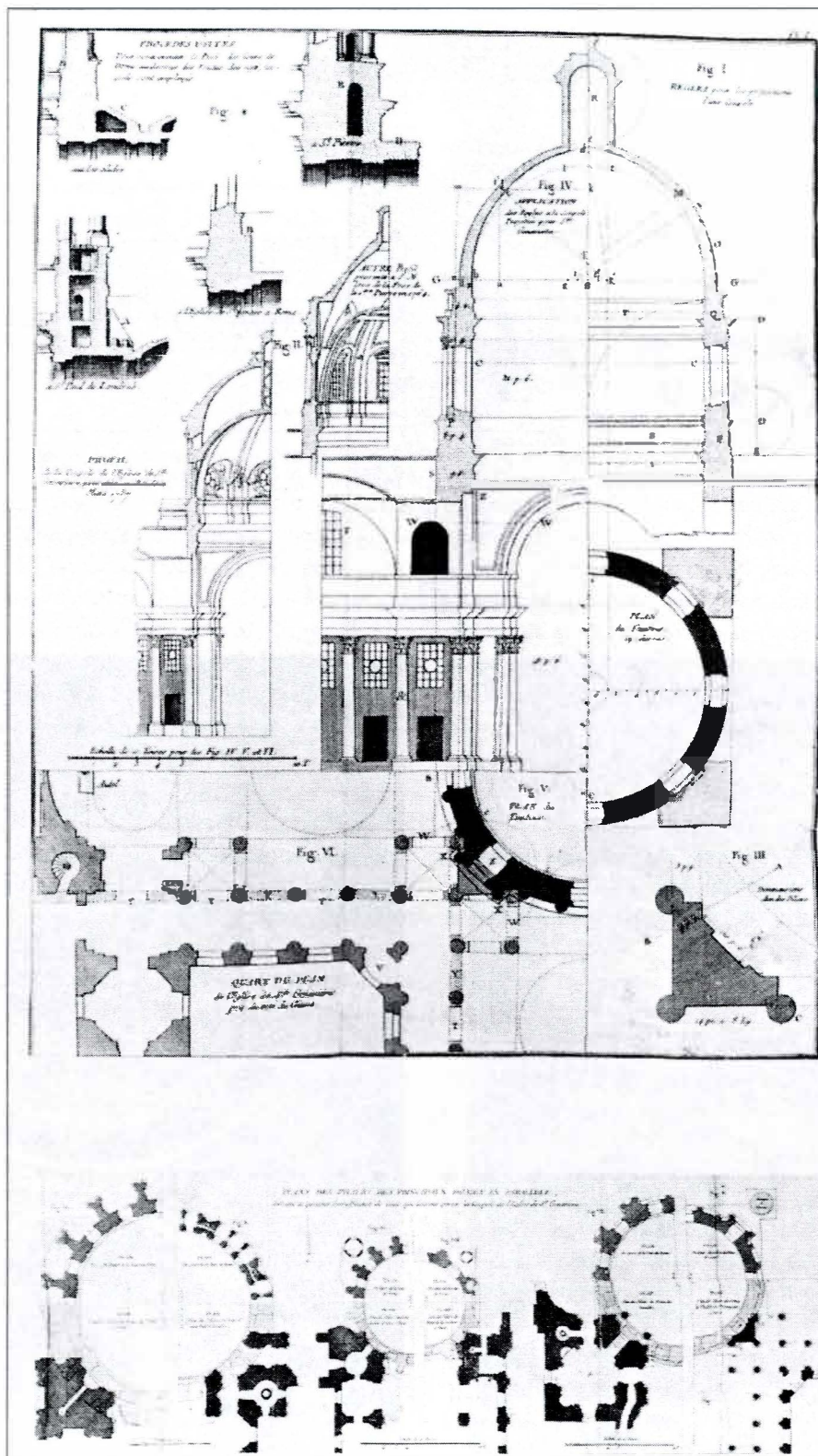


Fig. 11.26 Estudios de Patte sobre Santa Genevieve. Abajo, comparación de las secciones de las pilas con las de otras cúpula similares

El problema pudo estar en la deficiente interpretación de la resistencia obtenida en los ensayos (Fig. 11.27). Una cosa es la capacidad de resistencia a la compresión de unos dados de piedra de pequeñas dimensiones y otra la de una pila heterogénea, construida en varias fases, con sillares de mayor dimensión que las muestras y en la que, por lo tanto, las cargas descienden en mayor proporción por las zonas que tienen mayor módulo de elasticidad y que se deforman menos para la misma carga.

Por lo que respecta a la cúpula no había problemas explícitos de empujes, aunque se procedió a rigidizarla por medio de 23 flejes de hierro que actuaban de zunchos. Las hiladas estaban cosidas dos a dos, con lo que la cúpula en sí no presentaba desperfectos. Estos refuerzos, que quizás fueran útiles en un primer momento, han sufrido una degradación progresiva que contribuye decisivamente a su lamentable situación actual.

Como proceso, lo relevante es que sólo se pudo, a principios del s. XIX, comprobar la capacidad resistente de las piedras que componían los apoyos, sin que se aplicara ninguna otra teoría más real para explicar la situación. Lo cierto es que el Panteón de París, cerrado hoy al público por el peligro de ruina, a pesar de los medios dispuestos para su construcción y de los intentos de establecer datos válidos sobre los que fiar su estabilidad, es uno de los monumentos que más problemas ha presentado para su conservación a pesar de tener sólo doscientos años y 21 m de luz. El deficiente cientifismo que se pretendió incorporar a su diseño se ha revelado mucho más dañino para su durabilidad que las creativas e insensatas ignorancias medievales y renacentistas. Brunelleschi tuvo más apoyos ciertos en su oficio de albañil reflexivo e innovador y en su capacidad para adaptar soluciones ya conocidas que Soufflot en el suyo de arquitecto filósofo y calculista incompleto.

Con criterios distintos, en la misma época se construye, también en París, *La Halle au Blé* (Fig. 11.28), cuyo enfoque se hace teniendo en cuenta casi exclusivamente la facilidad de ejecución, con un resultado totalmente distinto. Se construye un edificio circular, de dos plantas y una cúpula central, según un proyecto de Le Camus de Mezieres (Fig. 11.29).

El forjado de las plantas anulares se construye con unos arcos radiales de piedra sobre los que descansan unas bóvedas de crucería de ladrillo, y la segunda planta está cubierta por una bóveda tórica apuntada (Fig. 11.30). El edificio se queda pequeño muy pronto y se decide ampliar su capacidad cubriendo el espacio central. Se convoca un concurso al que Le Camus de Mézières presenta un proyecto de cúpula en la línea clásica (Fig. 11.31), en el que está muy poco justificada la estructura, donde aparecen unos mínimos contrafuertes que restriban sobre un muro anular, y una cúpula cuyo pequeño espesor tampoco se justifica con ninguno de los sistemas conocidos en la época, a la manera de Boullé, aunque según los datos del proyecto estaba prevista en albañilería.

Se presentan otros proyectos (Fig. 11.32), todos de clara factura neoclásica, y con una notable falta de concreción sobre los sistemas constructivos a emplear. El de Rondelet no contempla, en la pureza de su trazado, ningún tipo de refuerzo o contrarresto para una cúpula de un espesor inexplicable (Fig. 11.33). Después de una gran polémica gana el concurso el proyecto de Legrand y Molinos con una fórmula absolutamente novedosa que consiste en unas costillas de madera que soportan la cubierta y los lucernarios, apoyadas simplemente sobre el perímetro interior del anillo estructural, y que margina el aspecto formal centrando el problema en la eficacia y la economía de la solución. Conviene no perder de vista situaciones como ésta a la hora de enjuiciar determinadas tendencias artísticas. Los arquitectos a veces se empeñan en diseñar formas inconstruibles, desligadas de los sistemas constructivos que las hicieron posibles en todos los aspectos, no sólo en el técnico, y se estrellan contra la, en algunos casos, mayor racionalidad de la exigencia simple de espacios útiles.

Los autores se inspiran, según los datos, en unos dibujos de Philibert de L'Orme, autor de un tratado sobre construcción, en el que aparece un sistema (Figs. 11.34, 11.35) para la construcción de formas arqueadas mediante la mínima seriación posible con el único material disponible capaz de resistir esfuerzos de tracción: la madera. Se trata de unas piezas curvadas de pequeña dimensión, que se ensamblan con unas tijas, también de madera (Fig. 11.36). Con este sistema se aprovechan mejor los troncos que si se cortan en gran-

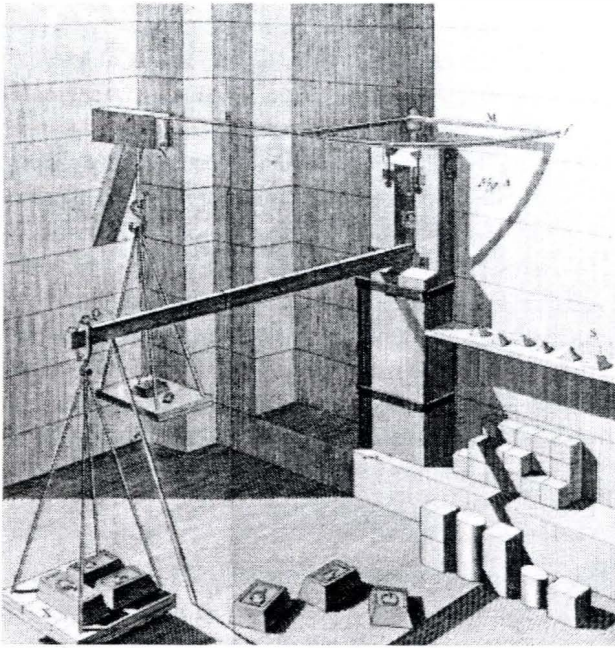


Fig. 11.27 Máquina para ensayos a compresión de las piedras usadas en Santa Genoveva

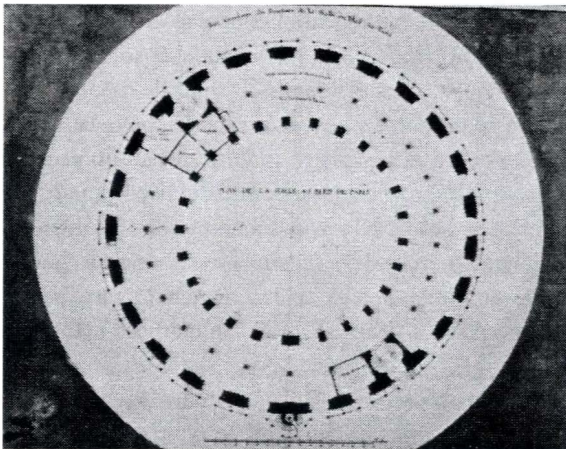


Fig. 11.29 Planta de le Camus de Mézières para "La halle au blé"

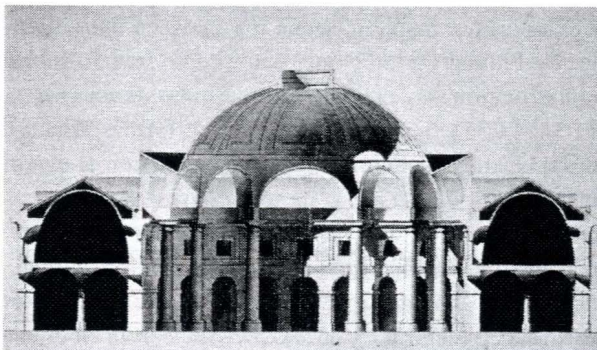


Fig. 11.28 "La halle au blé"

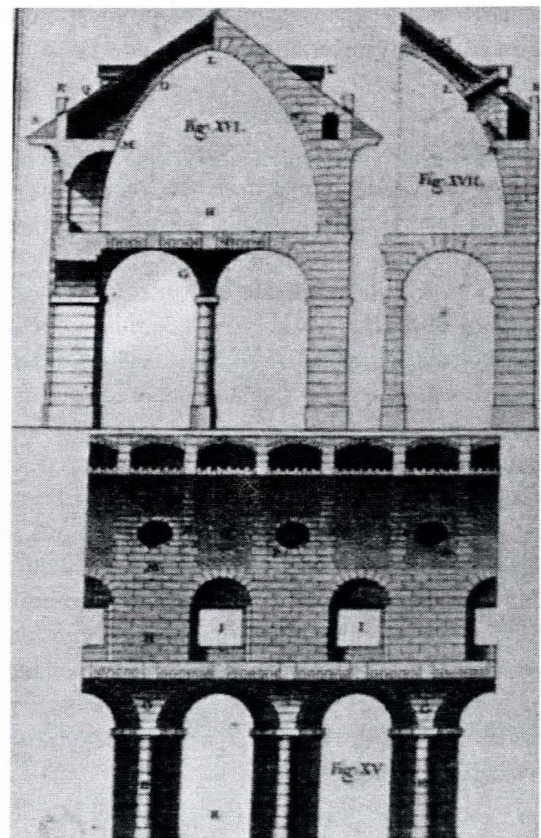


Fig. 11.30 Sección de la estructura de "La halle"

Fig. 11.31 Proyecto de le Camus de Mézières para cubrir el espacio central de "La halle"

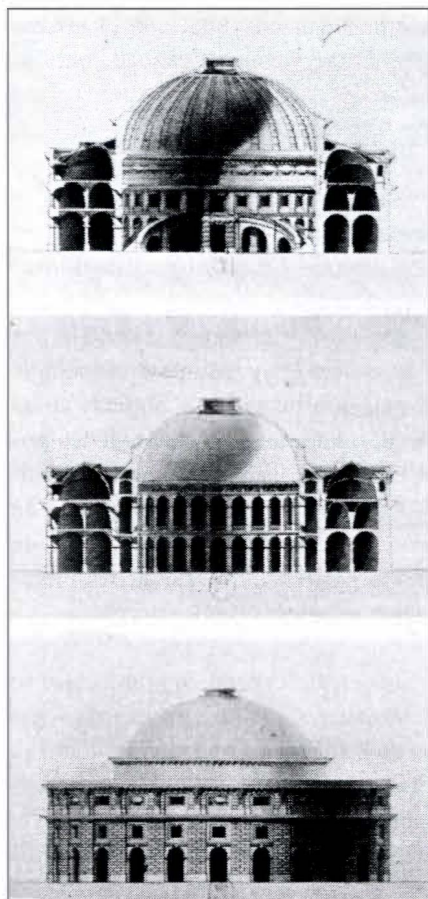


Fig. 11.32 Proyectos de J.D. Antoine para cubrir el espacio central de "La halle"

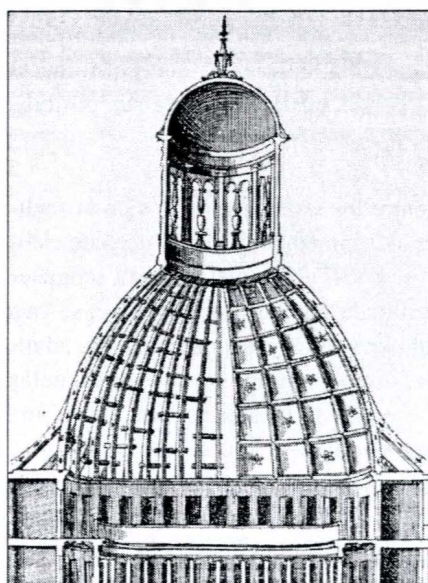


Fig. 11.35 Cubierta curva apuntada con linterna de Philibert de l'Orme

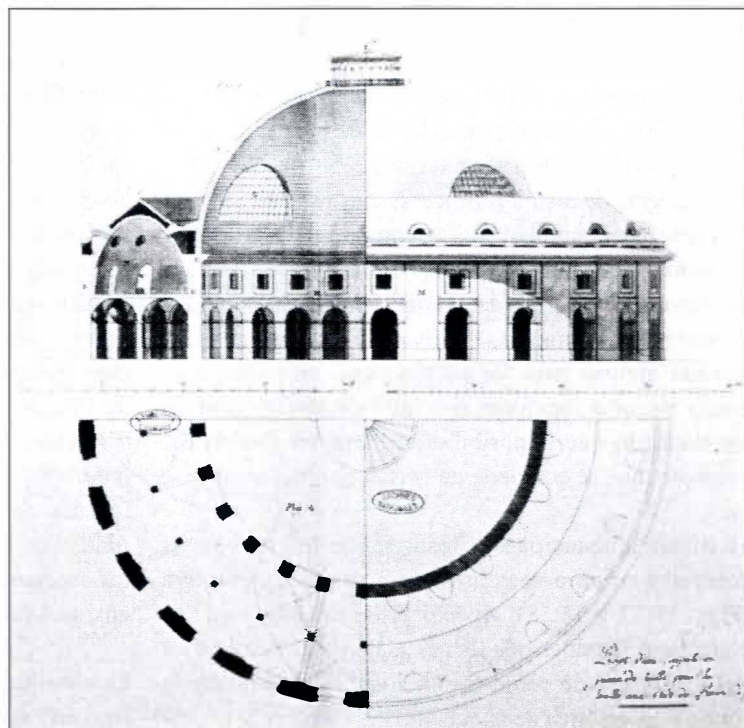


Fig. 11.33 Proyecto de Rondelet para cubrir el espacio central de "La halle". La bóveda debía ser de piedra.

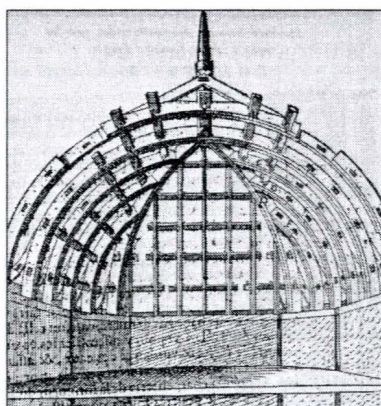


Fig. 11.34 Cubierta curva de perfil variable de Philibert de l'Orme

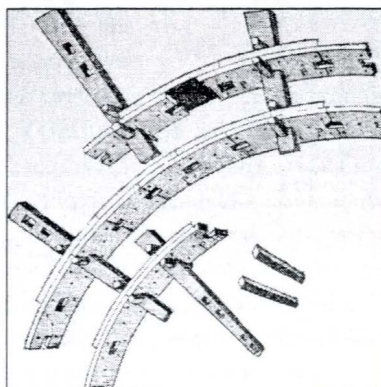


Fig. 11.36 Piezas de madera ensambladas con tijas de Philibert de l'Orme

des escuadrías o tablonos, se pueden almacenar piezas con distintos radios y se pueden armar formas con menos manipulación en obra. Desde el punto de vista de la resistencia su poco peso las hace muy útiles para cubiertas sin sobrecargas excesivas. Se pueden mezclar maderas de distintas procedencias mientras tengan una resistencia similar, y el hecho de que sean piezas pequeñas independientes aunque ensambladas reduce las deformaciones que las variaciones de la humedad provocan en la madera. Philibert de l'Orme las recomienda incluso para forjados, lo que no parece que pueda llegar a funcionar por falta de continuidad en las testas, lo que imposibilita el trabajo a flexión del conjunto, que se convierte en cortante sobre las tijas.

Mediante adaptaciones y resolviendo los problemas concretos en obra se construye la solución definitiva (Figs. 11.37 y 11.38). Apenas provoca empujes y los conectores laterales que ligan cada costilla con la contigua suponen un refuerzo adicional que completa la forma semiesférica de la cubierta.

Como todos los elementos construidos en madera, desde las primeras cubiertas románicas a los grandes encaballados que veremos formar parte del repertorio constructivo de inicios del s. XIX, la estructura de *La Halle* mostró su debilidad en 1802, cuando ardió en unos pocos minutos.

Para reponerla se decide usar el hierro, que para entonces comienza a ser de uso bastante común en puentes y otras obras de infraestructura. Se presentan diferentes proyectos, el de Pierre Patte incluso, a la manera romana, con lonas (Fig. 11.39). La solución adoptada fue la propuesta por Belanger (Fig. 11.40) y consistió en una cubierta semiesférica de fundición que mantiene, casi, el mismo esquema que tuvo la de madera.

La sustitución de unas costillas por otras se efectúa directamente, sin cálculos, adaptando los detalles de recibido y estableciendo las secciones sobre una cierta similitud formal. Los semiarcos metálicos se juntan en la clave, y sobre ellos se apoya una armadura secundaria que soporta el cristal de iluminación y el material de cubierta. (Fig. 11.41). A pesar de todo, el edificio ardió con posterioridad al cambio de la cubierta, pero la actual Bolsa de Valores (Fig. 11.42), construida por

Blondel en el mismo lugar en 1888, con el mismo esquema de cubierta conserva aún su calidad confusamente neoclásica.

La primera conclusión que se puede sacar de estos acontecimientos es que, aunque no coinciden en el tiempo el nuevo material, el hierro, cuyas aplicaciones se presienten, y los sistemas para establecer un dimensionado que garantice su comportamiento como material estructural, su uso es relativamente posible por pura sustitución de materiales y transposición simple de formas. Algo parecido ocurrirá en algunas construcciones ingenieriles. La gran innovación de los primeros puentes metálicos consiste únicamente en sustituir las dovelas de piedra por otras más ligeras de fundición. El gran avance técnico no será el cálculo de las secciones, sino la posibilidad de fundir las piezas en una sola operación y darles la rigidez necesaria.

La solución adoptada en el depósito de granos, que se basa en experiencias previas con madera, es más segura que la utilizada en Santa Genoveva, donde, como ya hemos dicho, la falta de métodos válidos para describir la realidad y adaptar a ella la solución constructiva, conduce a un callejón cuya salida aún hoy se ve difícil.

Esto no significa que la sustitución de un material por otro sea el mejor método posible, sino que para que cualquier nuevo material encuentre su lenguaje arquitectónico es necesario que se disponga de las formulaciones, o la experiencia suficiente, que permitan el aprovechamiento de sus cualidades y de sus posibilidades expresivas.

Esta disyuntiva entre los sistemas basados en la tradición constructiva más inmediata y la balbuceante ciencia de finales del s. XVIII como método para acometer el importante cambio de ritmo que se presiente, se va a resolver temporalmente en la práctica por la vía administrativa. Se crean en Francia, como dos escuelas separadas, la que entiende la arquitectura como una disciplina artística y la que se ocupa sólo de los problemas ingenieriles del proceso. Casi todos los estudiosos achacan a esta fórmula la inseguridad de la arquitectura en la primera mitad del s. XIX. Es verdad sólo a medias. Uno de los grandes innovadores de los procesos constructivos va a ser jardinero: Joseph Pax-

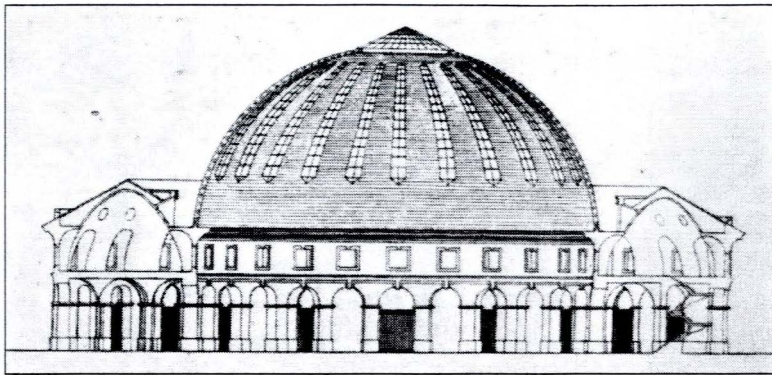


Fig. 11.37 Cubierta de costillas de madera ensamblada de Legrand y Molinos para "La halle"

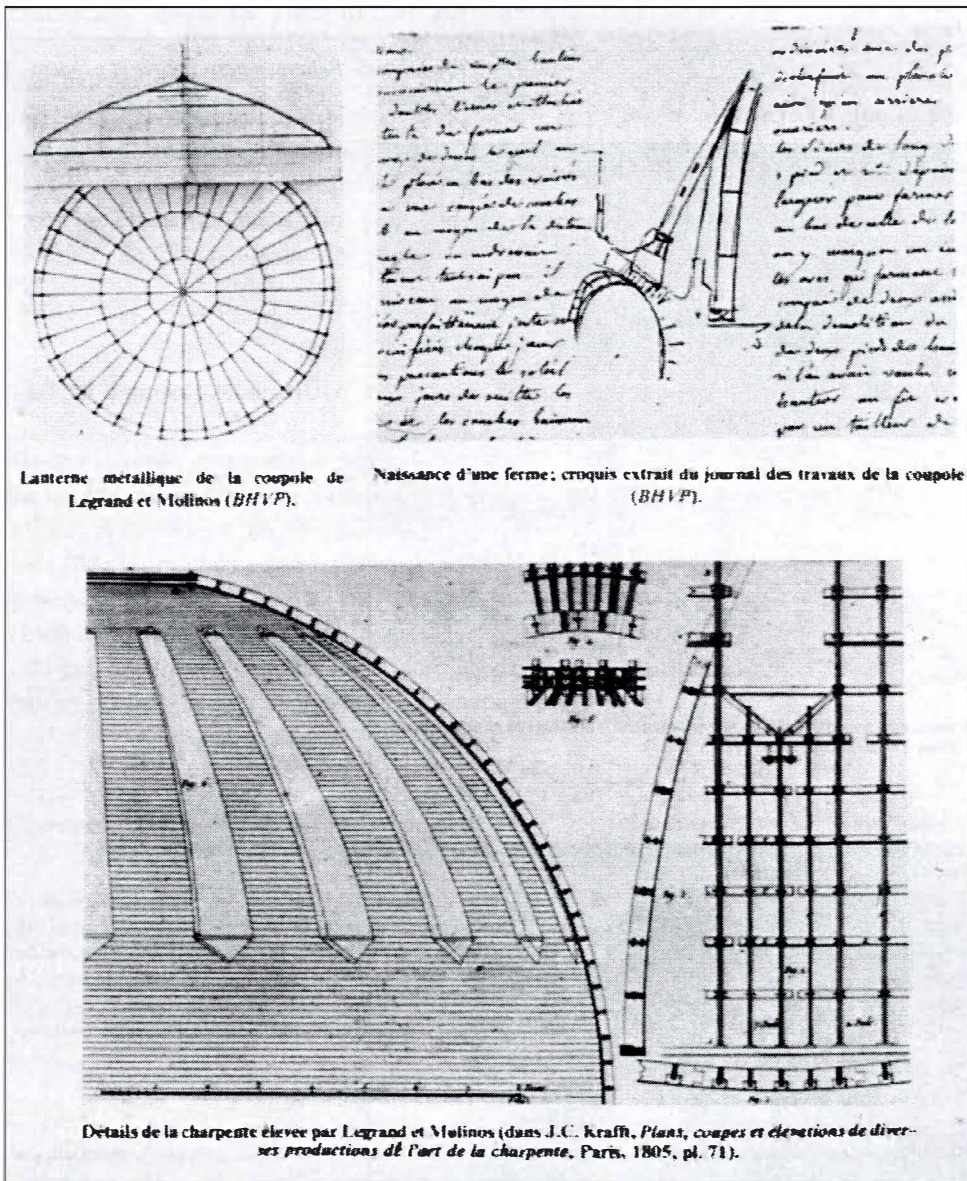


Fig. 11.38 Cubierta de Legrand y Molinos para "La halle". Detalles

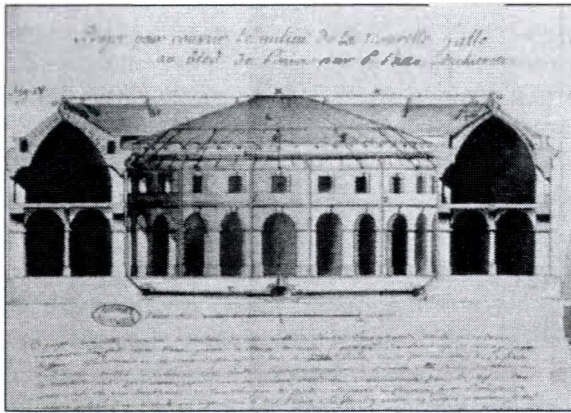


Fig. 11.39 Proyecto de P. Patte para cubrir con lona el espacio central de "La halle"

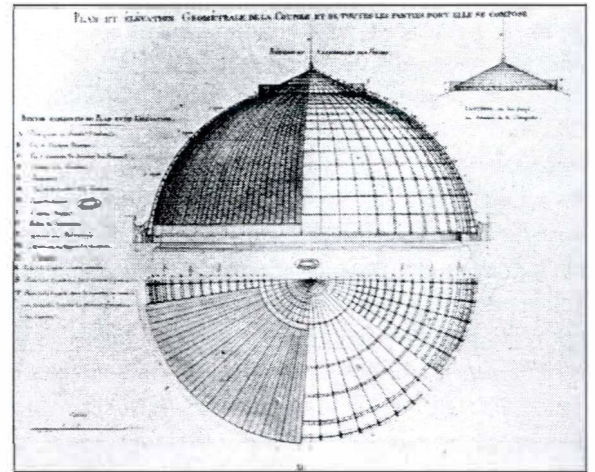
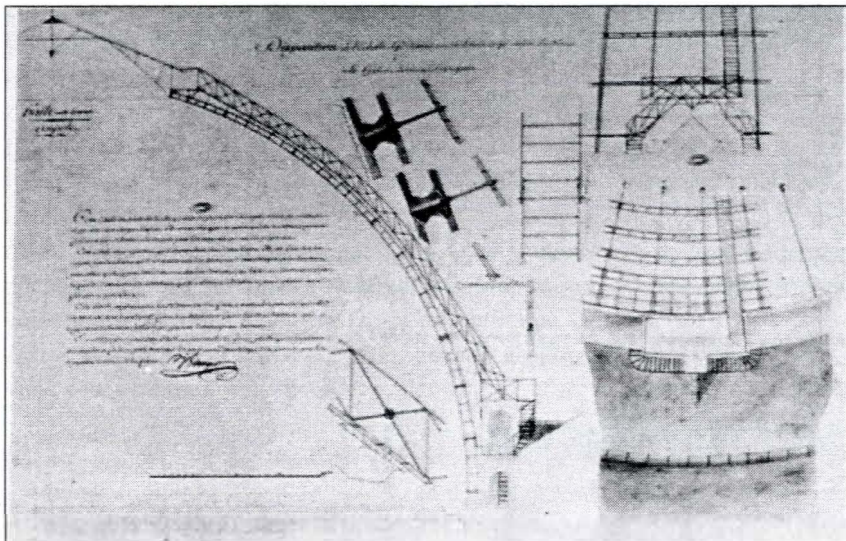


Fig. 11.40 Proyecto de Belanger para cubrir el espacio central de "La halle"



F.J. Belanger, développement d'une ferme avec l'échelle de service menant à la lanterne et détail du système d'assemblage (AN, N115 1067).

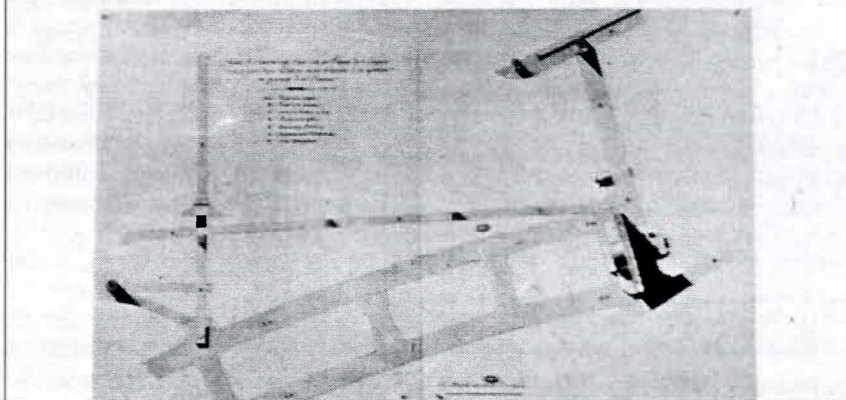


Fig. 11.41 Cubierta de Belanger para "La halle". Detalles

ton, creador del Crystal Palace para la Exposición Universal de Londres de 1851, edificio en cuya construcción se utiliza por primera vez casi exclusivamente el hierro y el cristal con un resultado realmente espectacular. El hormigón armado aparece por primera vez en una barca, patente de Joseph-Louis Lambot, y comienza a desarrollarse a partir del "invento" de otro jardinero, Joseph Monier, quien patenta unos "cajones transportables en hierro y cemento aplicables a la horticultura".

Lo que ocurre es que ni ingenieros ni arquitectos han acumulado todavía los conocimientos suficientes, los conceptos sobre la creación arquitectónica aún arrastran muchas rémoras culturales muy importantes y el mercado, cuyos dictados se olvidan con frecuencia y que es un factor determinante a partir de finales del s. XVIII, aún no ha puesto a disposición de los constructores los elementos necesarios para que el hierro se incorpore de forma inmediata al proceso.

### 11.7 El legado precientífico

Hemos llamado a esta etapa precientífica, por lo que su legado debería ser una ciencia. Este encadenado lógico, sin embargo, no es totalmente cierto. Lo precientífico en la práctica se reduce a la actitud ante el proceso constructivo, ya que las formas no van a ser compatibles con la ciencia de la construcción que se está gestando y que va a dar lugar, después de un trabajoso proceso de casi cien años, a un lenguaje archi-

tectónico radicalmente nuevo. El neoclasicismo va a estar presente como un historicismo más en ese proceso, pero no en exclusiva, y demostrando en algunos tramos su desfallecimiento como recurso arquitectónico ante las exigencias del nuevo material, el hierro, y de los sistemas de dimensionado basados en fundamentos científicos. El gótico, cuyo rescate como gran arte se comienza a producir a finales del s. XVIII, va a ser, curiosamente, el estilo que más va a aportar al desarrollo de las bases ideológicas necesarias para integrar en la arquitectura el concepto de estructura que se genera a partir de las nuevas técnicas.

Los descabellados proyectos de Boullé y de Herault, que se pueden considerar una meta proyectual del estilo, a la manera en que lo son las últimas catedrales góticas, no pudieron ser construidos en su momento, pero a nadie volvió a interesarle construirlos después. Las formas neoclásicas llegan a su límite formal sin exigir al sistema constructivo otras novedades que no sean una mayor seguridad en la sustitución de los entablamentos por macizos mixtos de albañilería y cantería, una inquietud relativa por la definición de las condiciones de estabilidad de las cúpulas y un repertorio de acabados perfectos.

Lo que pervive de esa época, además naturalmente de los avances científicos que se incorporarán más tarde a la ciencia de la construcción, es, precisamente, lo que no es específicamente suyo: las técnicas de la albañilería que rescató y devolvió a la arquitectura el Renacimiento.

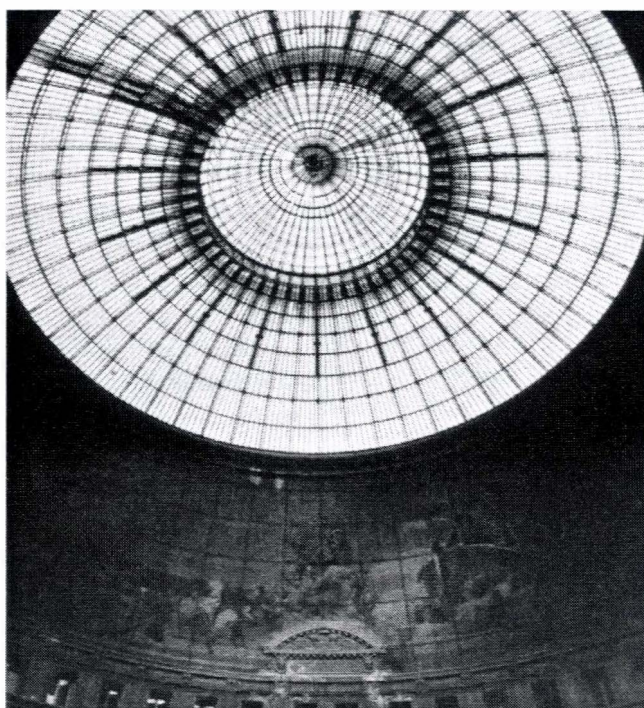
#### Apéndice

*Como ejemplo de los sistemas seguidos en el dimensionamiento de los elementos constructivos de esta etapa, reproducimos a continuación unos datos suministrados por Fernando Marías en su libro *El largo siglo XVI*.*

*Los sistemas de cálculo de contrarrestos.*

*Como demostrara Kubler, a partir del testimonio de Gil de Hontañón, en España se utilizaba un método preciso para calcular los contrarrestos de las bóvedas de crucería, basado en la medida de las longitudes lineales de los arcos que formaban parte de las bóvedas estrelladas. Si se simplifica se llega a la siguiente ecuación:  $\text{estribo} = 2,9 \sqrt{\text{cuadrada del radio}}$ . El cálculo exacto queda facilitado si se usa una bóveda con todos los arcos de la misma*

*curvatura. Basándose en este mismo texto, Kubler calculó los contrarrestos de una bóveda de cañón que, corregidos por Hoag, dieron como resultado la relación 2,04 entre el estribo y el radio "Según esto, una bóveda de crucería requeriría un estribo de aproximadamente el ancho de un tercio de la nave, mientras que una bóveda de cañón necesitaría solamente una cantidad situada entre un cuarto y un quinto de la anchura de esa misma nave". No obstante, no parece haber sido éste el uso común para el cálculo de bóvedas que no fueran de crucería, pues el propio Rodrigo Gil escribía en su tratado: "Probado he muchas veces a sacar razón del estribo que abra menester una qualquiera forma y nunca hallo regla que me sea suficiente, y tambien le he probado entre arquitectos españoles y estrangeros, y ninguno parece alcanzar verificada regla, mas de un solo albedrío; y preguntando por que sabremos ser aquello bastante estribo, se responde por que lo a menester, mas no por que razón. Unos le dan el 1/4 y otros por ciertas lineas ortogonales lo hacen y se osan encomendar a ello.*



*Fig. 11.42 La Bolsa de París, construida en 1.888*

---

teniendolo por firme". En las bóvedas modernas era necesario fiarse sólo de la experiencia constructiva de los arquitectos. Como demostración de la falta de acuerdo, fray Lorenzo de San Nicolás atribuía diferentes contrarrestos, para bóvedas modernas, según el material empleado. Para bóveda de piedra, el muro tendría  $1/3$  del ancho de la nave y sólo  $1/6$  si se empleaban estribos, ocupando estos otro  $1/6$  hasta completarse el  $1/3$  de "uso común".

Si se hacían bóvedas de rosca de ladrillo, el muro ocupaba  $1/4$  ( $1/7$  si el estribo llegaba hasta la primera fracción). En cambio, si se utilizaban bóvedas de ladrillo tabicado, el muro podía reducirse hasta menos de  $1/5$  y los estribos podían no ser necesarios (15). Pedro de la Peña, un maestro que también escribiera por estas fechas un tratado de bóvedas hoy perdido (16), estaba hacia 1630 de acuerdo con el religioso agustino (17). Esta opinión se enmarcaba en una polémica sostenida con el arquitecto jesuita Pedro Sánchez y a través de este pleito se nos informa que, siendo problema muy importante para los constructores del siglo XVI, hasta "los maestros del escurial escribieron un breve tratado", hoy desconocido, sobre el tema. Pedro Sánchez, frente a Peña, había proyectado para una de sus obras unos muros de solamente  $1/9$  de ancho y esta propuesta escandalizaba en sumo grado a su crítico. El jesuita replicaba y se defendía indicando que las medidas de los tratadistas eran para bóvedas de piedra, no para tabicadas y que, al usarse éstas, "se puede hacer en paredes mas delgadas como tenemos esperiènzia de todas las obras que se an fabricado a lo moderno en Madrid que es donde mexor lo an entendido de toda España de 100 años a esta parte que se an adelgazado todos los costes y perfezionado y fortalecido muchisimo mas de lo que dicen los autores". Y en su defensa concluía con ejemplos extraiados no de la tradadística sino de la practica española contemporanea (18): "... y las bobedas son mas fuertes como esta hordenado que no de rosca de ladrillo y si ovieran de ser las dichas bobedas de canteria la fortificación

diferente y costara mucha mas cantidad lo que acota con el tratado del Escurial no se como lo dize pues si de mas della y de las cosas de esperiènzia que no las a visto pudiera verlos para decir lo que dize. Los pilares de San Pedro Martir de Toledo es mas ancho este edeficio que no este y no tiene mas que tres pies de grueso y ban de canteria hasta la corona de los arcos y de alli su pared encima dellos hasta lo alto que es mas alta que no alta otra y las nabes de los lados del mismo modo y esta muy bueno y a mas de 23 anos y esta para mas de 300 anos de la misma manera estara en Madrid San Sebastian y el conbento de Atocha y otros muchos que se bean a la vista a esto podran satisfacer los maestros que lo entienden". Como árbitro, intervino en la polémica el arquitecto de las obras reales Juan Gómez de Mora, y éste dictaminó que la iglesia debía levantar unos muros de  $1/6$  del ancho de la nave. En resumen, que el cálculo se basaba en la experiencia práctica de los constructores, que las bóvedas tabicadas se defendían encarnizadamente, no sólo como más fuertes que las de rosca de ladrillo, sino también como mas ahorrativas, aunque no se estuviera de acuerdo sobre la cantidad de ahorro que se desprendía de su empleo, y, por último, que este tipo de bóvedas eran en 1630 de uso relativamente reciente, al aducirse ejemplos sólo de obras realizadas a comienzos del siglo XVII. Sin embargo, desde antes de la segunda mitad del Quinientos se usaban estas bóvedas en algunas zonas españolas y este "nuevo" tipo de abovedamiento, en realidad, suponía quizá la mayor innovación técnica que la centuria había proporcionado a la historia de nuestra arquitectura.

Todas estas formulaciones se enuncian sin ninguna base científica que las apoye y si se admiten como resultado de constataciones empíricas, hay que convenir su poca utilidad al no estar relacionadas en ellas las características de los elementos, como la calidad de los morteros y las piedras, el aparejo y otros extremos que pudieran servir para "reproducir" las condiciones de trabajo.



## 12 La construcción arquitectónica en el s. XIX

### 12.1 El escenario

Aunque fijar las fechas en las que se producen los grandes cambios en la historia suele ser un convenio, los inicios del s. XIX son realmente una frontera entre dos épocas muy distintas. Evidentemente este cambio se viene gestando a lo largo del s. XVIII, su evolución se va a prolongar durante todo el s. XIX y, posiblemente, en algunos aspectos dure hasta nuestros días, pero lo cierto es que, incluso restringido a la construcción arquitectónica, en esas fechas se producen modificaciones de mucha importancia.

El cúmulo de circunstancias que provocan esta situación y las que se generan por su causa es realmente complejo, aunque es posible establecer la relación de las más directamente relacionadas con la construcción arquitectónica. El orden de su enumeración no supone su jerarquía ni su importancia en el proceso, ya que éste se debe entender completo. La interacción de los datos que definen los sistemas históricos es sumamente compleja en cualquier caso, pero en el que nos ocupa es realmente intrincada.

Esta relación, simplificada y esquemática, puede ser la siguiente:

1) El intento de aplicar las teorías científicas a casi todos los aspectos de la actividad cotidiana, incompleto y deficiente en muchos aspectos en los inicios del siglo, pero casi completo, por lo menos en el rigor de sus exigencias, en la forma en que lo conocemos hoy a sus finales.

2) La implantación de los procesos industriales en la fabricación de todos los productos susceptibles de comercio, entre los que no podían faltar los materiales

de construcción. Esta circunstancia y sus consecuencias en la vida cotidiana es quizás la más sobresaliente desde el punto de vista sociológico, y es la que le da el nombre genérico a la época.

El proceso de industrialización genera su propia mecánica, como parte del proceso económico que debe ser satisfecha con perfeccionamientos y novedades, y aparece la figura del inventor, en algunos casos con aportaciones que realmente han supuesto avances de importancia en el desarrollo de la actividad humana. La nómina se nutre de científicos, técnicos y a veces personas imaginativas con escasa formación, pero en todo caso sus trabajos conforman en gran medida el mundo tal y como se conocía hace veinte años, fecha a la que podemos recurrir para señalar el inicio de los efectos prácticos de la aplicación a la vida cotidiana de los avances conseguidos en la "carrera espacial", cuyo efecto más visible puede que sea la revolución informática.

La fiebre de la invención se contagia a todos los ámbitos con resultados notables. El motor de vapor, la hélice, los barcos de hierro, las hilanderías y los mecanismos transmisores de energía y movimiento, figuran entre esos inventos que simplificarán la vida cotidiana.

Por lo que respecta a la construcción, los inventos realmente novedosos no son excesivos, y lo más importante es la actitud pretendidamente científica en el enfoque de algunos procesos de producción. No obstante también se va a beneficiar del ambiente de la época: Wilkinson soluciona los problemas del fundido de grandes piezas de hierro, y en 1853 Elisha Graves Otis patenta el ascensor con paracaídas, sin cuya existencia no es concebible el desarrollo en altura de los edificios. También se pueden suponer incluidas en

este apartado las mejoras en la fabricación y comercialización del hierro y sus derivados. -el acero se inventa en 1855-, pero lo cierto es que estas mejoras se potencian, fundamentalmente, por el desarrollo industrial y de los transportes más que por el del proceso constructivo.

La aplicación de los procesos industriales a la fabricación de otros materiales, como la cerámica, la cal, el yeso y los cementos naturales, el trabajo de talla y pulimento de las piedras, etc., aunque no se inicia exactamente en el s. XIX, durante ese periodo va a conseguir unas cotas de eficacia notables que sólo se superarán con la aplicación de las tecnologías informáticas. En la actualidad este proceso no siempre trata de mejorar la calidad sino de conseguir el abaratamiento de los costes de producción.

**3)** La casi repentina urbanización de gran parte de la población agrícola, en un proceso que aún continúa hoy en los países que pretenden incorporarse a la realidad de nuestra época. Este proceso de urbanización, que se corresponde con una gran explosión demográfica, supone un aumento extraordinario de la demanda de construcción, tanto de viviendas como de infraestructuras.

Las condiciones de esa demanda son resumidas por Benévolo: "El incremento demográfico y el industrial se influyen a su vez de modo complejo. Algunas de las mejoras higiénicas se derivan de la industria. Por ejemplo, la mejor alimentación se debe a los progresos en el cultivo y los transportes, y el aseo personal se ve favorecido por la mayor cantidad de jabón y mudas de algodón a bajo precio -la industrialización provoca un cambio sustancial en las magnitudes de los productos puestos a disposición de las gentes: el consumo de algodón pasa de de 4.000.000 a 270.000.000 libras en 40 años-; las viviendas resultan más higiénicas por la sustitución de la madera y la paja por materiales más duraderos, y más aún por la separación de la casa y la fábrica. Se realizan alcantarillados y traídas de agua más eficientes, gracias al progreso de la técnica hidráulica, etc. Pero las causas decisivas son, probablemente, los progresos de la medicina, que producen sus efectos también en países europeos no industrializados, donde de hecho la población aumenta en este periodo por el mismo mecanismo".

"A su vez, la necesidad de alimentar, vestir y dar cobijo a una población reciente es ciertamente uno de los motivos que lleva a la producción de manufacturas, pero podría también producir un simple descenso del nivel de vida, como sucedió en Irlanda en la primera mitad del siglo XIX, y como sucede todavía en Asia."

**4)** La disponibilidad en cantidades importantes y con calidad controlada del hierro como material de construcción.

A finales de siglo se van a establecer, casi simultáneamente en todos los países industrializados, las primeras fábricas de cemento Portland, lo que provocará una segunda revolución en los sistemas constructivos.

**5)** La aparición de fuentes de energía -motores-, de uso fácil y adaptables a las necesidades cotidianas, que hasta ese momento sólo han podido cubrirse mediante el trabajo humano o animal. La consecuencia más inmediata es la aparición del transporte como una actividad industrial mecanizada, lo que posibilita y potencia los procesos industriales y la posterior comercialización de los productos.

**6)** Como resultado a la vez que como un poderoso incentivo de todo el proceso, se produce una gran demanda de infraestructuras. Este desarrollo presiona sobre la técnica, ya que es imprescindible definir las condiciones de trabajo de los elementos necesarios para construir esas infraestructuras, desde las vías a los puentes pasando por las máquinas, y se desarrollan sistemas de cálculo y dimensionado de los elementos metálicos.

La interacción entre estas circunstancias es evidente. Las concentraciones humanas necesarias para la producción industrial presionan sobre la demanda de construcción y la capacidad de producir obliga a abrir nuevos mercados, lo que genera a su vez una mayor demanda de transportes. Cada nueva posibilidad origina un problema que acelera el proceso, dinamizándolo de forma que su evolución no se puede considerar acabada aún hoy, por más que la modificación de algunos aspectos inmediatos en su desarrollo lo haga aparecer de forma distinta en los países que, con evidente retraso, lo pretenden iniciar o continuar en la actualidad en un marco mucho más dificultoso.

## 12.2 El hierro

### 12.2.1 El hierro como material de construcción

En mayor o menor medida el hierro se ha usado en construcción desde siempre. Es insustituible para la fabricación de herramientas y ha sido el mejor material para todo tipo de herrajes móviles, utillaje y mecanismos, tanto de puertas y ventanas como de cualquier elemento que necesitara una capacidad resistente elevada con una mínima sección. En forma de tijas, grapas y crampones forma parte, sólo o recubierto de plomo, de algunos muros griegos y como clavazón se usa desde el tiempo de los romanos. Los bizantinos lo utilizan en los medios auxiliares, y a lo largo de toda la Edad Media, además de mantenerse los usos anteriores -en las puertas de entrada de Notre Dame de París, del s. XII, todos los herrajes son de hierro-, se refuerzan las bóvedas por medio de tirantes metálicos sobre todo en Italia. Su capacidad de trabajo se conoce y se emplea durante todo el periodo que hemos llamado precientífico, sobre todo al final, cuando la arquitectura comienza a plantear exigencias al sistema constructivo.

El problema que ha desaconsejado su uso ha sido su capacidad para oxidarse, aumentando de volumen y produciendo la rotura de los materiales en los que se apoya o se empotra. Leonardo advierte que “el arco con cuerda (atirantado) poco dura”, y Alberti repite sus cautelas contra el uso del hierro en todo su tratado. La construcción ha estado siempre necesitada de materiales que trabajen a tracción, que “como manos contrapuestas reciñan la obra”, “abrazándola”, como dice Alberti, sobre todo en los coronamientos de los muros, pero a la vista de los nocivos efectos de la oxidación, que además mancha irremediablemente las fábricas, es preferible recurrir a otros expedientes, y los problemas se resuelven mediante aparejos robustos y engatillados.

Philibert de l'Orme, en el s. XVII, advierte sobre el uso del hierro en los empotramientos de las vigas de madera en los muros: “De esa manera yo aconsejo no hacer lo que hacen en París y lugares vecinos, construyendo de manera que las vigas sostienen el muro, al contrario de lo que debe ser, ya que los muros deben sostener las vigas, o bien llevarlas. Y, sin las vigas,

pronto los dichos muros caerían, ya que están retenidos por grandes barras de hierro, y grandes llaves que colocan sobre las dichas vigas a través de las murallas, en el sentido de los encadenados de piedra, para que los muros no reculen. En esto los obreros hacen un gran abuso”.

A pesar de estas prevenciones, la capacidad mecánica y expresiva de hierro se aprovecha con un lenguaje ornamental propio. Son notables los trabajos de forja de Lois le Vau -balcones en el muelle de Béthune, cerca de la Caridad del Loira en Nivernais-. Durante la etapa precientífica se pretende incorporar al repertorio constructivo del primer neoclásico, armando traveses, arcos y rampas de escaleras (Fig. 11.23).

Sin ningún tipo de cálculo se coloca donde fallan los esquemas de la albañilería y la cantería, siguiendo unas normas intuitivas de escasa validez. Según Rondelet, en las columnas se coloca “un eje de alrededor de dos pulgadas de grueso, dividido en tres partes unidas las unas a las otras y se sube por todo lo alto del orden. Se pretende que entre cada hilada de fustes de las columnas haya una cruz de hierro en platabanda que abrace el anclaje del centro...” no se tienen en cuenta ni se determinan las secciones, ni las cargas sobre las columnas, ni los empujes que éstas soportan.

Poca cosa más se podía hacer con el hierro faltando todavía los sistemas de cálculo, la experiencia constructiva y los productos concretos que tuvieran utilidad inmediata en construcción.

Pero desde los finales del s. XVIII los progresos en la industrialización del hierro van a poner a disposición de la industria los dos productos básicos obtenidos del mineral de hierro, el hierro y la fundición, en cantidades y calidades desconocidas hasta ese momento.

Se pasa de consumir 20.000 Tm de hierro en 1770 a 700.000 en 1830. Este aumento se produce por las especiales circunstancias del momento y es en sí mismo uno de sus aceleradores. Tales cantidades sólo son posibles por la sustitución, como fuente de energía del proceso, del carbón vegetal, que estaba provocando la deforestación de algunas áreas industriales, por el mineral, con todo lo que ello supone de nuevos problemas técnicos, medio ambientales y sociales, ya que

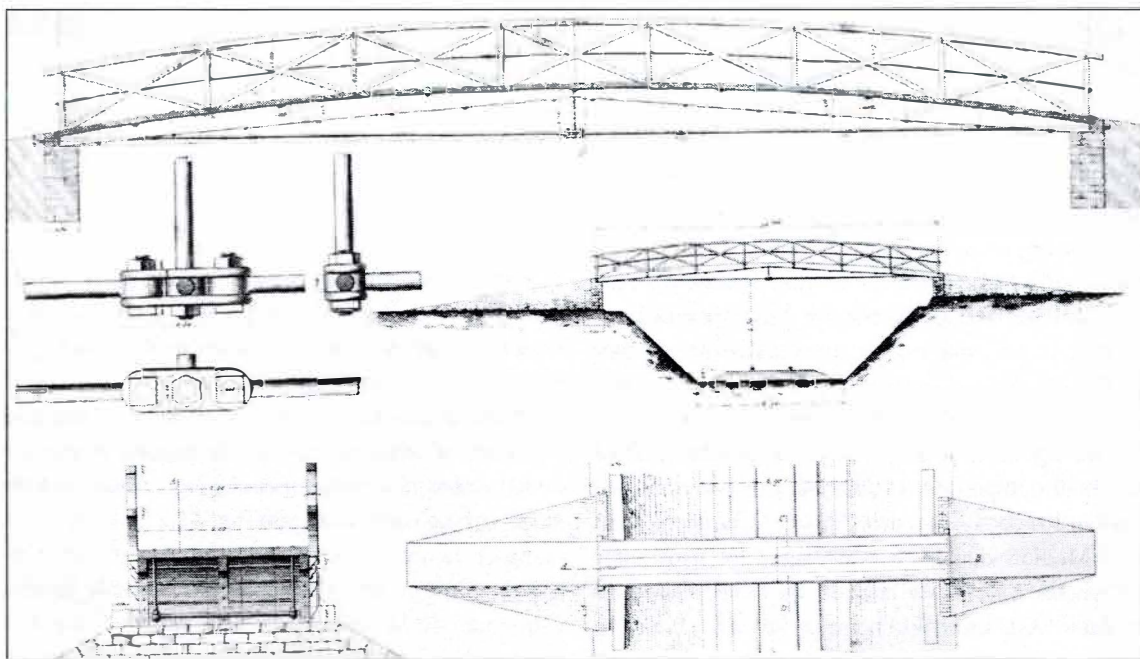


Fig. 12.1 Pasarela atirantada sobre el ferrocarril de París a Sceaux. 1849

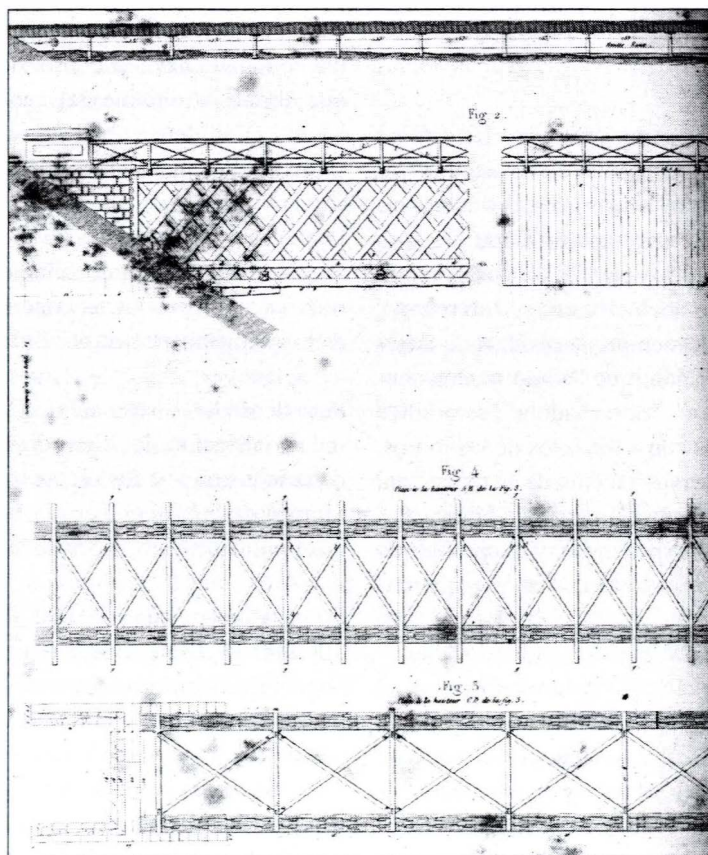


Fig. 12.2 Puente sobre el río James.

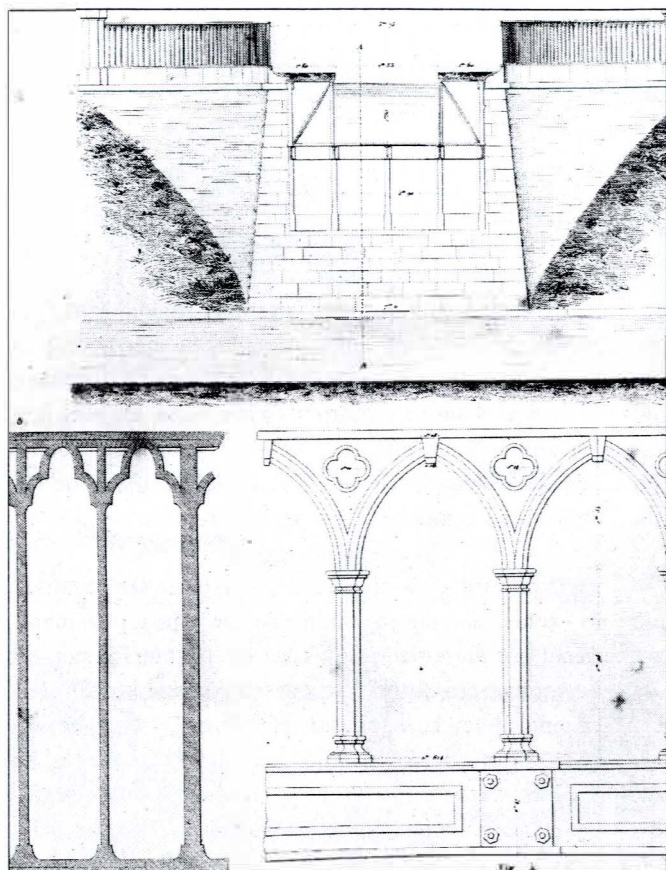


Fig. 12.3 Puente acueducto en fundición, según Daly

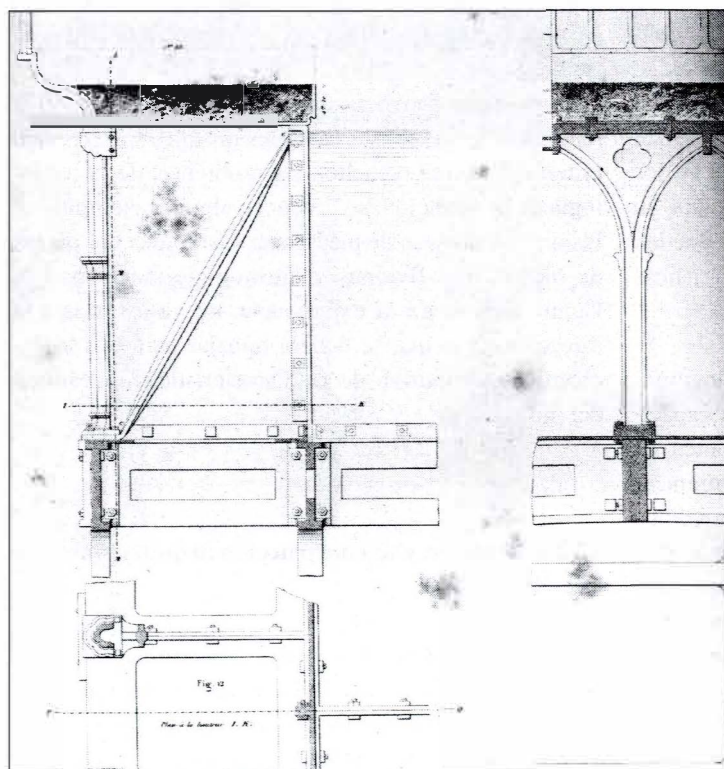


Fig. 12.4 Puente acueducto en fundición, según Daly. Detalles

aparece la minería del carbón -se pasa de consumir 4.300.000 Tm en 1770 a 115.000.000 en 1830-, industria que aún hoy arrastra sus complejos problemas humanos, políticos y económicos.

Estos datos se refieren al consumo industrial y en muy pequeña medida suponen un aumento del que se consume en construcción. Lo que ocurre es que los avances técnicos derivados del incremento del transporte ferroviario van a provocar una gran "excitación" entre los arquitectos y constructores que intuyen que sus propiedades mecánicas, totalmente distintas a las de los materiales utilizados hasta la fecha, pueden resolver gran parte de los problemas que se plantean en construcción conforme aumenta y se diversifica la demanda.

El hierro puede trabajar a tracción mucho más que cualquier otro material de los conocidos, lo que dará lugar a la aparición de vigas cuya luz y capacidad de carga superarán cualquier límite, y a compresión permitirá concentrar las cargas liberando a la pared de su trabajo portante. En realidad, con él se van a empezar a construir estructuras en la acepción moderna del término.

Su dificultad práctica estriba en que es difícil de conformar en obra y la prefabricación de las piezas exige un cálculo exacto de lo que es necesario y suficiente para que resista los esfuerzos previstos. Aunque se dan casos, como el comentado de *la Halle au blé*, en los que la sustitución de otros materiales es inmediata, su universalización sólo se producirá cuando se puedan suministrar las formas precisas con las características adecuadas a cada problema.

Su uso en construcción no arquitectónica se inicia fundamentalmente por el aprovechamiento de su capacidad de trabajo a tracción en los puentes colgantes. El importante aumento de los transportes y las comunicaciones, que tiene de momento en el ferrocarril su única herramienta, potencia este uso que no necesita apenas cálculos, sino la constatación empírica de la capacidad resistente de las soluciones, comprobada en todo caso mediante pruebas de carga reales. La demanda de infraestructuras para los trazados ferroviarios, puentes, taludes, etc., fuerza este tipo de soluciones por encima de las posibilidades técnicas del momento, lo que pro-

dujo en algún caso, como en el trazado del Union Pacific, fracasos de importancia en la construcción de algunos tramos.

Aunque los patenta Judge J. Finley en 1808, existe desde 1744 un puente colgante, constituido por una pasarela sobre el Tees.

La evolución de esta fórmula es muy rápida. El mayor problema a resolver son los detalles de ejecución y la tecnología del cableado múltiple, para lo que hace falta más sentido común y experiencia técnica que conocimientos científicos. En 1868 se inicia el puente de Brooklyn, proyecto de Al Robling, de 488 m de luz en la crujía central y 284 m en las laterales.

En la construcción de puentes, a pesar de ser un trabajo exclusivamente ingenieril, se van a poner de manifiesto por anticipado todas las circunstancias por las que atravesará después la construcción arquitectónica cuando pretenda incorporar el hierro. Desde la imitación simple de los dibujos paladianos, basados en algunos casos en referencia romanas, convenientemente reforzados y atirantados (Fig. 12.1), hasta la incorporación de elementos ornamentales de confuso trazado, pasando por los proyectos mixtos en los que de forma arbitraria se mezcla la madera, la piedra y la fundición de hierro (Figs. 12.2, 12.3, 12.4 y 12.5), en estos primeros proyectos de puentes se maneja todo el repertorio de formas y materiales posibles sin excesivo criterio. Una vez resueltos los problemas de la tecnología de la fundición, se producen algunos ejemplos en los que las dovelas de piedra son sustituidas por piezas de hierro, más livianas y de montaje más sencillo. Como demostrará la experiencia, no va a ser ésta la dirección en la que se deberá trabajar para el aprovechamiento definitivo de las características mecánicas del material.

### 12.2.2 El hierro y la construcción arquitectónica en el s. XIX

Por lo que respecta a la construcción arquitectónica, el camino no va a ser tan simple, y en su inicio se va a recorrer con la intención de aprovechar las ventajas que presenta este material sobre los tradicionales:

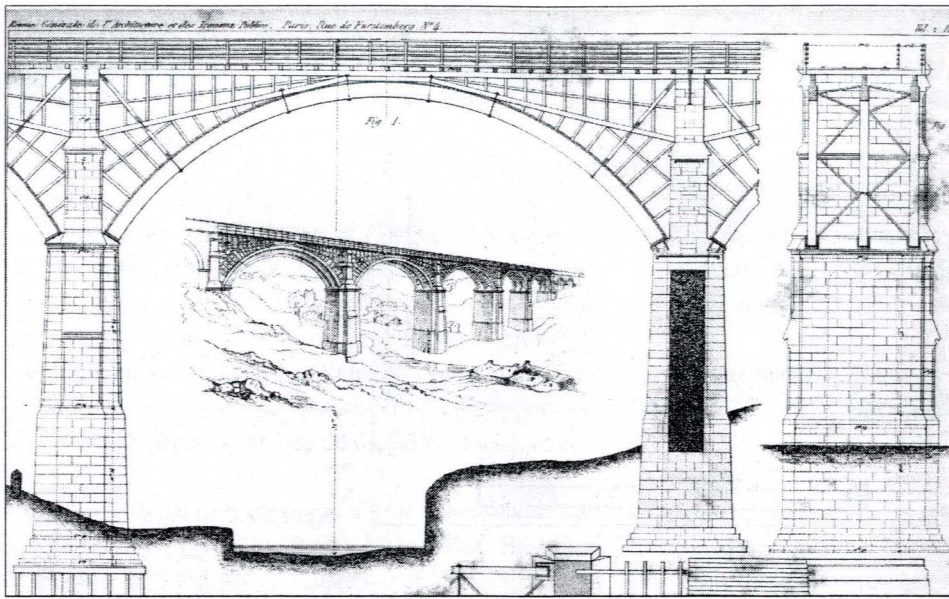


Fig. 12.5 Puente mixto de madera y piedra sobre el Ousebourn

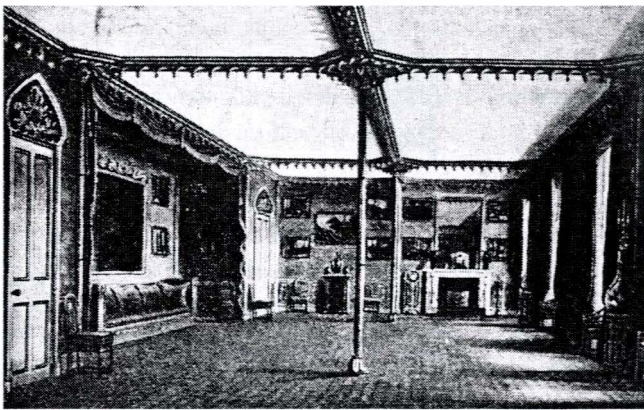


Fig. 12.6 Salón Rojo del Pabellón Real. Brighton

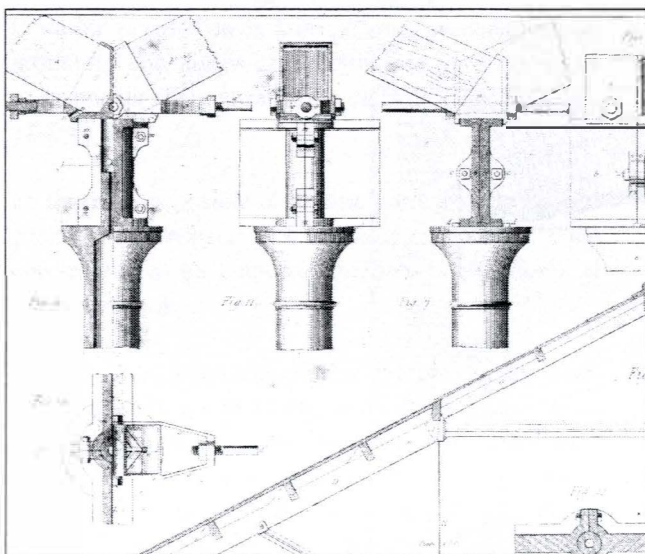


Fig. 12.7 Columnas de fundición para soporte de cerchas

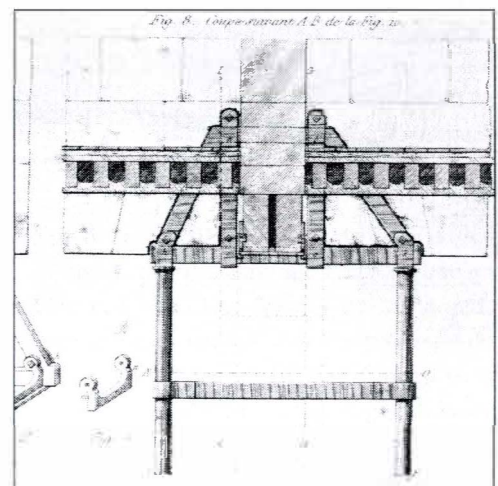


Fig. 12.8 Columna y viga metálica de flejes

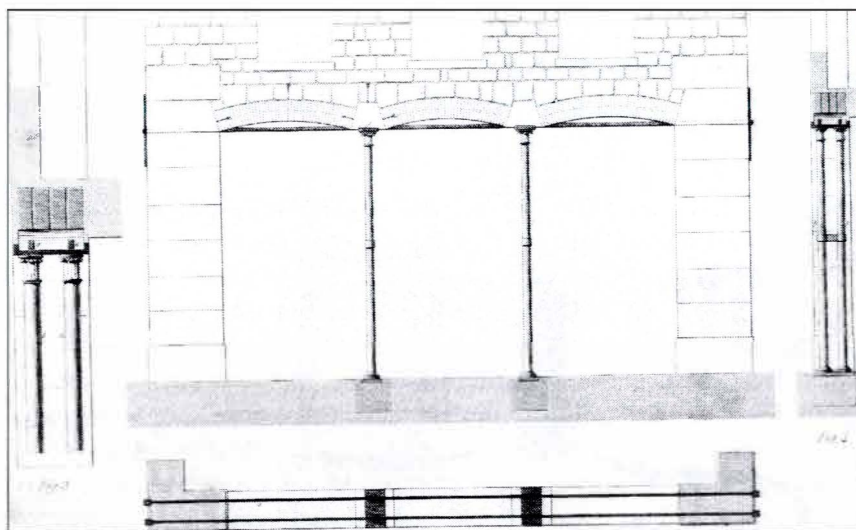


Fig. 12.9 Arco mixto atirantado

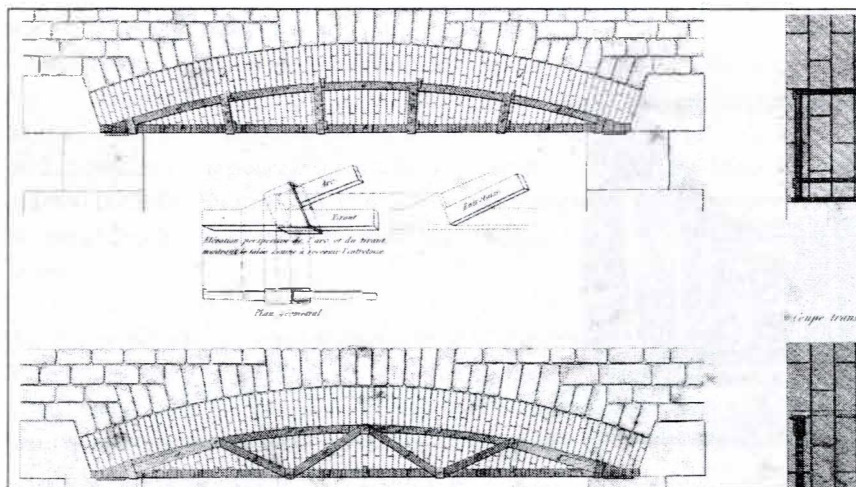


Fig. 12.10 Arcos mixtos de ladrillo y hierro

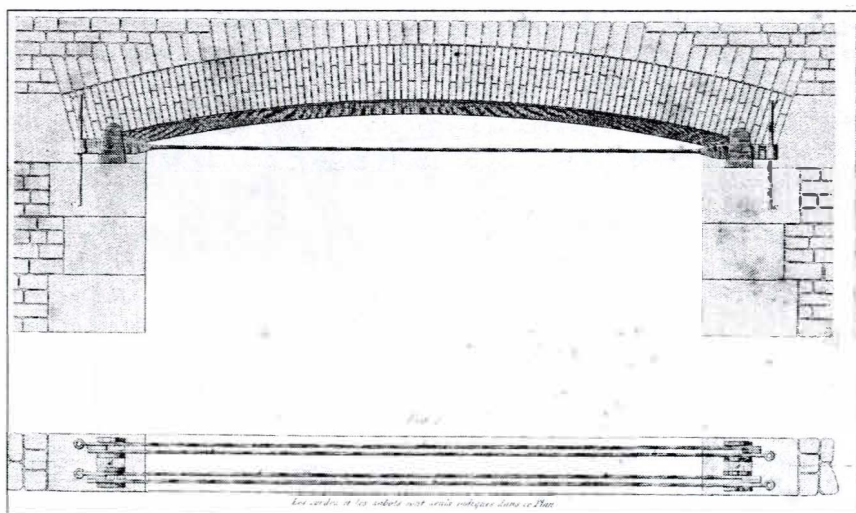


Fig. 12.11 Arco mixto de atirantado

1) Con él es posible concentrar las cargas descendentes en puntos concretos que requieren una sección mucho menor que la de los soportes de piedra.

Por lo que respecta al descenso de cargas, hasta que las columnas de fundición se utilizan plenamente, a lo más que se ha podido llegar, al margen de las columnas monolíticas, de muy difícil manipulación y resultados irregulares, es a la construcción sobre pilares aparejados, lo que supone un riesgo ante la aparición de momentos, máxime si se tiene en cuenta que el sistema de cubrir las crujeas por medio de arcos y bóvedas siempre genera empujes de difícil cuantificación.

A partir de 1780 se comienzan a usar columnas de hierro fundido en las naves de las hilanderías. Hasta ese momento sólo era posible disponer de telares de gran tamaño en los áticos, cubiertos por cerchas de madera sin apoyos intermedios. En los pisos bajos las paredes impedían la continuidad del espacio, por lo que las columnas de fundición suponen un avance importante en la distribución de las nuevas factorías.

En 1794 se usan columnas de hierro fundido en la librería londinense "El templo de las musas", y posteriormente Nash las coloca en el Salón Rojo (Fig. 12.6) y en las cocinas del Pabellón Real, en Brighton. Pero estos ejemplos no pasan de ser anecdóticos, con más valor histórico y arqueológico que práctico. Las columnas aisladas todavía presentan problemas de ejecución, porque no se dispone de sistemas que permitan la unión al resto de la fábrica, pero se resuelven de momento con nudos complejos que no diferencian exactamente el empotramiento de la articulación (Figs. 12.7 y 12.8).

2) También es posible el soporte horizontal de las cargas en menor espacio que con arcos ó bóvedas, y sin que se generen los empujes horizontales que provocan esos elementos.

Los primeros intentos de utilizar el hierro en los dinteles se concretan con la intención de construir arcos seguros, atirantados y reforzados por los elementos metálicos, y de menor apuntamiento, más que en su sustitución (Figs. 12.9, 12.10, 12.11 y 12.12). Todos los diseños son válidos y en una primera etapa se mezclan los conceptos en soluciones mixtas realmente

complejas. La formas se complican y se comercializan, previa patente, una serie de modelos tan efímeros como contradictorios, pero que van a iniciar el camino por el que se llegará a los perfiles forjados y, posteriormente, laminados. Los sucesivos diseños demuestran una gran confusión de ideas y se componen de perfiles metálicos existentes en el mercado, cuadrillos macizos y redondos de distintas medidas y diámetros, forjando o fundiendo las uniones.

El camino hacia la solución definitiva se va a iniciar hacia el final del primer tercio del siglo con la aparición de las vigas en doble T producidas industrialmente. En 1776 se funden los primeros perfiles industriales para raíles de ferrocarril, piezas que es necesario dimensionar exactamente, ya que las grandes cantidades requeridas no permiten excesos de bulto. La definición teórica del perfil da lugar a algunos problemas conceptuales de importancia. Teóricamente el contacto entre la rueda y el raíl es cero si se supone que ambas líneas son tangentes, por lo que la carga unitaria es infinita. Naturalmente esta suposición sólo es cierta teóricamente, y suponiendo la superficie de apoyo de una dimensión mínima pero mesurable, se acaba diseñando, en una mezcla de empirismo y cálculo simple al aplastamiento, el raíl tradicional, que sufre ajustes en función del peso de las unidades ferroviarias. Su forma es estrictamente utilitaria y probablemente su uso improvisado en otros esquemas debió sugerir los primeros perfiles. No obstante esta forma, diseñada para permitir la rodadura por la parte superior y la fijación por la inferior, se evidencia como la más lógica una vez que se conoce con exactitud el funcionamiento de una pieza sometida a flexión. Para obtener el mayor momento de inercia con la misma cantidad de hierro, las masas deben estar alejadas de la fibra neutra, pero el alma debe resistir el aplastamiento.

En la definición de los perfiles, además de estas consideraciones de índole técnica, hay que tener en cuenta otras de índole práctica. Las formas de las piezas metálicas deben ser compatibles con los procesos de producción. Al principio los perfiles se funden o se forjan, pero cuando se imponen las laminadoras, hasta que se perfecciona el mecanismo, la necesidad de dar "salida" a los perfiles obliga a algunas correcciones formales.

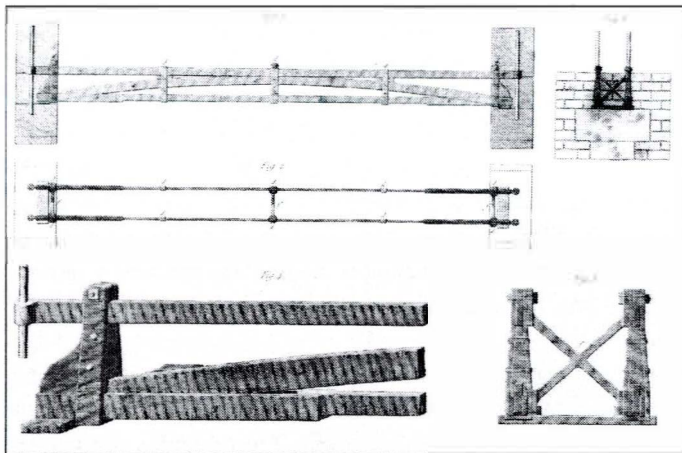


Fig. 12.12 Arco mixto atrantado

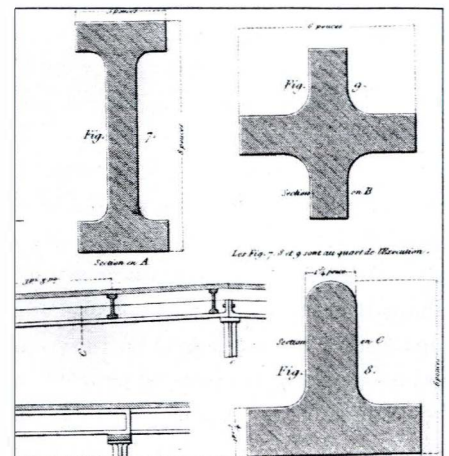


Fig. 12.13 Perfiles estructurales. 1841

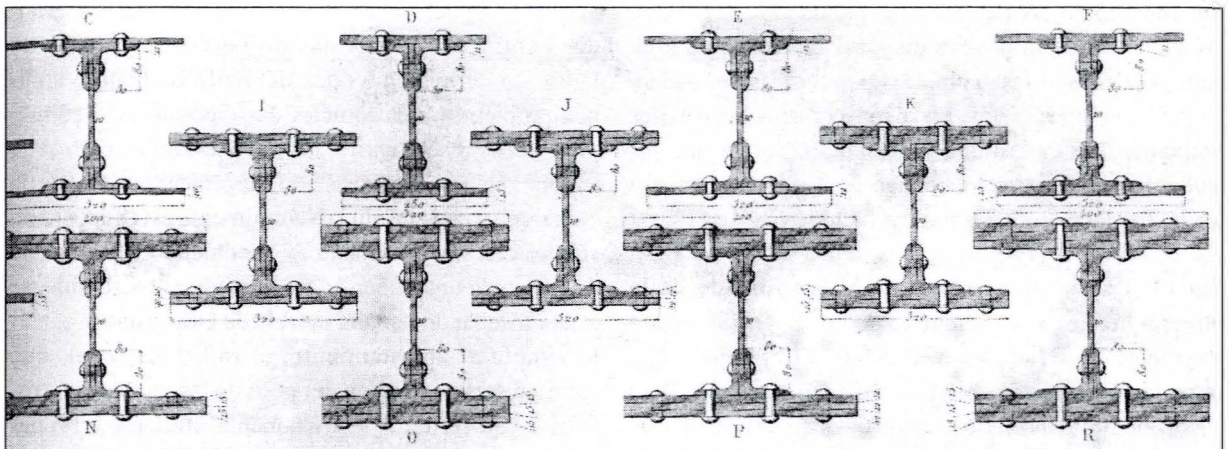


Fig. 12.14 Elementos estructurales fabricados con flejes y ángulos

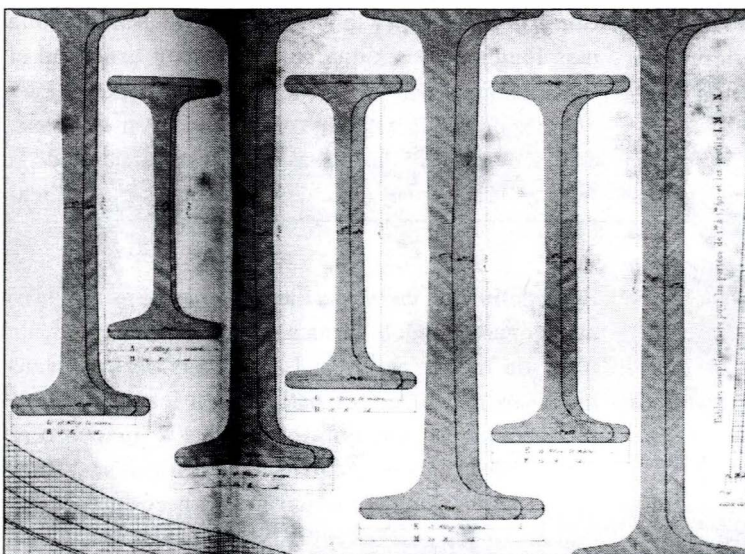


Fig. 12.15 Perfiles metálicos para elementos estructurales

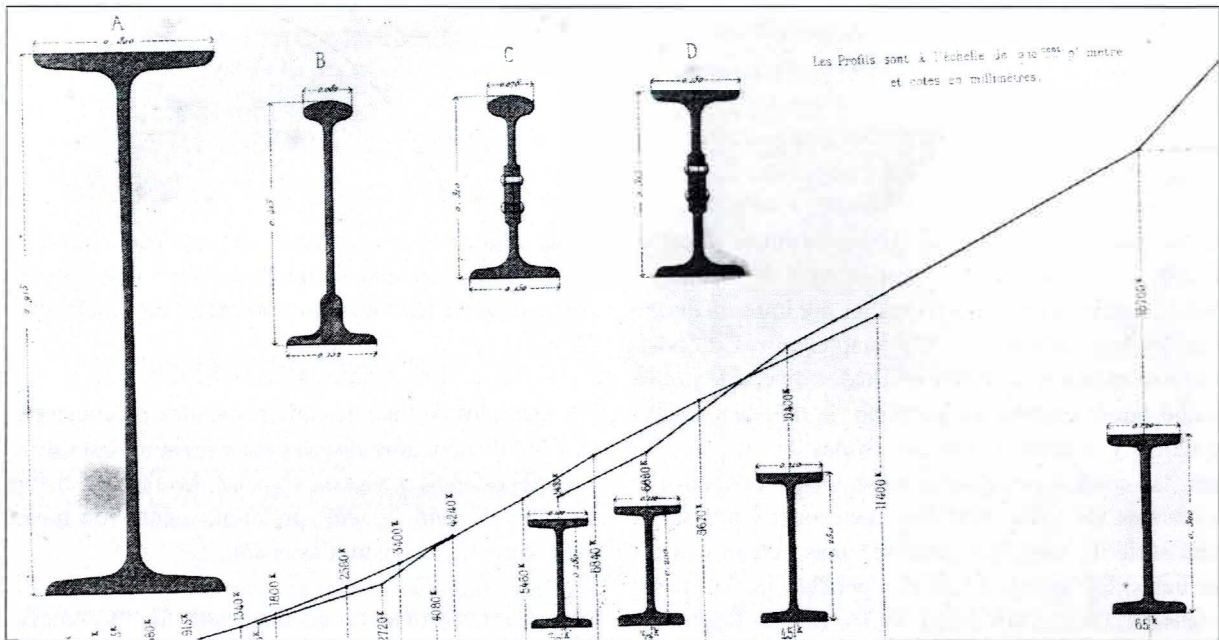


Fig. 12.16 Perfiles metálicos. 1858

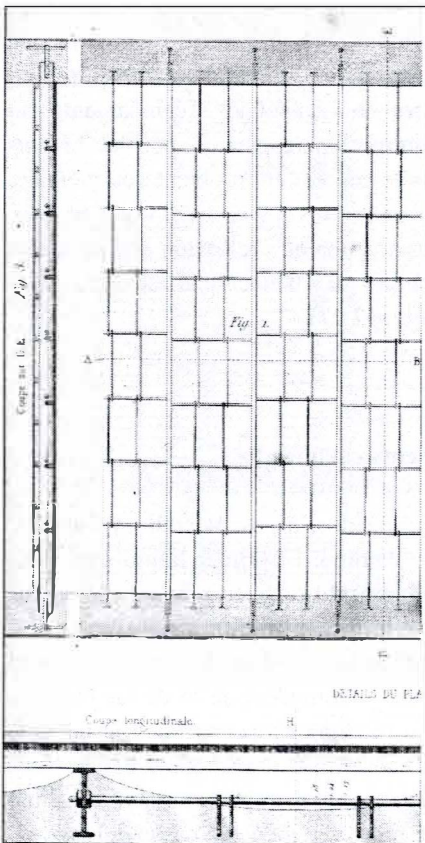


Fig. 12.17 Forjado metálico

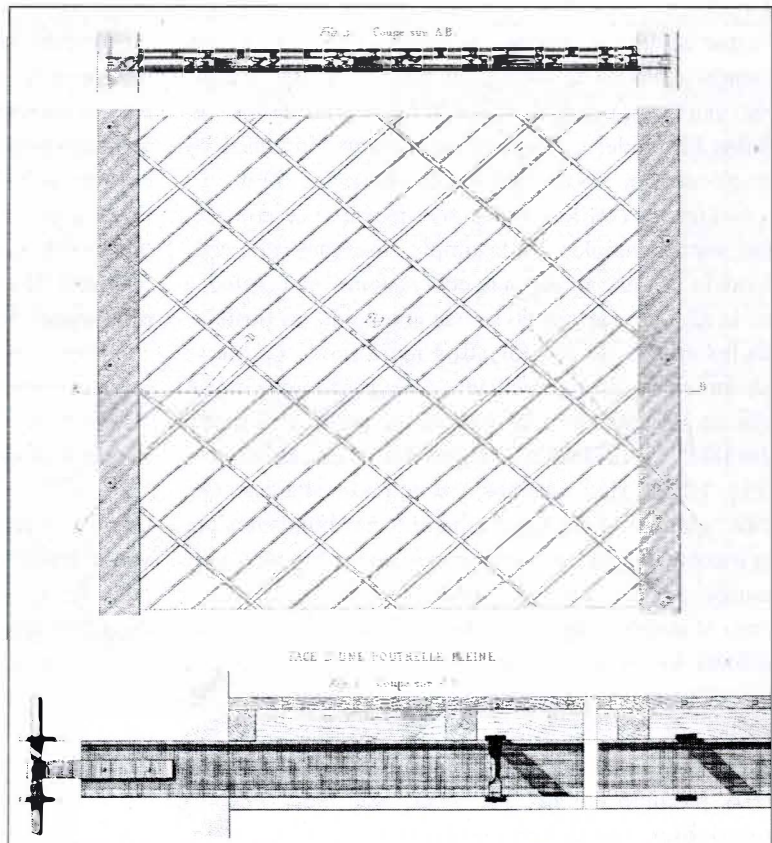


Fig. 12.18 Forjado metálico. 1864

Por su parte, también el mercado impone sus leyes. Las industrias necesitan de grandes inversiones que hay que rentabilizar y los diseños deben ser comerciales antes que nada, lo que significa muchas cosas y no siempre, como se ha pretendido, negativas. Si se trata de elementos cuya función es simplemente estructural deben poder aplicarse a múltiples situaciones de carga, o deben ser combinables, y si se trata de elementos vistos deben incorporar los detalles mínimos de diseño que los haga atractivos a los compradores. Esta polémica se mantiene hoy con resultados diversos, ya que nadie puede erigirse en guardián de ninguna esencia estética, y, a pesar de que los niveles de calidad existen, las confusiones en este campo cada vez son más evidentes. De todas estas consideraciones van a surgir una serie de modelos, cada vez más cercanos a los actuales, que compondrán el repertorio inicial de las vigas metálicas (Figs. 12.13, 12.14, 12.15 y 12.16).

Del concepto de viga se derivó inmediatamente la posibilidad del forjado metálico. En 1845 una huelga de carpinteros en Francia deja prácticamente sin los forjados tradicionales a los constructores de viviendas, lo que acelera el proceso de sustitución y van apareciendo una serie de soluciones que, como era de esperar, empiezan por apropiarse de las formas de los forjados de madera, después incorporan "inventos" y mantienen en algunos casos los supuestos de diseño relacionados con los estilos artísticos que se consideraran imprescindibles. De la simple observación de cada modelo se derivan algunas conclusiones que abundan en la idea de que aún no se han entendido las posibilidades reales de los forjados metálicos. Todos se anclan en los muros mediante unos pasadores colocados en las cabezas a la manera en que lo han hecho durante los últimos tres siglos las vigas de madera (Fig. 12.17). Hoy sabemos que no hace falta esa sujeción, que puede dar lugar a patologías abundantes por la transmisión de los movimientos de los forjados a los muros, a no ser que se entiendan empotrados, en cuyo caso el diseño debe ser distinto. Desde el absurdo de colocar los elementos resistentes en diagonal, con lo que se aumenta la luz de cálculo sin aumentar la práctica. (Fig. 12.18), a los que recurren a unos arcos decorados gotizantes (Fig. 12.19) para colgar el cielo raso, pasando por los que incorporan unos tensores regulables que deben rigidizar las paredes (Fig. 12.25), se pueden encontrar todo tipo de soluciones,

con chapas conformadas o revoltones colocados al revés, que se justifican por el aislamiento acústico entre pisos, siempre con una preocupación obsesiva por sujetar entre sí las viguetas con un entramado secundario perfectamente inútil (Figs. 12.20, 12.21, 12.22, 12.23 y 12.24). Esta confusión dura, por lo que se puede deducir de las revistas y los catálogos, hasta finales de siglo, aunque algunas soluciones más simples y eficaces ya habían sido aplicadas en 1845 (Fig. 12.26).

Los ejemplos de final de siglo responden prácticamente a los diseños que han estado en vigor hasta hace muy pocos años, a base de viguetas metálicas y distintos tipos de entrevigados, preferentemente con bovedillas cerámicas construidas *in situ*.

Después de resolver, o de intentarlo, los problemas planteados por el hierro como viga o como soporte vertical, quedaba la unión de ambas piezas como problema. Hoy sabemos que los apoyos pueden simplemente recibir las cabezas de las vigas, con lo que no se transmiten momentos a los pilares, o pueden estar rígidamente unidos, con lo que los momentos que provocan las cargas sobre las vigas se transmiten en parte a los soportes y a sus anclajes. Técnicamente eso se llama isostatismo o hiperestatismo, pero en los inicios del s. XIX sólo suponía un problema de montaje. En la práctica se dan todos los casos sin que se establezca sobre ellos ninguna otra reflexión que no sea su facilidad de montaje y su adaptación al esquema general del edificio (Fig. 12.27).

### 12.2.3 Los elementos arqueados

Los elementos arqueados, arcos, bóvedas y cúpulas, van a seguir otro camino. El primer tramo será, después del aprovechamiento por parte de los ingenieros de la capacidad de trabajo a tracción del hierro, la sustitución inmediata de otros materiales, la piedra en el caso de los puentes y la madera en el de las cúpulas, hasta que estas sustituciones resultan manifiestamente prescindibles una vez superada la etapa historicista. Ya vimos que Belanger construyó la cúpula del almacén de granos de París, y que en 1888 Blondel proyectó una muy parecida para el mismo edificio convertido

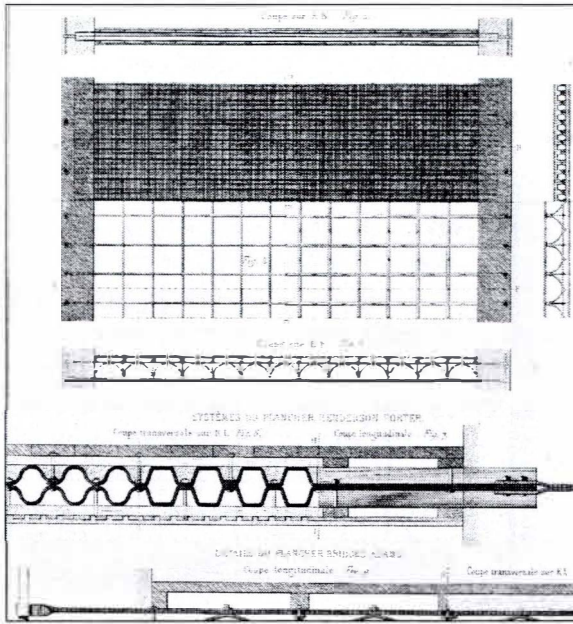


Fig. 12.19 Forjado metálico. 1851

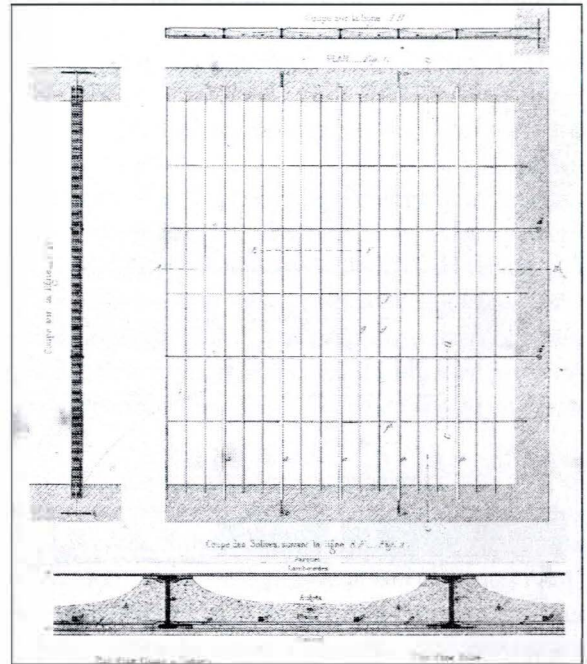


Fig. 12.20 Forjado metálico. 1852

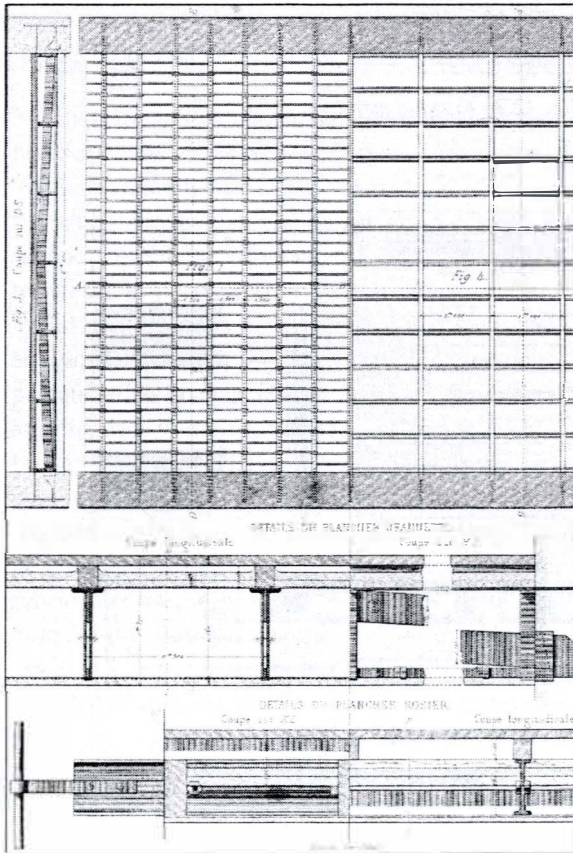


Fig. 12.21 Forjado metálico. 1852

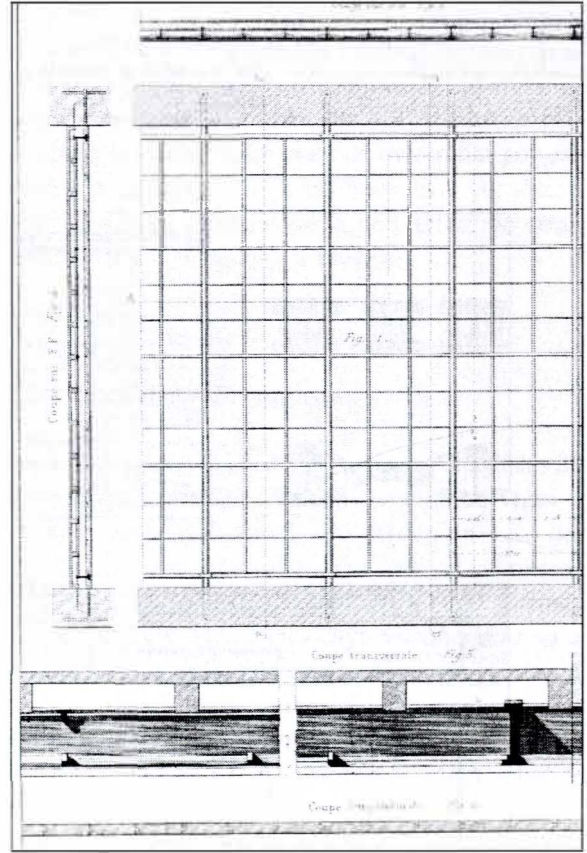


Fig. 12.22 Forjado metálico. 1858

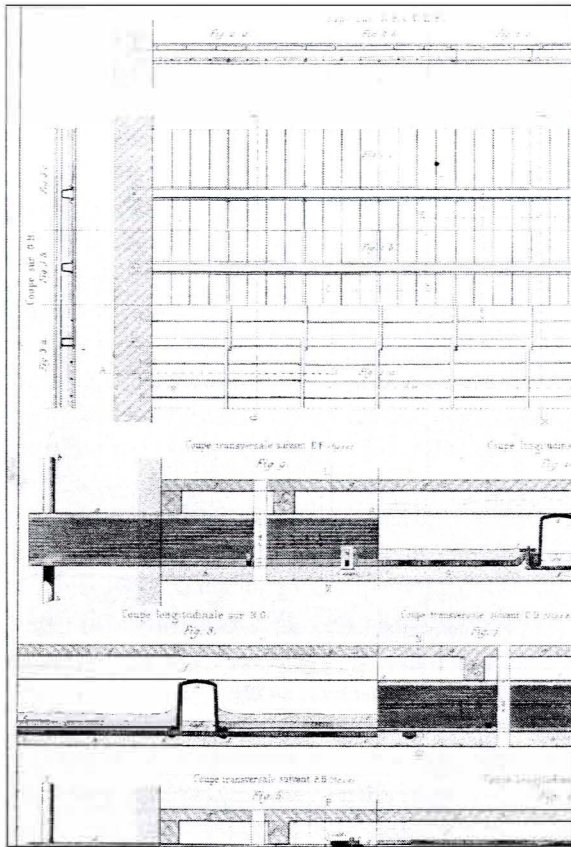


Fig. 12.23 Forjado metálico. 1853

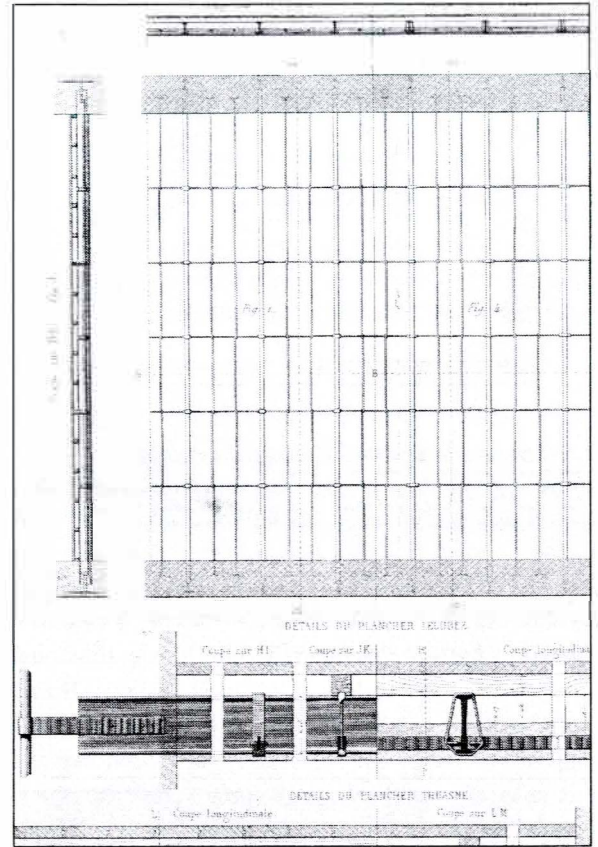


Fig. 12.24 Forjado metálico. 1853

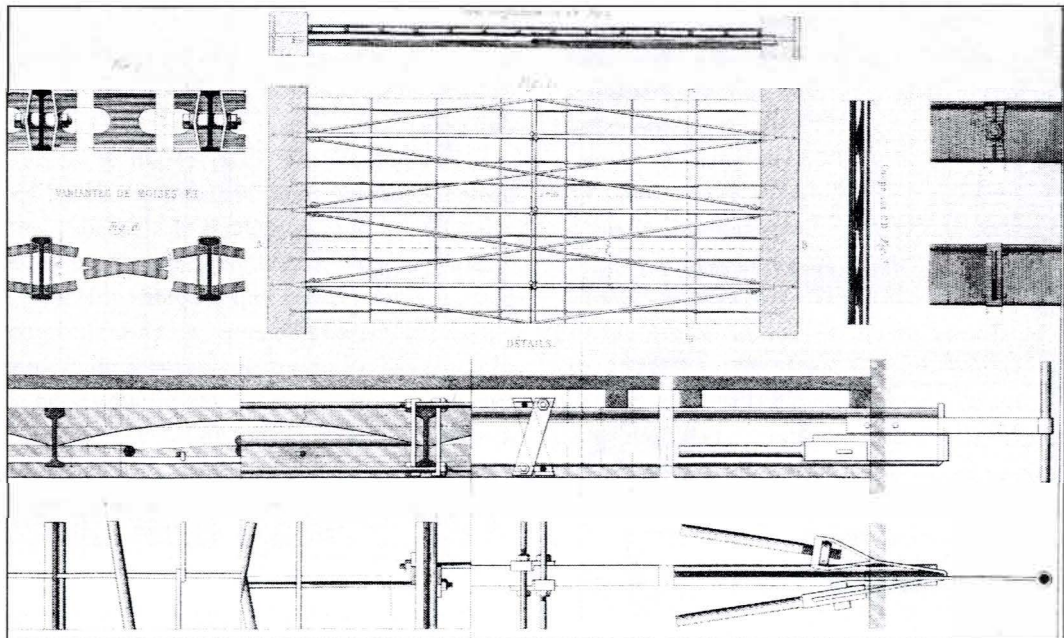


Fig. 12.25 Forjado metálico. 1853

en Bolsa de Valores (Fig. 11.42). Entre estas dos fechas se dan bastantes ejemplos de esta forma de trabajar: En 1850 se construye la cúpula del British Museum con nervios de fundición, y en 1853 se sustituye la cúpula de madera del Capitolio de Washington por otra de hierro fundido. Antes Nash, en su búsqueda de novedades, había construido en 1811 el Pabellón Real de Brighthon con una cúpula sobre columnas de fundición. En 1875 se construye el vestíbulo de la estación de San Pancracio, en Londres, de 78 m de luz; en 1880 la exposición universal de Bruselas; en 1888 la estación de Frankfurt. Pero a partir del momento en que se define un lenguaje definitivo para las estructuras metálicas, las bóvedas y las cúpulas se entenderán como estructuras de barras, concepto que culminará en las reticulares modernas, siempre con una expresividad totalmente desligada del concepto de espacio esférico de las cúpulas renacentistas, barrocas y neoclásicas. A partir de principios del s. XX, si por razones arquitectónicas se necesitan ese tipo de espacios, se construirán de hormigón, con algún ejemplo de Torroja, Gaudí y Guastavino, como el mercado de Algeciras o la cripta de la colonia Güell, de bóvedas tabicadas.

No obstante existen intentos muy brillantes de resolver las estructuras curvadas con elementos metálicos, dentro de la dinámica de la época, es decir, sustituyendo los arcos adovelados por piezas cuyo cálculo no se acaba de concretar estrictamente, pero cuya capacidad resistente se puede definir aproximadamente con fórmulas válidas para otros perfiles y comprobar con ensayos simples. En esta línea, uno de los primeros en percatarse de las ventajas de disponer de un catálogo amplio de soluciones válidas y a mejor precio fue Henri Labrouste (1801-1875), de sólida formación clásica, quien monta en París una escuela privada de arquitectura en la que se enseña a los alumnos a trabajar con pocos elementos que deben, además, poder ser fabricados en los procesos habituales. Esta postura consciente pretende romper con el academicismo imperante que ignora, o pretende mistificar, las potencialidades que los nuevos materiales aportan a la arquitectura. Su abundante correspondencia no deja lugar a dudas sobre sus intenciones.

Su primera obra de importancia fue la Biblioteca de Santa Genoveva. En ella consiguió imponer sus crite-

rios sobre la necesidad de tratar singularmente las posibilidades de la fundición como material de construcción. Sobre columnas de 0.30 m de diámetro y 9.60 m de altura monta unos arcos metálicos sobre los que apoyará una triangulación metálica para la cubierta. (Figs. 12.28, 12.29 y 12.30). En cualquier caso no puede sustraerse a las exigencias del momento y decora la caja que sirve de contenedor a la estructura con los elementos típicos de los edificios académicos decimonónicos (Fig. 12.31). Los propios arcos incorporan, si bien mínimamente, elementos decorativos perfectamente superfluos, aunque el resultado sea de una gran dignidad.

La otra gran obra de Labrouste es la Biblioteca Nacional de Francia. Sobre la experiencia práctica adquirida en la de Santa Genoveva proyecta, con evidentes reminiscencias historicistas, un espacio cubierto por una serie de cúpulas de albañilería que descansan sobre un armazón curvado de fundición, que se apoya en columnas del mismo material (Figs. 12.32 y 12.33). El tratamiento dado al resto de la obra es muy avanzado, con suelos de rejilla de hierro y cerramientos completos de vidrio sobre un armazón metálico mínimo en el depósito de libros. Estos dos ejemplos de Labrouste se pueden considerar, junto con algunos intentos de Eiffel, como la última posibilidad de desarrollar por ese camino la construcción de las bóvedas y cúpulas, a pesar de que las ventajas de la prefabricación están perfectamente entendidas y asimiladas.

#### 12.2.4 La estructura completa

Hemos visto como las dos aplicaciones elementales de los productos férricos a la construcción en vigas y columnas comienzan a utilizarse desde principios del siglo y, a pesar de que sufren una serie de interferencias inevitables, acaban sustituyendo a otros sistemas tradicionales con soluciones cuya viabilidad se va a demostrar a lo largo de casi cien años. Pero queda sin resolver, todavía a mediados del siglo, la incorporación del hierro como material único en el diseño de estructuras completas que combinen ambas soluciones. Esta será una revolución importante, ya que a partir de ese momento el resto de los elementos constructivos deberán insertarse en esa estructura y se les

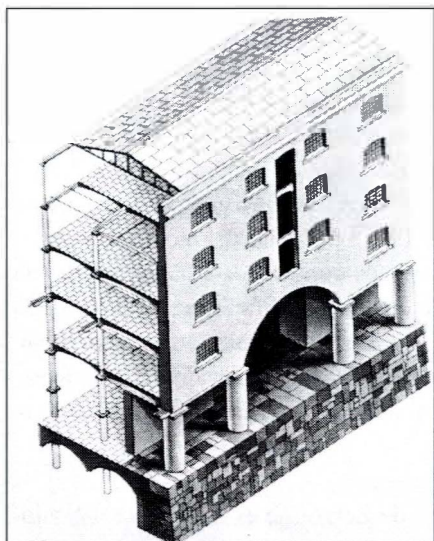


Fig. 12.26 Albert Dock de Jesse Hartley en Liverpool

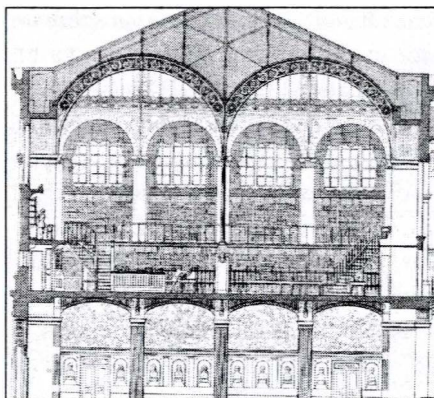


Fig. 12.28 Sección de la Biblioteca de Santa Genoveva, de Labrouste. París

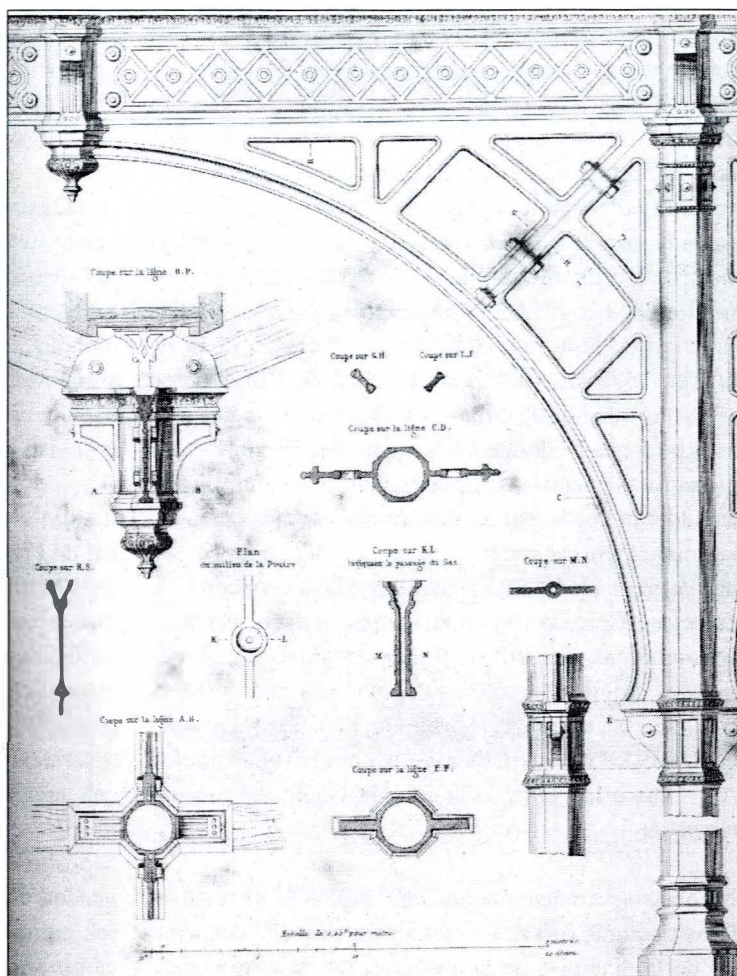


Fig. 12.27 Unión de viga y columna de fundición. Estación del ferrocarril Paris-Lyon

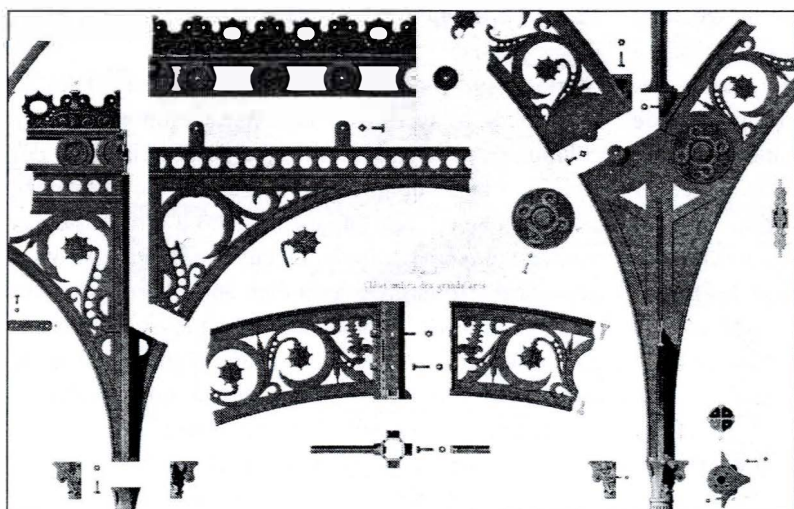


Fig. 12.29 Detalles de las armaduras de la Biblioteca de Santa Genoveva

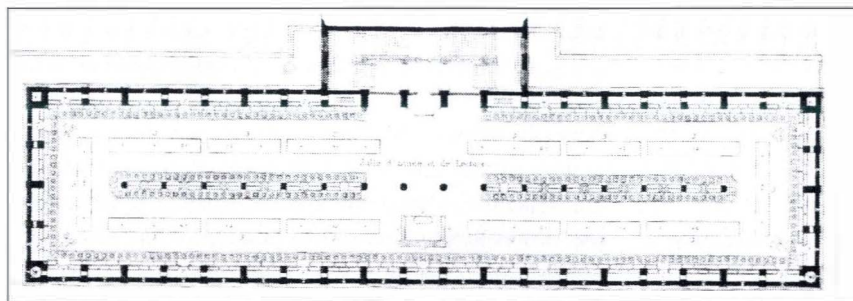


Fig. 12.30 Biblioteca de Santa Genoveva, planta

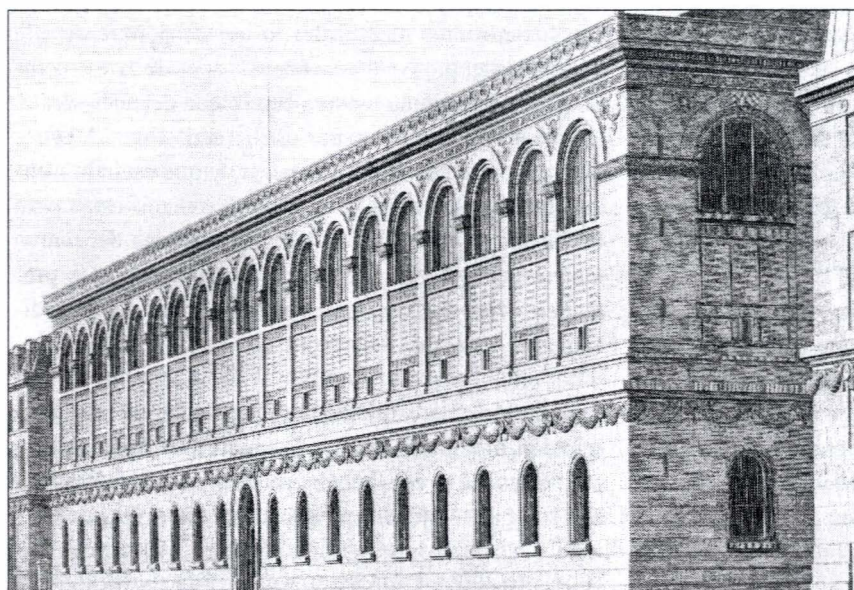


Fig. 12.31 Biblioteca de Santa Genoveva, exterior

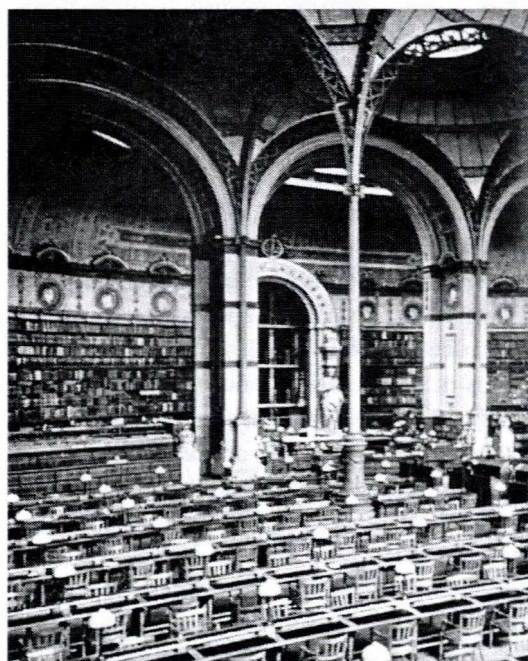


Fig. 12.32 Biblioteca Nacional de Francia. Interior



Fig. 12.33 Biblioteca Nacional de Francia. Detalles

podrá exigir otras propiedades distintas de las resistentes, además de otras prestaciones estéticas.

Para materializarla habrá que resolver la unión entre ambas soluciones primarias, lo que obligará a elegir entre la articulación o el empotramiento, aunque esto sólo será un problema derivado del diseño elegido, ya que el material permite ambas soluciones.

Este tipo de estructura se usa al principio, antes incluso de que estuvieran resueltos todos los problemas de diseño, en edificios industriales.

En 1801 se construye la hilandería de Philip and Lee en Salford, Manchester. La fundición de Boulton y Watt proyecta un edificio de 42x16,20 m de seis plantas de altura, con vigas metálicas sujetas con tirantes atornillados en toda su longitud. Los forjados son arcos de ladrillos con capa de compresión sobre viguetas metálicas, en una solución que se entenderá como definitiva para viviendas setenta años más tarde.

Este modelo se repitió en otras instalaciones industriales, entre las que destaca por la limpieza de su trazado el Albert Dock de Jesse Hartley en Liverpool, construido en 1845 (Fig. 12.26).

En 1848 Jaime Bogardus construye en Nueva York una fábrica de cinco plantas, que es uno de los primeros ejemplos de estructura exenta sin paredes y en 1853 proyecta el palacio para la feria mundial de Nueva York, totalmente de hierro y que consistía en un círculo de 360 m de diámetro que no llegó a construirse.

En esta relación sucinta de primeros ejemplos es necesario anotar el Oriel Chambers de Peter Hellis. Construido en 1864, tiene todos los datos de lo que será la estructura moderna: pilares de fundición vistos en fachada, paneles de hierro separando los pisos y grandes acristalamientos en las ventanas, aprovechando todo el espacio libre, sin que lo avanzado de los conceptos evite que en la coronación aparezca una remota referencia renacentista.

Las ventajas de este tipo de estructura se perciben claramente y se pueden valorar sin necesidad de excesivas complicaciones. Su relativa ligereza, la facilidad

que presenta para las uniones, de momento atornilladas o simplemente encajadas, y la posibilidad de conformarlo en fábrica, con fundición o forja, permitirá trabajar con más libertad que con los sistemas tradicionales y hará posible el crecimiento en altura de las construcciones, que sobrepasarán espectacularmente los límites habituales hasta el momento.

Todos estos intentos comienzan a dar algunos resultados. Viollet le Duc, a pesar de su constante relación con los edificios medievales, o quizás porque de ella extrajo conceptos claros sobre el papel de la estructura, acierta en alguna medida con lo que después será el lenguaje habitual del acero estructural (Fig. 12.34), y en algunos de sus dibujos, a pesar de que están presentes gran número de interferencias, se manifiesta como un intérprete vigoroso de las posibilidades del nuevo material (Fig. 12.35). En todo caso sus proyectos pretenden evitar el romanticismo manierista y profundizan en la búsqueda consciente de nuevas soluciones.

Cuando los planteamientos se hacen sobre la pura descripción ingenieril de las necesidades se llega a soluciones, como la casa recubierta de placas metálicas de Eifel (Figs. 12.36), fracasadas desde sus orígenes.

Hasta finales del s. XIX se va a tratar de resolver el uso del hierro como elemento estructural, tanto desde el punto de vista técnico como del arquitectónico, con la creación de un lenguaje propio que se acomode más a las nuevas corrientes estéticas y a su función.

Se dispone para ello, como exigencia ineludible, de métodos para definir lo suficiente y necesario para la estabilidad de las construcciones, aunque aún quedan por resolver una serie de problemas tecnológicos, tanto de la fabricación como de la puesta en obra y conservación del nuevo material: Hay que aprender a fundir piezas de grandes dimensiones sin que se agrieten, o a laminarlas; hay que unir las entre sí; deben protegerse contra la corrosión; preverse las deformaciones, etc.

Los arquitectos están relativamente alejados de estos problemas y se plantean básicamente cuestiones dialécticas en las que interfieren aspectos filosóficos, técnicos, artísticos, etc., a la espera inconsciente de las herramientas prácticas que permitan materializar, con

la "dignidad" debida, los grandes proyectos arquitectónicos de valor emblemático.

Sería posible agrupar eso que hemos llamado interferencias en unas denominaciones concretas, pero, sabiendo que la interacción entre ellas es completa y que todas van a actuar en cada caso, cada una con una intensidad concreta según sea el problema, quizás sea preferible una descripción general de la situación. En realidad se podrían reducir a un único enunciado: Después de varios miles de años de manejar materiales que trabajan fundamentalmente a compresión, con los que se han alcanzado resultados brillantísimos, tanto técnica como artísticamente, era muy difícil asimilar el nuevo material, del que se pretende aprovechar precisamente su propiedad de trabajar a tracción, y más en un siglo en el que la historia de las ideas atraviesa una de sus etapas más efervescentes y confusas.

Como consecuencia de algunos planteamientos relacionados con la inquietud social que provocan las grandes aglomeraciones humanas necesarias para el desarrollo de los primeros procesos industriales, se produce un intento de asimilar las formas del entorno a determinadas actitudes éticas. Pugin primero y Ruskin como su sucesor, con todas las matizaciones que los historiadores señalan entre uno y otro, consiguen la redefinición del arte gótico, comúnmente aceptado en la época como un estadio superior, por ser más espiritual, de la conciencia humana. Pugin dice: "No hay ninguna razón para que las nobles ciudades, ofreciendo todos los perfeccionamientos posibles en materia de desagües y conducciones de agua y gas, no puedan ser edificadas en un estilo a la vez perfectamente coherente y cristiano". Estos y otros asertos semejantes, en los que ambos plantean la "filosofía" del diseño, tanto arquitectónico como del entorno cotidiano de formas y texturas domésticas, algunos de los cuales son de una aplastante simplicidad aún no suficientemente resuelta - "El gran criterio de la belleza arquitectónica es la adaptación de la forma a la función" -, son de los pocos apoyos dialécticos con los que van a contar los arquitectos y constructores decimonónicos para desarrollar una filosofía para el diseño de las estructuras metálicas. En el gótico, además de todas las virtudes morales y espirituales que le supone Ruskin, la estructura es la base del lenguaje

arquitectónico, lo que cuadra perfectamente, quizás demasiado, con lo que se espera del nuevo material. Además de mejorar la sociedad, el gótico suministra, a primera vista, un esquema estructural que sólo hay que adaptar a la estructura metálica.

La presencia teórica de los conceptos góticos en la definición de las nuevas formas estructurales va a reforzarse decisivamente con la expectación despertada por los trabajos de Viollet le Duc, y el predicamento que consigue en la interpretación de las estructuras góticas, a las que, sin fundamento, adjudica una base científica misteriosa que en abstracto es compatible con los planteamientos requeridos por el hierro.

Evidentemente las cosas no son tan simples, y aunque las formas góticas van a aparecer en algunos ejemplos (Figs. 12.37 y 12.38) y serán las más teorizadas en la época, el hierro va a establecer su propio lenguaje con incursiones en otros historicismos como las bóvedas baídas de origen bizantino, con alzados confusamente renacentista (Figs. 12.39 y 12.40), de Eiffel para la sinagoga de París. Estos historicismos son una tentación y una necesidad: Los proyectistas, forzados por unos criterios estéticos que aún desconocen las posibilidades expresivas del nuevo material, deben recurrir a la transposición de formas de otros estilos para mantener la intención artística de los diseños.

Otra circunstancia a tener en cuenta es la situación de la cultura técnica, entendiéndola como el conjunto de respuestas inmediatas que la técnica proporciona a cualquier problema antes de que su resolución origine respuestas específicas. En este aspecto lo preponderante en la época es el excesivo maquinismo con el que se plantean las soluciones constructivas, maquinismo que influye de forma interactiva incluso en las explicaciones de Viollet para la estructura gótica. La gran revolución ha sido industrial, y sus efectos van a tener continuidad con el desarrollo de la industria.

Las máquinas son objeto de estudio y casi de veneración, y simbolizan lo más perfecto conseguido hasta entonces por el ser humano. Pero además son el principal y casi único laboratorio en el que experimentar estructuras y mecanismos. Los inventores, si no son ingenieros, deben recurrir a éstos para que calculen



Fig. 12.34 Maison des Colombages de Viollet le Duc

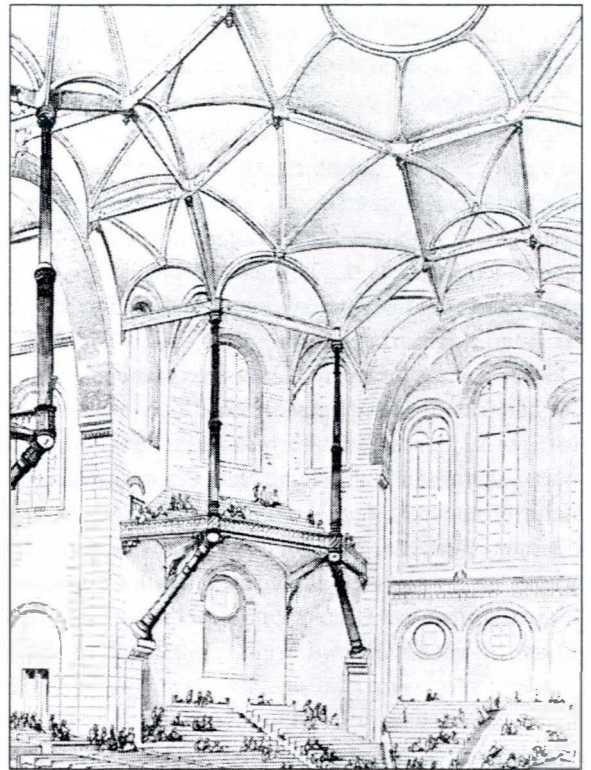


Fig. 12.35 Dibujo de Viollet le Duc para una cubierta mixta

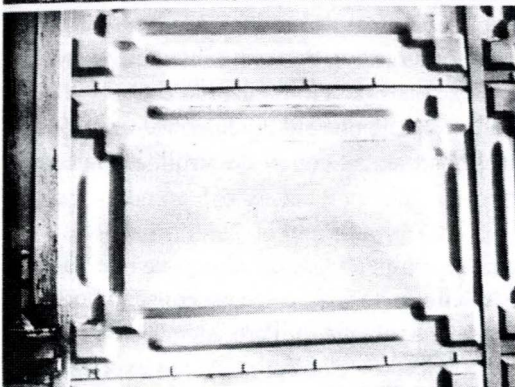
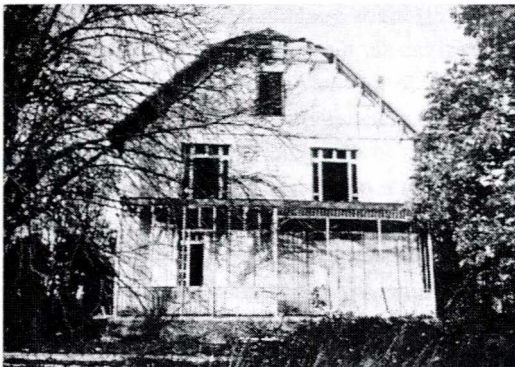


Fig. 12.36 Casa metálica prefabricada construida por Eiffel



Fig. 12.37 Iglesia metálica prefabricada construida por Eiffel

cada pieza, que debe responder a unas solicitaciones mecánicas concretas y ha de poder ser fabricada en los procesos habituales. Este espíritu, sin que nadie se lo proponga deliberadamente, estará presente en la progresiva incorporación del hierro al proceso constructivo. Cada elemento metálico se entenderá sometido a unas solicitaciones mecánicas concretas y se podrá detectar en él la impronta del proceso industrial que permite fabricarlo (Figs. 12.41, 12.42 y 12.43). No hará falta la solemne, y pedante, declaración de Le Corbousier: "La casa es una máquina de vivir", para que se entienda que algunas partes de la casa, y las de cualquier construcción, se deben construir como las de una máquina, desmenuzando concienzudamente cada pieza, determinando las tensiones a que está solicitada, dimensionándola de acuerdo a ellas, y fabricándola en un proceso en el que se diferencian poco de las piezas que componen las máquinas verdaderas. Hasta bien entrado el s. XX algunas estructuras no se sustraen a este lenguaje que, incluso hoy, forma parte de los recursos habituales de la construcción en hierro.

Por último podemos considerar que algunas fórmulas de la construcción tradicional influyen en el proceso de creación del lenguaje del hierro, como hemos visto que ocurre en el caso de los dinteles. Cloquet reconoce que: "En el punto de partida de la arquitectura metálica estuvo la preocupación de reemplazar la madera por el hierro en las grandes carpinterías de armar, concebidas para las características de la madera. Así nació la forma Polonceau hacia el 1837; está basada en el empleo racional del hierro, pero en una forma concebida en madera."

Los demás problemas derivados de la sustitución de los materiales quedan aclarados en el siguiente párrafo de Cloquet: "Hasta el s. XIX, la forma esquemática de una construcción habitada suponía dos partes bien diferenciadas: una parte vertical correspondiente a los muros o a los soportes, y una superestructura formada por una bóveda o un encaballado o, a veces, las dos cosas juntas. Forzosamente hay una desconexión en la unión entre el muro y la superestructura. Esta se apoya en un plano horizontal inestable y no puede conseguir la estabilidad necesaria si no se consolidan los muros en el plano horizontal. Solamente existen dos sistemas para equilibrar horizontalmente los empujes de una cubierta: un contrarresto exterior a base de contrafu-

tes o arbotantes, o una tracción interior conseguida por medio de tirantes. Otra cosa sería si los muros y la superestructura pudieran ser completamente solidarios en la unión, de forma que se suprimiera la desconexión entre ellos. De esa forma las dos partes no serían más que un solo elemento de la estructura y los empujes serían aplicados directamente al terreno". El libro, publicado en 1901, y reconocido como texto en algunas escuelas de Francia y Bélgica, no habla para nada de isostatismo e hiperestatismo, y plantea el problema con el lenguaje de la época. Aún no están claras las solicitaciones concretas que se producen en una estructura con montantes de hierro.

Continúa diciendo: "Aprovechando la facilidad con la que el hierro se presta a uniones complejas, se había así creado una forma nueva, homogénea y de una pieza, con las formas escogidas para el intradós y el extradós de la superestructura". Lo que él considera todavía como el intradós o el extradós, usando un lenguaje específico de los arcos, en las soluciones metálicas son sólo la parte inferior y la superior del encaballado o, en un lenguaje más técnico, el tirante y los pares.

Reconociendo los avances que ha supuesto hasta ese momento la aportación de las estructuras metálicas al desarrollo de la arquitectura -dedica párrafos de sorprendente elogio a los espacios majestuosos conseguidos con hierro y cristal para las grandes exposiciones-, recoge la confusa situación existente a finales del s. XIX y principios del XX, resumida en la polémica dialéctica sobre el uso del hierro que mantuvieron Garnier y Viollet. Para Garnier, "El hierro sólo es apropiado para construir hangares", mientras que para Viollet, "Se podría decir que el hierro no ha sido empleado en nuestros edificios de una manera aparente porque este material no se presta a las formas monumentales que, siendo la consecuencia de materiales con otras cualidades distintas a las del hierro, no se adaptan a éste. La consecuencia lógica sería que no hay que conservar esas formas y que hay que encontrar otras que se deriven de las propiedades del hierro". En todo caso, Cloquet acaba el capítulo sobre estructuras con una frase que describe con exactitud su pesimismo ante la nueva situación: "Sea lo que sea, el empleo sistemático del hierro y del hormigón armado son inseparables de la policromía, único recurso para



Fig. 12.38 Museo de Historia Natural de la universidad de Oxford



Fig. 12.39 Sinagoga de París, de Eiffel

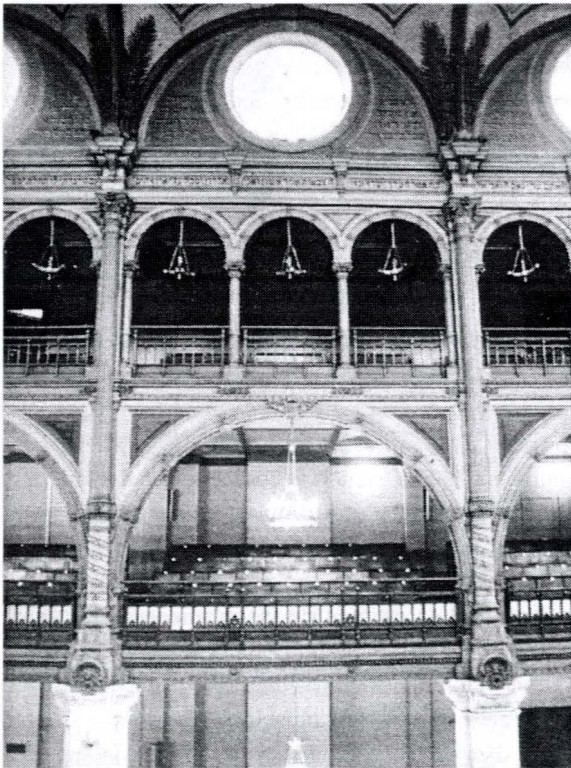


Fig. 12.40 Sinagoga de París, de Eiffel

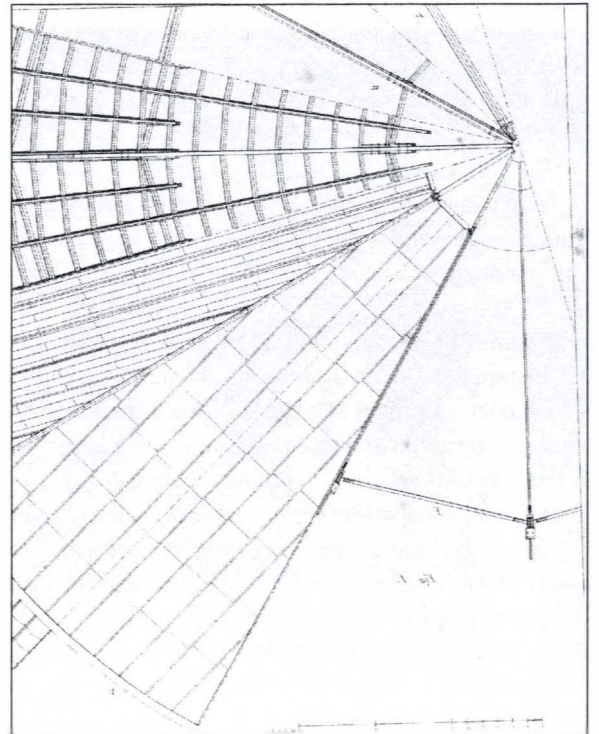


Fig. 12.41 Esquema de estructura de una sala panorámica en París

salvar al hierro de su aridez y al hormigón de su presencia amorfa”.

### 12.3 Nuevas tipologías

En el camino hacia la consecución de una expresividad propia de las estructuras metálicas, va a contribuir positivamente la aparición de una demanda de edificios singulares de equipamiento, cuya utilidad estará por encima de cualquier otro requisito. El nuevo material es capaz de solventar de forma rápida y relativamente económica los problemas que plantean los programas de estos edificios. Haussman, alcalde de París en tiempos de Napoleón III, exige a sus arquitectos: “De hierro, únicamente de hierro”, como requisito para construir todos esos equipamientos, acuciado por la necesidad de dar respuesta inmediata a las exigencias sociales.

Por su influencia en el proceso destacan los mercados de zona (Figs. 12.44 y 12.45). Con ese mismo diseño se proyectan edificios similares prácticamente en toda Europa, y están todavía en uso algunos ejemplos notables de esta tipología.

Los grandes mercados o almacenes centrales se proyectan con las características propias de los edificios industriales (Figs. 12.46 y 12.47), muy lejos de la compleja arquitectura del almacén de granos de París de finales del XVIII, cuya fábrica es aprovechada, por lo solemne, para la sede de la Bolsa de Valores.

El nuevo edificio para *Les halles*, mercados centrales de París -construido entre 1853 y 1858 y demolidas en 1972-, se despojan, en lo que pueden, de cualquier intención decorativa, y sobre un proyecto de Baltard y Callet se construye con fundición uno de los espacios más sugerentes del siglo (Fig. 12.48).

Las exposiciones universales son de gran interés por su gigantismo y por las exigencias de novedad y exhibición de la mejor tecnología posible que plantean a los gobiernos y a las industrias nacionales. En un concepto que aún se arrastra hoy, en ellas era necesario todo tipo de alardes, lo que obliga a sus organizadores a batir constantemente el nivel alcanzado en la ante-

rior. En cada una de las tres sucesivas que se proyectan en París se bate un nuevo récord de luz incorporando a la estructura todos los adelantos técnicos del momento. Estos adelantos se basan en un dominio creciente de la tecnología de las grandes construcciones más que en una mejora de los sistemas de cálculo. En 1867 la luz del palacio fue de 35 m (Fig. 12.49), en 1878 se mantuvo también en esa dimensión (Fig. 12.50), pero en 1899 de pasa a 115 m de luz para la Gran Galería de Máquinas (Fig. 12.51), según el proyecto de Kranz y Eiffel, a la vez que se construye, por la pura ambición ingenieril de exhibir una gigantesca estructura perfectamente inútil, la emblemática Torre Eiffel (Figs. 12.52 y 12.53). Sólo se pretende la forma que aconseja el cálculo, y se puede considerar una construcción no arquitectónica.

En estas exposiciones universales se puede encontrar, en todas las variantes imaginables, las posibilidades de las grandes estructuras metálicas, pero siempre alrededor de los conceptos expuestos: Aprovechamiento máximo de las posibilidades técnicas de las armaduras de hierro, con referencias historicistas más o menos disimuladas, y a veces de difícil identificación.

### 12.4 Los resultados

A partir de la primera década del siglo XX las estructuras de acero y de hormigón se dimensionan ajustadamente y los sistemas de cálculo permiten decidir cada detalle de montaje con seguridad. El único problema será incorporar a esa estructura todos los demás elementos constructivos, y en ese proceso, con la introducción en la actualidad de los productos químicos, aún no se ha llegado al final. Con esos medios el resultado depende siempre de la mayor o menor habilidad arquitectónica con la que se manejen las posibilidades expresivas de las soluciones constructivas.

El lenguaje que responde a la lógica intrínseca del hierro cristaliza primero a través de los intentos modernistas y posteriormente, despojada de cualquier servidumbre historicista, en el racionalismo. Con la contribución de todas las artes plásticas y a través de un profundo cambio en la mentalidad de los arquitectos y constructores, aparecerán, antes de 1920, los pri-

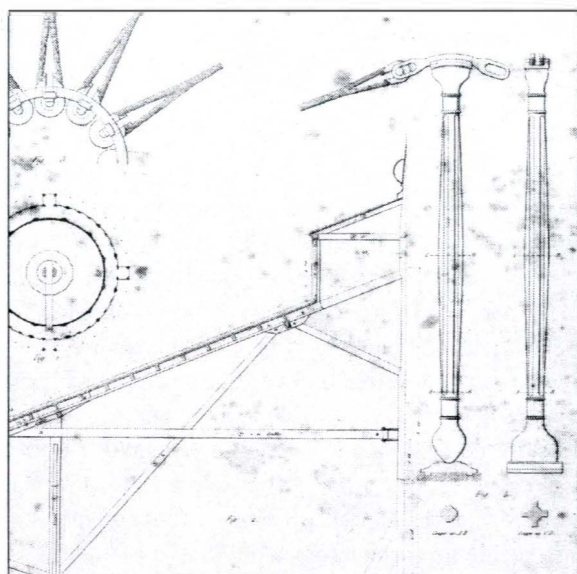


Fig. 12.42 Detalles de la estructura de una sala panorámica en París

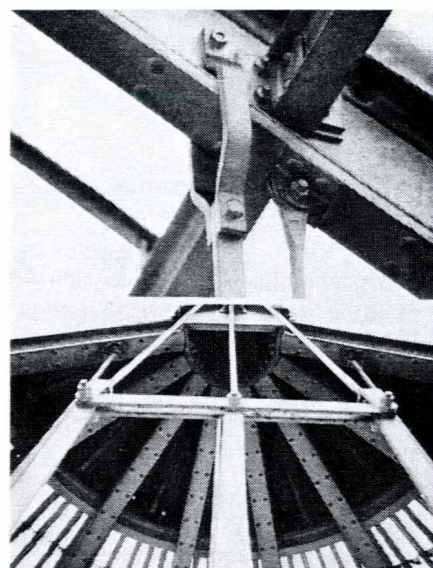


Fig. 12.43 Detalles de la estructura de unos grandes almacenes. Eiffel

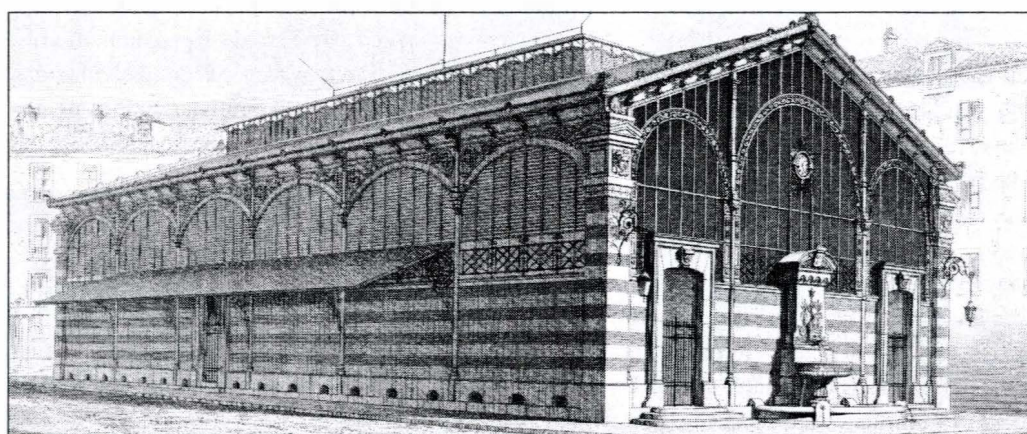


Fig. 12.44 Mercado de Santa Clara. París

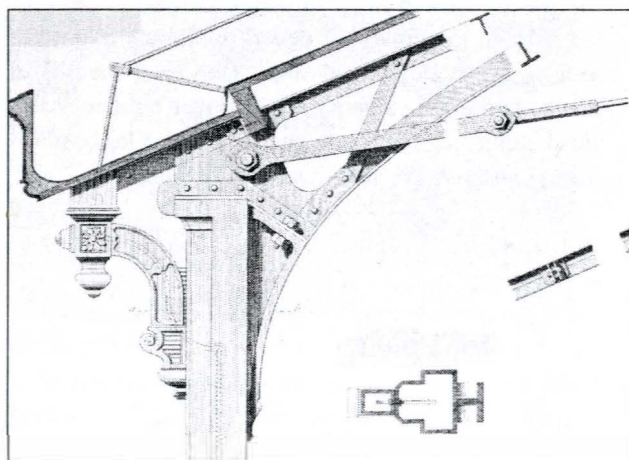


Fig. 12.45 Estructura metálica del mercado de Santa Clara. París

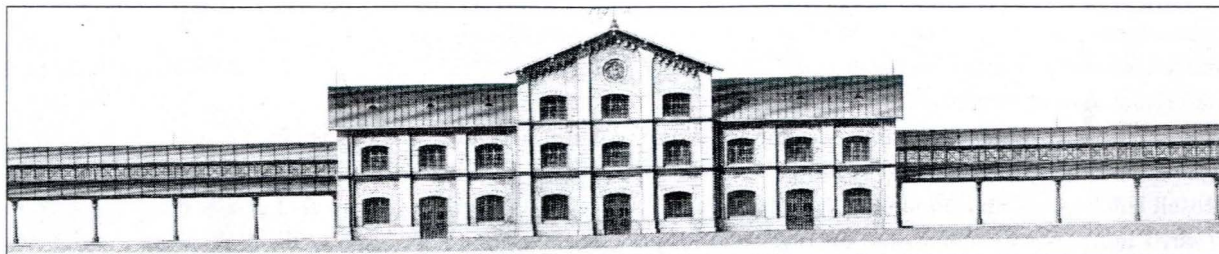


Fig. 12.46 Almacén de granos en Munich

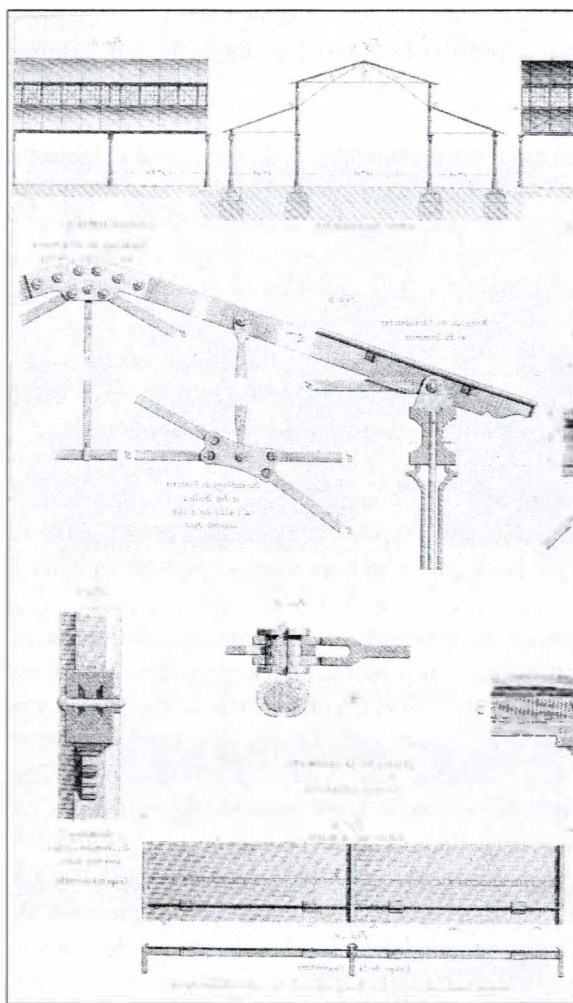


Fig. 12.47 Almacén de granos en Munich. Detalles de la estructura



Fig. 12.48 Mercado Central de París, demolido en 1972

meros ejemplos del uso racional del hierro, cuya culminación práctica para el interés de esta historia consideraremos que se produce en los proyectos de Mies Van der Rohe, y desde el punto de vista teórico con la aparición del libro *The International Style* de H. Russell Hitchcock y Philip Johnson, publicado en 1932, y cuyo título es suficientemente expresivo de lo que vendrá después.

Se basan en la búsqueda de la expresividad en la desnudez de los materiales, en el rigor geométrico de las formas, y en el tratamiento cuidadoso y sofisticado de los detalles constructivos para integrarlos en la estética general del edificio. Esta forma de trabajar, que genera una gran tensión sobre el diseño arquitectónico y constructivo, va a dar lugar a soluciones de una gran efectividad, aunque siempre, a pesar del rigor de sus orígenes teóricos, pagará un tributo elevadísimo a las apariencias formales y originará importantes contradicciones entre la práctica constructiva y el diseño. La pretensión de la pureza geométrica de las formas no siempre es compatible con los requerimientos exigibles a la construcción, y los problemas se suelen resolver con intrincadas soluciones que ocultan la naturaleza de las cosas.

Sobre los trabajos de Mies conviene establecer una cierta reflexión, ya que casi siempre la limpieza del diseño y las afirmaciones de su autor -"La forma no existe. Rechazamos reconocer problemas de forma: sólo problemas de construcción. La forma no es el objetivo de nuestro trabajo, sino sólo el resultado. Rechazamos toda especulación estética, toda doctrina y todo formalismo. No voy contra la forma sino contra la forma en sí misma. Espero que comprendan que la arquitectura no tiene nada que ver con la invención de las formas. No quiero que mis edificios aparezcan una arquitectura. Prefiero que no haya arquitectura"-, logran desviar la atención de sus verdaderas intenciones. Como no se trata de analizar cada obra, o cada detalle, valen para esta reflexión dos muestras típicas de su manera de trabajar. Parece que pretenda todo lo contrario de lo que tan solemnemente predica. Sus diseños son formas y sólo formas, o preferentemente formas. Lo que ocurre es que son formas que por su limpieza parecen detalles constructivos estrictos. Cuando hace reposar un pilar metálico robustísimo sobre un zócalo de ladrillos en una esquina que pro-

longa un muro nítido de obra vista (Fig. 12.54), está sugiriendo de inmediato la existencia de un truco constructivo. O el pilar es demasiado robusto, o los ladrillos son de una calidad excepcional. Si comparamos la sección del pilar y su capacidad de carga con la de los ladrillos y la suya, el detalle no se corresponde en absoluto con los postulados de Mies y casi parece una broma. Si debajo del pilar sólo están los ladrillos que se intuyen, el robusto pilar, que según los postulados de Mies se justifica sólo por la carga que recibe, los aplastará o, por lo menos, agrietará la fábrica, pero si los ladrillos son suficientes, sobra pilar por todas partes.

Otro tanto ocurre con la fachada de la capilla del Instituto Tecnológico de Illinois (Fig. 12.55). La cuidada distribución de la retícula metálica es sólo la búsqueda formal de un equilibrio estético sofisticadísimo por lo simple. Si sólo hubiera pretendido construir una fachada acristalada, sin ningún otro requisito, las lunas tendrían el tamaño estándar, o los pilares estarían dispuestos para conseguir los menores momentos en la viga, o ésta sería de distinto perfil en cada tramo.

La obra de Mies es abundante en este tipo de situaciones. Para nuestra fortuna nunca trabajó de acuerdo con lo que predicaba y su gran mérito consistió en dotar a la simple presencia de los elementos metálicos de todos los requisitos de lo que, para entendernos en un término sencillo, se reconoce simplemente como belleza artística en el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua: "La que se produce de forma cabal y conforme a los principios estéticos, por imitación de la naturaleza, o por intuición del espíritu". Con esta aportación, que se puede considerar el final de un trabajoso camino, con la concurrencia de todas las artes y por la necesidad de simplificar los procesos, se cierra el ciclo de búsqueda de la identidad de la construcción metálica, hasta que aparecen otros supuestos estéticos y otras disponibilidades.

## 12.5 La construcción tradicional

La construcción tradicional, y durante este periodo llamaremos así a la que se hace con los materiales tradicionales: piedra, cerámica, madera, cal y áridos diver-

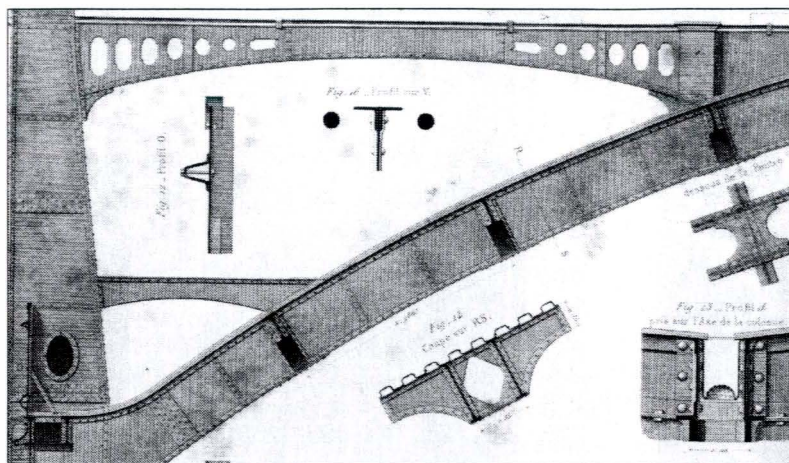


Fig. 12.49 Exposición Universal de París de 1868. Detalles constructivos de la sala central

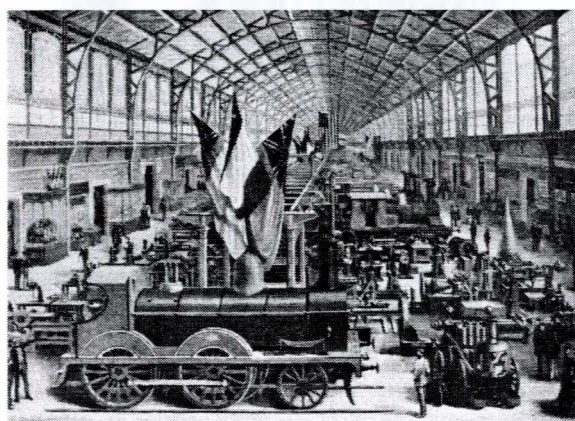


Fig. 12.50 Galería de las máquinas. Exposición Universal de París de 1878

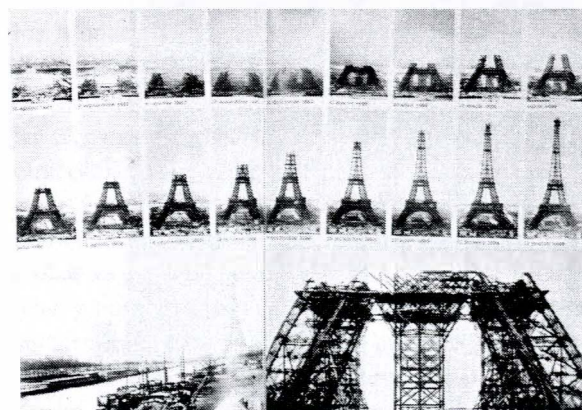


Fig. 12.52 Secuencia de construcción de la Torre Eiffel

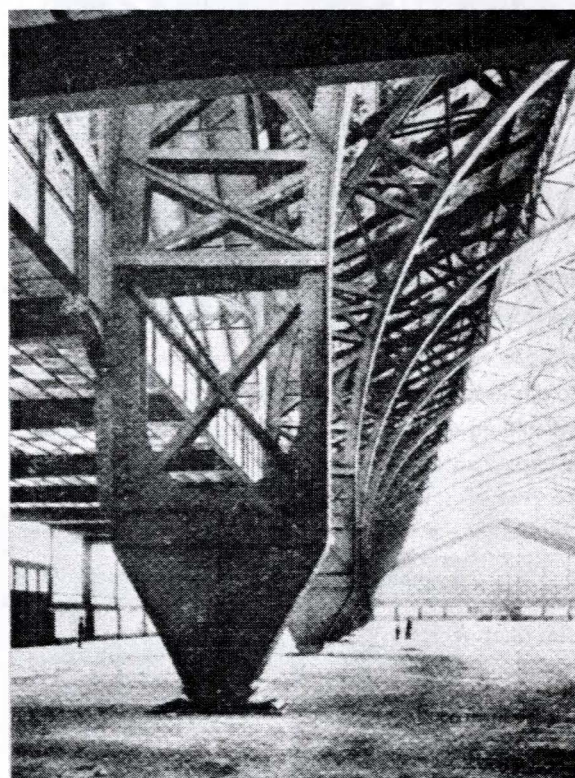


Fig. 12.51 Galería de las máquinas. Exposición Universal de París de 1889

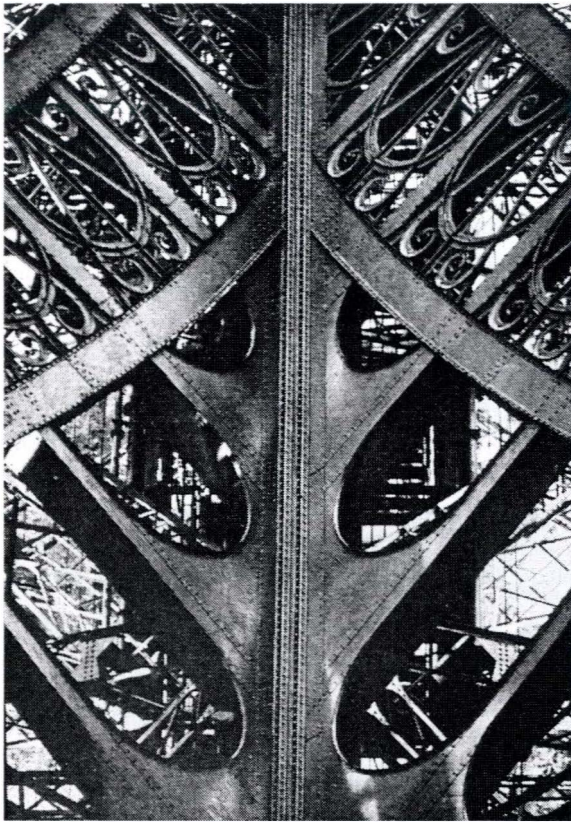


Fig. 12.53 Torre Eiffel. Detalle

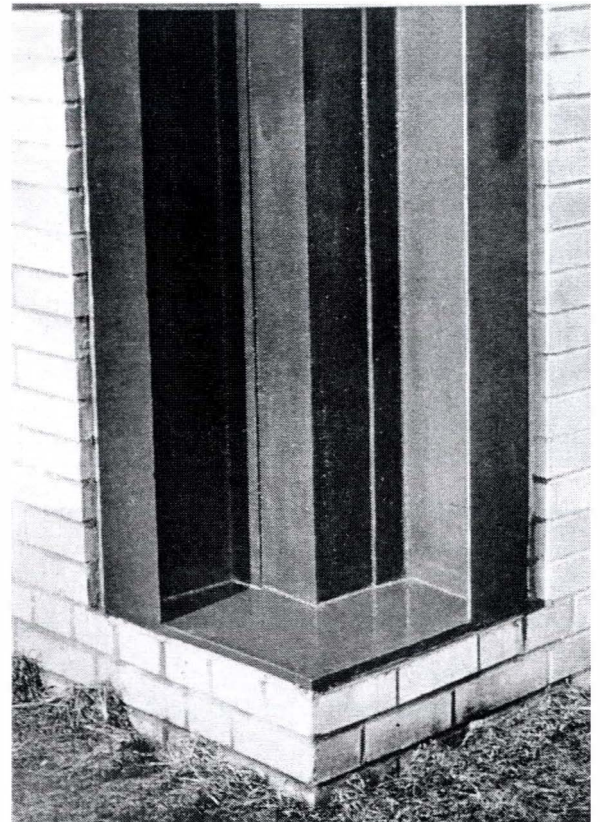


Fig. 12.54 Detalle constructivo de Mies Van der Rohe

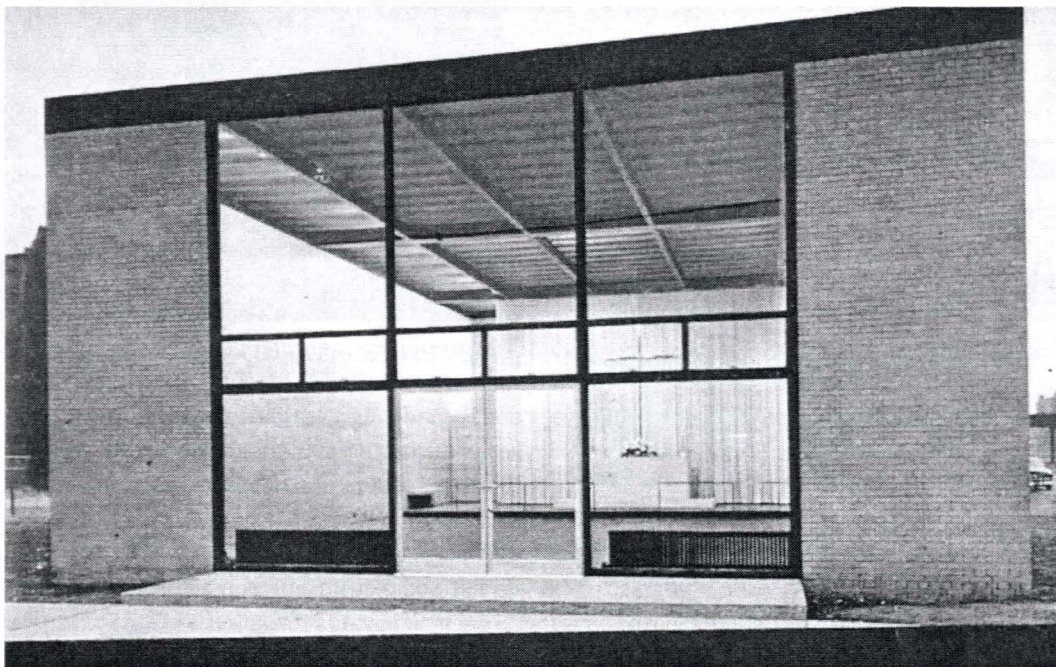


Fig. 12.55 Fachada de la capilla del tecnológico de Illinois. Mies Van der Rohe

sos, va a sufrir algunas modificaciones provenientes del ambiente general de la época.

Pretendiendo innovaciones sin justificación aparecen una serie de soluciones inviables que, de la mano del peor aspecto de la invención, pretenden resolver, bajo patente, todos los problemas de ejecución, o aportar novedades que se consideran definitivas. Esta presión de la oferta en un mercado en el que la demanda todavía no ha generado los criterios para la selección, provoca problemas de uso importantes y apropiaciones indebidas de las formas de un material por otro. En este sentido destaca el constante intento de los fundidores por mantener, en algunos casos muy remotamente interpretados, algunos detalles más apropiados para la madera o la piedra.

En dos años se registran en Francia 35 patentes sobre nuevos materiales, algunos tan pintorescos como el que imita cobre sobre superficies de yeso, o el que imita hierro sobre cobre. La fiebre de la innovación llega hasta los elementos más simples con patentes que desafían la más mínima lógica constructiva (Fig. 12.56), y con variantes cuya utilidad no se acaba de adivinar (Figs. 12.57 y 12.58), ya que la complicación que suponen sobre los modelos tradicionales anula las ventajas que pretenden conseguir.

Algunas novedades serán desarrolladas con seriedad y acabarán formando parte de nuestro repertorio, como los bloques cerámicos o de hormigón, de mayores dimensiones que los ladrillos tradicionales, o los ladrillos perforados y aligerados. La posibilidad de controlar técnicamente los procesos de producción permite ofrecer piezas cerámicas de calidad uniforme y medible, lo que va a permitir asignar a cada elemento fabricado una resistencia o, en cualquier caso, comprobar su estado de tensión. La necesidad de estandarizar y normalizar, junto con la pretensión de definir las formas idóneas en cada caso, produce unos catálogos de materiales y soluciones muy completos, aunque a veces sean excesivamente complejos (Fig. 12.59).

Se registran algunos avances en albañilería, aunque hasta que no aparece el cemento Portland a finales del siglo, no suponen cambios de importancia. Introduciendo una codificación, en algunos casos excesiva y gratuita, de algunos aspectos de la práctica inmediata,

se da apellido a los aparejos - inglés, flamenco, etc., atribuyendo a cada uno de ellos una utilidad específica- y se dibujan en los tratados con una gran precisión (Figs. 12.60 y 12.61), pretendiendo obtener con ella la mejora en su comportamiento mecánico.

En los morteros se produce un cierto avance cuando, a principios de siglo, Vicat describió las características de las cales hidráulicas y su mecanismo de actuación y estableció las normas para su control de la calidad, lo que mejoró la seguridad en el resultado.

El problema de fondo que empieza a dejarse notar en el proceso constructivo, sobre todo en la albañilería, es el progresivo encarecimiento de la mano de obra. La intención, que desde entonces no ha dejado de implementarse, de cualquier proceso es disminuir la incidencia del coste de la mano de obra en el resultado económico del proceso. Esta situación ha generado respuestas a algunos problemas que sólo están relacionadas remotamente con la evolución "natural" de los procesos constructivos para su mejora.

Se mantiene además la presión del mercado, entendido como la oferta de materiales y sistemas cuyos méritos en muchos casos no tienen nada que ver con la mejor construcción, a la vez que se incrementa la incidencia de los preceptos administrativos en el proceso. Aparecen una serie de interferencias en forma de normas técnicas, que casi siempre fijan mínimos ineludibles, laborales, municipales, etc., probablemente necesarias, que van a obligar, hasta nuestros días y cada vez más, a los proyectistas y constructores, al margen de lo que sería estrictamente necesario para el perfeccionamiento del proceso constructivo.

La tendencia a desmenuzar las prestaciones de cada elemento y la influencia de algunos conceptos sobre la forma en el aprovechamiento de las cualidades de los materiales ha provocado, desde los finales del s. XIX la sacralización de los detalles constructivos. Son aportaciones de diseños concretos a obras específicas, que pretenden resolver puntos conflictivos del proyecto, cuando se evidencian algunas contradicciones entre la forma y la función de cada material o cada elemento, o cuando es necesario resolver el contacto entre dos elementos de comportamientos dispares. Es evidente que este tipo de trabajo es necesario, pero desde

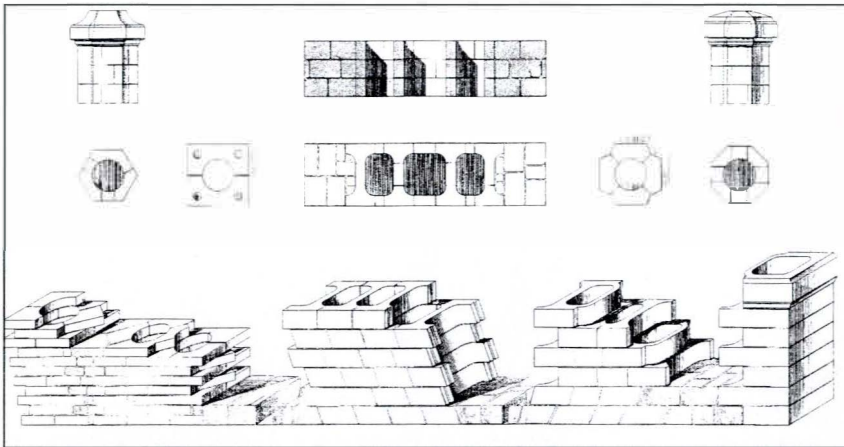


Fig. 12.56 Nuevos modelos de muros de bloques cerámicos. 1850

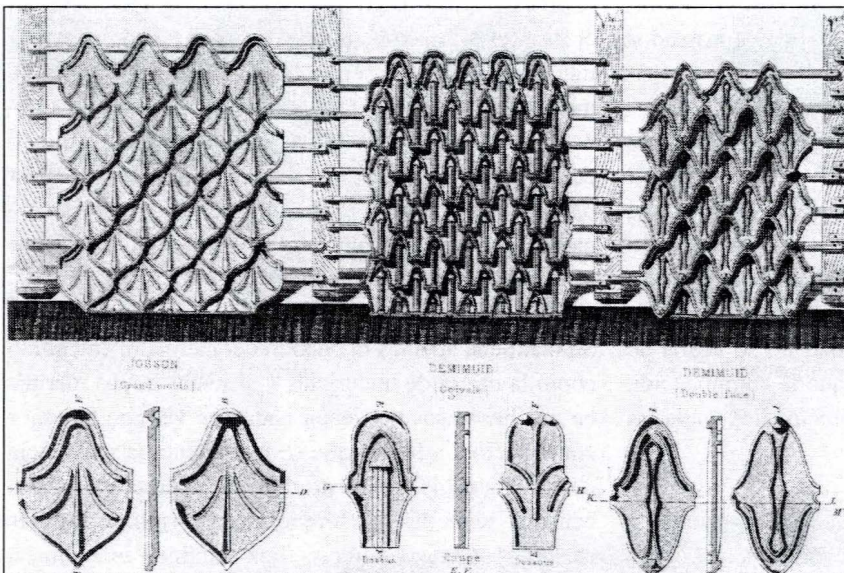


Fig. 12.57 Nuevos modelos de tejas. 1861

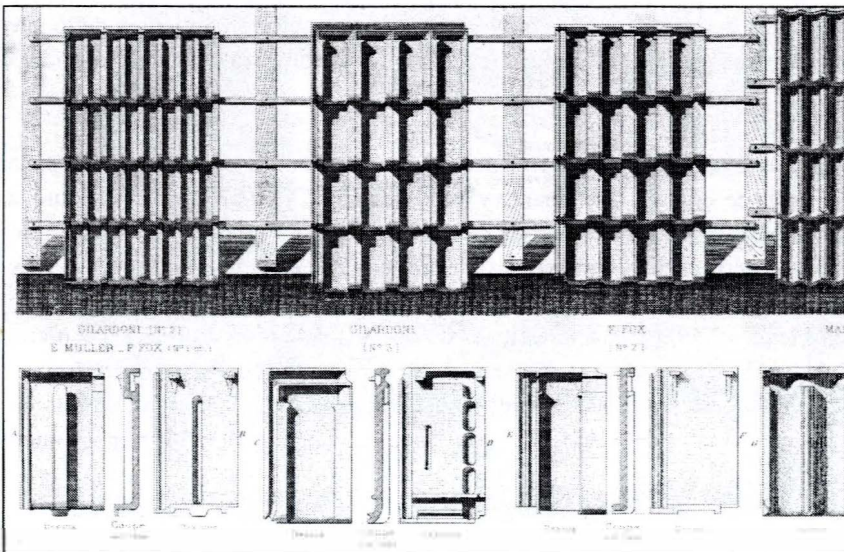


Fig. 12.58 Nuevos modelos de tejas. 1861

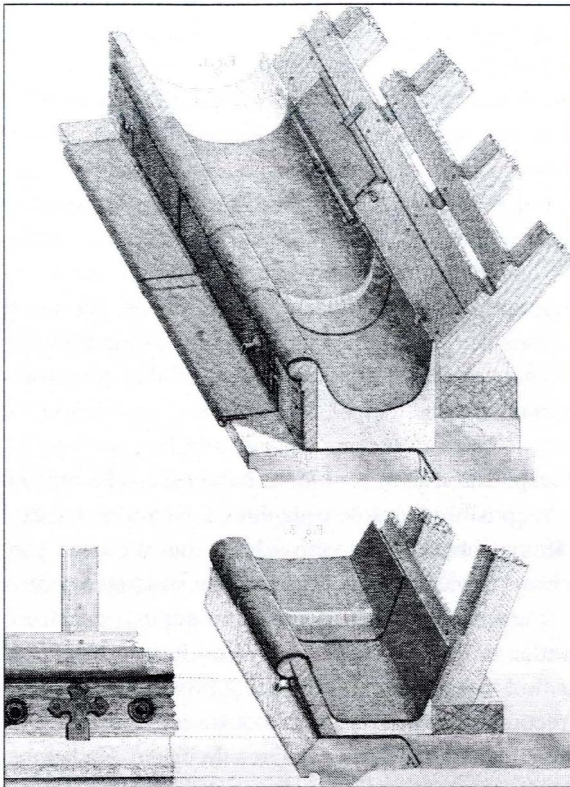


Fig. 12.59 Detalles de cubierta de plomo

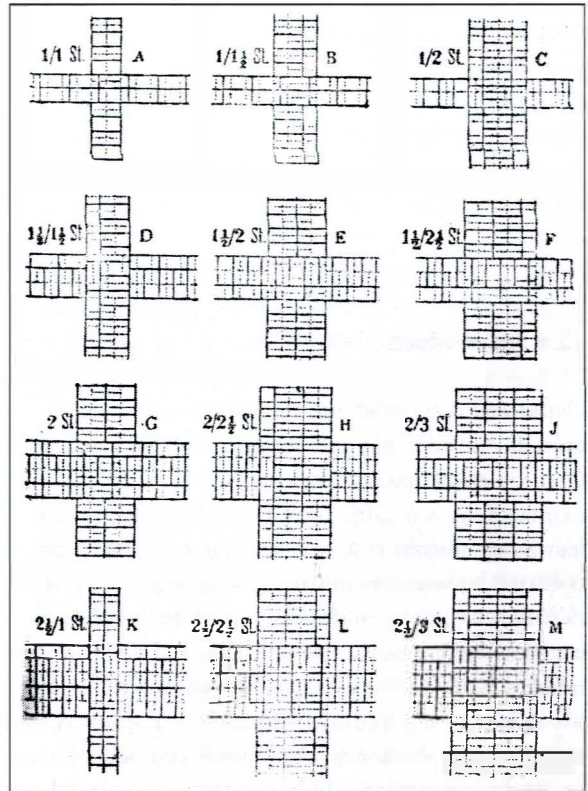


Fig. 12.61 Replanteo de diversas versiones de cruce de muros de fábrica de ladrillo

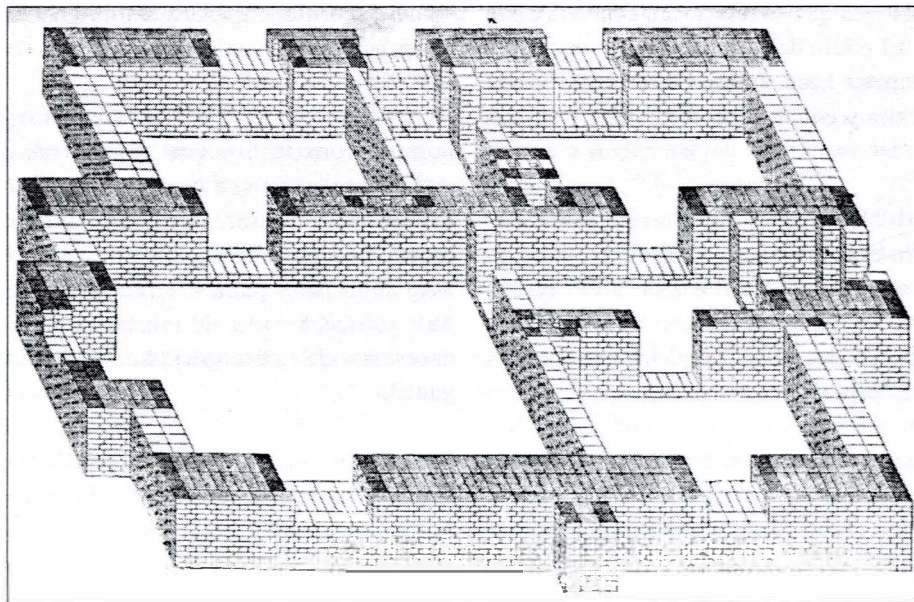


Fig. 12.60 Replanteo de un muro de fábrica de ladrillo según Wanderley

la época citada se carece de unas normas que permitan establecer las prioridades con seguridad, y casi siempre están sujetos a la mayor o menor habilidad del detallista, sin que exista una divulgación científica de los resultados, tanto buenos como malos, de la gran mayoría de ellos.

## 12.6 La madera

Como único material con capacidad de trabajar a tracción, la construcción tradicional cuenta con la madera. Con los esquemas industriales, su aprovechamiento y explotación va a sufrir unas modificaciones importantes: Se conforma y se seca al vapor, se puede serrar industrialmente con máquinas y transportar a costes razonables hasta cualquier punto del globo, en la explotación forestal se introduce una mínima racionalidad, seleccionando especies de rápido crecimiento, y los sistemas de cálculo permiten el mejor aprovechamiento de las secciones. Hasta mediados del s. XIX no se tendrá un sistema de descomposición de fuerzas con el que medir exactamente cada pieza de un encajado, pero la triangulación como concepto funciona desde hace cien años y permite estandarizar formas y secciones de probada eficacia basadas en unos diseños repetidos. Son famosas las formas de Mansard, y los tratados están llenos de diseños normalizados para todo tipo de cubiertas que se relacionan con la luz y la forma exterior. El oficio de carpintero tiene una sólida tradición que permite hacer frente a estos trabajos con primorosos encajes y entalladuras reforzadas y sujetas con hierro.

También son posibles grandes trabajos singulares -Bentancor, ingeniero español nacido en Tenerife, construye en Moscú en 1816 unas cerchas de 30 m de luz para el picadero del zar-, y se resuelven sin problema los grandes encajados y los complejos mecanismos de los teatros de ópera (Fig. 12.62).

Su talón de Aquiles es su combustibilidad. Sean cuales sean las precauciones, las estructuras de madera sin ignífugar, tarde o temprano acaban quemándose. Desde el incendio de Roma en tiempos de Nerón, pasando por el de Londres en 1666, al de Chicago en 1849 -tenía entonces 1.700.000 habitantes que habita-

ban en casas de madera según el sistema *ballon frame*- el uso de la madera como elemento de construcción ha supuesto un final dramático. El reciente de nuestro Liceo de Barcelona culmina una serie de incendios fortuitos y monumentales en el que se inscriben el del teatro del Odeón, en 1799. De Charles de Wailly, discípulo de Blondel, y la ya citada *Halle au Blé*, entre otros ejemplos que siempre han supuesto un importante trauma para las ciudades que los sufren. En todos los casos nos referimos a incendios provocados por la existencia abundante de madera y su calidad combustible como causa principal.

La respuesta a este problema ha estado relacionada con las posibilidades de cada época. Nerón reconstruyó Roma sobre un proyecto urbano más racional, con piedras y argamasa, los primeros constructores románicos aceptaron los esfuerzos que supuso construir bóvedas de piedra, y el nuevo Londres se hizo con ladrillos. A finales del s. XVIII y principios del XIX se recurre, como defensa, a la sustitución de las piezas de madera por otras similares de hierro. Ya hemos referido la operación llevada a cabo en *La halle au blé* como caso paradigmático, aunque antes, en 1786, Victor Louis había construido una cubierta de hierro forjado para el Teatro Francés de París. La diferencia de conceptos es que mientras *La halle* es una cubierta vista, las de los otros ejemplos son cubiertas ocultas, cuyo tratamiento es menos polémico, ya que pueden someterse en exclusiva a las exigencias meramente constructivas e ingenieriles.

Su uso, cuando se trata de forjados o de otros elementos construidos con escuadrías comerciales, estandarizadas de una manera o de otra desde la Edad Media, supone una limitación importante en las luces. Excepto en casos muy extremos, cuando se trata de forjados planos se limita a unos 7 m la crujía útil, ya que a partir de esa medida los incrementos necesarios de la escuadría no se justifican por la luz ganada.

En todo caso, a comienzos del s. XIX la carpintería de armar se sigue usando para cubiertas y forjados en edificios de viviendas, hasta que, por la huelga de carpinteros de París de 1845, se imponen en Francia los forjados metálicos, y de ahí al resto del mundo como ya hemos visto.

A finales del s. XIX y principios del XX, su empleo se restringió, excepto en algunos casos de encaballados industriales o edificios provisionales, como algunos palacios de la Exposición de Barcelona de 1929, a la carpintería de taller, especialidad que alcanza en esas fechas una gran calidad en sus trabajos (Fig. 12.63).

## 12.7 El cemento

El primer uso consciente de los cementos hidráulicos se produce en 1756, cuando Smeaton recibió el encargo de construir un faro permanente en Edystone. Antes había descubierto que la cal con una proporción alta de arcilla podía endurecer bajo el agua, y aunque no supo describir el proceso, pudo conseguir las mezclas oportunas para el trabajo. Fue Vicat quien en 1808 dictó las normas para la consecución de lo que a partir de entonces se conoció como cementos hidráulicos naturales, que no son otra cosa que cales con los contenidos adecuados de silicatos.

En EEUU la fabricación de cementos naturales empezó en 1818 y en 1889 se llegaron a fabricar 1.700.000 Tm, pero con la aparición del cemento Portland, que introducía durante el proceso de fabricación cada una de las materias que garantizan el comportamiento hidráulico y las propiedades físicas y mecánicas del material, en 1911 sólo se produjo la décima parte: 170.000 Tm.

La fabricación del cemento Portland dio comienzo en EEUU en el año 1875 y hasta el 79 se fabricaron 13.940 Tm. A final de siglo se llegó a 1.441.943 Tm, un año más tarde ya eran 2.160.908 Tm y creciendo a un ritmo extraordinario se llegó a 15.558.604 Tm en 1915 y casi 30.000.000 Tm en 1928. Durante la gran depresión se descendió hasta los 11.000.000 Tm y en el 42, en pleno esfuerzo de guerra, se llegó de nuevo hasta las 31.000.000 Tm.

Hoy en España se consumen alrededor de 22.000.000 de Tm y en Cataluña entre 3.000.000 ó 4.000.000 Tm. En un país en vías de desarrollo el consumo promedio es de 800 Kg por habitante y año, que desciende hasta 300 Kg en los que tienen un alto nivel de desarrollo.

La incorporación del cemento Portland al repertorio de materiales de construcción ha sido la segunda gran revolución de la época contemporánea. Menos complicada y traumática que la que supuso el hierro, sus usos y sus formas se han generado directamente sobre el producto. La sustitución de la cal, o su complemento, como ligante en los morteros, se hizo con especificaciones concretas, las estructuras se pudieron calcular casi desde el principio con exactitud y las formas, al poder moldearse *in situ* a voluntad respetando unos mínimos, fueron inmediatamente originales y adaptadas a sus características. El proceso de "limpieza" de las rémoras de todo tipo que fue necesario en el caso del hierro facilitó enormemente esta situación.

La fabricación industrial de los cementos naturales que se produce a partir de que Vicat describiera los materiales hidráulicos desarrolla en el inquieto s. XIX una cierta técnica en el manejo de los grandes vertidos, que, contrariamente a los romanos, no se aprovechan para los abovedamientos, sino para trabajos de cimentación y elementos auxiliares. No es extraño, pues, que sea un jardinero, Monier, quien "inventa" el hormigón armado, ni que para los primeros trabajos novedosos realizados con este material, el *malaxeur* (mezclador) Coignet patentara en 1843 la mezcladora de los componentes y sus proporciones, a base de cenizas y arcillas con mortero de cal y áridos que apisonados alcanzaban "la dureza de la piedra" (Fig. 12.64).

Estos intentos, que no llegaron a integrarse con autoridad en el proceso constructivo, contribuyeron al menos, a su depuración como material (Fig. 12.65).

La gran industrialización prefabricada de elementos resistentes, que se monta inmediatamente como consecuencia de la fabricación del cemento Portland a su sombra, debe competir desde finales del s. XIX con el hierro laminado. Esa disputa, que se resuelve siempre en función de datos muy complejos y específicos en cada caso, dura hasta hoy, y en los grandes proyectos, sobre todo de infraestructuras, conviven ambas soluciones.

Sin entrar en la pormenorización de la técnica y la estética del cemento en sus dos versiones principales, como mortero y como hormigón estructural, cabe



decir que la construcción, como la conocemos hoy en las áreas industrializadas, es impensable sin él. La posibilidad de atender una demanda creciente en proporción geométrica de infraestructuras y viviendas no hubiera sido posible sin su incorporación al repertorio de materiales de construcción.

Sus ventajas son prácticamente insuperables. Es el material más barato que se fabrica -su precio es una tercera parte del precio del agua envasada-, viaja muy bien, como todos los áridos susceptibles de servirse a granel, su calidad en origen es controlada muy ajustadamente y puede comprobarse la de su puesta en obra con ensayos relativamente fáciles de realizar. Su tecnología es bastante simple para los usos inmediatos, y cuando se requieren mayores prestaciones se suministra con una garantía casi absoluta. Las materias primas son abundantes en la naturaleza, prácticamente inagotables, y su proceso de fabricación, a pesar de que requiere inversiones elevadas, es asequible a casi todos los niveles técnicos existentes en países mínimamente desarrollados. Su capacidad para adaptarse a los requerimientos formales habituales en construcción, es, dentro de unos mínimos, prácticamente infinita. Se puede incorporar a casi todos los esquemas constructivos con muy pocas especificaciones, lo que mejora en general los resultados, y convenientemente trabajado atiende a casi todas las prestaciones necesarias.

Su talón de Aquiles es, precisamente, esa facilidad de uso que, aunque es cierta en casi todos los casos, en algunos es sólo aparente. Los problemas surgidos últimamente en torno a algunas variedades de cemento pueden ser una muestra de que no se le ha prestado la atención debida cuando ha sido necesario obtener de él sus mejores prestaciones. El hormigón armado es un extraordinario recurso, pero su utilización como material resistente debe ser muy cuidadosa. Como ya advirtió Leonardo, lo que necesita de hierro "poco dura". La capacidad de oxidación de las armaduras es una amenaza permanente de las estructuras y sus efectos progresan geométricamente una vez iniciado el proceso, con resultados calamitosos. Los áridos, aunque menos frecuentemente, también pueden presentar problemas si reaccionan con el cemento. Las patologías más abundantes a las que tendrá que hacer frente la construcción en un futuro que quizás ya haya comen-

zado provendrán de los defectos en la utilización del hormigón armado.

En la albañilería el cemento sustituye, sólo o mezclado con cal en morteros llamados bastardos, a los morteros de cal. Esta sustitución no ha sido gratuita, y hasta que no se han comercializado algunas variedades, se ha pagado la servidumbre de unas fábricas sin apenas capacidad para absorber, sin agrietarse, los pequeños movimientos, inevitables, que se producen durante el proceso de fraguado, endurecimiento y durante la vida de las obras.

De todas formas las características del cemento le auguran una larga vida. No se adivina, con los datos que se pueden manejar hoy -el futuro siempre se ha predicho sobre una evolución del presente, cuando lo que realmente lo conforma son las novedades imprevisibles-, un material alternativo. Las grandes novedades, hasta la fecha, son simplemente modificaciones en la estrategia de fabricación y en su logística, con la aparición de nuevos países exportadores y el descenso de la producción en países en los que el balance energético y ecológico es muy afinado.

A pesar de todo, en algunas áreas su precio es prohibitivo. En el llamado Tercer Mundo la renta no llega ni para disponer de agua potable y de la mínima red sanitaria, y mucho menos para el uso habitual del cemento en la construcción de viviendas. Pero ése es otro problema o, quizás, el único problema.

## 12.8 El vidrio

El tercer material que como novedad importante se va a incorporar a la construcción en el s. XIX es el vidrio.

El vidrio se conoce desde los egipcios, y como en el caso del hierro su incorporación al proceso se va producir como resultado de las mejoras que supone la industrialización, y porque los herrajes metálicos van a permitir su uso en grandes superficies. Las variantes industriales son el vidrio laminado y el flotado, que sustituyen al soplado. Hasta mediados del siglo XVIII el vidrio para la construcción se fabricaba soplando la masa hasta conseguir unos grandes círculos que se

aplastaban sobre láminas metálicas, de los cuales se cortaban las zonas más regulares en trozos pequeños que se sujetaban a armazones de madera.

A principios del siglo XIX se encuentran lunas hasta de 1,70x2,50 m, que se fabrican por flotación de la masa fundida en una superficie de estaño o mercurio. El consumo, como el de todos los materiales de utilidad inmediata, se dispara y pasa, según Benévolo, de 10.000 quintales en 1816 a 60.000 quintales en 1829.

Su uso en construcción arquitectónica se inicia en los escaparates, pero quienes realmente descubren las posibilidades expresivas de los grandes acristalamientos en fecha muy temprana son los jardineros, que construyen grandes invernaderos de los que son ejemplos notables el Jardín de Plantas en París, de 1833, los de Paxton en Chatsworth, de 1837 y los Kew Gardens de Burton de 1844. A partir de la existencia de perfiles simples y láminas de vidrio de grandes dimensiones su función estrictamente utilitaria posibilitó (Fig. 12.66) un lenguaje desprovisto de cualquier rémora culturalista.

La primera integración de las capacidades del vidrio en los espacios arquitectónicos empieza por una transposición de formas. Joseph Paxton, en 1850, para sacar del atolladero a los poco previsores responsables de la Exposición Universal de Londres, proyecta un gigantesco invernadero, el *Crystal Palace* (Fig. 12.67), en el que poder celebrarla. Todo en esta obra es un récord. Parece ser que se proyectó en diez días, repitiendo una solución muy simple de la que fueron necesarias pocas variantes, y se montó en tres meses. Con 3.300 pilares, 2.224 viguetas, 300.000 cristales y 205.000 marcos, se construyeron 70.000 metros cuadrados de superficie. Probablemente los escasos compromisos estéticos de Paxton hicieron posible este resultado, a pesar de que hubo intentos de "mejorar" el resultado.

El éxito y la repercusión alcanzada por el *Palace* fueron extraordinarios como se deduce de las entusiastas descripciones de los contemporáneos. No obstante la integración definitiva del vidrio como muro va estar limitada hasta que la tecnología solucione los complicados problemas de sujeción, aunque se dan ejemplos pioneros como el Garage de la c/Marboef en París, de

Labrouste, o el almacén de libros de la Biblioteca Nacional del mismo arquitecto.

A partir de estos ejemplos el uso del vidrio no ha dejado de ganar espacio en los proyectos arquitectónicos, mejorándose la tecnología hasta llegar en la actualidad a suprimir la apariencia de cualquier sistema de anclaje en superficies completamente acristaladas.

## 12.9 El resultado

La creación definitiva de las formas que aprovechan de manera definitiva las propiedades del acero laminado, que es la versión del hierro que se impone definitivamente hasta que aparecen los extrusionados estructurales y los *composites*, aún de escasa aplicación, así como la integración de las estructuras y las posibilidades expresivas del hormigón, está influida por los movimientos artísticos del siglo XX a la vez que ejerce sobre ellos una influencia detectable. Las descarnadas búsquedas formales que nosotros hemos considerado, en esta historia de la construcción, acabadas en Mies van der Rohe y sus epígonos, van a influir y a ser influidas por lo que genéricamente se ha llamado la estética moderna. Los postmodernos son otra cosa, y los consideramos fuera del alcance de este trabajo.

Como resultado de estas incorporaciones los proyectos se van a articular sobre el manejo de cuatro puntos básicos:

- 1) La estructura se organiza con pilares y losas, tanto de hierro como de hormigón armado. En viviendas y en edificios comerciales, de oficinas o de ventas, se define la sección resistente independientemente de otras consideraciones y se llega a la máxima diafanidad en función de las necesidades del espacio, ya que, excepto en caso muy extremos, son posibles luces considerables.

- 2) El edificio se concibe, a partir del punto anterior, como una estructura en la que se insertan los demás elementos, con lo que al despojarlos de su carácter resistente, pueden atender a otros requerimientos relacionados con el confort, la utilidad o la estética pasando a un segundo plano su capacidad resistente.

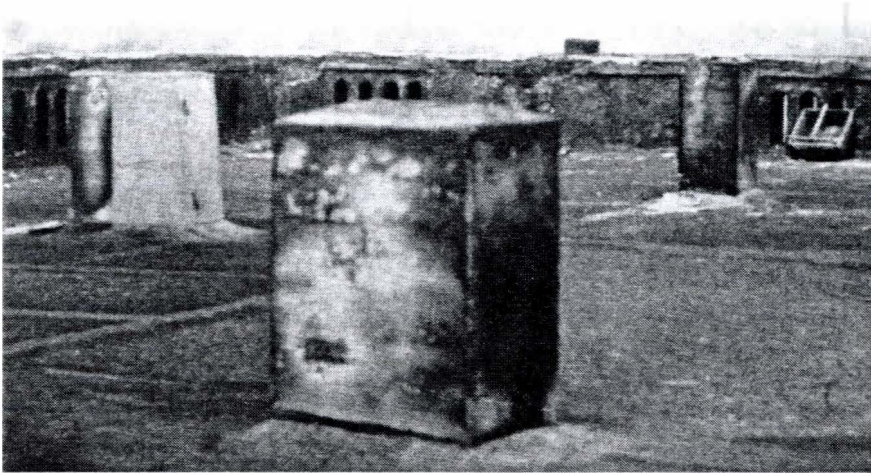


Fig. 12.65 Terraza de cemento compuesto en obra, armado con perfiles metálicos en Saint-Denis, por Coignet. 1862

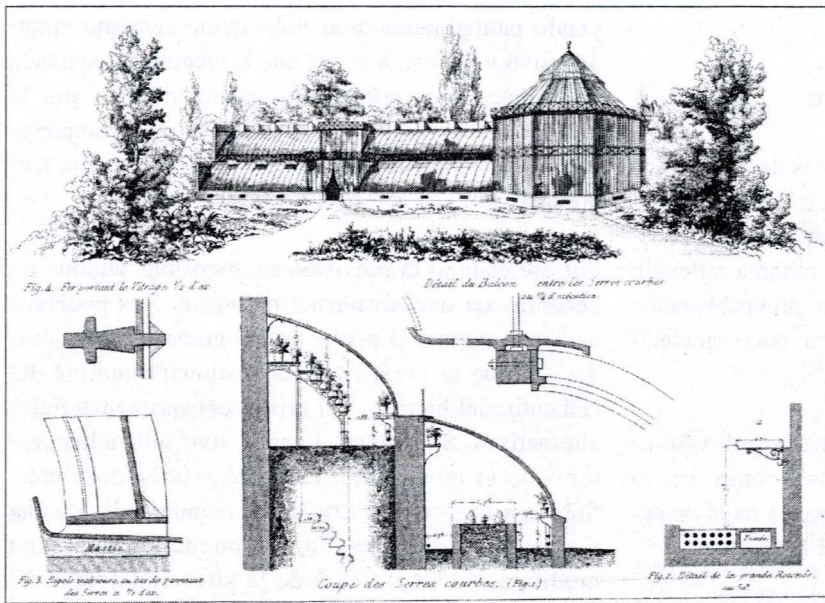


Fig. 12.66 Invernaderos 1850

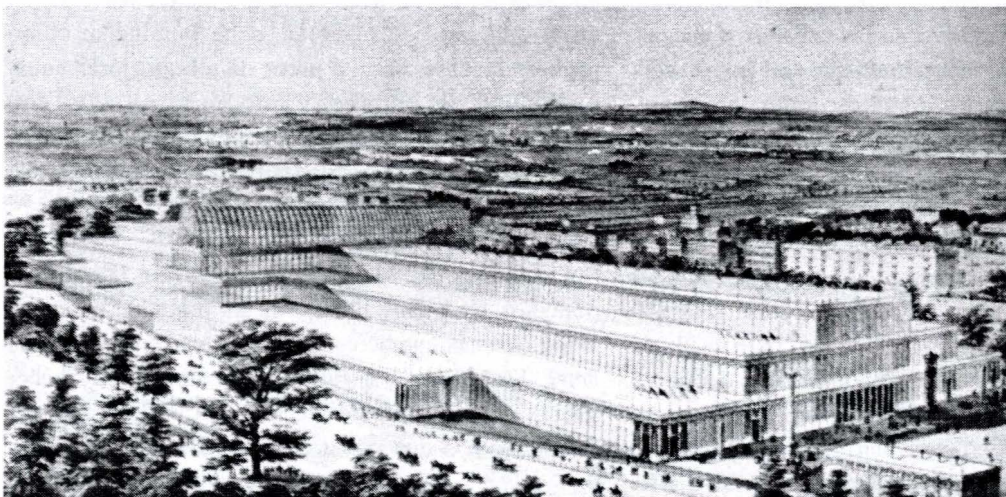


Fig. 12.67

3) La organización interior del espacio es totalmente libre, dentro de los límites básicos fijados en el proyecto de estructura, y su relación con el espacio exterior puede ser regulada específicamente.

4) El metabolismo del edificio se atiende muy pormenorizadamente, estableciendo las oportunas reservas en el proyecto.

A partir de estos supuestos se desarrolla, a veces con aportes ideológicos realmente farragosos, toda la construcción de nuestro tiempo, por lo menos, la residencial y la de los edificios que pudiéramos llamar convencionales.

### 12.10 Reflexión de nuestra época

El habitual apartado en el que tratamos de resumir los aspectos positivos que para el desarrollo de la construcción arquitectónica ha dejado cada época, debemos sustituirlo en este caso por una mínima reflexión sobre lo que está ocurriendo y lo que previsiblemente ocurrirá, procurando evitarnos el oficio poco agradecido de profeta.

El principal problema para intentar esa reflexión es que el escenario en que se desarrolla es único por la consideración del mundo que se concreta en la expresión "aldea global", aunque ahí acabe la unicidad.

Se pueden describir, involucrados en el proceso constructivo tal y como lo entendemos, es decir, superando el primer estadio primitivo de las cabañas o chozas, más relacionadas con la artesanía que con la construcción, muchos escenarios distintos, todos inmediatamente próximos, y cada uno con sus características especiales.

En primer lugar, y siguiendo un orden cronológico estricto, se puede diferenciar una primera mitad de siglo, que dura más o menos según las áreas geográficas, en las que la evolución se produce como resultado de la incorporación definitiva y asequible del acero laminado y del cemento Portland, junto con los sistemas de cálculo práctico inmediato -lo que Nervi llama la democratización de las formulaciones más difíciles

de la física-, a la construcción arquitectónica que se practica en Occidente, entendiéndolo este término en toda su amplitud, y en el que se deben incluir sus zonas de influencia por remotas que sean.

Durante esta etapa se perfeccionan las tecnologías del acero y del cemento, se universaliza la producción industrial de todos los materiales que forman parte del proceso y se pretende la descripción ajustada de las condiciones de trabajo de cada uno de ellos.

A partir de un momento indeterminado que se puede considerar la década de los sesenta, comienzan a irrumpir en el mercado una gran variedad de productos químicos de muy variada utilidad, que van sustituyendo paulatinamente al polivalente cemento como adhesivo y ligante, a la vez que la tecnología, ayudada desde hace unos pocos años, menos de diez, por la informática, consigue ajustar procesos muy complejos en lo que se ha dado en llamar *High Tech*, o alta tecnología.

Por ese camino la previsión es imposible, aunque no debemos ser excesivamente optimista. Nos podemos dedicar a marear la perdiz del progreso durante décadas sin que se prevea hoy la sustitución masiva del cemento, del hierro y del cristal por otros materiales alternativos. Su lenguaje constructivo sufrirá los avatares de la moda arquitectónica y poca cosa más. Sólo la asunción por parte de las comunidades de una mayor conciencia ecológica puede suponer una modificación importante de la situación actual. El balance energético de los procesos constructivos, que empieza en la fabricación de los materiales y acaba en el reciclado de residuos, debe imponerse como primera medida, para, a partir de ella, mejorar nuestra gestión del entorno, y esto no se resuelve con actuaciones puntuales más o menos polémicas, sino a través de la aceptación de las limitaciones de nuestro mundo.

Sin embargo, se dan otras situaciones a las que no podemos ser ajenos. Miles de millones de personas viven en unas condiciones inaceptables en los albores del s. XXI. Éste es un problema -como hemos dicho, quizás sea el único problema-, extraordinariamente complejo en el que se mezclan y se debaten cuestiones de índole ética, cultural, económica, religiosa y política

que no tienen una respuesta única ni irrefutable. Pero reduciéndolo al ámbito de nuestro interés, podemos afirmar que disponer de agua potable, asistencia sanitaria, redes de evacuación de aguas residuales y un lugar en el que protegerse de la intemperie, es mejor que no tenerlos, sea cual sea el punto de partida de la polémica. Y ésta es la cuestión, que se deben procurar esas mejoras tratando de evitar los problemas que genera su obtención por la simple transferencia de las circunstancias que las han hecho posibles en nuestro entorno.

Nadie puede dar una respuesta única y de valor universal a esta situación, pero es posible intentarlo. Lo más abundante en algunas áreas son las personas, y sólo con la mejora de sus expectativas se encontrará la

solución. Los proyectos de Hassan Fathy (Fig. 7.77), que demuestran cómo con adobes trabajados a mano se pueden obtener viviendas dignas y edificios útiles, y otras tipologías constructivas basadas en el aprovechamiento de los recursos autóctonos, pueden ser un camino válido. Se tratará de evitar al máximo la "invasión" tecnológica, pero sin que ello suponga renuncias de importancia en ese camino. Por poner un ejemplo límite, un quirófano siempre necesitará buena luz, agua corriente, un complicado instrumental, una farmacopea abundante y cada vez más sofisticada que hay que fabricar, y tiene que ser posible llegar hasta él con una ambulancia. El equilibrio será difícil de conseguir y la última palabra deben tenerla, después de recabar la información necesaria, los afectados.

#### Apéndice

##### Relación cronológica de construcción de puentes metálicos

1755. Puento metálico sobre el Rin que se hunde.  
 1775-79 Puento metálico sobre el Severn con un arco de 30.15 m de luz y 13.5 de flecha, en dos piezas. Lo proyecta y construye Abraham Darvy ayudado por Wilkinson, maestro de forja. Antes, en 1747, había descrito la obtención de hierro fundido en esas dimensiones, pero sólo para máquinas.  
 1793-96 Puento sobre el Sutherland de 70.80 m. Lo construye Roland Burdon sobre planos de Tours Paine, al que roba. Éste ya había hecho experimentos en Paddington sobre una luz de 30.40 m. Constituido por seis arcos de 105 paneles, fundidos como dovelas, cada uno.  
 1801 Proyecto de Telford y Douglas para el puente sobre el Tamesis que no se construye, con un arco de 180 m de luz y 19.50 m de altura.  
 1801 Proyecto de Telford y Douglas para el puente sobre el Tamesis que no se construye, con un arco de 180 m de luz y 19.50 m de altura.  
 1813 Puento sobre el Tweed de S. Brown, 91 m de luz colgando de cadenas de eslabones de 5 cm.

- 1824 Puento colgante sobre el Ródano de Marc Seguin.  
 1851 Puento sobre el Niágara.  
 1868 Se inicia el puente de Brooklin, proyecto de Al Robling.  
 1933-37 Se construye el puente de San Francisco, 1.281 m de luz y 18.30 m de anchura.

##### Cronología de los cementos hidráulicos

1756. Smeaton inventa la cal hidráulica y construye el faro de Edystone.  
 1868. Primer hormigón armado. El jardinero Monier arma el hormigón de cemento natural con unas redes metálicas.  
 1891. Primera carretera de firme de hormigón construida en Bellefontaine, Ohio.  
 1890. Usa por primera vez el hormigón en España el ing. Eugenio Ribera.  
 1903. Construcción de un edificio de dieciocho plantas en Cincinnati.  
 1903. Francesc Maciá usa por primera vez el hormigón armado en Cataluña en unos silos de Puigret, en Lérida.  
 1914. Formulación de la ley de la relación agua-cemento.  
 1935. Primera carretera secundaria de tierra-cemento.  
 1906. Primeros pilares de hormigón armado en Barcelona.



## Bibliografía

- ADAM, J.P. *La Construcción Romana*. Picard. París. 1984.
- ALBERTI, L. B. *Los Diez Libros de Arquitectura*. Traducido por Francisco Lozano. Alonso Gómez. Madrid. 1582
- ALEXANDER, C. *El Modo Intemporal de Construir*. Gustavo Gili. Barcelona. 1979.
- ALZOLA Y MINONDO. *Historia de las Obras Públicas en España*. Editorial Turner. Madrid. 1979.
- Anuarios de la Asociación de Arquitectos de Catalunya*.
- ARNALDEZ, R. y otros. *Historia General de las Ciencias*. Editorial Orbis, S.A. Barcelona. 1988.
- AUBERT, M. *Nueva Historia Universal del Arte*. Firmin-Didot. París 1932.
- BAILS, B. *De la Arquitectura Civil*. Viuda de Joaquin Ibarra. Madrid 1796
- BATISSIER, L. DE. *Historia del Arte Monumental en la Antigüedad y la Edad Media*. Furne y cia. París 1860.
- BELIDOR. *La ciencia de los Ingenieros en la dirección de los trabajos de Fortificación y de la Arquitectura Civil*. Claude Jombart, París 1729
- BENAVENT, P. *Cómo debo construir*. Bosch, Casa Editorial. Barcelona 1939.
- BENEVOLO, L. *Historia de la Arquitectura Moderna*. Taurus Ediciones. Madrid. 1963.
- BENDALA, F. *Los arcos de fábrica*. ETSAB. Barcelona.
- BENVENUTO, E. *La ciencia de la construcción y su desarrollo histórico*. Sansoni. Florencia 1981.
- BLONDEL, F. *Resolución de los cuatro principales problemas de la arquitectura*. París, 1676.
- BLONDEL, J. *Curso de Arquitectura*. 1771.
- BONET C. *Historia de las Artes Aplicadas e Industriales en España*. Manual de Arte Cátedra. Madrid. 1988.
- BONET CORREA, A. *Arte prerrománico asturiano*. Polígrafa. Barcelona. 1967.
- BORSI, F.; ALBERTI, L. B. *Obra completa*. Electa Editrice. Milán 1980.
- BRIZCUZ Y BRU, A. *Escuela de arquitectura civil*. Valencia. 1738.
- CABALLERO ZOREDA, L. y otros. *Curso de Mecánica y Tecnología de los edificios antiguos*. COAM. Madrid. 1987.
- CASTRO, A. *Algunos aspectos de la ciencia cierta de la construcción medieval*. Tesis doctoral. ETSAB. 1987
- CAVEDA, J. *Ensayo Histórico de los diversos géneros de Arquitectura empleados en España desde la Dominación Romana hasta nuestros días*. Imp. Santiago Saunague. Madrid 1849.
- CERVERA VERA, L. *El Códice de Vitruvio hasta sus Primeras versiones impresas*. Instituto de España. Madrid. 1978.
- CENNINO CENNINI. *El libro del Arte*. Akal. 1992.
- CESARIANO, C. *De Arquitectura*. Francisco de Giorgio. 1814.
- CHOISY, A. *Historia de la Arquitectura*. Baranger e Hijos. París 1903.
- CLOQUET. *Tratado de Construcción*. Bruselas. 1905.
- COARELLI, F. *Roma*. Mas-Ivars Editores. S.L. Barcelona. 1963
- DALY, C. *Revista General de Arquitectura*. París. 1834 a 1894
- DERAND, P. *Arquitectura de las bóvedas o el arte de los trazados*. Duchesne. París 1755.
- DOMENECH I MUNTANER, L. y otros. *Segundo Tomo de la Historia General del Arte. Arquitectura*.

- Montaner y Simó. Barcelona. 1886.
- DREXLER, A. *Mies van der Rohe*. Bruguera. Barcelona. 1981.
- DURAND, J.N. *Précis des leçons d'architecture données à l'école Royale Poly Technique*. 1819.
- FEIJOO, B. *Carta escrita por el lmo y Rmo P. Mro. Fr. Benito Feijoo a cierto caballero de la Ciudad de Sevilla, en que apunta algunas noticias pertenecientes a los terremotos, con la ocasión, del que se experimentó el día de Todos Santos 1 de Noviembre de 1755*. Joseph Navarro y Armijo. Sevilla 1756?.
- FONTANA, C. *El Templo vaticano y su origen*. 1694.
- FORNES Y GURREA, M. *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar*. Valencia. 1841.
- FOSTER, M. *La Construcción de la Arquitectura*. Hermann Blume. Barcelona. 1988.
- GARCIA BERRUGUILLA, J. *Verdadera práctica de las resoluciones de la geometría, sobre las tres dimensiones para un perfecto arquitecto, con una total resolución para medir, y dividir la planimetría para los agrimensores*. Madrid, 1747.
- GARCIA MELERO, J. E. *Las ediciones españolas de "De Arquitectura" de Vitruvio*. Publicado en el número 8 de la Revista Fragmentos. Ministerio de Cultura. Madrid, 1986.
- GAZTELU, L. *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes*. Establecimiento tipográfico de Fontanet. Madrid 1896.
- GIEDION, S. *Espacio, Tiempo y arquitectura*. Editorial científico médica. Barcelona, 1958.
- GILBERT, P. *El Mediterráneo antiguo*. Daimon. Barcelona. 1968.
- GODAR, A. *El Arte del Irán*. Arthaud. París.
- GOMEZ MORENO. *Las Iglesias mozárabes en España*. Centro de estudios históricos. Madrid. 1919.
- GRABAR, O. *La formación del Arte Islámico*. Ediciones Cátedra. Madrid. 1981.
- GRODECKI, L. *Arquitectura gótica*. Electa Editrice. 1978.
- GUARINI, G. *El modo de medir las fábricas*. 1674.
- GUARINI, G. *Arquitectura Civil demostrativamente proporcionada*. 1684.
- GUILLEMI, J. y otros. *Estudio de la Historia de las Técnicas*. Ricard. París, 1987.
- HAUPT, A. *Los Palacios en Italia*. Editorial Canosa.
- HIRE, DE LA. *Tratado de las fuerzas móviles*. 1695.
- HOAG, J.D. *Arquitectura islámica*. Electa Editrice. 1978.
- KERISEL, I. *Estructuras antiguas en relación con las condiciones del suelo*. Quinceava "Lectura Rankine" de la Sociedad Geológica Británica. Londres 1975.
- KOSTOF, S. y otros. *El Arquitecto: Historia de una profesión*. Ensayos Cátedra. Madrid. 1984.
- KOSTOF, S. *Historia de la Arquitectura*. Alianza Editorial. Madrid. 1988.
- KRAUTHEIMER, R. *Arquitectura paleocristiana y bizantina*. Ediciones Cátedra. Madrid. 1988.
- KUBACH, H.E. *Arquitectura románica*. Electa Editrice. 1978.
- LAMPEREZ, V. *Arquitectura cristiana española*. Espasa Calpe. Madrid. 1930.
- LAMPEREZ, V. *Arquitectura civil española*. Calleja. Madrid. 1922.
- LLACUNO Y AMIROLA, E. *Noticias de los Arquitectos y Arquitectura de España desde su restauración*. Fac. Ediciones Torner. Madrid 1977.
- LLOID Y MULLER. *Arquitectura de los orígenes*. Electa Editrice. 1980.
- MAINSTONNE, R.J. *Ilagia Sofía*. Thames and Hudson. 1988.
- MALRAUX, A. y otros. *El Universo de las formas*. Editorial Aguilar. Madrid.
- MALTESSE, C. *Escritos de Leonardo da Vinci sobre Arquitectura. En Scritti Rinascimentali d'Architettura*. Ediciones Polifilo. Milan 1978.
- MANGO, C. *Arquitectura bizantina*. Electa Editrice. 1978.
- MARGARIT, J. y otros. *una Visita a Sta María del Mar*. Publicado en el número 146 de "Quaderns". COAC. Barcelona 1980.
- MARIAS, F. *El largo siglo XVI*. Taurus. 1989.
- MARK, R. *Experimentos en estructuras góticas*. MIT. Press. Cambridge.

- MARTIN, M. *Arquitectura griega*. Electa Editrice. 1978.
- MARTIN, M. *Manual de Arquitectura griega*. Edition A. et. J. Picard et Cie.
- MIDDLETON Y WATKIN. *Arquitectura del s.XIX*. Electa Editrice. 1980.
- MILLINGTON, J. *Imprenta Nacional*. Madrid. 1848.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA.  
Norma MV- 10 1.
- MULLER, J. *Tratado de Fortificaciones ó Arte de Construir Edificios Militares y Civiles*. Traducción de Miguel Sanchez Taramas. Thomas Piferrer. Barcelona 1.769.
- MURRAY, P. *Arquitectura del Renacimiento*. Electa Editrice. 1978.
- NAVIER, L.M. *Tratado sobre la construcción de puentes*. 1813.
- NERVI, P. *Técnica constructiva e architettura*. Architettura d'oggi. Florencia, 1955.
- NORBERG-SCHULZ, C. *Arquitectura barroca*. Electa Editrice. 1980.
- NORBERG-SCHULZ, C. *Arquitectura barroca tardía*. Electa Editrice. 1980.
- NOVO DE MIGUEL, L. *Tratado de Construcción*. Bosch. Barcelona. 1960.
- ORME, F. DE. *Nuevas invenciones para construir bien y a pequeño costo*. 1561.
- PALACIOS, J.C. *Trazas y Cortes de Cantería en el Renacimiento Español*. Ministerio de Cultura. Madrid. 1990.
- PALLADIO, A. *Los cuatro libros de la arquitectura*. Dominico de Franceschi. Venecia 1570.
- PALOL, P. *El Arte Hispano en la época visigoda*. Poligrafa. Barcelona. 1968.
- PANOFSKY, E. *El significado en las Artes Visuales*. Alianza Forma. Madrid, 1979.
- PATTE, P. *Discurso sobre la arquitectura*. 1754.
- PATTE, P. *Memorias sobre la construcción de Santa Genoveva*. 1770.
- PERKINS, W. *La Construcción romana*. Aguilar. Madrid. 1836.
- PIELAGO, C. *Teoría mecánica de las construcciones*. Madrid. 1836.
- PUIG I CADAVALCH, J. y otros. *Primer tomo de la Historia del Arte, Arquitectura*. Montaner y Simó. Barcelona 1901.
- PUIG I CADAVALCH, J. y otros. *L'Arquitectura romanica a Catalunya*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona. 1909.
- RAMIREZ GALLARDO, A. *Supervivencia de una obra hidráulica; El Acueducto de Segovia*. Segovia. 1975.
- RIEGER, C. *Elementos de toda la Arquitectura Civil*. Joachin Ibarra. Madrid. 1763.
- ROBERTSON, D.D. *Arquitectura griega y romana*. Ediciones Cátedra. Madrid. 1971.
- ROJAS, C. *Teoría y Práctica de Fortificación, conforme las medidas y defensas de los tiempos*. Ramón de Petras. Madrid. 1598.
- RONDELET, J. *Tratado del Arte de Construir*. Fermín Didot y Hnos. París, 1.850.
- SAGREDO, D. DE. *Medidas del Romano*. Ramón de Petras. Toledo 1.526.
- SAN NICOLAS, F. L. DE. *Primera parte del Arte y uso de la Arquitectura*. Segunda edición. Madrid. 1667.
- SANCHEZ ALBORNOZ, C. *España, un enigma histórico*. Edhasa. Barcelona. 1976.
- SCAMOZI, V. *Idea de la Arquitectura Universal*. Venecia. 1615.
- SUPINO, B. *Los albores del Arte florentino*. Fratelli Alinari. Florencia. 1906.
- TERZAGHI, K. *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Editorial Ateneo. Barcelona 1955.
- TORROJA, E. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Inst. Eduardo Torroja de la construcción y del cemento. Madrid. 1960
- TRILL, J. Y BOWER, J. *El caso de la esquina rota y otros problemas constructivos*. Gustavo Gili. Barcelona, 1982.
- UGUET, J.J. *El carpintero moderno*. Barcelona.
- VAGNETTI. *El Arquitecto en la Historia de Occidente*.
- VALZANIA, F. A. *Instituciones de Arquitectura*. Sancha. Madrid. 1792
- VARIOS. *Historia Universal del Arte Hispánico*. Ars Hispaniae. Editorial Plus Ultra. Madrid. 1948.

- VASARI, G. *Vita di Phillipio Brunelleschi*.
- VENTURI, R. *Complejidad y contradicción en la Arquitectura*. Gustavo Gili. Barcelona. 1972.
- VAGNETTI. *El Arquitecto en la Historia de Occidente*.
- VILLARD DE HONNECOURT. *Cuaderno*. Akal. Madrid. 1991.
- VIOLLET LE DUC. (1) *Divagaciones sobre Arquitectura* Viuda de A. Morel. París. 1872.
- VIOLLET LE DUC. (2) *Diccionario de Arquitectura*. París. 1858 - 1868.
- VITRUVIO. *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Traducido por Miguel de Urrea. Juan Gracian. Alcalá de Henares. 1582.
- VITRUVIO. *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Traducido por Ortiz Sanz. Imprenta Real. Madrid. 1787.
- VITRUVIO. *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Traducido por Carmen Andreu. Unión de Explosivos Río Tinto. Madrid, 1972.
- VITTONI, B. A. *Istruzioni elementari per indirizzo dei giovani allo studio dell'Architettura*. Lugano 1760.
- WANDERLEY, G. *Tratado Práctico de Construcción Civil*. Trad. al francés por A. Bieber. Bernard y cia. Paris 1896.
- WARLAND, E. G. *Construcción moderna*. Gustavo Gili. Barcelona. 1947.
- YARZA, J. *Arte y Arquitectura en España 500/1250*. Manuales de arte Cátedra. Madrid. 1981.





Para poder entender con fundamento los estilos arquitectónicos es necesario conocer los sistemas constructivos que los hicieron posibles, ya que los condicionamientos que la construcción ha planteado a la arquitectura a lo largo de la historia han sido una de las fuentes de su inspiración en todos los tiempos. Esta obra pretende aportar datos para la correcta interpretación de ese balance que hasta hoy no ha sido suficientemente valorado.







Para poder entender con fundamento los estilos arquitectónicos es necesario conocer los sistemas constructivos que los hicieron posibles, ya que los condicionamientos que la construcción ha planteado a la arquitectura a lo largo de la historia han sido una de las fuentes de su inspiración en todos los tiempos. Esta obra pretende aportar datos para la correcta interpretación de ese balance que hasta hoy no ha sido suficientemente valorado.