

Quaderns

d'Arquitectes

# Historia de la construcción medieval

## Aportaciones

Antonio Castro Villalba

# **Historia de la construcción medieval**

## **Aportaciones**

# **Historia de la construcción medieval**

## **Aportaciones**

Antonio Castro Villalba

Primera edición: septiembre de 1996

Diseño de la cubierta: Edicions UPC

© Antonio Castro Villalba, 1996  
© Edicions UPC, 1996  
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL  
C. Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona  
Tel. 401 68 83 Fax 401 58 85

Maquetación: Carmen Triguero  
Composición y fotomecánica: Ediciones Roda, SL  
Impresión: Gráficas Vila

Depósito legal: B - 32506 - 96  
ISBN 84-8301-173-5

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, así como la exportación e importación de ejemplares para su distribución y venta fuera del ámbito de la Unión Europea.

*A mi mujer, Antonia por su  
paciencia, y a mis cuatro hijos;  
Antonio, Carlos, Anneliese y Gabriel.*

## Prólogo

Dice Edward H. Carr que la labor de los historiadores consiste en cocinar, con los datos previos existentes que compara a los alimentos exhibidos en el mostrador de una tienda de comestibles, un plato acabado, es decir, una historia concreta. El historiador elige los materiales según sus necesidades e intenciones y se considera que la labor previa de la recolección y comercialización de esos productos, o sea la búsqueda de los datos, a pesar de su interés sólo se justifica si aparece como final un plato comestible, o sea, una historiografía inteligible que se soporte en hechos verdaderos y que se estructure alrededor del desarrollo lógico de una idea básica compatible con esos hechos.

La construcción medieval se desarrolló en unas condiciones especiales de forma que casi lo único que queda de ella son las obras, en algunos casos impresionantes y en casi todos con un enorme poder de sugestión. La búsqueda de datos sobre los fundamentos técnicos que las hicieron posibles se ha revelado hasta ahora una tarea cuyo resultado es decepcionante, aunque se puedan encontrar algunos cuyo valor, en comparación con las obras que pretenden describir, es realmente escaso. Estos documentos, en general, han sido interpretados en exceso para cubrir las innumerables lagunas que es necesario vadear para justificar el proceso. Los historiadores han suplido, con excesivo voluntarismo en muchos casos, lo necesario para poder explicar la realidad de las construcciones, y eso ha sido perjudicial para entender el verdadero alcance de lo poco que se puede manejar.

El problema consiste en que con muy pocos elementos básicos los platos deben describir resultados exquisitos, lo que ha llevado a los cocineros del tema a aportar condimentos de dudosa autenticidad, ante la imposibilidad de conseguir la descripción del resultado sólomente con lo que se tiene como cierto.

Esta situación se debe, a nuestro juicio, a que hoy exigimos demasiado hasta para hacer la más mínima sopa de ajo y nos falta imaginación para entender otros procesos que se han basado, forzosamente, en la capacidad del ser humano para superar las dificultades si cree en la importancia de su empeño.

Sobre la construcción medieval hay lo que hay, que es mas bien poco, y es probable que no haga falta más para construir una catedral si se entiende el trabajo como se entendía en la Edad Media. Lo que nos falta no lo tendremos nunca, y es la convicción de toda la sociedad, de la trascendencia de su empeño.

Este libro pretende recopilar casi todos los condimentos posibles en este momento para cocinar una Historia de la construcción medieval, tratando de entenderlos, creemos, en su verdadero valor, y aunque eso no es ningún mérito, sino algo imprescindible, no parece que haya sido el sistema usual seguido hasta hoy para esa etapa histórica.

Pero el principal peligro que acecha a los historiadores es el de desaparecer para siempre, perdidos en un océano de datos. Este temor es el que ha inspirado parte de este libro.

Después de recopilar los datos había que pasar a la cocina y resolver el reto de cocinar una historiografía lógica y creíble con la exclusiva aportación de esos condimentos, tratando de dar una respuesta al hecho concreto de la construcción medieval, distanciándonos lo menos posible de la receta estricta que hemos preconizado. En este aspecto nuestras carencias son enormes ya que nos es muy difícil entender el empeño, su justificación espiritual y social, las circunstancias concretas de trabajo, y a que disfrutamos con una postura excesivamente esteticista del resultado.

De todas formas lo hemos intentado en el último capítulo, ciñendonos al principio básico de ser coherentes con todas las conclusiones que de forma sistemática se obtienen de los datos previos, en lo que creemos es un ejercicio imprescindible.

Por supuesto que quedan muchos extremos sin resolver y que aún no se puede considerar cerrado el capítulo de los datos posibles -siempre estaremos al albur de algún descubrimiento glorioso-, pero lo cierto es que lo que se puede considerar como datos genuinos es bastante escaso, y a ellos hay que atenerse.

Es verdad que las hipótesis sobre los sistemas de trabajo medievales comienzan en general a definirse con criterios menos esotéricos de lo que lo han sido hasta ahora, pero aún queda mucho camino por recorrer.

Nuestra pretensión es dar algunos pasos en ese camino, con el riesgo, que asumimos conscientemente, de equivocar la dirección.

Barcelona 25 de agosto de 1996.

## Indice

1	Introducción.....	11
2	Breve repaso a los análisis mecánicos.....	17
3	La realidad de lo construido.....	29
4	Los datos de la época: los tratados y otras fuentes.....	73
5	Los cimientos en los tratados.....	79
6	Las fábricas en los tratados.....	99
7	Los arcos bóvedas y cúpulas en los tratados.....	123
8	Otros datos de la época.....	139
9	La ciencia medieval.....	165
10	Recopilación y consecuencias.....	171
11	Propuesta para otro gótico.....	181





## 1. Introducción

### 1.1 El punto de partida

La contemplación de los monumentos medievales provoca en general una gran impresión en las gentes. La magnitud del espacio y sus características específicas suelen sobrecoger a quien se introduce, bien como visitante, bien como creyente, en las catedrales e iglesias, provocando una sensación muy concreta de asombro y recogimiento. La piedra desnuda, la especialísima luz que refleja su interior en cualquier circunstancia, la riqueza de formas, la complejidad de los trazados, la asombrosa, en fin, percepción de su ambiente, les confieren un aspecto muy distinto al de cualquier otro tipo de edificio.

Este efecto sobre el ánimo, que es el que pretendieron sus constructores, raramente suele ir más allá. Incluso entre los expertos en arte, a esa sensación inmediata suele seguir otra actitud más concreta que trata de descubrir detalles de estilo y pormenores referidos a la iconografía, las formas y la historia del monumento, pero pocos atraviesan ese umbral. Pocos se imaginan que esas impresionantes y ordenadísimas masas de piedra se construyeron en su día pieza a pieza, sillar a sillar, con andamiajes y olor a mortero, con gritos y disgustos, con todo un ejército de canteros trabajando de forma bastante parecida a como lo hacen hoy nuestros albañiles, intercambiando órdenes e imprecaciones, reclamando la presencia de los expertos para solucionar las complicadas cuestiones de puesta en obra, y que detrás de ellos había una intención, un proyecto, unos responsables y toda una organización para hacerla posible.

La sensación general es que esas construcciones aparecieron en su día, como por arte de magia, y no se suele penetrar más en el intríngulis de su construcción.

Incluso cuando alguien intenta una aproximación al tema concreto de la “obra” de una catedral desde su propia experiencia como constructor, suele topar con una barrera casi infranqueable a la hora de concebir las condiciones materiales concretas en que se desarrollaron los trabajos.

El caso es que esas condiciones reales son bastante difíciles de imaginar para nosotros. Ni por asomo entenderemos en toda su amplitud la importancia del hecho espiritual que justificó el extraordinario esfuerzo, sobre todo en su dimensión social, es decir, en el hecho de casi todo el esfuerzo comunitario, que a partir del Renacimiento se dispersa en muchas otras actividades, se centra en una concepción excepcional de la existencia humana cuya única justificación es su trascendencia y las relaciones que es posible establecer en vida con esa trascendencia.

Además, están las condiciones materiales, difícilísimas e imposibles de trasladar a nuestro tiempo y a nuestros sistemas de trabajo. El movimiento a sangre de grandes pesos en volúmenes ingentes y que deben recibir un acomodo milimétrico, la falta de conocimientos científicos, o su ingenuidad, las carencias, en fin, de todo tipo que debieron suponer importantes limitaciones, forman un cúmulo de datos previos muy complejo que complica extraordinariamente nuestra capacidad de facilitar explicaciones comprensibles.

Detalles a primera vista tan nimios como la inexistencia de un sistema de pesos y medidas común que facilitara el intercambio de información, o la falta de papel sobre el que reflejar esa información a escala, por lo menos gráfica, incluso de un sistema de dibujo fiable, o de gafas, lo que margina de los trabajos delicados a la gente de edad, que es la que más experien-

cia personal podían haber acumulado, deberían tenerse en cuenta en el momento de describir como se desarrollan las cosas. Todos estos inconvenientes harían casi imposible el trabajo hoy, pero fueron brillantemente superados en la época y el trabajo se hizo.

Una tentación inmediata, que ha conducido durante mucho tiempo el intento de explicar el caso, es la de suponer que hay algo misterioso en todo el proceso, que hay algo importante que no sabemos y que justificaría finalmente nuestra perplejidad. Las suposiciones en este sentido son para todos los gustos: desde extraños y eficaces sistemas de dimensionado, hasta los conjuros benéficos de seres dotados de poderes sobrenaturales, pasando por misteriosos conocimientos sobre el tratamiento y manejo de la piedra, se ha intentado de todo, pero ése no es el camino. El único hilo conductor debe ser la naturaleza humana y sus extraordinarias potencialidades, su gran capacidad para acometer y resolver situaciones difíciles incitada por estímulos de suficiente envergadura y su capacidad analítica para desvelar, con mejor o peor fortuna, aspectos oscuros de la realidad inmediata.

El hilo conductor que puede aclarar la situación debe dar por supuestas esas potencialidades, entender y justificar la razón que las puso en marcha y ajustar la explicación a las circunstancias reales del momento, recurriendo, en lo que pueda tener de validez permanente y universal, a la lógica de las obras, concepto éste de validez universal y que entenderá enseguida cualquier constructor consciente en cualquier época y en cualquier lugar.

Sobre estos supuestos, el presente trabajo es el resultado de la búsqueda de datos ciertos sobre esas circunstancias, búsqueda que se hizo necesaria al plantearnos con criterios estrictos las explicaciones que, como docentes de Historia de la Construcción, debíamos suministrar a nuestros alumnos.

Son obras en las que se utiliza exclusivamente piedra y mortero de cal, y con esos materiales, que solo trabajan bien a compresión, se consiguieron edificios de una complejidad sorprendente que, en principio, parecen necesitar de unos esquemas estructurales igualmente complejos en los que se debía tener en cuenta esa limitación como un condicionante inexorable.

El caso está en saber cuáles fueron los datos que se manejaron y las certezas que les permitieron proyectar y construir esas obras.

## 1.2 Los restos documentales

Hay un dato que sorprende tanto como los resultados y que significó un escollo y a la vez un acicate en esa búsqueda: la escasa memoria que un trabajo tan intrincado ha dejado en los hombres y en los documentos. Ante un proyecto de esa magnitud nuestra respuesta sería tan compleja y su desarrollo tan arduo, que difícilmente entendemos como se consiguieron los prodigiosos resultados sin que quedara como secuela una inmensa colección de planos y de especificaciones técnicas. No es ésta la situación. Cuando en primer lugar quisimos recurrir a las fuentes, nos encontramos con una notable escasez de datos. Vagnetti dice: *“Ningún documento gráfico arquitectónico románico ha llegado hasta nosotros”*<sup>(1)</sup>, y Kostof reconoce que: *“en realidad los documentos más antiguos que se conservan son los del palimpsesto de Reims, que datan, aproximadamente, de 1240 o 1260”*<sup>(2)</sup>. Ello no es rigurosamente cierto: Se conserva una planta del monasterio de Sant Gall datada en el 820, y no es, como veremos, un documento con información suficiente para construir un edificio y su intención ha provocado bastantes polémicas.

Los documentos gráficos posteriores son relativamente escasos para el volumen de obra ejecutado. Luis Villanueva recoge la existencia de unos 5.000 dibujos arquitectónicos de los siglos XIII y XIV<sup>(3)</sup>, de interpretación bastante dudosa. Para unos son descriptivos y para otros proyectuales, pero la realidad es que en ninguno de ellos, a pesar de la pulcritud de su trazado, aparecen datos suficientes para emprender el complejo trabajo estereotómico imprescindible para la materialización de la obra. Villanueva desarrolla las diferencias con la realidad y las posibles incidencias acaecidas en torno a cada obra en relación con el documento correspondiente, y la verdad es que difícilmente se les puede adjudicar un valor exacto debido a las dificultades de interpretación que plantean, si se consideran a la luz de nuestra forma de trabajar. En alguno de ellos no se diferencian las partes seccionadas de las que no lo

están, y sólo en muy pocos casos existen referencias de escala, lo que, si es posible justificar por otra organización de los trabajos distinta a la nuestra, es difícil de entender como procedimiento proyectual.

Estos dibujos se pueden agrupar según su temática. Los más notables son varios alzados de fachadas de los que Villanueva establece una relación exhaustiva: Palimpsestos de Reims, Catedral de Estrasburgo, catedral de Colonia, catedral de Orvieto, baptisterio de Siena, campanario de la catedral de Praga, 270 dibujos de Viena, catedral de Ulm y catedral de Barcelona, cuyo alcance es difícil de precisar. El hecho de que correspondan casi siempre a partes no realizadas de las obras (quizás se conservaron por esta causa) parece indicar que formaban parte de la documentación del proyecto. Esto puede significar dos cosas: que los documentos se destruían una vez acabado el trabajo por mantener el secreto profesional, o por aprovechar el pergamino sobre el que se realizaban, que para nuestro caso es lo mismo, y que a partir de esos alzados se podía describir el proyecto. El hecho de que no existan dibujos correspondientes a una etapa de trabajo intermedia, más relacionada con la talla concreta de los elementos casi obliga a aceptar esta última posibilidad, a pesar de las dudas que ese sistema puede suscitar.

Existe otro pequeñísimo número de documentos entre los que destacan el *Álbum* de viaje de Villard de Honnecourt, el ya referido plano del monasterio de Sant Gall y el de Canterbury, ambos significativos por su amplitud y detalle, y muy poca cosa más como fuente a la que acudir.

De la observación de estos documentos y de su comparación con la realidad que pretenden describir, no hemos podido obtener datos fiables con los que adentrarnos en el análisis de esas construcciones, ni han supuesto un punto de partida para definir ciertamente el proceso que lleva desde la concepción de unas necesidades a su materialización, por más que algunos autores, como más adelante veremos al analizar por menorizadamente cada uno de ellos, hayan establecido voluntariosamente todo un cúmulo de posibilidades que a nosotros nos pareció bastante endeble. En esa desilusión hemos coincidido con otros autores. Vagnetti, por ejemplo, opina que: “*Las reglas repor-*

*tadas por Villard tienen una importancia teórica bastante modesta*”(4).

Kostof indica que: “*K. J. Conant ha analizado un proyecto escrito para la segunda abadía de Cluny, destinado a acompañar un esquema inicial parecido. Este documento, llamado *actas de Cluny o Farfa* (un convento cluniacense de Italia) da todas las medidas de las partes del complejo que existían ya en el 1040 y de las partes que aún tenían que construirse*”(5). No hemos podido localizar este escrito de K. J. Conant, pero en el mejor de los casos, y de acuerdo con lo que hoy consideraríamos necesario, tendrían que estar relacionadas no sólo las medidas generales en planta, sino además las de detalle de cada elemento y los criterios técnicos necesarios para decidir y resolver los puntos conflictivos, y eso es realmente difícil sólo con la palabra.

### 1.3 La interpretación al uso

#### 1.3.1 Del proceso

A partir de esta falta de datos ciertos se han elaborado teorías para todos los gustos, tanto sobre los esquemas estructurales como sobre el desarrollo de los trabajos. El estado actual de la cuestión se concreta, a nuestro juicio, en que de la interpretación esforzada y voluntariosa de algunos dibujos sueltos, y partiendo de unos datos mínimos, se han deducido unas condiciones de trabajo y unos esquemas estructurales que permiten describir, si bien parcialmente, el proceso y las intenciones, porque las construcciones están ahí, algunas en perfecto estado, lo que requirió un esfuerzo técnico y humano difícil de imaginar: Se trabajó a la vez en muchas catedrales y cientos de iglesias, además de otros tipos de obras, como fortificaciones y complejos monásticos, con un gran derroche de energía e imaginación y pocos, muy pocos, medios.

Y ésta es la cuestión, que no llegamos a tener una idea clara de como se canalizó todo ese esfuerzo desde la concepción de los edificios hasta su materialización, con unas condiciones de trabajo tan radicalmente distintas a las que hoy serían necesarias.

Vagnetti dice: “pero la información que tenemos, de la que es un ejemplo el célebre gráfico del monasterio de San Gall, permite sostener que el diseño arquitectónico se practicaba a partir de los siglos XI y XII como indica el mismo carácter de la arquitectura, en la que es evidentísima la relación planimétrica modular, generalmente relacionada con el cuadrado y en la que el desarrollo morfológico de las bóvedas, (cruceiros, trompas, pináculos, nerviaciones, etc.) presupone la constante práctica de un control gráfico preventivo. La misma fábrica, maciza, perfecta y esmeradamente explícita, no hubiera sido posible sin una serie de operaciones gráficas imprescindibles para precisar el variado y comprometido trabajo estereotómico previo al montaje de los sillares”<sup>(6)</sup>.

Esta explicación puede ser cierta, pero en todo caso es indemostrable. Una cosa es que nosotros necesitemos de todo ese proceso para conseguir resultados parecidos, y otra que sea el único posible. Una pequeña variación en las condiciones exactas del desarrollo de un proceso puede dar lugar a modificaciones sustanciales del mismo. En todo caso, dada la escasez de datos, ésta será siempre una materia opinable.

Por lo que respecta a las condiciones de trabajo, poco podemos aportar; es más labor de historiadores. Puede que la capacidad organizativa sea común para casi todos los grupos humanos, pero la situación concreta de cada una de ellos y su bagaje técnico y cultural es peculiar en cada caso y condiciona el desarrollo de esa organización.

En este campo cada tratadista da su versión y a ellas se van sumando lentamente otros datos ciertos, pequeños detalles, a veces el nombre de un arquitecto, otras un dato sobre una obra concreta y otras simples deducciones basadas en el sentido común o en nuevos hallazgos lingüísticos. De la expresión isidoriana “*disponere in fundamenti*”, como principal trabajo del arquitecto se deduce, por ejemplo, que lo importante era el diseño de la planta, etc.

Algunos de los trabajos en este sentido son notables, aunque en ellos se percibe casi siempre la falta de relación con la realidad de las obras de quienes los escriben. El mundo de la construcción, incluso cuando se trata de aplicar las tecnologías más avanzadas, tiene

unas constantes y unos caminos por los que andar que casi siempre se apartan de los modelos teóricos que pretenden desarrollar y son difíciles de intuir para quienes no han participado directamente en él.

### 1.3.2 Del esquema estructural.

Pero es en los análisis estructurales donde no se consigue establecer un esquema válido compatible con las múltiples realidades existentes. Desde ese punto de vista, el resultado de yuxtaponer las teorías existentes ha sido confuso y contradictorio, debido fundamentalmente a que están basadas en las capacidades deductivas de cada tratadista de manera casi exclusiva.

La bibliografía actual es oceánica y se encuentran trabajos con todos los niveles de profundidad, pero desde el exhaustivo Viollet al retórico Carlo Curcio, en todos los tratados la interpretación personal de cada autor es casi lo único que aparece, y en todos se fuerza la realidad para conseguir la coherencia de las teorías, en muchos casos radicalmente contradictorias.

### 1.4 La intención

Sobre estos puntos de partida, el tema de este trabajo consiste en la investigación y el análisis de los datos ciertos que puedan informar sobre algunos conceptos manejados realmente por los constructores medievales, tratando de aportar lo menos posible en la interpretación de esos datos, es decir, ciñéndonos a la realidad expresada en ellos, por limitada que ésta sea. A la vista de las obras realizadas, no creemos oportuno ni necesario aplicar una superioridad apriorística a nuestros sistemas de representación ni a nuestros métodos de trabajo. Cualquier limitación fue salvada por los tallistas y todos los problemas constructivos fueron resueltos, a veces con una sorprendente brillantez. Su interés puede residir en la pretensión de acotar los conocimientos reales que, por limitados que fuesen, permitieron el milagro de esas construcciones, con lo que quizás contribuyamos en algo a redefinir la figura del arquitecto, perdida hoy entre un exceso de técnica y las confusas reglas de unos estilos inexistentes.

**NOTAS DEL CAP. 1**

"Dibujo y Construcción". ETSAB. Barcelona, 1986.

(1) Vagnetti. El Arquitecto en la Historia de Occidente. Pág 161.

(4) Vagnetti Op.Cit. Pág.145.

(2) Kostof. El Arquitecto: Historia de una profesión. Ensayos de Arte Cátedra. Madrid 1984. Pág.78.

(5) Kostof Op. Cit. Pág. 78.

(3) Conferencia de Luis Villanueva Bartrina, en el curso

(6) Vagnetti Op.Cit. Pág.154



## 2. Breve repaso a los análisis mecánicos

### 2.1 Los primeros intentos

A pesar de que las construcciones medievales no han sido siempre valoradas en toda su magnitud, llegándose incluso en algunas épocas a considerarlas obras de inferior calidad estética y artística, su impresionante presencia ha provocado, al menos, una suerte de interpretación, cuyo análisis podría aportar algunos datos a nuestro intento.

Se puede aventurar que la primera aproximación al análisis del funcionamiento de las estructuras medievales es el párrafo de Alberti que dice: *“Y no dexare de decir aquí lo que he notado por cosa señalada y digna de loor acerca de los antiguos, que estas aberturas, y los arcos de las bóvedas fueron puestos de tal suerte por los arquitectos antiguos en los templos, que si quitaredes todas las columnas de dentro, como queden los arcos de las aberturas y las bóvedas de los techos no se caerán, de tal suerte son las guías de todos los arcos sobre que cargan las bóvedas tiradas hasta el suelo de maravilloso artificio, y conocido de pocos que esta firme la obra restribando en solo los arcos, porque como a ellos la tierra les es cuerda firmísima, porque también los arcos por si no duran ni están firmes siempre”*<sup>(1)</sup>. A pesar de algunas inexactitudes el párrafo rezuma admiración, desconocimiento y una gran sinceridad.

Lo más probable es que se refiera a alguna bóveda gótica. Dentro del terreno de la pura hipótesis, se puede suponer que se está refiriendo a alguna ruina que observó durante su viaje a Francia, aunque la falta de la referencia toponímica, en las que es tan riguroso, resta verosimilitud a la suposición. A ninguna bóveda romana se le puede aplicar el radical tratamiento consistente en suprimir las columnas interiores sin que se

caiga, entre otras cosas porque no las tiene, aunque algunas ruinas de bóvedas concrecionadas se mantienen en un equilibrio inverosímil. Lo más razonable es pensar en una estructura nervada. Parece, en su disculpa, que el complicado mecanismo de una catedral gótica, que resiste aún hoy nuestra capacidad de análisis al no poderse enunciar según los más estrictos esquemas de racionalidad y clasicismo, es considerado como una cosa sorprendente y bastante misteriosa a pesar de la proximidad cronológica.

Se podrían extraer muchas deducciones de la expresión *“conocido de pocos”* referida al *“maravilloso oficio”* por el que las bóvedas se sustentan, pero tanto puede ser por el secreto de los conocimientos como por su dificultad.

Los arcos sobre los que retriba la obra para estar firme pueden ser los arbotantes. Más difícil es definir a que se refiere cuando dice que *“si quitaredes todas las columnas de dentro, como queden los arcos de las aberturas y la bóvedas de los techos no se caerán”*.

Poca cosa más se intenta a lo largo de los tres siglos siguientes en los que la construcción medieval es ignorada y despreciada, de forma que incluso el mismo nombre del último gran estilo medieval, el gótico, tiene intenciones denigratorias.

### 2.2 Viollet le Duc

El primer cuerpo de doctrina coherente se debe a Viollet le Duc, autor de uno de los trabajos más ambiciosos sobre el tema. Su enciclopédico *Diccionario*<sup>(2)</sup>, tiene, aún hoy, un gran interés por más que los con-



ceptos en los que se inspiró hayan sido puestos en tela de juicio casi en su totalidad. Hay que tener en cuenta en su descargo que partía prácticamente de cero, aunque casi contemporáneamente se habían intentado algunas interpretaciones. En todo caso, es el inicio de una escuela que culmina en Auguste Choisy y que pretende descubrir en los constructores medievales, singularmente en los góticos, unos saberes confusamente misteriosos y amplios sobre una base científica similar a la nuestra. Estaban casi obligados a ello por muchas razones. En primer lugar, por un sentido del patriotismo muy francés y muy decimonónico. Además su siglo estaba inventando la lógica constructiva y, al margen de las polémicas teóricas sobre el espíritu de la estructura gótica, necesitaba, como primer restaurador sistemático del patrimonio arquitectónico francés, una herramienta para fundamentar el planteamiento básico de sus trabajos. La audacia y complejidad de las soluciones, la exactitud de la talla, la falta de datos ciertos, sumado al hecho de que fuera Francia el centro de gravedad de la gran mayoría de obras conservadas, hacía necesario formular todo un cúmulo de teorías que justificaran el proceso. Él y sus epígonos en general se centraron más en la aportación de brillantes suposiciones de lo que deberían ser esos conocimientos que en el análisis de lo que tenían ante sus ojos, pretendiendo la ocultación, consciente e intencionada, por parte de los constructores de los principios sobre los que se basaba la ciencia de la construcción medieval.

Como descargo de esta actitud se puede suponer la gran influencia que en los análisis de Viollet debió de tener el excesivo maquinismo de la época. Cualquier concepción técnica tiende en ese momento a descomponer el objeto a construir, máquinas o edificios, en elementos independientes, sometidos todos a un orden común, pero en el que cada parte se define por las sollicitaciones que recibe y se proyecta para soportarlas, sin tener en cuenta, en el caso de la construcción por lo menos, el concepto de edificio completo, concepto hoy perdido definitivamente.

La concepción de la estructura gótica, como una serie de piezas - bóvedas, nervios, pilas, etc -, que trabajan en conjunto, pero que se pueden concebir y calcular independientemente, está más cerca de cualquier máquina montada a partir de esas piezas, que de un

concepto unitario en el que cada piedra aporta al conjunto una prestación concreta, que es, en definitiva, lo que hacemos hoy con los complejos cálculos por elementos finitos.

Ocurre que si el análisis de la estructura gótica pretende ser riguroso provoca una gran perplejidad. Es tal la complejidad, tanto del aparente esquema estructural como del trabajo manual de talla, que en muchos casos, como hace Viollet y posteriormente han hecho casi todos los que lo han intentado, se ha preferido forzar algunos aspectos de la interpretación con tal de que el resultado permita suponer la coherencia del proceso según una óptica racional, en el sentido contemporáneo del término, por que el primer hecho irrefutable es que las construcciones están ahí, y en su gran mayoría en perfecto estado.

Es difícil resumir la extraordinaria obra de Viollet en un espacio manejable, pero para nuestros efectos se podría compendiar en varios puntos, en los cuales se basa, aún después de lo polémicos que han resultado, la explicación sobre el sistema más al uso.

Estos puntos podrían ser:

1. Las bóvedas medievales aparejadas provocan empujes, lo que no ocurre con las romanas concrecionadas.
2. Estos empujes se conducen hacia puntos concretos, solución que se inicia con los arcos fajones románicos y que alcanza su plenitud en los nervios góticos, que Viollet considera independientes de las bóvedas. Su esquema supone unos nervios independientes a la manera de un esqueleto, sobre el que se apoyan unos segmentos abovedados.
3. El arco ojival es el que se utiliza con preferencia, ya que empuja menos en los apoyos que el arco de medio punto.
4. Una vez en los apoyos, los empujes horizontales se contrarrestan con arbotantes.
5. Las resultantes verticales las soportan las columnas o las molduras insertas en los pilares.
6. Todo ello permite un aligeramiento progresivo de la

estructura que culmina en un esquema preponderantemente lógico.

7. La estructura resultante es lo suficientemente elástica como para absorber los posibles movimientos.

En este caso, el concepto de elasticidad se debe entender como la capacidad para adaptarse a deformaciones permanentes. Evidentemente no es la acepción correcta del término, pero lo mantenemos por respetar la terminología de Viollet. Ello supone que los muros, a medio plazo al menos, son capaces de resistir esfuerzos de tracción, puesto que esas deformaciones se producen por la existencia de momentos debidos a empujes sin contrarrestar.

8. Todo el proceso se ejecuta con la intención de dejar explícita la estructura.

Naturalmente es un resumen arriesgado y sintético, pero válido en líneas generales. A partir de aquí se desarrollan otros esquemas complementarios y se descubren una serie de artificios notables que facilitan el trabajo de esos constructores y que tienden a demostrar que el gótico es el sistema “*más racional y coherente de todos los utilizados a lo largo de la historia*”(3). Viollet llega a decir sin ningún rubor: “*Si uno quiere constatar el límite a que llegaron los arquitectos de finales del XII, referentes a la ligereza de los puntos de apoyo y a la estabilidad obtenida por medio del equilibrio de fuerzas opuestas, es necesario ver el santuario de la iglesia de Saint Leu d’Esserent (Oisse). Algunas partes de esta construcción, efectuada alrededor de 1190, están hechas para ejercitar nuestro asombro*”(4), describiendo a continuación unas bóvedas que descansan sobre unas columnas aisladas de 0,50 m de diámetro.

El éxito de Viollet y su permanencia se deben a múltiples razones que quizás no venga al caso examinar rigurosamente, aunque consideramos su peligrosa coherencia como la más importante, y su utilidad inmediata para la percepción del problema.

Pero casi inmediatamente comienza la contestación, que es ingenuamente ocultada y perseguida por la ciencia oficial, o por lo menos no excesivamente divulgada.

### 2.3 La contestación a Viollet: Pol Abraham

Los destrozos que los bombardeos alemanes provocan en algunas iglesias francesas durante la Gran Guerra contribuyen a poner en cuestión las teorías de Viollet. Roger Gilman publica en 1920(5) un estudio sobre el tema en cuya introducción evidencia las mismas perplejidades que se nos plantean a nosotros: “*Las divergencias de opinión entre los escritores que se han ocupado del gótico modernamente, resultan patentísimas al revisar la materia con cierta atención*”(6). Pone de manifiesto las “*discrepancias respecto a la teoría de los mismos principios determinantes y los caracteres más salientes de las construcciones góticas*”(7).

Con posterioridad, en 1928, el ingeniero Victor Sabouret publica un artículo en *Genie Civil* con el título: “*Las bóvedas de aristas nervadas. Papel simplemente decorativo de los nervios*”, justificando su aserto en la existencia de unas grietas (grietas de Sabouret) en los nervios que hace absolutamente imposible que trabajen como soporte de las bóvedas.

Pero el verdadero ataque al racionalismo, casi mejor maquinismo, de Viollet lo lleva a cabo Pol Abraham en 1934. Según Pol Abraham, en un juicio disculpable en el calor de la polémica que mantiene con los epígonos de Viollet, éste no tiene ni idea de cómo funciona una estructura gótica. Con gran brillantez desmonta uno a uno los puntos de Viollet, aportando los siguientes conceptos:

1. Todas las bóvedas generan empujes sea cual sea su aparejo.
2. La magnitud del empuje de una bóveda despiezada y su punto de aplicación no están influidos ni por la naturaleza de los materiales (para la misma densidad), ni por el aparejo(8) y depende de la densidad y del espesor de la bóveda.

La densidad de los materiales que constituyen las bóvedas puede variar de 1 a 3 (de 1.000 a 3.000 Kgxm<sup>3</sup>) y el espesor de 1 a 4 (de 15 a 60 cm), o sea, que combinando estas posibilidades el empuje puede variar de 1 a 12, por lo que no es admisible que el esquema de Viollet garantice un aligeramiento del conjunto.

3. La forma del intradós de la bóveda tiene una importancia relativamente despreciable desde el punto de vista de los empujes, comparada con los otros dos factores.

Los empujes de una bóveda circular y otra ojival son 2.400 Kg en un caso y 1.750 Kg en el otro, (para un espesor de 0,30 m, luz 10 m y densidad 2.000 Kgxm<sup>3</sup>). Esta diferencia es absorbida por sólo 7 cm más de espesor en la bóveda. Esa pequeña variación habrá anulado el beneficio de su apuntamiento. Por lo tanto no parece que influya en el espesor de los muros de no estar éstos calculados muy estrictamente.

4. No existen empujes canalizados a la manera de unos líquidos en unas tuberías. Las presiones son difusas y actúan sobre cada pieza próxima con intensidad variable. Insiste sobre la necesidad de eliminar la hipótesis del Diccionario relativa a la independencia de bóvedas y nervios. Entre otras cosas, la clave es común porque emerge por encima de las bóvedas.

5. Las “columnitas y molduras” no son más que elementos decorativos. Esta posibilidad había sido desarrollada en unos cursos impartidos en la Escuela de Bellas Artes de París por M. Aubert hasta el año 1933.

La aplicación estricta del módulo de Hooke al análisis de las pilas, que justificaría la mayor carga de las columnas exentas, tropieza con una serie de interferencias de diseño. La cuestión es que si una carga uniforme, repartida sobre una pila constituida por materiales de distinto módulo, o aparejada de forma que partes de ella presenten distinto módulo, provoca un aplastamiento, proporcional a ese módulo y a la altura de la pila, cada material o cada clase de aparejo, soporta, de la carga total, la parte que porcentualmente le corresponda según la relación de módulos, al ser la altura un valor constante. Pero en los esquemas góticos y románicos pocas veces se produce esa posibilidad al quedar las columnas insertas en la masa de la pila y ser puros recrecidos, o al existir cimacios, o al ser excesivamente débiles, etc.

6. No existe un aligeramiento progresivo de las bóvedas que se pueda adscribir a una cronología concreta.

El espesor en Reims es de 0,60 m y Viollet dice que

en Notre-Dame es de 0,10 a 0,12 m sin aportar confirmación. Pol Abraham niega que se pueda demostrar una evolución continua y cronológica. Las anchuras medias más usuales suelen estar entre 0,25 y 0,35 m, y se encuentran indistintamente en todas las épocas. Por experiencia propia podemos afirmar que dentro de la misma bóveda las diferencias pueden llegar a ser de más de 0,10 m. Esta suposición es desmentida con la misma falta de rigor por otros autores. “*Innumerables ejemplos demuestran* -escribe Fitchen en 1964- *que casi inmediatamente* (al descubrimiento de la bóveda nervada) *los espesores de la bóveda fueron reducidos a la mitad, o menos todavía, de los que eran habituales en los sistemas de abovedamiento anteriores. Como eso reducía el peso de la bóveda alrededor de la mitad, y disminuía el empuje correlativamente, los constructores podían entonces construir una iglesia de dimensiones similares a las que habían sido antes abovedadas en medio punto, con bastante menos material*”<sup>(9)</sup>, pero no concreta esos “*innumerables ejemplos*”.

La contradicción con Pol Abraham es radical. Lo cierto es que no se ha establecido una cronología fiable en función del espesor. Únicamente Rondelet fija unas dimensiones mínimas para las bóvedas en función de la luz y de una manera tan poco científica que no merece la pena su comentario<sup>(10)</sup>. El progresivo aligeramiento parece más una conquista basada en la experiencia de determinados constructores que una receta constructiva transferible.

7. No cree que los arbotantes sean necesarios. Después de desaparecer debido a los bombardeos en algunas catedrales, éstas no se han caído.

En beneficio de Pol Abraham ha trabajado el tiempo y las aportaciones de otros muchos autores sobre un tema en el que la bibliografía es enorme. El hecho es que sus razones están sólidamente argumentadas. Cuestiona la posibilidad de que los nervios soporten el empuje casi plano de las bóvedas que se apoyan en ellos, máxime cuando son los elementos que antes se agrietan, como ya había demostrado Sabouret. La existencia de grietas demuestra que “*si se admite que es imposible que un arco que presente una solución de continuidad según una junta se mantenga en el espacio, se habrá igualmente admitido que todos los arcos*

*con juntas abiertas no pueden tener la menor función portante y no deben durar más que por su solidaridad con los segmentos que forman en realidad la bóveda*<sup>(11)</sup>.

Además, *“si el arquitecto gótico hubiera tenido, habitual y claramente, el sentido de la utilidad de los nervios, habría empíricamente proporcionado sus fuerzas a su función. Pero no es en absoluto así. Existen dos reglas casi generales. Los formeros, con cargas muy inferiores a las ojivas, tienen no obstante, una sección igual o superior a ella, y sea cual sea la superficie a cubrir la sección de ésta no aumenta*<sup>(12)</sup>.

La polémica, basada en la búsqueda de la que se considera imprescindible lógica interna en la estructura del conjunto, se puede centrar en la aceptación o la negación de tres puntos, ya que los demás son consecuencia de ellos.

1. Las bóvedas se apoyan sobre los nervios y éstos conducen los empujes a las pilas.
2. Los arcos ojivales contribuyen, además, a aligerar ese empuje.
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 va reforzado por los pináculos.

A pesar de lo radical de la discusión, el caso es que las dos escuelas, por así llamarlas, acaban aceptando de alguna forma las hipótesis del contrario, entre otras cosas porque nadie es capaz de decidir cómo funciona el conjunto exactamente, ya que la realidad de lo construido permite justificar ambas teorías.

Los treinta casos de desperfectos causados por los bombardeos en Reims y Soissons, analizados por Roger Gillam, arrojan el siguiente balance:

En nueve se *“confirma el principio lógico”*, que es desmentido en siete. En seis se ve *“contrariada la contraposición de empujes”*, que se confirma en uno.

*“La teoría de los pináculos”* se confirma en uno, y en cinco se *“contradice el acuse de la estructura”*.

En dos se *“confirma la ligereza de la construcción”*, aunque en uno se contradice este principio.

No obstante Pol Abraham se cura en salud y afirma que, *“no se trata de negar, ni tan siquiera subestimar, el papel del cruce de ojivas en el repertorio de la arquitectura gótica. Se trata simplemente de ponerla en su sitio”*<sup>(13)</sup>, mientras que por su parte Choisy reconoce que *“el medio punto, no la ojiva, se presenta como la verdadera curva generatriz de las bóvedas góticas”*<sup>(14)</sup>. Aunque después afirme que *“la arquitectura suprime todos los problemas del aparejo añadiendo a la bóveda gótica un nervio bajo cada arista; la bóveda gótica no es otra cosa que una bóveda de arista en la que los paneles son independientes y soportados por los nervios”*<sup>(15)</sup>. Poco más adelante se contradice: *“En realidad, las bóvedas que eran casi cúpulas no tenían necesidad de osamenta y uno se da cuenta que el empleo de nervios no es, en este caso, más que una moda, una imitación”*. Se está refiriendo a la escuela angevina, pero su afirmación es válida en muchos otros casos.

Pone la catedral de Angers como ejemplo de la inutilidad de los nervios, ya que *“los nervios se reducen a molduras tan finas que su papel es nulo”*<sup>(16)</sup>. Al final todos coinciden en que la diferenciación entre cúpula y bóveda es más bien semántica y Pol Abraham tiene que inventar un método complejo que permite establecer esa clasificación.

Hasta hoy han convivido las dos teorías y se pueden encontrar mezclas en todos los porcentajes en los manuales y tratados. En una de las últimas publicaciones sobre el tema (1978), Grodecki no se manifiesta en favor ni en contra de ninguna de las suposiciones, ni intenta otra, y remata el tema diciendo: *“Todavía las ideas de Viollet le Duc encuentran aplicación práctica en los trabajos de consolidación y restauración de los monumentos góticos y han alimentado también algunos estilos modernos de arquitectura con estructura portante, en los que las cargas están rigidamente localizadas. De aquí el indudable interés por parte de los técnicos”*<sup>(17)</sup>, eso después de reconocer los numerosos fallos que presenta el desarrollo de Viollet.

Oursel por su parte dice: *“La bóveda de arista, sea cual sea el tratamiento técnico, tenía por mérito esen-*

*cial canalizar los esfuerzos internos hasta los cuatro ángulos como una mano guía la andadura de un ciego, y diluirlos en los soportes*"<sup>(18)</sup>. El párrafo es todo un ejemplo de sinceridad: "*sea cual sea el tratamiento técnico*".

## 2.4 Análisis pormenorizado de algunos elementos

La principal causa de esta confusa situación, en la que tienen cabida casi todas las explicaciones, puede ser que en realidad aún no sabemos demasiado bien como funcionan, dentro de los complejísimos esquemas estructurales resultantes en la arquitectura medieval, las fuerzas que acomodaticiamente hemos representado mediante vectores de dimensión e intencionalidad concreta. Son muchas las variantes que presenta cada caso como para que sean válidos unos criterios únicos, basados en las características de nuestra construcción, con densidades conocidas, materiales de comportamiento uniforme, y criterios de colocación codificados.

Analizando con detalle las versiones sobre algunos de los elementos más significativos dentro del repertorio constructivo medieval se ponen de manifiesto unas contradicciones aún más explícitas que en caso del esquema general, y que son la prueba de que no es aplicable, a pesar de nuestros conocimientos, un criterio inequívoco en su valoración.

### 2.4.1 Los arbotantes

En el análisis de los arbotantes se evidencia esa confusión y la discrepancia de opiniones. La polémica se centra en primer lugar sobre el concepto. "*Así hay autores que sugieren la idea de que ejercen un empuje hacia adentro para contrarrestar el de la bóveda interior. Otros como Hamlin y Gaudet afirman que sólo transmiten el empuje de la bóveda a los botareles actuando como un puntal, mientras que algunos como Moore y Jackson lo califican de codal, pero estiman que mediante ese elemento se establece por completo el equilibrio por la contraposición de empujes*"<sup>(19)</sup> y

por último hay quien opina que no sirven para nada, que son un "*funcionalismo que no funciona*".

En apoyo de una u otra versión se esgrimen argumentos realmente convincentes en cada caso. El hecho de que al caer los arbotantes de la catedral de Reims, debido a los bombardeos ello no supusiera el colapso total del edificio, hace reflexionar a Pol Abraham: "*Se cita siempre el contrarresto de la bóveda por el arbotante. Pues bien; ahora vemos que no hay tal contraposición de empuje activo en la acepción en que se venía usando. Si el arbotante ejerciese empuje contrario al de la bóveda, cuando ésta se hunde, aquel volcaría el endeble muro hacia el interior*"<sup>(20)</sup>, mientras que Choisy afirma que "*en un principio los arbotantes tienen un perfil de cuarto de círculo*"<sup>(21)</sup>, lo que obliga a considerar que ejercen su empuje sobre el punto del muro en el que se apoyan, única posibilidad de equilibrio de esa forma constructiva. Dentro de la obligada coherencia de sus hipótesis sobre la perspicacia de los constructores góticos, indica incluso que la columna que suele aparecer bajo la clave de los arbotantes, muy próxima al muro, sirve para que ese cuarto de círculo pueda moverse libremente según el plano vertical de contacto, como si al apoyar simplemente la clave sobre esa columna impidiera la aparición de la resultante horizontal que provoca, en ese punto, el arco de cuarto de círculo.

Al margen de las consideraciones más o menos acertadas sobre una cuestión tan poco relevante como es el decidir si el arbotante genera un empuje activo, o es simplemente un puntal a la espera de la deformación del muro, ya que eso depende de la forma del arco soporte, lo que sí aparece como cierto es que su capacidad resistente, como arco o como puntal, debe coincidir exactamente con la resultante de la línea de presiones de la bóveda y de los nervios para que sea eficaz. Si no coincide, se produce un par sobre el muro de características difíciles de definir. Cuando la distancia que separa lo que nosotros representaríamos mediante dos vectores es muy pequeña, aparece un esfuerzo cortante sobre un material no demasiado apto para resistirlo, y ya hemos visto lo complejo que puede resultar para nosotros marcar el punto exacto en que se producen los empujes y definir su magnitud.

A partir de aquí dependerá de la capacidad imaginati-

va de cada cual que admita o no el papel de contrarresto estricto que se adjudica al arbotante. Se encuentran ejemplos de arbotantes siguiendo todas las direcciones. Desde los casi horizontales de la catedral de Sevilla a los muy inclinados de Notre-Dame de París. Choisy tiene explicación incluso para cuando la parte superior adopta la forma de arco invertido, como en la catedral de Alençon: “*Esta combinación junta a la ventaja de una rigidez absoluta la de repartir el empuje sobre toda la altura de los riñones (de la bóveda)*”<sup>(22)</sup>.

En otros casos, como ocurre en la catedral de Gerona, son unos arcos muy endebles, colocados de forma que su capacidad de resistir empujes laterales es prácticamente nula.

Lo cierto es que la esbeltez de los muros y la importancia de las bóvedas no se corresponde con la magnitud de los arbotantes, ni tan siquiera con su presencia. La Sainte Chapelle de París y Sta. María del Mar en Barcelona, son ejemplos de edificios en los que, sin arbotantes, se construye con unos muros muy estrechos, sin que se aprecie en ellos ninguna otra característica especial en el esquema del edificio ni en su construcción.

Los arbotantes no son, además, la única manera de efectuar el contrarresto de los empujes. J. Guadet<sup>(23)</sup>, dice que es más lógico contrarrestar los empujes con tirantes metálicos, como hacen los italianos, que acometer el complejísimo proceso de construcción de los arbotantes, aunque la calidad de los tirantes deje mucho que desear.

Pero planteado el problema de que a veces los edificios se caen debido a los empujes de las bóvedas, lo que resulta evidente por la forma en que lo hacen -los muros se desploman hacia afuera-, es necesaria una respuesta inmediata. Por un proceso deductivo primario se coloca un elemento que se oponga a esa caída. Después ese elemento se integra en el repertorio formal y ocurre que a veces sus formas, características y su situación no son ni las obligadas, ni las más aptas para cumplir la función para la que fue imaginado. Sólo se puede llegar hasta ahí. No se dispone de datos que permitan afirmar que se conoce el valor del empuje, la situación cierta en que han de colocarse los arbo-

tantes, la mejor forma que deben adoptar para cumplir su trabajo, y ni tan siquiera en qué casos son prescindibles.

#### 2.4.2 Los arcos fajones

Un elemento tan simple en principio como el arco fajón recibe sobre su utilidad un veredicto confuso por parte de autores que han meditado a fondo sobre el tema. Carlo Curcio<sup>(24)</sup>, para rematar su trabajo sobre ellos, a la vista de las complejidades y contradicciones que presenta su análisis y ante la imposibilidad de aportar una conclusión válida, recurre a un párrafo de Torroja<sup>(47)</sup> despojado, también de rigor: “*Las ventajas de este tipo de aparejo (el de las bóvedas de cantería) se acusan especialmente al emplear arcos perpiaños como refuerzo de la bóveda. Estos arcos no son solamente elementos ornamentales, que cortando la monótona continuidad del cañón mejoran su aspecto, recintando el espacio; son verdaderos elementos de refuerzo, cuyo efecto se extiende a toda la bóveda, a lo largo de las generatrices, gracias a la rigidez en esta dirección. En la bóveda de cantería, el efecto no puede extenderse tanto como en otros materiales más resistentes y deformables por flexión, y por eso los arcos perpiaños requieren repetirse con frecuencia para ejercer su beneficioso efecto*”<sup>(25)</sup>. Cabría plantear, como hace Curcio, cuál es realmente el área de influencia acotable del arco en bóvedas de cantería, en el sentido longitudinal, que Torroja reconoce que no puede extenderse “tanto” como en otros sistemas en los que es posible el trabajo a tracción. ¿Cuánto se extiende a cada lado del arco, y en virtud de qué principio si las dovelas de la bóveda, en esa dirección, sólo están en contacto a través de unos morteros incapaces de soportar tracciones, sin las cuales es imposible considerar que una pieza trabaja a flexión?

Por su parte Viollet no sólo considera que los arcos fajones no son “*de ninguna utilidad*”, sino que “*favorecerán el desplome de los pies derechos y en consecuencia la destrucción de la bóveda*”<sup>(26)</sup>, extremo éste en el que coincide con Pol Abraham.

Para entrar en un análisis cuantificado de las posibilidades del arco fajón como elemento resistente, análisis

por otro lado de una extraordinaria complejidad si se han de tener en cuenta las influencias recíprocas entre él y la bóveda acoplada, los posibles planteamientos son muy variados. En primer lugar habría que distinguir entre arco fajón exento y arco perpiaño, distinción que no se hace y que supone un comportamiento totalmente distinto en cada caso. En el primer supuesto, la bóveda se puede apoyar sobre el arco, mientras que en el segundo, éste forma parte de aquella y puede servir de elemento rigidizador, no de soporte. Pero además, en uno y otro caso, si el arco se deforma por actuar puntualmente en una zona concreta más de lo que se deforma la bóveda, puede arrastrar a ésta más allá de lo que es posible y causará su ruina. Si por el contrario el arco fajón está bien estribado y la bóveda no, dependerá de las secciones respectivas el que prevalezca su capacidad resistente sobre el empuje de la bóveda, y aun en este caso también influirá el despiece de la bóveda y la frecuencia de los arcos. Creemos por lo tanto prudente no hablar de arcos fajones en general, sino de cada arco fajón concreto, contemplando en su descripción calidades de la piedra, despiece, cimentaciones, relación con la bóveda, estereotomía, estribos, etc. para poder pronunciar un veredicto aproximado sobre sus efectos y utilidad.

El problema puede complicarse extraordinariamente si introducimos en el planteamiento la existencia de cimacios en las impostas de los arcos y somos rigurosos en el análisis de las posibilidades que estas piezas plantean. Si son muy rígidos y resistentes harán solidarios los movimientos de la bóveda y el arco en el arranque, mientras que si son débiles y de sección estrecha se partirán antes de efectuar algún trabajo apreciable, aunque al ser piezas pétreas no deberíamos admitir que trabajan a flexión en ningún supuesto.

La realidad es que se han mantenido en pie bóvedas de cañón sin fajones y otras con ellos, y que se han caído, en proporción desconocida, también en ambos casos. A veces lo que ha permanecido ha sido el arco, a pesar de la ruina de la bóveda. Incluso, como ocurre en la construcción asturiana, los contrafuertes, que deben estribar los fajones, se colocaban sin tener en cuenta el esquema estructural, siendo general en esa arquitectura que: *“Al exterior destaca la frecuencia de los contrafuertes de pequeña altura, distribuidos con capricho (por ejemplo en Santullano no se alinean con los*

*soportes internos); parece un elemento más válido plástica que estructuralmente, habida cuenta que no corresponden a los interiores abovedados”*<sup>(27)</sup>.

Y si ése es nuestro confuso balance, no parece lógico pensar en una mayor profundidad de conceptos en la receta medieval que recomienda su uso, sobre todo a la vista de la multiplicidad de casos.

Nuestra tendencia a establecer principios estáticos válidos en todos los casos puede ser el origen de estas contradicciones en el análisis de las formas resultantes, dando por seguro que existe una fórmula, basada en un dato científico cierto, que, transmitida por los constructores de unos a otros, les suministra el secreto del arco fajón, secreto que nos empeñamos en descubrir.

Pero el arco fajón es, además, una forma arquitectónica que permite una definición muy concreta del intradós de las bóvedas continuas y soluciona problemas de construcción. Se puede realizar por fajas con un encofrado entre dos arcos que se puede reutilizar, entre otras ventajas. *“El constructor que aixeca un arch toral sota d'una volta, obeeix mes o menys conscientment a consideracions d'aspecte: El canó reforçat amb toral es d'apariencia més sòlid, més potent, y aquests cadematges transversals dissimulen les deformacions de les fàbriques”*<sup>(28)</sup>. En algunos casos y en circunstancias muy concretas, puede servir realmente como refuerzo de la bóveda, aunque en otros su presencia sea negativa. Cada constructor usa el elemento, sin tener todos los datos, según su leal saber, lo que da lugar a múltiples situaciones, a veces contradictorias entre sí.

### 2.4.3 El arco ojival

Sobre las posibilidades del arco ojival existe una mayor unanimidad, basada en la evidencia de que, mucho o poco, los empujes horizontales sobre los apoyos son menores para la misma luz que en otros tipos de arcos, lo que sin duda es una ventaja en el momento de contrarrestar esos empujes, sea cual sea su valor. De todas las formas posibles, la que más se aproxime al trazado parabólico garantiza, además, que todas las

piezas van a trabajar solamente a compresión. Pero eso lo sabemos ahora.

Alberti afirma que el arco ojival -para él, arco compuesto- *“hiende los pesos contrarios como con proa contrapuesta”*<sup>(29)</sup>.

Viollet es farragoso en el tratamiento del arco ojival. Sus complejas explicaciones, tendentes a demostrar la habilidosa capacidad de los arquitectos medievales franceses, *“les premiers qui ayons su tirer de cette forme, issue d'un sentiments de proportions, des conséquences d'une valeur considerable”*<sup>(30)</sup>, tienen como finalidad demostrar que el arco ojival es el elemento que *“ha producido la única arquitectura original que ha aparecido en el mundo desde la antigüedad”*<sup>(31)</sup>. No obstante tan gloriosa afirmación, su análisis es puramente geométrico sin que aparezca en la voz “ojive” de su Diccionario ningún dato sobre su capacidad resistente, ni sobre la mejora mecánica que su forma puede aportar al aligeramiento de los muros y soportes, aunque en la voz “construction” afirma que los constructores poseían el instinto de aproximar el trazado de las ojivas a la curva de presiones. Pero como ésa es una suposición difícilmente sostenible, hasta para Viollet, su trabajo se centra en las posibilidades geométricas y estructurales de la ojiva: *“Con esta lógica que distingue a los habitantes de las Galias, los maestros de obras reconocieron que, puesto que de la cúpula no se conservaban más que dos diagonales, o dos secciones hechas sobre las diagonales de un paralelogramo inscrito en el círculo, base de esta cúpula, había que dar a estos dos arcos una función francamente útil, indispensable; había que hacer la osamenta de la bóveda y llevar sobre esta osamenta plementerías independientes las unas de las otras, que podía así inclinarse en todos los sentidos, esviarse, alargarse, volverse muy cóncavas o casi planas”*<sup>(32)</sup>.

Este párrafo deja claro su concepto sobre el papel que desempeña en el esquema estructural gótico: es la *“osamenta de la bóveda”*, y las plementerías son *“independientes”*, y eso que contemporaneamente a Viollet, Batissier, en 1860, indica que *“su empleo no ha sido la causa de ninguna revolución, de ninguna invención en arquitectura”*<sup>(33)</sup>. Debe querer decir en construcción. En arquitectura, el uso y abuso glorioso del arco ojival condiciona sin duda la imagen más

inmediata del gótico, sea cual sea la opinión de Batissier.

Pol Abraham demuestra gráficamente que los beneficios del apuntamiento pueden ser anulados por aumentos mínimos del espesor y de la densidad de la bóveda, con lo que, de alguna forma, se pueden cuestionar las razones mecánicas que justificarían su uso por parte de los constructores medievales. Opina además que la verdadera novedad de la construcción gótica es el uso de penetraciones de bóvedas más que el uso de nervios, y como las penetraciones suelen dar arcos peraltados, a partir de ahí los justifica sin excesiva profundidad.

Las mismas bóvedas, pero sin nervios, se encuentran en las iglesias de los ss. XVII y XVIII, pero al no percibirse la estructura desde el interior, han sugerido menos elucubraciones.

Argumenta después sobre las ventajas del arco ojival, basándose en que resuelve algunos problemas de colocación en obra y cimbrado, y puede que la forzosa industrialización se viera favorecida al poder construir arcos de diferentes luces mediante de dovelas trazadas con un solo radio, tal como indica uno de los pocos dibujos inteligibles de Villard.

Con anterioridad Choisy inicia el apartado correspondiente al tema con un subtítulo que no necesita más comentario *“La ojiva: Carácter secundario de su papel”*<sup>(34)</sup>.

A pesar de todo y desde un punto de vista estrictamente formal, el arco ojival presenta ventajas evidentes, si insertamos su uso en el esquema estético predominante en esa arquitectura. Refuerza el casi tópico sentido de elevación que forma parte de la más inmediata y elemental percepción del gótico.

Incluso desde un punto de vista puramente visual, la ojiva da una mayor sensación de capacidad resistente que los arcos más rebajados. Es la única razón que exhibe Vasari para justificar la forma dada por Brunelleschi a la cúpula de Santa María de la Flor. Sería equiparable al ligero apuntamiento que damos a nuestras jácenas cuando son de mucha luz y están a poca altura sobre el plano de uso, como ocurre en los



aparcamientos subterráneos, para evitar la sensación de aplastamiento del espacio.

Si consideramos posible la existencia de unas normas de cálculo gráfico o de dimensionado para las estructuras medievales, la determinación del espesor de los muros sobre los que se apoyan los arcos puede ser la única que ha llegado a nosotros.

Sin justificar su procedencia más que de una forma muy remota, “*por ciertas proporciones de la estática, y por otras de la maquinaria*”, en la 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, de Juan García Berruguilla, editado en Madrid en 1747, aparece un sistema gráfico para determinar la anchura de los muros según el trazado del arco que estriba sobre ellos, sistema gráfico que después es comentado y ampliado en el texto. Edoardo Benvenuto lo recoge del tratado Instruzioni elementari per indirizzo dei giovani allo studio dell'Architettura, de Bernardo Antonio Vittone, reconociendo que desconoce su origen: “*nulla sapiamo*”. Rondelet lo atribuye al padre Derán y confirma su uso por parte de Blondel, el padre Dechalles y De la Rue. También se refiere a él Belidor. De acuerdo con esta regla, el arco apuntado es el que menos espesor de muro necesita para la misma luz, lo que supone una ayuda extraordinaria una vez establecidos los postulados estéticos de la arquitectura gótica.

En definitiva se puede afirmar que el arco ojival es un elemento favorable al desarrollo de los esquemas estéticos góticos, y que en circunstancias concretas, si se conoce en que proporción, lo que no es tan evidente que ocurriera en la Edad Media, aligera el empuje horizontal sobre el de otros trazados para cubrir la misma luz, con lo que a nosotros el cálculo nos exigiría una menor sección para el muro o los soportes porque tenemos garantizada la homogeneidad del material.

Tiene además otras ventajas desde el punto de vista de la talla, ya que permite cubrir luces distintas, con dovelas talladas con el mismo radio, industrializando en alguna medida el proceso y evitando engorrosas clasificaciones a pie de obra.

#### 2.4.4 Los muros y las pilas aparejadas

Otro de los puntos que ponen en entredicho los esquemas habituales es el diverso comportamiento de las estructuras debido a la heterogeneidad con la que han sido construidas. Fábricas del mismo aspecto pueden tener características resistentes muy variadas según se realice el relleno, por lo que es difícil aceptar que una fórmula o unas relaciones simples entre las dimensiones, en el caso de que se manejara este tipo de referencias, fuera válida a la manera en que hoy lo son nuestros sistemas de cálculo, basados en la posibilidad de predecir las características de los materiales y del elemento resultante. En primer lugar puede influir la naturaleza de los morteros. En la época que nos ocupa no se conoce el proceso de fraguado y endurecimiento, la temperatura de cocción de las cales es incontrolable y el origen y calidad de la materia prima depende de cada lugar. Además existe gran cantidad de sistemas para aparejar ese relleno. En algunas obras es cuidadoso y ordenado, mientras que en otras, las más, se trata sólo de un vertido incontrolado de materiales de deshecho procedentes de la talla de los elementos vistos, cuya compacidad deja mucho que desear.

Sobre este tema es imposible generalizar la información. Se debe tratar cada caso individualmente, con lo que las posibilidades de establecer supuestos útiles para un esquema estructural general, aun en el caso de que no existieran las contradicciones anteriormente expuestas, son bastante remotas. Los muros y las pilastras aparejadas no son elementos uniformes a los que se pueda adjudicar unas determinadas características, a pesar de que su aspecto externo sea similar y de que sus dimensiones coincidan, aun dentro de una misma obra.

Existen muy pocos datos sobre la capacidad real de trabajo de estos elementos en casos concretos, y los pocos que existen evidencian una mayoría de situaciones límite.

Valgan como ejemplo los datos obtenidos para la reconstrucción del Duomo de Milan, descritos en una ponencia presentada por sus autores, Carlo Ferrari da Passano y Guido Oberti<sup>(35)</sup>, sobre un trabajo previo en el que se emplearon técnicas muy afinadas de análisis. El primer dato inquietante que aportan es que “*la com-*

posición de los pilares es heterogénea, constituida por una corona perimetral de mármol de Candoglia con ocho nervaduras grandes que se alternan con cuatro pequeñas, y por un núcleo interior formado por hiladas no adheridas a las de mármol, y que tienen un espesor muy variable, compuestas de ladrillo, de piedra de Serizzo y de esquirlas de mármol, recibidas con un mortero de cal y arena". Estos pilares descansan sobre unos cimientos que transmiten al terreno la exorbitante carga unitaria de 7,5 Kg/cm<sup>2</sup>.

Durante los trabajos preparatorios, consistentes en el ensayo sobre una maqueta muy exacta no sólo en la escala sino en la reproducción del estado de los pilares antes de la intervención y realizada en materiales similares ante la acción de las cargas soportadas por el conjunto se advierte que: "El aumento obtenido en el valor de la carga de rotura resulta, en general, relacionado al volumen de los bloques de mármol sustituidos: con una sustitución máxima del orden del 40%, este valor llegaba al 100%". Esta sustitución se haría recibiendo los bloques nuevos con mortero de cemento.

Es decir, que mejorando sólo menos de la mitad de los

bloques de la cara exterior de los pilares se dobla su capacidad resistente. Pero los resultados son "extraordinarios" cuando se sustituyen todos los bloques. "Aun se ensayó, con el empleo de una técnica especial de colocación (estudiada por el dr. Ferrari), una intervención global para la reconstrucción total de los pilares, con la sustitución, empezando por abajo, en fases sucesivas de todas las hiladas de los bloques de mármol de Candoglia, alcanzando al final resultados extraordinarios, ya que se llegó a una carga de rotura diez veces superior a la soportada por las columnas 'in situ'". La variación de la capacidad resistente real es tan importante -puede variar de uno a diez con sólo mejorar el aparejo de la cara externa- que el tema no necesita más comentarios.

Parece inútil intentar un esquema racional que base en el dimensionado, exclusivamente, las posibilidades resistentes de una estructura de estas características, y menos si los elementos considerados no son monolíticos y están aparejados. Ante esta realidad cabe preguntarse sobre qué criterios basaron los constructores medievales sus decisiones. No parece que haya una respuesta que haga compatible sus conocimientos con la complejidad del asunto.

**NOTAS DEL CAP. 2**

- (1) Alberti, León Bautista. Los diez libros de arquitectura. Traducido por Francisco Lozano, Alonso Gómez, Madrid 1582. Lib. I Cap. XIII. Pág.30
- (2) Viollet le Duc. Diccionario de arquitectura, París 1875.
- (3) Viollet Op. Cit. Tomo 4. Pág. 83.
- (4) Viollet Op. Cit. Tomo 4. Pág. 83.
- (5) Roger Gilman. Las teorías de la arquitectura gótica y el efecto de los bombardeos en Reims y Soissons. American Journal of Archeology N° 1 1920 publicado en castellano en "Arquitectura y construcción", Barcelona 1922.
- (6) Roger Gilman Op. Cit. Pág. 95.
- (7) Roger Gilman Op. Cit. Pág. 95.
- (8) Pol Abraham. Viollet-le-Duc y el racionalismo medieval. Vincent, Freal & Cia, Sucesores, París 1934. Pág. 5.
- (9) Fitchen J. La construcción de las catedrales góticas. Claredon, Oxford 1964. Pág. 106.
- (10) Rondelet, Jean. Tratado del arte de construir. Fermin Didot y Hnos., París 1850. Tomo 4. Pág. 324.
- (11) Pol Abraham Op. Cit. Pág. 27.
- (12) Pol Abraham Op. Cit. Pág. 45.
- (13) Pol Abraham Op. Cit. Pág. 58.
- (14) Choisy, Auguste. Historia de la arquitectura. Baranger e Hijos. París 1903. Tomo 2. Pág. 267.
- (15) Choisy Op. Cit. Tomo 2. Pág. 268.
- (16) Choisy Op. Cit. Tomo 2. Pág. 277.
- (17) Louis Grodecki. Arquitectura gótica. Electra Editrice. Milán 1978. Pág. 8.
- (18) Oursell, Raymond. El mundo románico. E. Garriga. Barcelona 1966. Pág. 365.
- (19) Bassegoda Musté, Buenaventura. Racionalismo a ultranza en la arquitectura medieval, artículo incluso en Algunos ensayos sobre técnica edificatoria. Universidad Politécnica de Barcelona, 1974. Pág. 70.
- (20) Pol Abraham Op. Cit. Pág. 86.
- (21) Choisy Op. Cit. Tomo 2. Pág. 304.
- (22) Choisy Op. Cit. Tomo 2. Pág. 305.
- (23) J. Guadet. Elementos y teoría de la arquitectura.
- (24) Curcio, Carlos. Estudio y reflexiones sobre estructuras medievales y el equilibrio de la catedral gótica de Reims. Mac Gaul, Buenos Aires 1968.
- (25) Torroja, Eduardo. Razón y ser de los tipos estructurales. Inst. Eduardo Torroja de la construcción y del cemento. Madrid 1960. Págs. 113 y 114.
- (26) Viollet Op. Cit. Tomo 4. Pág. 14.
- (27) Joaquin Yarza. Arte y arquitectura en España 500/1250. Manuales de arte Cátedra. Madrid 1981. Pág. 41.
- (28) Puig i Cadafalch, Josep y otros. Primer tomo de la Historia del arte. Arquitectura, Montaner y Simó. Barcelona 1901. Tomo II. Pág. 488.
- (29) Alberti Op. Cit. Pág.85. lín. 40.
- (30) Viollet Op. Cit. Tomo 6. Pág. 446.
- (31) Viollet Op. Cit. Tomo 6. Pág. 446.
- (32) Viollet Op. Cit. Tomo 6. Pág. 431.
- (33) Batissier, L. de. Historia del arte monumental en la Antigüedad y la Edad Media. Furne y cia. París 1860. Pág. 552.
- (34) Choisy Op. Cit. Tomo 2. Pág. 265.
- (35) Ferrari di Passano y otro. "Ponencia en el Congreso Internacional de Patología. Resumen de ponencias". Venecia 1981.

### 3. La realidad de lo construido

#### 3.1 Consideraciones previas

La confusión evidenciada en el capítulo anterior aumenta si se analiza, con el rigor imprescindible en un arquitecto constructor, la fuente de información más rica sobre el verdadero alcance de las decisiones de los constructores en cualquier época: el resultado de su trabajo, las obras.

Este análisis lo hemos planteado según un principio a nuestro entender básico y del que se ha prescindido en general: pocas decisiones sobre la fábrica se toman de forma aleatoria. En todo caso se tomarán sin conocimiento de causa, o en virtud de criterios no relacionados con los requerimientos constructivos, e incluso en algunos casos en abierta contradicción con ellos, pero siempre se basan en una decisión activa y obligan a una aceptación explícita de lo construido. El resultado en muchos casos no se corresponde con las teorías usuales formuladas sobre la concepción de la obra, tanto por sus resultados concretos como por los criterios puestos en evidencia al construir. La ejecución, en su sentido más inmediato, es decir, los criterios de colocación de cada pieza en el conjunto de la obra, responde a una elección por parte del colocador cuyos resultados evidencian unas intenciones que no pueden ser soslayadas. Sea cual sea la responsabilidad de éste en el proceso, su aceptación por parte de los responsables generales supone que se entiende como correcto el trabajo ejecutado.

Éste quizás sea el enfoque más válido para aproximarse a la realidad de la teoría general que informa la técnica constructiva en cualquier época, y aunque tal y como está expuesto y aplicado en este trabajo puede presentar algunas lagunas y se le pueden hacer algunas objeciones, no hemos encontrado un método similar

en todo el material consultado. O bien se dan por supuestas o se consideran irrelevantes algunas características concretas, como homogeneidad, capacidad resistente, etc. a la vista de que ni siquiera se relacionan, o bien no se profundiza en ellas ni se analizan sus posibles causas y justificaciones cuando se describen.

Lo que sí hemos encontrado han sido quejas ante la falta de este tipo de análisis. En un artículo publicado en la revista "Quaderns" dicen Margarit, Buxadé y L. Rey: *"El primer problema con el que se tropieza quien quiera analizar desde esta perspectiva algún aspecto de Sta María del Mar y casi todos nuestros monumentos es la falta de información sobre pesos, uniones, relleno, etc. Es decir que falta casi siempre un levantamiento de planos con criterios de análisis estructural y no, simplemente de manifestación de aspectos arquitectónicos o estilísticos"*<sup>(1)</sup>.

Esta falta de información no se reduce solamente a estos aspectos. El simple despiece real de las fábricas se olvida y los dibujos son, cuando lo son, de muy exactas medidas en lo referente a lo que antes M. B. y L. R. han llamado aspectos arquitectónicos y estilísticos, pero lamentablemente poco fiables en la representación de la verdadera textura de los edificios y en la descripción de los detalles de recibido, tan elocuentes sobre la intencionalidad de los constructores.

Supone una gran dificultad disponer de todos los datos necesarios ya que son necesarios una gran cantidad de medios técnicos para su obtención: montaje de andamios, extracción de muestras, análisis de laboratorio, etc. y el resultado siempre será incierto.

No obstante, para aproximarse a la esencia de los criterios manifestados, basta un material gráfico que per-

mita analizar el proceso de puesta en obra y las decisiones que se toman sobre el mismo, las prioridades que se manifiestan y, del resultado final aceptado, la exigencia planteada a los constructores, en este caso entendiendo la expresión en su sentido más amplio, es decir, a los que construyen, bien manualmente, bien dirigiendo el proceso.

Este sistema se aplica a una serie de obras o de detalles que cubren, de alguna forma, todo el periodo que nos ocupa. En ningún caso nuestra intención ha sido exhaustiva ni pretendemos establecer una relación entre estos análisis. Se tratan de forma singularizada y se ha renunciado voluntariamente a la obtención de conclusiones que se pudieran entender válidas y definitivas para una época, para un estilo, o para un área geográfica concreta. Hemos renunciado conscientemente a la elaboración de cuadros comparativos que recogieran una posible evolución o la incorporación paulatina de conceptos. Es evidente que esa incorporación se va produciendo, pero en ningún caso es posible deducirla de este trabajo. Para que ese tipo de conclusiones fueran válidas sería imprescindible establecer toda una serie de circunstancias alrededor de cada obra, que superan nuestra intención.

### 3.1.1 Nuestros apoyos

Como apoyatura del análisis utilizaremos los criterios constructivos actuales. Partimos del concepto de que nuestra forma de construir es la mejor de las posibles, aunque esta afirmación pueda ser el germen de una larga y estéril polémica. Habrá que entender el término mejor en su sentido más amplio cuando utilicemos nuestros conocimientos como referencia. Ello significa que nuestros criterios son los buenos, ya que si no lo entendiéramos así los cambiaríamos. La coincidencia será una demostración de acierto y la discrepancia abierta, al menos, una causa de perplejidad. Evidentemente no lo sabemos todo, pero nunca como hoy se ha podido profundizar en el comportamiento cierto de una construcción.

Pero al aplicar nuestros conocimientos como referencia no se debe hacer en el sentido tradicional que trata de encontrar en los constructores medievales un baga-

je parecido al nuestro, ni tan siquiera para constatar que están dentro de lo que nosotros entendemos por correcto. A nuestro juicio, no tiene demasiado objeto que se apliquen formulas complejas para demostrar que lo que está en pie se mantiene. En todo caso servirían para que, y de eso no estamos muy seguros, pudiéramos construir hoy algo parecido. La capacidad de riesgo que demuestran los constructores medievales es difícilmente equiparable a la que podríamos asumir hoy. Lo que tratamos es de averiguar cuanto de conocimiento cierto, de lo que nosotros entendemos por realidad de las cosas, hay en su forma de trabajar.

En este aspecto, y como aclaración de lo que entendemos por verdadera realidad de las cosas, hemos de puntualizar que el concepto básico es que, sea cual sea el criterio constructivo empleado, una vez rebasado el límite de resistencia de un material, éste se rompe, y eso hoy podemos predecirlo, pero se rompería igual si no lo supiéramos. Cuando se rebasan muy poco esos límites no siempre se produce el colapso, debido a que existen unos ciertos márgenes en la capacidad resistente de los materiales, dada su casi imposible homogeneidad, pero ello no supone que el sistema que se mantiene en ese límite sea viable ni desde luego, que su elección corresponda a una decisión consciente previa. Lo mismo ocurre con las posibilidades de equilibrio de un sistema.

En el otro extremo, un sobredimensionado tampoco demostrará prudencia. El único dato que servirá para determinar el nivel de seguridad será la expresión explícita y justificada de la necesidad de la decisión aunque sea con razones erradas: lo que puede significar la expresión "porque si no se cae", que es lo que venimos a decir con nuestros modernos métodos de cálculo.

También hemos renunciado al dibujo a escala, a pesar de la ventaja que hubiera supuesto como argumento. Cuando aparecen medidas se trata sólo de un apoyo visual para entender el orden de magnitud. A la vista de los elementos estudiados no es posible suponer un sistema que tuviera en cuenta magnitudes tan exactas como las que nosotros podemos definir en centímetros o milímetros. Una cosa es la coincidencia física concreta, tan ajustada como se pueda realizar, y otra es la definición apriorística de una medida. La evidencia de

la diferencia de tamaños o de la irregularidad de los despieces tendría, en los límites de este análisis, que servir en sí misma.

### 3.1.2 Lo imprescindible para construir

Cualquiera que en cualquier tiempo o lugar se haya planteado la necesidad de dar forma física a un espacio ha debido tener en cuenta una serie de cuestiones imprescindibles para realizar su trabajo, antes de comenzar y sea cual sea su pretensión.

En primer lugar deberá definir las dimensiones de ese espacio y en segundo las de los elementos que lo conforman.

Con respecto a la definición del espacio, se produce en cualquier caso una interacción entre las posibilidades del sistema constructivo y las ambiciones del proyectista. Sólo se debe considerar arquitectura, con excepciones notables y discutibles como los proyectos de Boullé, lo que se pueda construir, y a partir de este enunciado se pueden aceptar osadías, como las de Santa María de la Flor o Santa Sofía en Constantinopla; correcciones debidas al carácter simbólico de los edificios, como la que presumiblemente justificó el alarde del Panteón de Adriano, o simplemente a errores de apreciación de las posibilidades reales del esquema estructural, como San Pedro de Beauvais. También es comprensible que se incorporen a la definición del espacio decisiones coyunturales de difícil justificación desde la estricta lógica constructiva, pero en cualquier caso quién decida sobre las dimensiones básicas del proyecto debe disponer de los recursos necesarios para materializarlo.

Por lo que respecta a la concreción de las dimensiones de cada uno de los elementos que han de componer el edificio, la cuestión es menos compleja y comienza por la existencia de unas técnicas de ejecución que acumulan las experiencias en el manejo de determinados materiales, las de las dimensiones habituales de algunos elementos que han probado su eficacia y que normalmente evolucionan hacia un mejor comportamiento de lo construido, tanto ante los esfuerzos mecánicos como ante las solicitaciones de uso, la faci-

lidad de ejecución, el rendimiento del esfuerzo y las calidades estéticas que en cada caso se entienden como óptimas en el resultado del trabajo.

Los que manejan estos datos lo pueden hacer de forma consciente o inconsciente, referidos a una tradición cuya justificación desconocen, o aportando novedades que, de dar un mínimo resultado, serán incorporadas al repertorio, todo referido en un lenguaje y con unas referencias comunes, como puede ser lo concerniente a medidas y a técnicas.

De la observación del comportamiento de los elementos construidos y debido a la tendencia casi natural a la ortogonalización de las referencias métricas, cada una de ellas se ha valorado, en general, según unos criterios que tienden a relacionar la anchura con la resistencia y el aislamiento térmico, es decir, con la solidez de lo construido, la altura como un límite, y por lo tanto un reto a sobrepasar, y la longitud, probablemente después de haber resuelto satisfactoriamente las otras dos dimensiones, simplemente con las necesidades de aforo o la pretensión de grandeza.

No son los únicos condicionantes, ya que a la vez hay que tener en cuenta datos muy inmediatos, como las disponibilidades de material, que obligará a una técnica de colocación concreta o a unas anchuras mínimas, y a otros extremos de esta índole.

También influye en el resultado la tradición artesanal de cada área geográfica en el manejo de los materiales de construcción, las costumbres y la habilidad de los albañiles, sea cual sea el nombre que reciban los que deben construir, y su capacidad para generar mejoras en ese manejo.

Normalmente este tipo de mejoras tienden tanto a garantizar el resultado y su durabilidad, como a algunos aspectos estéticos cuya valoración a veces es difícil, y casi siempre las manejan inercialmente la generalidad de los operarios.

Además, durante el proceso es necesario resolver las contradicciones que se plantean a cada paso, estableciendo las prioridades y las soluciones a aplicar en cada punto conflictivo. Primará, por razones obvias, la estabilidad, pero los enunciados que permiten garanti-

zarla cambiarán según la información que se maneje en cada época y en caso de duda se recurrirá casi siempre a otros modelos anteriores de probada eficacia.

El trabajo acabado debe resistir la acción de la gravedad como requisito más inmediato y obvio, es decir, debe mantenerse en los momentos siguientes a su acabado, y por momentos siguientes se debe entender un periodo razonable de tiempo y unas circunstancias mínimamente favorables, aunque la ejecución no se ajuste a lo previsto, o no se corresponda con un criterio científico. Esta última valoración es relativa, ya que la prueba apodéctica de la validez de los criterios aplicados es siempre la pervivencia de lo construido.

Si se mantiene en pie debe, además, ser aceptado por quienes hayan encargado el trabajo, aunque quizás en muchos casos no se adapte a lo que está previsto.

Un ejemplo útil de las situaciones que llevan a aceptar unos determinados trabajos, aunque no cumplan estrictamente los requisitos exigidos, se produce cotidianamente en nuestras obras. Es difícil asegurar que la gran mayoría de ellas se construya de acuerdo con la mejor técnica posible y a veces se dan por buenas situaciones que casi rozan lo inaceptable ante el problema que supone rehacer lo construido, siempre dentro de unos márgenes, de forma que no supongan un riesgo cierto de hundimiento o una desviación notable del proyecto.

El problema, casi siempre, hasta que se ha podido cuantificar la estabilidad de las construcciones, es que la única seguridad se ha deducido casi únicamente de la pervivencia de la obra, como ya hemos dicho, durante un lapso razonable de tiempo y en unas circunstancias favorables. Los colapsos que se producen a medio y largo plazo no pueden ser objeto de este planteamiento, ya que su origen y evolución es dudosa, incluso hoy, en muchos casos y pueden deberse a circunstancias exteriores a la obra.

De la utilización reiterada de unas soluciones se debe deducir su idoneidad, por más que el lenguaje en el que se expresen tanto las condiciones de trabajo, como las soluciones no se ajusten a nuestros criterios, ni sean las únicas posibles, ni las mejores.

Todos estos datos, manejados explícita o implícitamente y siempre bajo la acción de la gravedad, se han utilizado de manera específica en cada época a lo largo de la historia.

Los análisis que efectuamos a continuación tienen por objeto deducir, o intentar deducir, de los resultados qué tipo de datos se usaron en cada caso, cuáles fueron las prioridades tenidas en cuenta por los constructores, y cuánta ciencia constructiva de la que conocemos hoy, que consideramos la buena, porque si no la cambiaríamos, usaron al tomar las decisiones para construir sus edificios.

Lo que pretende toda esta exposición es fundamentar el aserto de que tanto las dimensiones como la técnica empleada en cada caso no son hechos casuales, aunque sí pueden ser equivocados según el fin último que debería definirlos. 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 positiva.

Lo mismo entenderemos que ocurre con los esquemas estructurales, los detalles de ejecución y la tecnología de los materiales. Cada paso en una obra construida obedece a una decisión consciente y voluntaria, con las limitaciones normales de materiales y ejecución correspondientes. Las conclusiones sobre la realidad de la ciencia cierta manejada se deducirán de los resultados y de su coincidencia con lo que nosotros entendemos por óptimo, es decir, de la constatación de que el criterio con el que se establecen esas dimensiones y esa técnica corresponde al que nosotros aplicaríamos. Esto no se debe entender como una superioridad intelectual apriorística, sino el convencimiento de que la tabla de prioridades que nosotros entenderíamos lógica es la mejor, porque si no la modificaríamos. De nada nos vale la constatación de que, aun vulnerando algunos principios que nosotros entendemos por mínimos, si las obras se mantienen, ello supone la existencia de saberes misteriosos o desconocidos para nosotros, sino simplemente el hecho de que nuestros criterios, a veces y conscientes de las limitaciones de algunos conceptos, van más allá de lo estrictamente

necesario. Pero sabemos, o podemos saber, cuál es el margen de seguridad.

Por poner un ejemplo inmediato, nadie puede afirmar que la torre de Pisa se cimentó en el conocimiento de que se iba a inclinar y que a pesar de ello no se caería. La única explicación válida y respetuosa con sus constructores es que cuando se cimentó no se sabían los requisitos mínimos del cimiento. No se cayó, se inclinó gloriosamente, suponemos que llenándolos de perplejidad, y en una actuación que no suscribiríamos en ningún caso continuaron su trabajo a pesar de la inquietante situación. La audacia estuvo en la asunción del riesgo, asunción en la que influye, precisamente, el absoluto desconocimiento de su verdadera magnitud.

A partir de este esquema es posible enfrentarse de una manera diferente a los edificios: se puede intentar una mayor comprensión de su esencia y del entorno en el que están construidos, penetrando en las circunstancias que sugiere su ejecución, y tratando de ajustarlas a las condiciones normales en las que se desarrollan los trabajos propios de cualquier obra.

Partiendo de nuestras anteriores reflexiones es posible deducir, con todas las cautelas que el caso requiere, cuáles fueron los condicionantes básicos de su ejecución, cuáles los requisitos que se tuvieron en cuenta durante su construcción, y cuáles fueron quizás las prioridades que sus constructores tuvieron en cuenta al solucionar, de la forma en que ha quedado en la obra, las contradicciones o los problemas que se fueron presentando a lo largo de la construcción.

Hemos de hacer hincapié en el hecho de que ninguna decisión se puede tomar por omisión cuando se ejecuta una obra. Los elementos que se van colocando no caen del cielo en las manos del albañil. Se deben coger de una pila, y suponiendo incluso que se cojan sin ningún criterio, eso ya supone un criterio. Otra cosa será que los criterios de selección, o de no selección, creen problemas y se cambien, pero cada pieza fue elegida para ocupar el sitio que ocupa y no otro, por más que a veces se produzcan, y se acepten, situaciones irracionales dentro de un proceso racional.

En este sentido cabe aceptar irregularidades en los

suministros, lo que altera los criterios de selección -se trabaja con lo que se tiene-, o situaciones de ese estilo, pero en cada caso el resultado se juzgó aceptable y duradero para un periodo de tiempo razonable, ya que de no ser así se habría cambiado.

Con esta intención hemos analizado una serie de edificios que pueden ser significativos por su normalidad. No se ha tratado de elegir lo mejor ni lo peor construido, sino de aplicar el sistema de análisis propuesto a cualquier edificio.

Los edificios elegidos no se limitan sólo al periodo gótico, si no que abarcan toda la Edad Media, desde la visigoda Quintanilla de las Viñas (fig. 1), hasta los ejemplos góticos tardíos de Barcelona y de Santa María de Alet. Como ya justificaremos, creemos que el proceso constructivo que culmina en el gótico comienza a nacer casi inmediatamente después de que desaparecen los modos romanos de construir, aunque tarde varios siglos en consolidarse y proporcionar sus ejemplos más brillantes. Desde ese punto de vista puede ser válido seguir, a pesar de que sea con grandes discontinuidades, lo que puede ser un proceso continuo en la toma de decisiones sobre la obra. Los avances debieron darse exclusivamente en el terreno empírico y apoyados en la acumulación de experiencias. El sentido de la obra bien hecha y los mejores medios que la sociedad gótica suministró a sus constructores pueden justificar algunas mejoras.

Lo más normal en casi todos los análisis es considerar los edificios como un producto acabado, como algo concebido y ejecutado, casi, en un solo acto, y generalmente se margina el proceso de construcción, proceso que supuso la aceptación por parte de los constructores de cada fase, tal como se representa en los dibujos y que, como ya hemos dicho, obedece a unas reglas casi universales para todo trabajo humano. Puede que no se adapten exactamente a los procesos que se siguieron en cada caso, de forma que durante las obras los edificios tuvieran otro aspecto ligeramente distinto al que presentamos, pero para subir un muro hay que empezar por abajo, llevarlo parejo en lo que se pueda, cambiando lo menos posible los andamios, aprovechando al máximo los esfuerzos y evitando situaciones anómalas, todo ello guiado para la más inmediata lógica que es capaz de generar cualquier





Figura 1

persona acuciada por alguna necesidad, y en ese sentido hemos trabajado.

### 3.2 Quintanilla de las Viñas

#### 3.2.1 El edificio

Según Pedro de Palol, *“Quintanilla de la 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”*<sup>(2)</sup>.

Esta polémica no sólo se circunscribe a los aspectos puramente arquitectónicos y de datación, sino que en ella intervienen consideraciones complejas de índole teológica. En ningún caso aspiramos a intervenir en

ella por razones y limitaciones obvias. Con el análisis que proponemos lo único que se pretende es, a través de nuestra metodología, incorporar algunos datos fehacientes de la que hoy se puede observar. Su inserción en el debate sería otro cantar del que no pensamos dar una sola nota.

Durante nuestra visita, el guía -desde el año treinta en el ministerio, sabe Ud.-, nos indicó que según le había asegurado un historiador amigo suyo la iglesia había sido derruida por Almanzor, pero como no tenía pruebas, sabe Ud., no lo ponía en los libros.

#### 3.2.2 Conjetura sobre las secuencias de construcción

A pesar de que se podrían suponer unas secuencias de construcción irracionales, como pretender que se construye por hiladas corridas en todo el perímetro de forma que no se empieza ninguna sin haber acabado la inmediatamente inferior, la lógica más primaria permi-

te asegurar que la fábrica se empezó por alguna esquina y a partir de esa referencia se continuaron los muros hasta la siguiente, cubriendo el perímetro sobre los cimientos, que sí debieron hacerse de una vez, por lo menos en cada fase del proyecto, si es que éste tuvo modificaciones o ampliaciones.

La posibilidad de que cada hilada se acabara antes de la siguiente, a pesar de su escasa lógica constructiva, se puede contemplar como una forma de garantizar, a la vista de la diferente altura de cada una de ellas, que todas las de una altura determinada se colocaron de una vez, evitando clasificaciones enojosas y el almacenamiento de los sillares, pero eso sería desprestigiar la mínima capacidad de organización que los constructores demostraron en otros aspectos de la obra.

Esta forma de trabajar les obligaría a disponer de un andamio corrido en todo el perímetro, andamio que, dado el tamaño de los sillares y la necesidad de moverlos varias veces para conseguir su encaje exacto, debería ser robusto y firme y se tendría que recrecer por igual cada dos o tres hiladas.

Es más ajustado a la lógica de la obra suponer que se instalaron uno o varios andamios que permitieran elevar en toda su altura cada tramo y que se pudieran desplazar, montándolos de nuevo con los mismos elementos, junto al tajo acabado, tal como con otros elementos se hace hoy.

Esta suposición obligaría a considerar la necesidad de una clasificación de los sillares por alturas, de manera que al llegar a cada hilada se dispusieran de los correspondientes a la misma sin necesidad de mantener en el andamio un peso inútil, a veces de varios cientos de kgs., además del engorro que supondría para moverse por ellos.

Con cualquiera de los dos sistemas se pueden tallar los sillares con longitudes variadas, todos con la misma anchura y las alturas que se correspondieran con la de cada hilada, y sólo será necesario retocar en obra uno por paño de pared para conseguir la longitud exacta de cada paramento.

Además del ahorro en el andamiaje, este supuesto permite definir primero las esquinas, perfectamente verti-

cales, y a partir de ellas la planeidad de los muros, dando una concreción física exacta al edificio.

Parece por lo tanto lógico partir de este segundo supuesto: *se definen las esquinas y se avanza según tajos independientes*, con tal de que los sillares estén clasificados por alturas y por longitudes.

El rompejuntas se mantiene en general en toda la fábrica, por lo que también sería necesaria una cierta elección para evitar coincidencias, aunque en algunos casos no sea demasiado rigurosa.

### 3.2.3 La dimensión de los sillares

Es difícil encontrar una justificación satisfactoria a la diferencia de alturas de los sillares. De ser más pequeños, esa diferencia se justificaría por el aprovechamiento de los trozos en los que se parten los bloques de cantera. Pero con el tamaño de los de esta obra, en la que no hay desperdicios ni posibilidad de usar trozos pequeños o ripios, y en la que las diferencias de alturas de las hiladas son mínimas, más parece que se trate de aprovechar unos sillares de diversa procedencia -Pedro de Palol asegura que el aprovechamiento de columnas, fustes y capiteles es evidente en todo el periodo, además de haberse probado el origen romano de muchos sillares-, o de que el problema de la igualdad no se plantea. Puede que se trate de aprovechar al máximo el material existente, es decir los bloques de cantera, pero tampoco parece demasiado lógico de no encontrar unos lechos que permitieran igualar el tamaño de las extracciones por hiladas. Si los bloques se tallan iguales, sólo para cada hilada, es más difícil y se puede desperdiciar más material que si se tallan de dos o tres alturas. Más justificación tiene el aparejo si se acepta la existencia de sillares de recuperación. Se trataría de tallar los nuevos para adaptarlos a los existentes, o de clasificar éstos según su altura con los retoques necesarios.

En cualquier caso la talla es perfecta. Según Yarza: *“Está hecho con una excelente piedra de cantería cortada en grandes bloques perfectamente colocados a hueso, que son la mejor prueba del orgullo de San Isidoro ante el more gótico”*<sup>(3)</sup>.

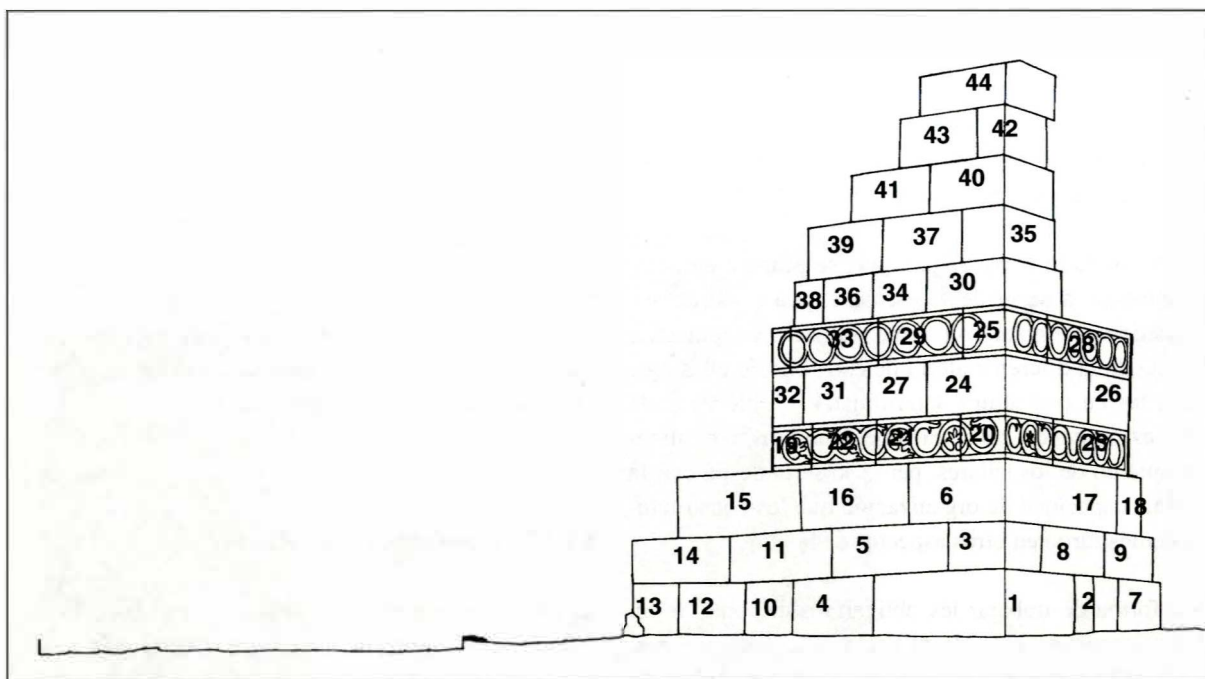


Figura 2

### 3.2.4 La puesta en obra

Dando por más lógico el segundo supuesto, vamos a establecer unas condiciones que consideramos necesarias para el trabajo de los sillares y que obligan a un orden mínimo en su elevación y colocación.

Una vez clasificados los sillares por alturas y longitudes se procede a colocar cada sillar sólo si están dispuestos los de abajo definitivamente. No es probable que dejaran sillares en voladizo y encajaran el inferior en el hueco, si podían colocarlo encima, excepto en el caso que el superior montara mínimamente sobre el inferior. Por lo tanto, no se utilizan los enjarjes para encajar la obra. En todo caso existen dos avances, a diferentes alturas y a ambos lados de cada esquina.

Por otra parte no se deberían acumular más de uno o dos sillares en el andamio. Las dificultades que presenta el peso y el manejo hacen suponer un sillar en cada operación.

Según estas premisas se sugiere un orden posible en la colocación que, sin ser exclusivo, es coherente. En ese orden se ha supuesto que, como hemos indicado antes, es prioritario llegar al final de la arista. Este orden sería el de la numeración de las figuras 2 y 3. A partir

del sillar 64 saltamos algunos cuyo orden de colocación es irrelevante hasta el 65 de la figura 3.

Todo funciona normalmente y la fábrica avanza de forma regular hasta que se llega al dintel (68, fig. 3). Antes de colocar esa pieza es necesario haber iniciado el ángulo. Las dos primeras hiladas de la pared perpendicular son independientes, y no coinciden las juntas hasta la tercera hilada. A partir de ese sillar (58, fig. 3), se alternan, como en la esquina saliente, los sillares de una y otra dirección para trabar las paredes. Considerando al sillar 60 como entrante, es de suponer que el 45 queda enrasado a su perpendicular. Sea cual sea el orden en el que se encajan, el sillar 63 de la fig. 3 no se puede colocar hasta que previamente se han colocado los anteriores en numeración.

El mismo problema se plantea al llegar al segundo dintel (71, fig. 3). Antes hay que colocar las piezas de la 65 a la 68, momento en el que se pierde parte de la regularidad en el trabajo. Es posible que el dintel decorado 68 se haya colocado con ayuda de un apeo, pendientes de recibir el material para continuar la fábrica y así ganar tiempo recibiendo los sillares 69 y 70, que además colaboran a la solución contrapesando el voladizo, y los siguientes posibles. También es posible que el apeo sean los sillares de la actual jamba,

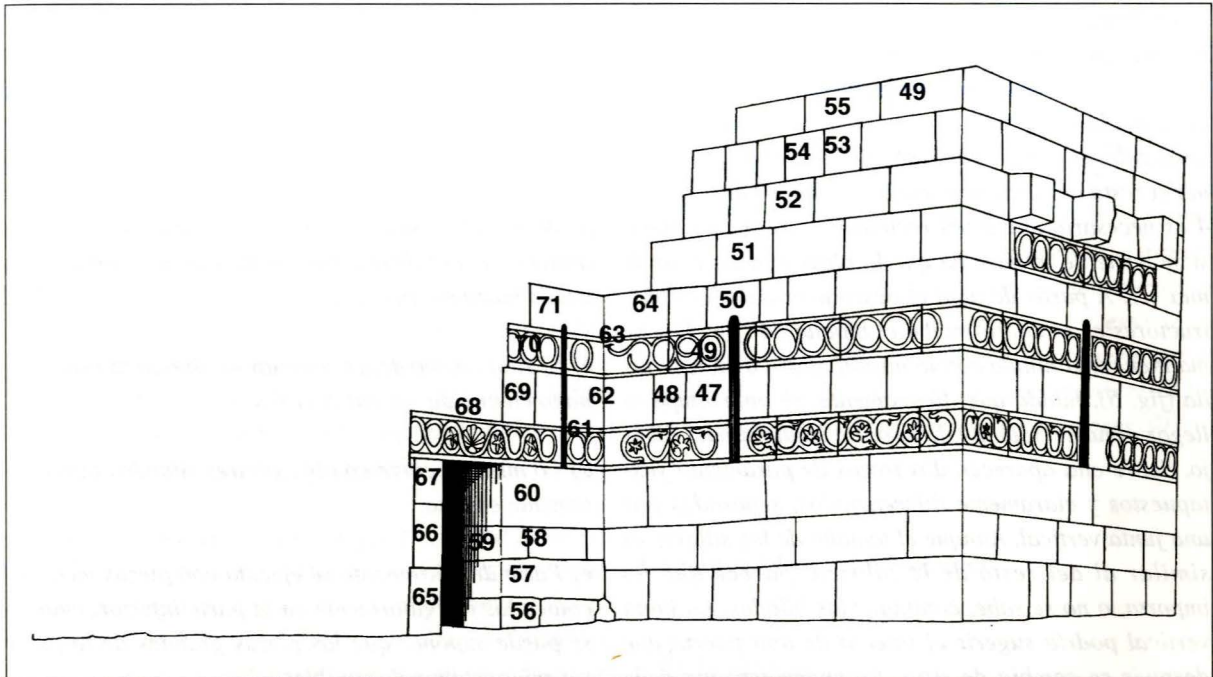


Figura 3

65, 66, 67, y que se pensara en su sustitución posterior. Lo que si está claro es que cuando se acaba la pared no se ha resuelto el problema.

La interpretación del estado actual del monumento se resume en las conjeturas que sobre el mismo quedaron

establecidas en la Historia de la construcción arquitectónica: “No se puede suponer una demolición posterior y, a partir de ella, en una solución de emergencia para evitar la caída del dintel 68. ¿Qué, o quién, causa esa demolición que respeta al dintel en una posición tan inestable? Su horizontalidad y la falta de

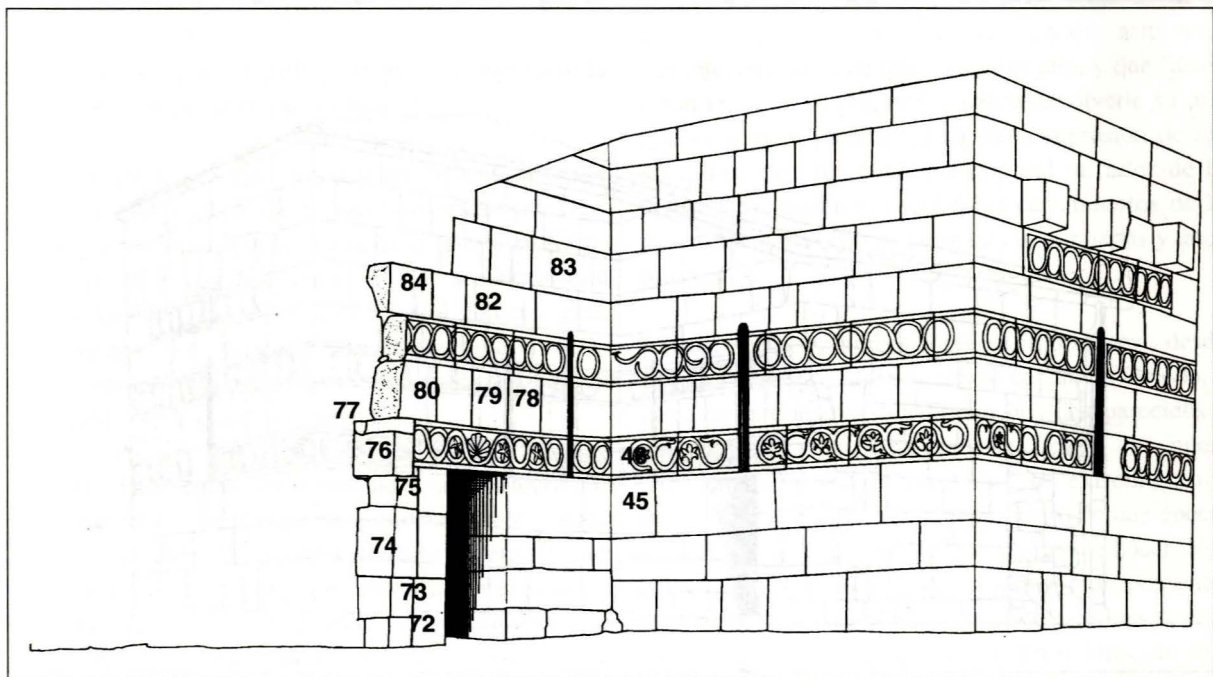


Figura 4

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 fuera totalmente del concepto que informa el resto de la fábrica. Para el sillar 80 de la figura 4 es necesario que estén recibidos el 72 y siguientes, si se parte de la base de que la obra se hace toda de una vez. A partir de aquí el desconcierto de los constructores es total. Se recibe el bloque 84 (fig. 4) y se mantiene una hilada con la misma altura a su izquierda (fig. 5), hilada que, lógicamente, se interrumpe al llegar al hueco tapiado de la parte izquierda del dibujo. Sobre ella aparecen dos trozos de paramento yuxtapuestos y 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 de doblado de la jamba, el 73, que cubre en parte la entrada. Ese intento 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 unas irregularidades

importantes en la esquina:

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

b) Aparece un sillar, el 80, sobre una pieza de una dimensión notablemente inferior a las que se han usado hasta ese momento.

c) El sillar 80 no deja continuar la fábrica ni está acabado en una de sus caras vistas.

d) Lo mismo ocurre con los sillares situados inmediatamente encima.

e) Parte del paramento se ejecuta con piezas menores colocadas irregularmente en la parte inferior, cuando se puede suponer que las piezas grandes de la parte superior estaban disponibles.

f) No se ha previsto la continuación del friso a partir de la pieza que actúa de dintel.

g) No se continúan las hiladas con la misma altura a pesar de que parece que algunos bloques estaban preparados para ello.

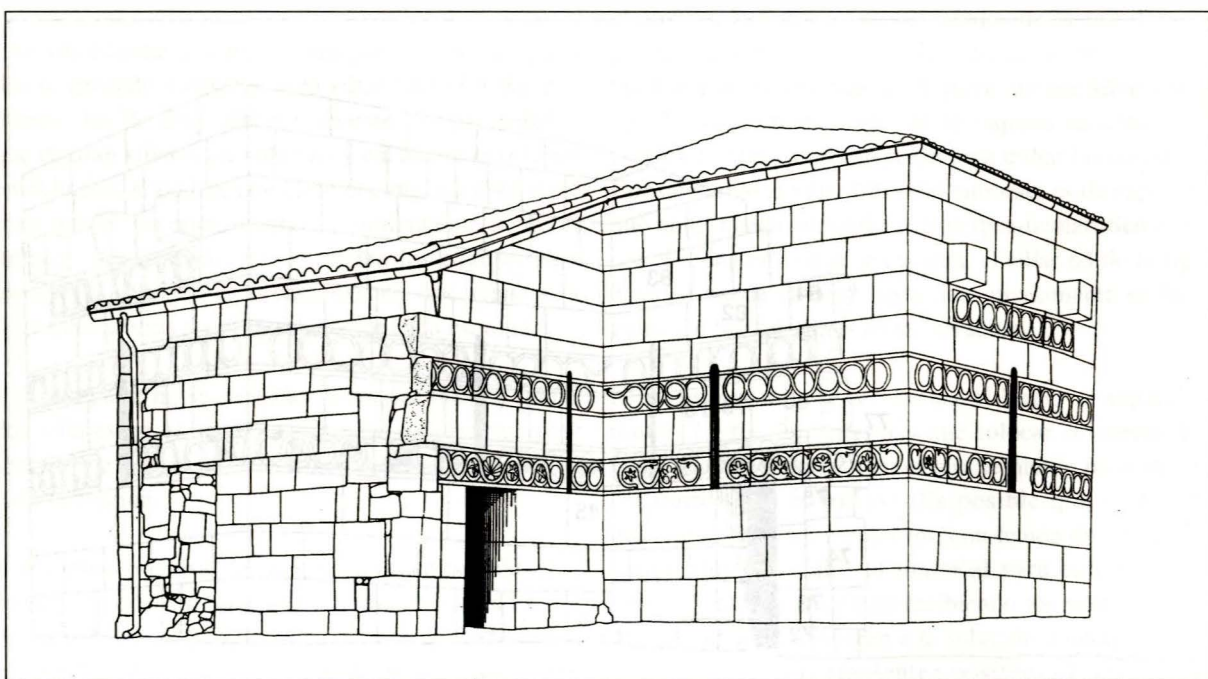


Figura 5

*h) 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 decorado, de nuevo se continúa con la misma cuidadosa 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 cuando aún estaba el material dispuesto, sólo que con prisas, modificando el proyecto en el sentido de suprimir la continuación de la fachada, y por otras gentes menos diestras. Estos nuevos constructores, o los antiguos acuciados por circunstancias desconocidas, no creyeron imprescindible la técnica empleada hasta ese momento, o no supieron planificar el trabajo. 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 como se puede partir el sillar 80 y sus inmediatamente superiores, sin sacarlos de sitio y sin que ello supusiera la caída de gran parte de esa fachada"<sup>(4)</sup>.*

El guía nos indicó que la intención de Almanzor fue solamente la de hacer desaparecer los brazos transversales que completaban la planta de la iglesia en forma de cruz, "a la que tanto odiaba". 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.

La línea de fractura aún es posible si se considera que el sillar 80 puede quedar momentáneamente volado sin que se mueva la fábrica de la parte superior, y que posteriormente se colocan debajo las piezas de la esquina. Pero ese razonamiento no es válido para el dintel 68, que forzosamente, como hemos dicho, debe estar colocado cuando se recibe el sillar 71.

Joaquín Yarza afirma que "no llegó a construirse por completo". Se podría añadir que porque era muy difícil.

Sigue vigente el dilema planteado en la Historia de la construcción arquitectónica: "El caso estaría en dilucidar si esta dificultad se genera por carencias técnicas, es decir porque no se supo prever la continuación, o se debió a un cambio en las circunstancias de la obra. Por el aspecto de la fachada, y esto ya es puro riesgo personal, más parece lo primero que lo segundo. La puerta junto a una pared transversal fue un obstáculo insalvable para los constructores"<sup>(5)</sup>.

### 3.3 Santa María del Naranco

#### 3.3.1 El edificio

Según Bonet Correa: "El edificio del Naranco está perfectamente documentado. Por las crónicas y demás documentos se sabe que fue construido como palacio de recreo de Ramiro I, transformándose más tarde en iglesia"<sup>(6)</sup>.

Puede que sea la construcción más espectacular de lo que se ha dado en llamar el prerrománico asturiano. Las intervenciones de que ha sido objeto, y que finalizaron en el año 1932, pretendieron devolverle su primitivo aspecto y consistieron en la supresión de los añadidos y de los cerramientos del mirador de la fachada de poniente, aunque los cerramientos de la nave principal se completaron con unas puertas y unos tímpanos.

Existen varias opiniones sobre su importancia, desde simple mirador, o lugar de recreo cercano a Oviedo, a parte de un conjunto de edificios hoy desaparecidos y que constituían una de las sedes de la corte. Para nuestro análisis no consideraremos esos extremos; nos basta con valorar su importancia dentro de una época, el siglo IX, y de una determinada forma de hacer. Nos referiremos a la fábrica de su fachada de poniente, partiendo de la base de que las intervenciones restauratorias, por lo que parece, no la han modificado sustancialmente.



Figura 6

### 3.3.2 El zócalo

No existen datos ni a favor ni en contra que permitan considerar que se aprovechó un cimiento anterior. En primer lugar aparece un zócalo sobre el terreno, de piedras más largas que las que en general conforman el resto de la fábrica. Las hiladas, a pesar de su irregularidad, aparecen perfectamente horizontales y a rompejunta. Para conseguir esta horizontalidad se talla en escuadra uno de los sillares (1, fig. 7), estando los de las esquinas mejor trabajados que el resto y siendo los de mayor dimensión.

### 3.3.3 La primera planta

Sobre el zócalo se levanta una primera planta, a la que se accede en esta fachada a través de una puerta arqueada.

La fábrica de esta planta es de piedras mucho más pequeñas que las del zócalo y las de la planta superior, excepto las dos primeras hiladas, a la izquierda del dibujo, que son notablemente mayores, destacando por su dimensión la de esquina de la tercera hilada (2, fig. 7), aunque en general no ocurre que todas las piezas mayores estén en los niveles mas bajos.

Están colocadas irregularmente sin respetar en absolu-

to la horizontalidad. Se produce una clara inclinación hacia el centro, sobre todo a partir de la hilada correspondiente al enrase de las jambas (3, fig. 7). Sobre el enrase de la clave, y a todo lo largo de la fachada, aparece una junta formando un plano inclinado continuo que se prolonga incluso hasta el sillar de la esquina izquierda (parte superior fig. 7).

Las esquinas se construyen con sillares de mayor tamaño y mejor tallados que el resto, casi de la misma factura que los similares del zócalo. Del mismo tipo de piezas están compuestas las jambas hasta los salmeres. En la esquina de la izquierda, estas piezas mejor trabajadas desaparecen a partir de la octava hilada (4, fig. 8), a pesar de que en la parte superior derecha de esta planta existen unos sillares que, de haber sido tallados mas cuidadosamente, se hubieran podido aprovechar como sillares de esquina por su tamaño. En algunos casos se respeta una cierta alternancia en la colocación de estos sillares de esquina, de forma que si uno está colocado con la dirección mayor en el sentido de esta fachada, el siguiente se recibe con esa dimensión en el sentido de la fachada transversal.

En la fachada hay varias piezas talladas en escuadra, y dos en saledizo que salen del plomo de la fachada, muy regulares.

El arco semicircular inserto en la fábrica está despiezado en dovelas bastante regulares, destacando por la

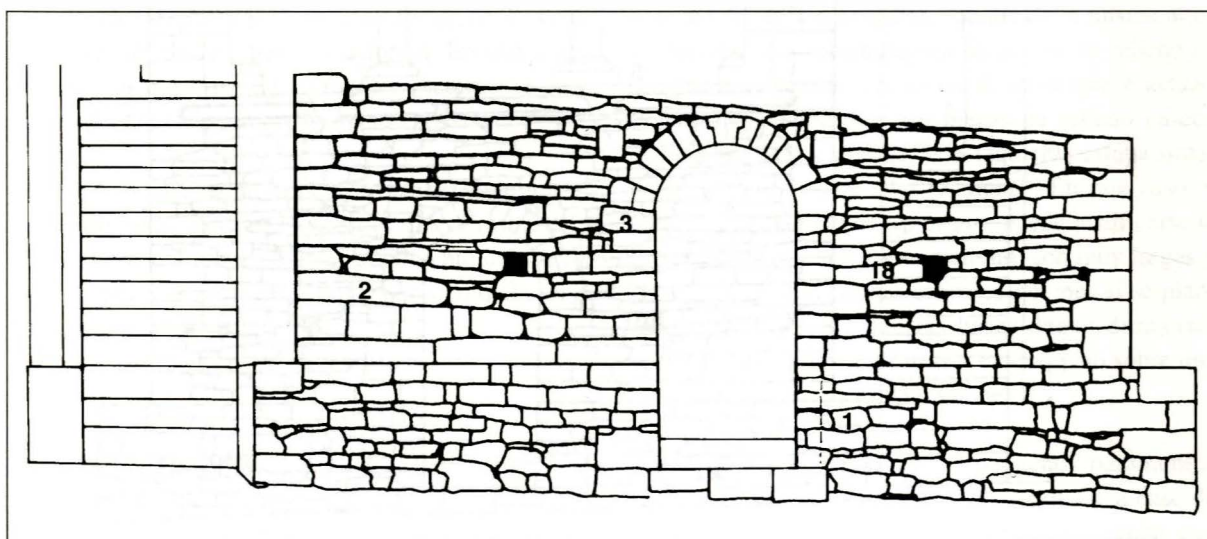


Figura 7



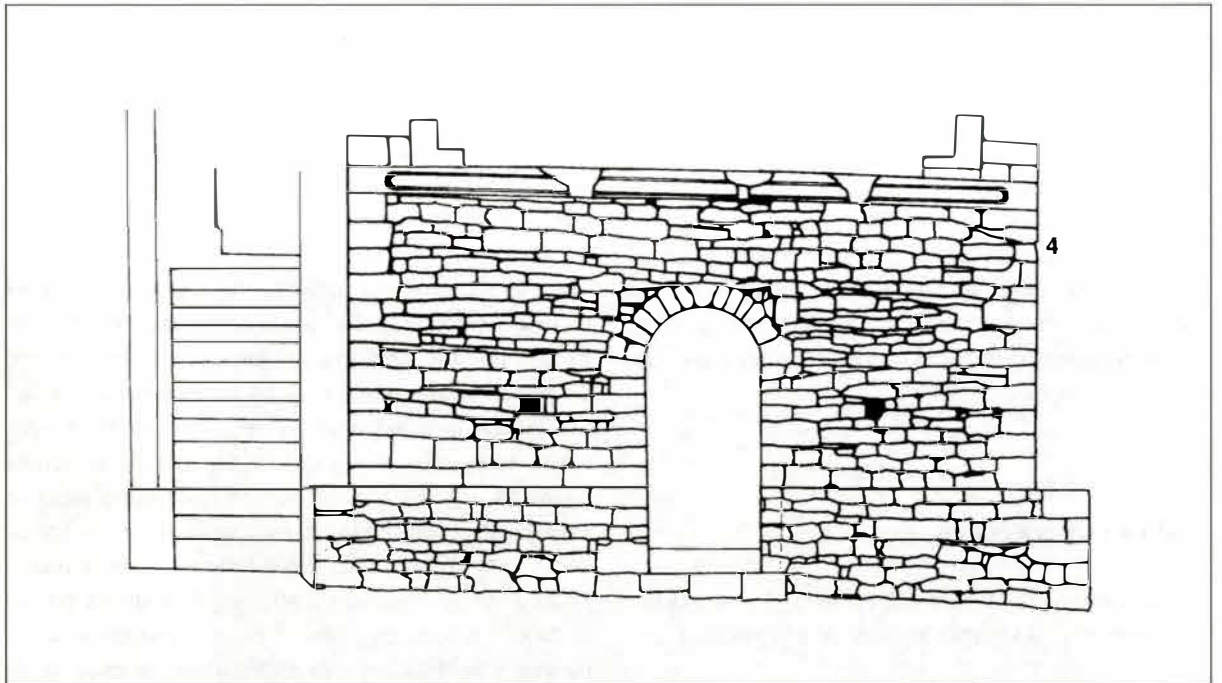


Figura 8

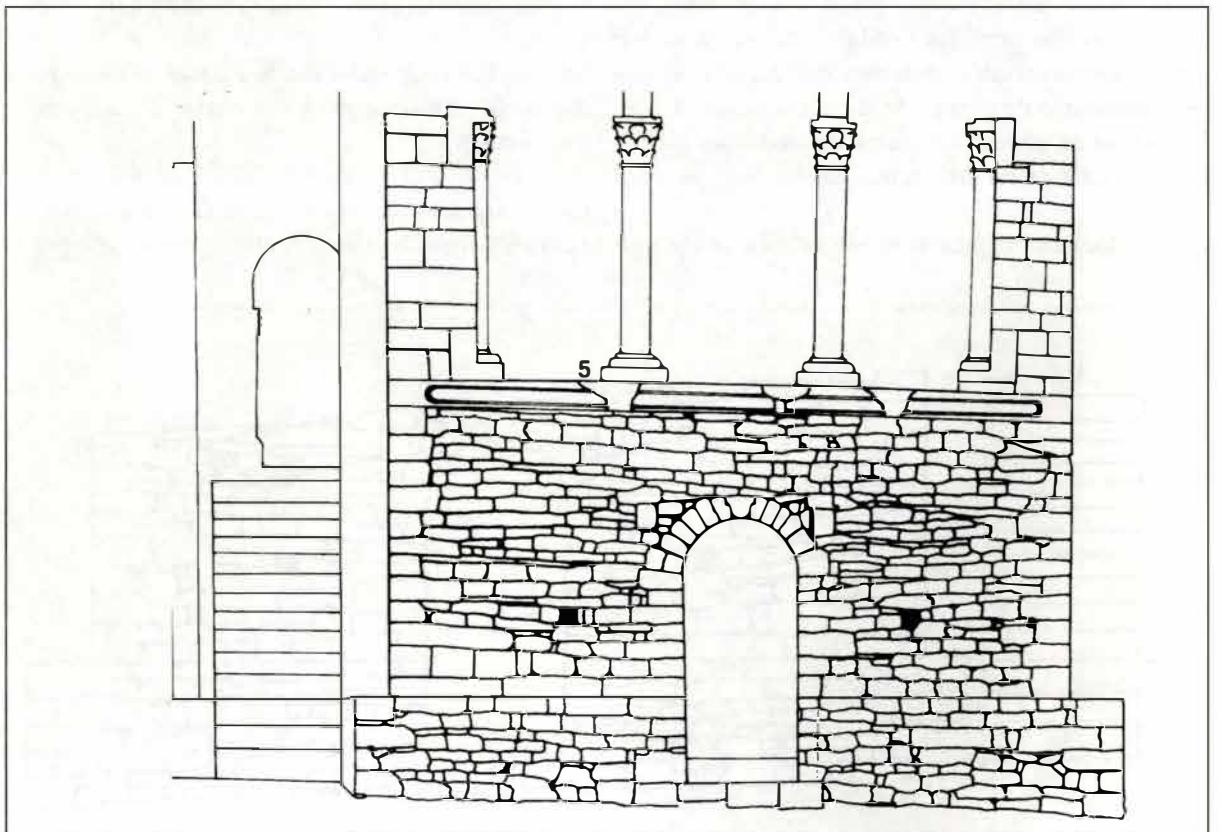


Figura 9

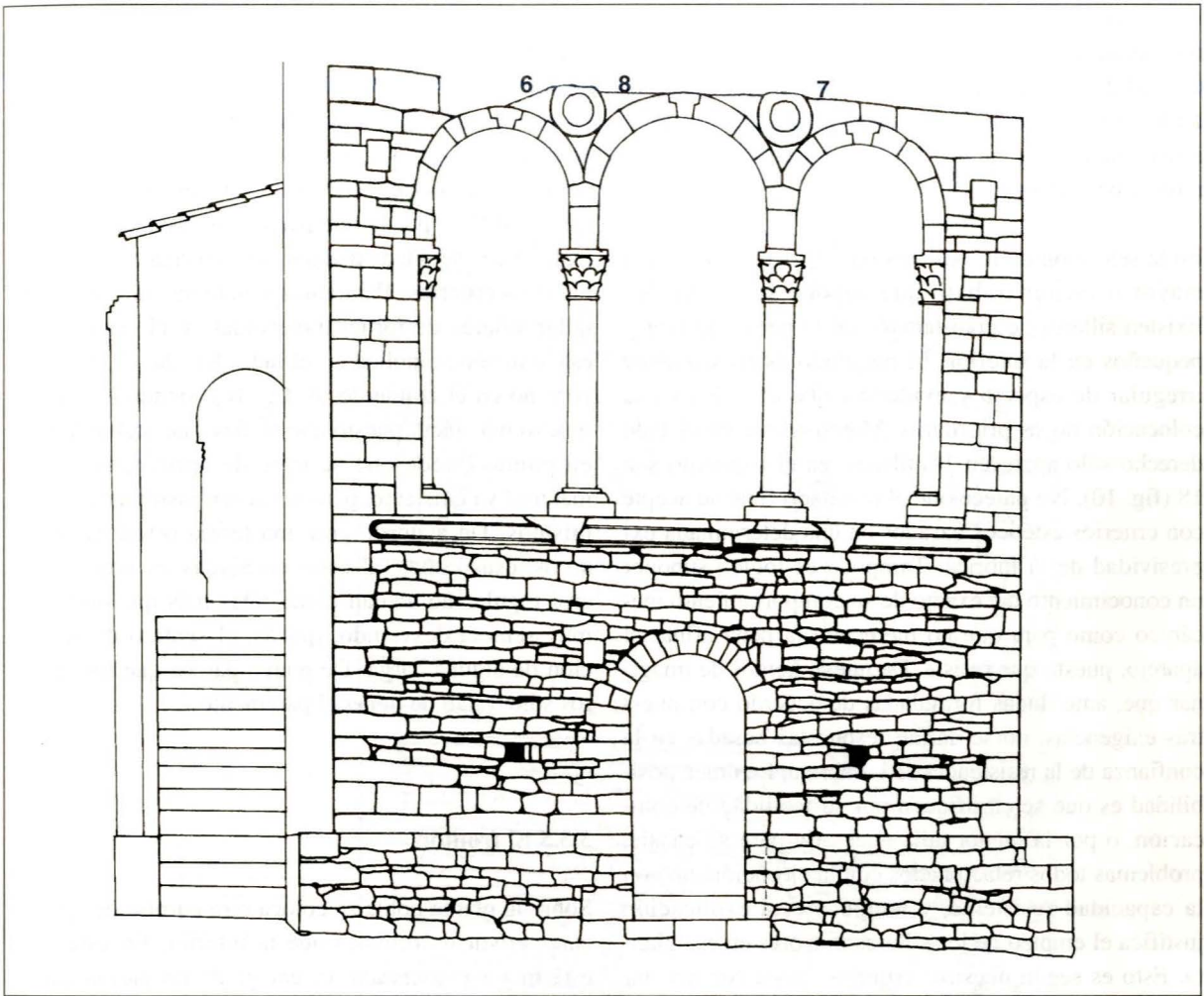


Figura 10

singularidad de su talla la clave en forma de T. Todas las claves de edificio tienen esa forma. En una puerta lateral, esa pieza no está situada exactamente en el centro del arco, sino inmediatamente próxima.

Aparecen dos ventanucos cuyos dinteles están constituidos por unas lajas más alargadas que el resto de las piezas, pero sin que reciban un tratamiento diferenciado del resto de la fábrica, muy poco cuidada en su conjunto.

### 3.3.4 La planta noble

Coronando la planta baja aparece a lo largo de la fachada una moldura realizada sobre una hilada de

bloques de largura irregular, aunque de la misma altura. Debido a la incorporación de piezas de relleno es difícil sacar alguna conclusión de su despiece actual. Por la disposición de estas piezas de relleno parece que debajo de la columna de la izquierda estaba situada la junta de dos de ellas (5, fig. 9). En este caso, y dada la singularidad de las piezas, puede justificarse la incorrección por la falta de material: son muy largas y gruesas. De todas formas caben soluciones si se plantea como problema que las basas deben descansar sobre una superficie uniforme y entera, y no sobre una junta que puede sufrir dislocaciones.

La fábrica se continúa en los pequeños paramentos entre las columnas extremas y las esquinas, a base de sillares de mayor tamaño y de talla más regular que los de la planta baja. El aparejo no obedece a ninguna

ley específica, aunque respeta la horizontalidad y el rompejuntas. Ni la dimensión de estos tramos ni la calidad de la talla permiten deducir si se han mantenido los mismos criterios que en la planta baja respecto a los sillares de esquina. Todos son de parecida magnitud y perfección.

En la selección de los sillares no se tiene en cuenta el mayor o menor trabajo que supone su elevación. Existen sillares de gran tamaño en la parte superior y pequeños en la inferior. El resultado es francamente irregular de aspecto y evidencia que el orden en la colocación no es prioritario. Mientras que en el lado derecho sólo aparecen 16 hiladas, en el izquierdo son 18 (fig. 10). No parece que el resultado final se acepte con criterios estéticos basados en una determinada expresividad de la fábrica. Tampoco es lógico suponer un conocimiento tan exacto de su comportamiento mecánico como para que no mereciera la pena afinar el aparejo, puesto que resiste. De nuevo hemos de imaginar que, ante dudas formuladas de acuerdo con nuestras exigencias, no se darían respuestas basadas en la confianza de la resistencia de la fábrica. La única posibilidad es que se clasifiquen por su facilidad de colocación, o por la menor talla necesaria para su encaje, problemas todos relacionados con la ejecución, no con la capacidad resistente, y tampoco esta explicación justifica el empleo de los sillares mayores en esa planta. Esto es según nuestros criterios; basta con aceptar como lógico que los mejores sillares se deben colocar en la planta noble para que todo tenga coherencia, aunque esa sea una explicación no relacionada con una actividad constructora consciente.

De esa forma se llega a la hilada correspondiente al enrase de las claves de los tres arcos (fig. 10). En este caso se tiene en cuenta la necesidad de que la continuación sea aproximadamente horizontal, por lo que se tallan una serie de piezas singulares, cuya justificación desde el punto de vista resistente es muy difícil. Hay que advertir que en la planta baja, donde las cargas son mayores, no se ha considerado necesaria esa horizontalidad. Más parece, por lo tanto, que se trate de mantener “*la calidad del trabajo*” entendiéndola como una artesanía cuidada, que de una necesidad constructiva. En la fachada opuesta aparece una pieza situada en ese enrase, de talla compleja y colocada de forma absolutamente irregular, lo que da origen a dos

piezas difíciles en la parte superior. Con lo fácil que hubiera sido, de haber interesado, colocarla horizontal.

La existencia de unos rosetones tallados en unas piezas circulares da lugar a la aparición de unas cuñas, colocadas a los lados de esos rosetones (6, fig. 10). Su talla es difícil, por lo que parece un despiece intencionado. Nada se puede deducir de su forma si se aplican nuestros criterios. Para enrasar hubiera sido más fácil tallar sillares de forma trapezoidal. Y el caso es que esa solución se aplica en el lado derecho (7, fig. 10), pero no en el izquierdo (8, fig. 10), siendo así que es mucho más fácil, puesto que no hay que acabar la talla en punta. Puede que se trate de aprovechar algún material ya existente, pero no tienen justificación en sí mismos. De acuerdo con una teoría ortodoxa sobre arcos, esas cuñas, al estar encajadas en una fábrica casi regular no actúan como tales más que de forma muy remota desviando, quizás, el sentido de aplicación de alguna carga. De nuevo parece que los canteros sólo tratan de llenar el paramento.

### 3.3.5 El frontón

Sobre la planta noble se coloca otra cornisa de iguales características formales que la inferior. En este caso está mejor conservada. El encaje de las piezas que la forman se efectúa mediante un empalme a media madera, ligeramente acuñado en el centro. Sobre ella se levanta el último cuerpo de la fachada, rematada por una vertiente a dos aguas que cubre el cañón seguido con fajones de la cubierta. En el centro aparece una ventana de tres arcos de dimensiones reducidas. En realidad no son arcos, ya que las piezas que los componen están recibidas en saledizo, y comentaremos su despiece en la parte correspondiente.

El aparejo de la fábrica de este tramo está constituido por sillares irregulares y destaca la diferencia de talla y de tamaño entre los de la parte derecha de la ventana y los de la izquierda; cinco hiladas en un caso (9, fig. 11) y casi siete en el otro (10, fig. 11). Caras perfectamente ajustadas en un caso y cantos romos en el otro. Es posible que la distinta resistencia a la intemperie haya modificado el aspecto de unos sillares que originalmente eran de la misma calidad.

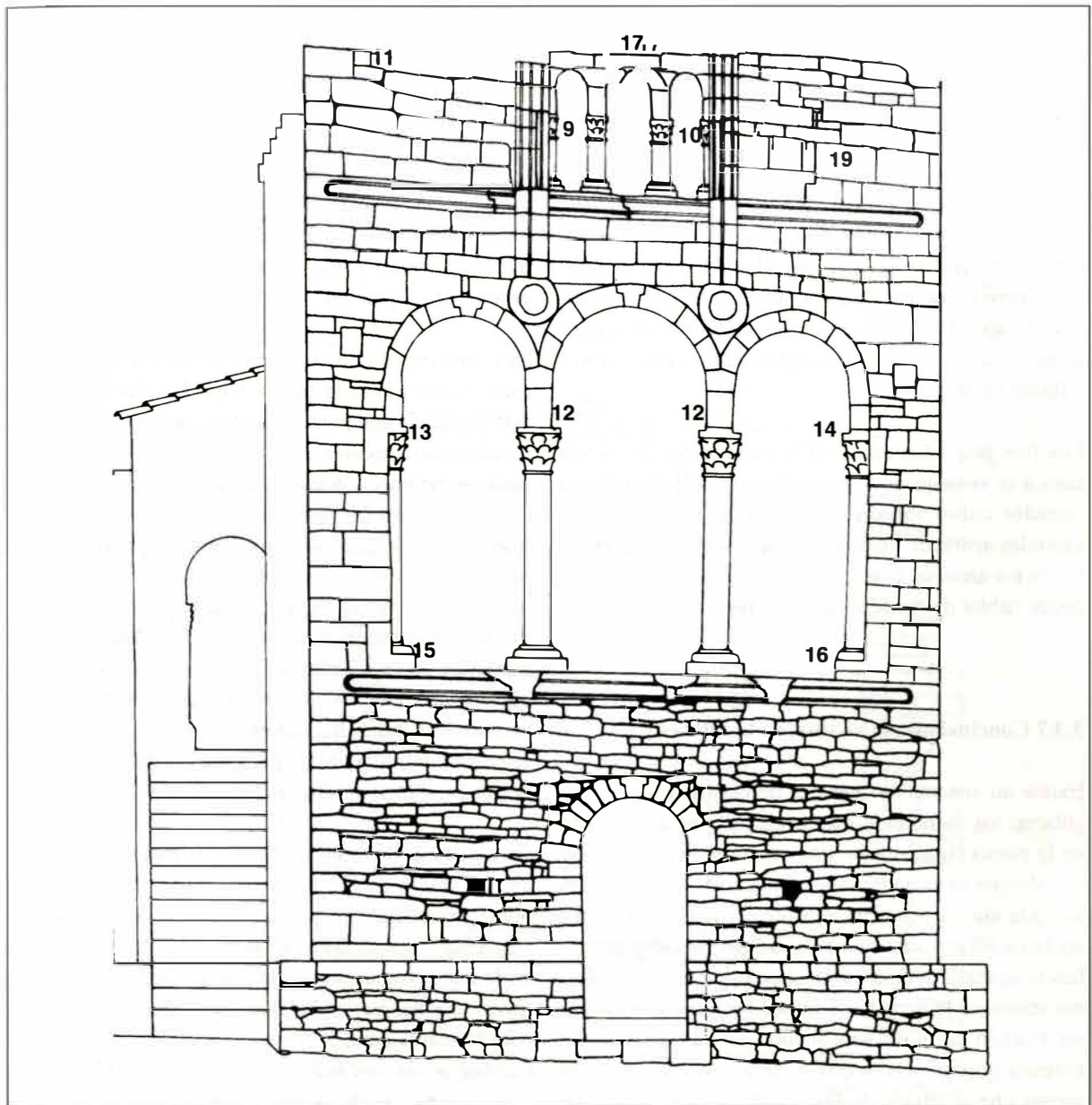


Figura 11

Se produce en el lado derecho otro plano inclinado a la altura de la cuarta hilada (parte superior fig. 4). Para conseguirlo ha sido necesario tallar en escuadra el segundo sillar empezando por la izquierda de esa hilada (11, fig. 11). A pesar de todo, el aparejo es regular, casi horizontal y a rompejuntas. Existen piezas en escuadra y tampoco se ha efectuado una selección de acuerdo con su situación en el paramento. Las esquinas no se acusan con un aparejo más ordenado como en la planta baja. El remate está constituido por una cornisa apenas sin relieve.

### 3.3.6 Los arcos

Los de la planta noble se apoyan sobre las columnas a través de unas piezas sobrepuestas a los capiteles (12, fig. 11). El despiece es bastante irregular, y las dovelas colocadas en lugares similares tienen un remoto parecido en tamaño, aunque no en todos los casos. De nuevo parece que el interés de los constructores consiste simplemente en "llenar" el hueco del arco con unas piezas curvas, sin otra preocupación que la descripción del intradós. La clave tiene una forma singu-



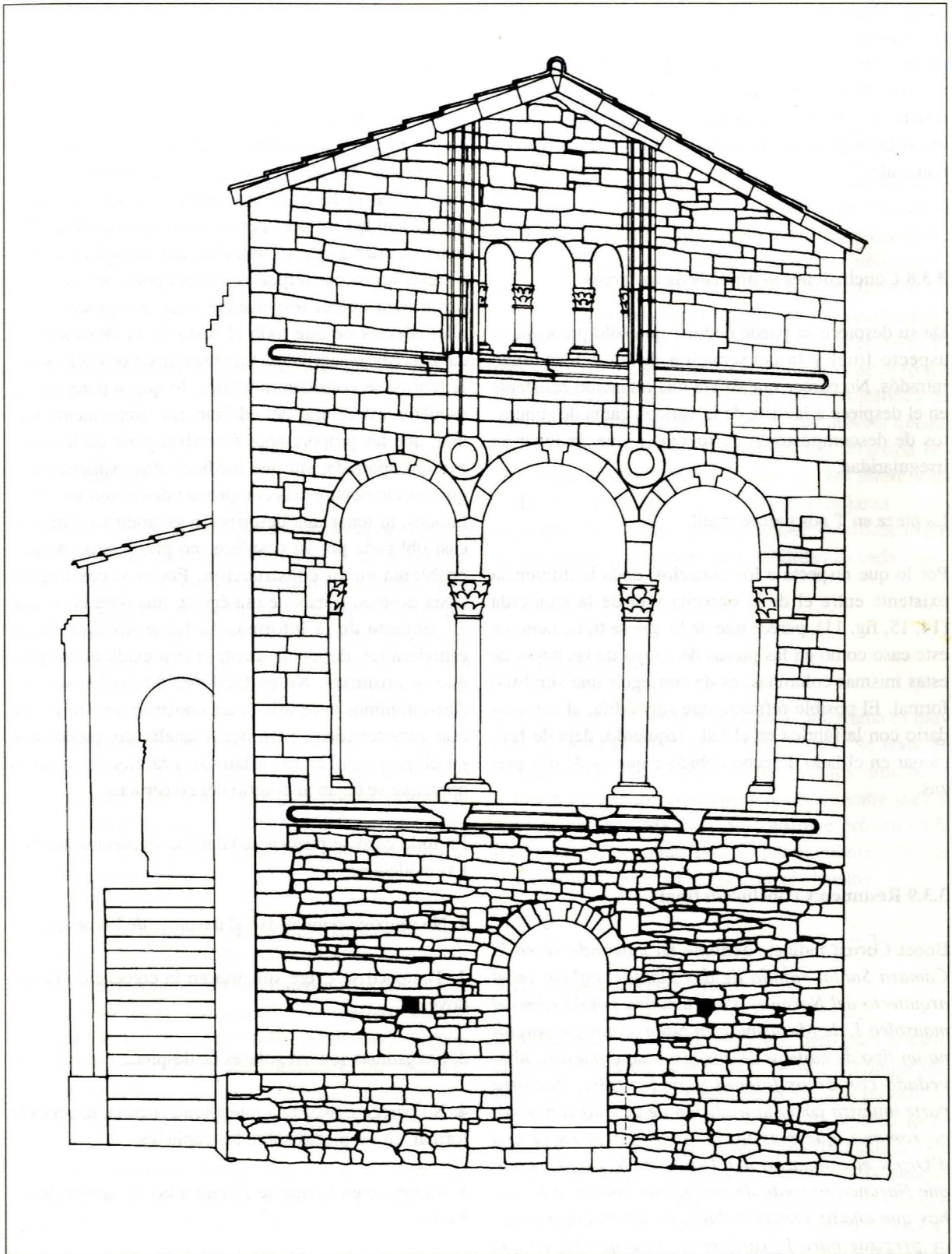


Figura 12

pese a disponer de mano de obra y de materiales en abundancia, y que la importancia del edificio justificaría, de considerarse imprescindible, la modificación de algunos detalles. Siempre se podrá especular con este asunto, aunque lo que es seguro es que no se reciben los sillares de acuerdo a unas normas de colocación racionales.

### 3.3.8 Conclusiones al análisis de los arcos

De su despiece se puede deducir que sólo preocupa el aspecto final y la consecución de un determinado intradós. No parece que exista una intención resistente en el despiece a la vista de la variada gama de supuestos de descomposición de fuerzas a que da lugar su irregularidad.

La pieza en T nos parece inútil.

Por lo que respecta a los cimacios, dada la diferencia existente entre el de la derecha y el de la izquierda (14, 15, fig. 11), parece que de lo que se trata, tanto en este caso como en las piezas de apoyo de las basas de estas mismas columnas, es de conseguir una similitud formal. El posible refuerzo que supondría, al ser solidario con la fábrica en el lado izquierdo, deja de funcionar en el lado derecho debido a que es de dos piezas.

### 3.3.9 Resumen y conclusión final

Bonet Correa indica: “*Schlunk ha mostrado cómo la Cámara Santa, capilla de dos plantas, influyó en el arquitecto del Naranco. Pero también señala cómo el mausoleo L de Marusinac, en Salona, nos proporciona un tipo de edificio de dos pisos superpuestos, abovedado con arcos fajones y piedra toba. Por otra parte muestra cómo la tradición de la villa con pórtico romana, que más tarde se cristaliza en la C'a d'Oro y el Fondacho dei Turchi de Venecia, revela que Naranco procede de una fuente común, a la que hay que añadir fuertes influencias orientales difíciles de precisar para lo ramirense, pero que hacen que ante ello pensemos en Armenia y Siria*”(7). Por lo que

respecta al aspecto arquitectónico no hay nada que objetar a este resumen. Ahora bien, desde el punto de vista constructivo se plantean algunos interrogantes.

La fábrica presenta defectos de bulto en su concepción, a pesar de que la obra es realmente prodigiosa en su conjunto. Puede que existan varios niveles de decisión y que la fachada analizada corresponda al de menor calidad técnica, pero esto es poco creíble si se tiene en cuenta que en una obra tan pequeña y con la organización participativa de la época, no se ve la razón para que el responsable final no opinara sobre ella, además de que todo el resto de la fábrica es de características similares. La única razón posible es que la fábrica se considerara idónea, lo que supone que el esquema estructural del edificio era simplemente formal, que las proporciones formaban parte de la información aportada, sin que mediara otra explicación, y que los elementos más comprometidos como los arcos fajones, al tener una descripción geométrica simple y casi obligada por su despiece, no presentaran ningún problema en su construcción. Pocas veces llegará hasta nosotros, y más de esa época, una obra en la que el conjunto de la información fuese insuficiente, o estuviera tan deficientemente interpretada como para que se arruinara. No es fácil decidir cuáles son los datos mínimos necesarios para construir un edificio de esas características, pero por lo analizado, parece que en ellos no entran los relativos a la ejecución de la obra, que se dejan al criterio del constructor.

En todo caso se pueden señalar los siguientes anomalías evidentes:

1. No se exige regularidad al despiece de los arcos.
2. Tampoco se exige simetría en la colocación de las dovelas.
3. Las jambas son irregulares de despiece.
4. No parece existir una intención concreta, excepto la formal, en las piezas sobre los capiteles.
5. Tampoco en lo que se refiere a las de apoyo de las basas.
6. Las hiladas no son regulares ni horizontales, a pesar

de que en el análisis se observa que hubiera sido fácil “mejorar” la colocación.

7. Las esquinas reciben un tratamiento específico, aunque no en toda la obra, y los defectos que se observan las hacen, en algún punto, muy poco resistentes.

8. Los arcos forman parte del repertorio formal. Cuando es posible, como en la parte superior, se imitan sin tener en cuenta el despiece adovelado.

### 3.4 Comparación de los dormitorios de Poblet y Santes Creus

#### 3.4.1 El edificio

Las diferencias en la percepción inmediata del espacio que se observan entre los dormitorios de los conjuntos de Poblet y Stes. Creus nos sugirieron un análisis más detallado de estas dos estancias. El primer dato que sugería esa comparación era la proximidad geográfica y la semejanza de estilos y programas de los dos monasterios.

Cronológicamente, además, también son coincidentes con una variación de mínima importancia para el tema que nos ocupa. De Santes Creus se poseen documentos que garantizan que en el año 1168 las construcciones monásticas ya se alzaban sin contradicción ni impedimento alguno.

Sobre Poblet la cronología no es tan exacta, pero Agustí Altissent indica que *“Encontramos, documentado, o deducido de la documentación y de las marcas de picapedrero, de una manera que creemos segura, que a finales del siglo XII estaban acabadas la capilla de San Esteban, el hospital de los pobres (hoy desaparecido), la bodega (desaparecida; subsiste la posterior), la nave de la enfermería y la iglesia mayor.*

*“Pero, naturalmente, había otras construcciones: las que los monjes necesitaban imprescindiblemente: el dormitorio y el refectorio al menos”* (8).

Parece, por lo tanto, que la construcción de ambos

dormitorios se lleva a cabo en un periodo de aproximadamente treinta años, con alguna ventaja por parte de Santes Creus, por lo menos en lo que respecta a la documentación que poseemos.

Esta proximidad cronológica, geográfica y de intenciones, que se evidencia en este último caso en la similitud de los programas, lo que es lógico tratándose de que es la misma orden monástica la que construye los dos monasterios, permite suponer también una similar capacitación técnica en los constructores o, en todo caso, una tecnología similar, por lo que, de existir una posibilidad de que los elementos resistentes se dimensionaran, o calcularan, o determinaran de la forma que fuera relacionándolos con sus condiciones de equilibrio, sería éste un caso en el que debería quedar explícita esa intención. A partir de esta reflexión hemos pretendido establecer cuáles son las diferencias reales existentes, por si en ellas se reflejaran en los elementos resistentes unas variaciones justificadas por las diferentes condiciones de estabilidad en cada caso.

#### 3.4.2 El programa

Desde el punto de vista proyectual el programa es muy similar, casi idéntico, en ambos casos. Se trata de obtener, para dormitorio de los monjes, una nave cubierta de una anchura aproximada de entre diez y once metros en cada caso. Se construye próximo a la iglesia, en el segundo piso, y parcialmente sobre la sala capitular, que a su vez accede al claustro.

#### 3.4.3 El esquema estructural

Longitudinalmente no son iguales, pero para nuestro análisis éste es un dato menor. Nosotros compararemos el elemento estructural común a ambas piezas y el muro que le sirve de estribo. Se trata de un arco apuntado sobre el que descansa una cubierta plana a base de carreras de madera, tablero cerámico y teja, aunque puede que en su origen se dispusiera otro sistema sobre ellas. La distancia a que se sitúan cada uno de los arcos es similar, lo que supone una sobrecarga parecida. También es similar el esquema constructivo:



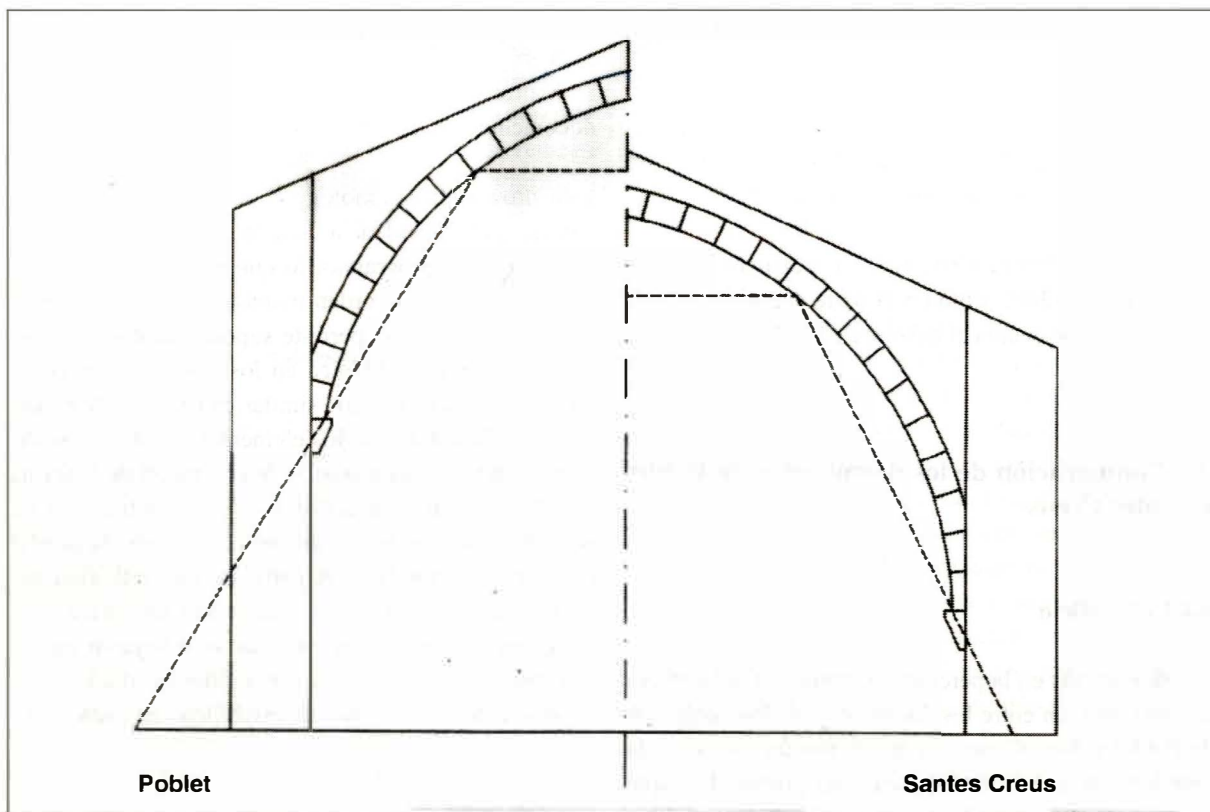


Figura 13

a una cierta altura, empotrada en el muro de cierre, aparece una ménsula de piedra de la que arrancan los arcos. Estas ménsulas son de tamaño parecido.

#### 3.4.4 Análisis del conjunto arco muro

En ninguno de los dos casos se cumplen los dos requisitos que algunos tratadistas consideran como posibles datos de diseño estructural. La línea que une el extradós de la clave con el arranque corta la traza del intradós, con lo que no se cumple uno de los requisitos señalados por Leonardo para la estabilidad de los arcos, y el espesor de los muros es menor del que sería necesario utilizando el sistema gráfico propuesto por P. Derand. No tenemos, por lo tanto, ninguna referencia que nos permita justificar las dimensiones de los muros y los arcos más que la realidad de lo construido.

La incongruencia más notable se plantea al comparar el espesor de los muros. El más alto, el de Poblet, es el más estrecho. Para una altura de arranque del arco casi

del doble, el muro tiene un 25% menos de espesor (1,29 m. contra 1,65 m.), sin que exista ninguna limitación que lo justifique.

Desde el punto de vista de los momentos, la situación es irracional. Para equilibrar el que produce la resultante de los empujes del arco con respecto a la base del muro, que es mucho mayor en Poblet, al ser la distancia al punto de aplicación casi el doble, se cuenta con un brazo un 25% menor. Como en este caso esa dimensión aparece al cuadrado una vez para determinar el peso, y otra como factor en la fórmula del momento, las posibilidades resistentes al vuelco del muro en Poblet son mucho menores que en Stes. Creus.

Es decir, que si existe una receta que sirva para dimensionar el muro, ésta es lo suficientemente confusa, o poco ajustada a la realidad, como para que permita el adelgazamiento de éste cuando mayor debería ser su espesor.

El supuesto conocimiento de los efectos que provoca

el empuje, que dependen tanto de su valor intrínseco como de su punto de aplicación, y que obliga a contrarrestarlo mediante arbotantes o contrafuertes, no parece que sea tal en este caso. No sólo no se corresponde la mayor altura con un mayor espesor, si no que la determinación de las dimensiones se hace a la inversa. Este dimensionado no está condicionado por los muros de la planta inferior. En Poblet, una parte carga sobre la fachada al claustro de la sala capitular, de anchura casi doble que el muro del dormitorio.

Es posible, aplicando unos criterios actuales al análisis de esta a nuestro parecer incoherencia, llegar a justificarla, lo que, como hemos indicado en otros casos similares, no resolvería nada, pues sea cual sea nuestro dictamen los arcos se mantiene sobre esos muros. Pero el caso es que, siguiendo también esos criterios, nosotros hubiéramos recomendado algo totalmente distinto en su dimensionado.

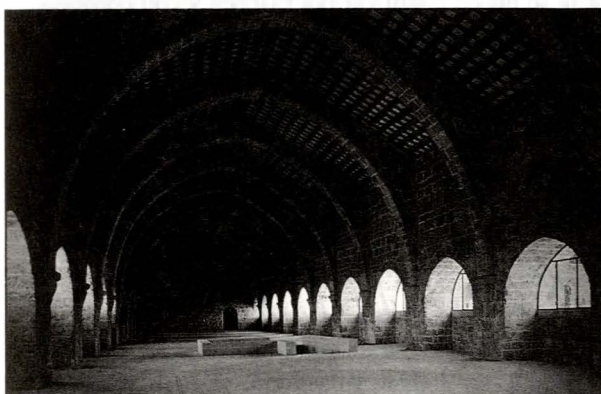


Figura 14 - Santes Creus

### 3.4.5 El espacio resultante

Atendiendo a lo que antes hemos llamado programa, el resultado es plenamente satisfactorio en los dos edificios. Se obtiene una superficie similar en planta -la luz apenas varía un 10%-, capaz, suponemos, para el uso previsto. Lo que varía sustancialmente es la percepción del espacio de la nave. En casi todos los casos en que hemos propuesto a los visitantes que amablemente se prestaban al juego una comparación intuitiva de las superficies de ambos dormitorios, éstos se han definido por considerar más ancho el de Poblet, a pesar de ser casi un metro más estrecho.

Este dato, que no se puede considerar en absoluto

definitivo, contribuye en algo a afirmar nuestro concepto. El arquitecto de Poblet intentó un resultado más espectacular que el de Stes. Creus, a pesar de que este último utilizó más material, de cuyo ahorro tantas consecuencias sacan algunos tratadistas. Para un trabajo parecido de adovelamiento, con unas cerchas similares, aunque colocadas a mayor altura, y con menor espesor en los muros, la sala de Poblet presenta un aspecto interior mucho más majestuoso, por arriesgado que sea el calificativo, que la de Stes. Creus.

En ninguno de los dos casos la justificación puede ser la valoración de los volúmenes desde el exterior. No se ven los dormitorios ni desde las perspectivas internas: claustro, entrada a la iglesia, etc., ni desde las externas por los caminos de aproximación al conjunto. No se trata, a nuestro juicio, de un intento parecido al de la torre del ayuntamiento de Brujas, o al de la cúpula de Sta. María de la Flor, referencias comarcales de signo inequívoco. Se trata únicamente de un planteamiento arquitectónico tendente a valorar de una manera distinta en cada caso el espacio resultante. Y para este fin los arquitectos -o quien fuera el encargado de

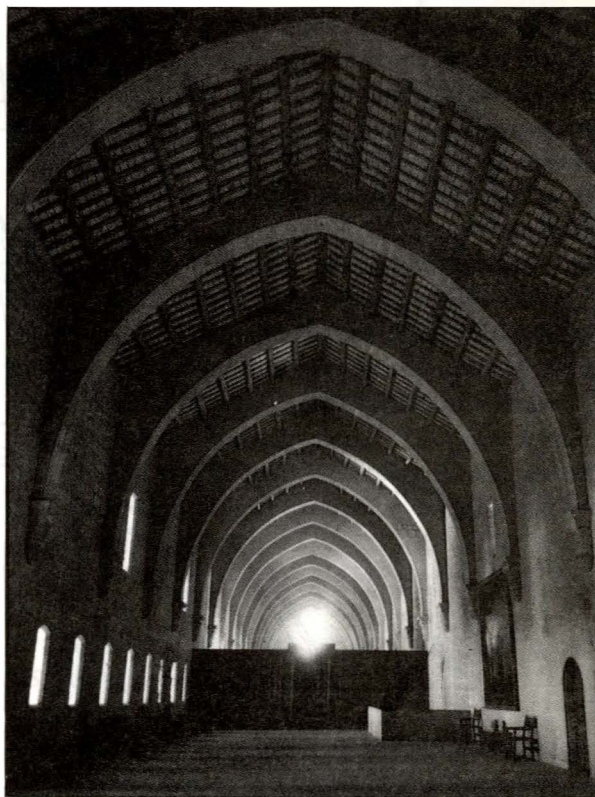


Figura 15 - Poblet

do de ese menester- no tuvieron inconveniente en definir, sin otro condicionamiento que su criterio, unas dimensiones de los elementos estructurales claramente distintas en un caso y en otro, y sin relación con unos planteamientos basados en la estabilidad. O en un caso se pasan, o en el otro no llegan, pese a estar, como hemos dicho, tan próximos en los datos de partida.

Esto, a nuestro juicio, sólo significa que no existen fórmulas que les permitan relacionar, aunque sea de una manera errada, las dimensiones de los elementos estructurales con los parámetros que realmente les afectan. No se adivina sobre qué datos basan las decisiones dimensionales de esos elementos, porque lo que no ofrece lugar a dudas es que alguien, durante el transcurso de los trabajos, decidió la anchura de cada muro, la altura y forma de los arcos, el tamaño de las dovelas, etc., y en su ánimo debía estar, como una inquietante interrogación, la justeza de esas decisiones, o quizás no. Quizás la simple sensación de equilibrio y unas dimensiones parecidas eran todo lo que necesitaba para aceptar el proyecto.

### 3.5 Pentimentos

#### 3.5.1 El concepto

Nos hemos permitido utilizar este italianismo por considerar que expresa con bastante precisión el concepto que referiremos. En el lenguaje exclusivo de los críticos de pintura se conoce por *pentimento*, arrepentimiento, la decisión de un pintor de borrar apenas parte de lo pintado y sustituirlo por otros trazos más ajustados a su intención sobre la obra.

Bajo este punto de vista, como correcciones apenas disimuladas del proyecto inicial, en una gran cantidad de catedrales aparecen explícitas, fundamentalmente en el arranque de los arcos, una serie de irregularidades que pueden demostrar que en el proyecto inicial no se contempla un esquema estructural estricto, o que éste se puede modificar por razones y con consecuencias que trataremos de analizar, aunque en todo caso era una modificación utilizada usualmente.

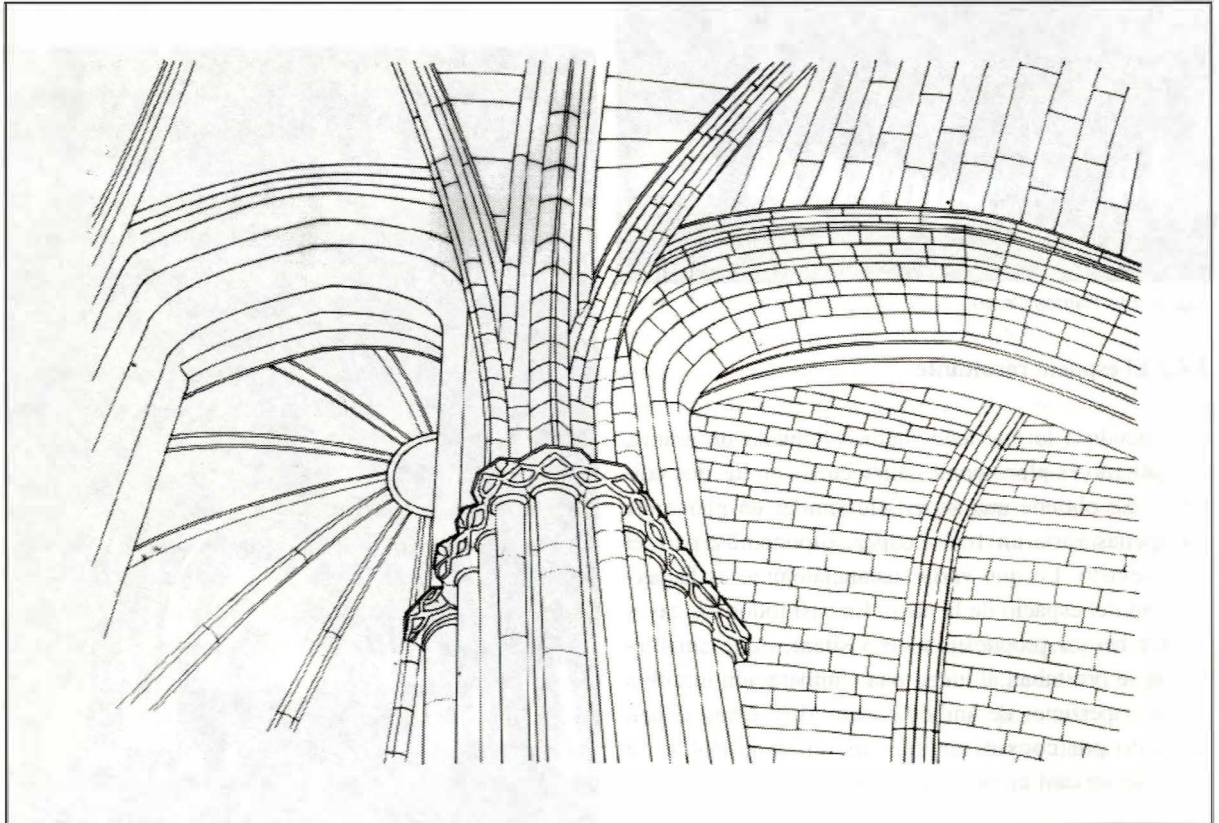


Figura 16

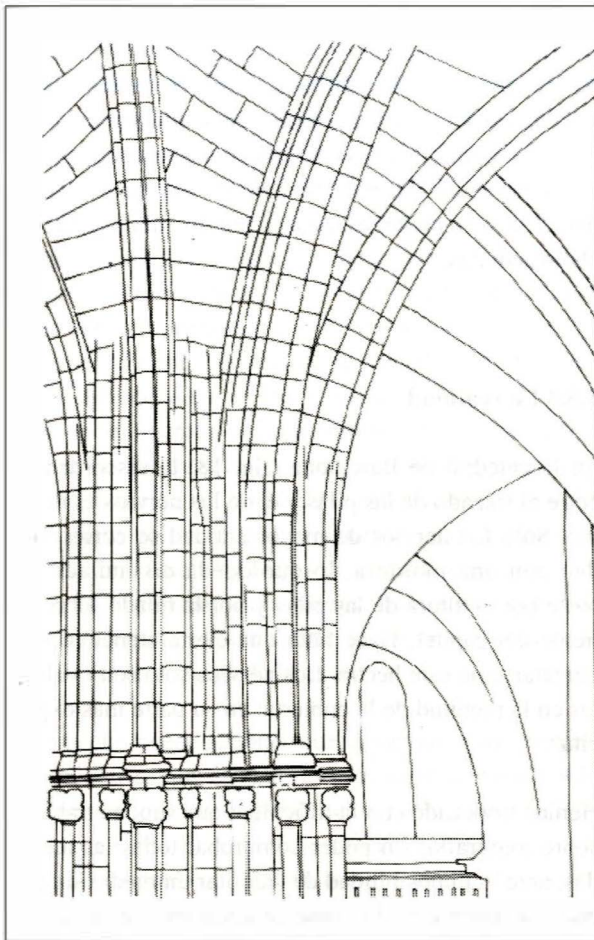


Figura 17

Esta circunstancia queda explícita y está documentada en la “Junta de doce arquitectos reunida en Gerona”, pero no es el único caso. En otros, esta forma de entender el proyecto gótico se puede deducir del análisis de lo ejecutado.

Se trata de que las nerviaciones previstas en las columnas por las molduras se sustituyen en la cubierta por otras, con notable frecuencia, lo que fuerza la aparición de piezas de talla compleja al desaparecer algunos nervios y aparecer otros que no se corresponden, como hemos dicho, con el moldurado de las pilas.

Desde el punto de vista formal el problema es menor cuando existen capiteles, normalmente formados por una hilada sobresaliente en todo el perímetro de las pilas que constituye una plataforma de la que arrancan los nervios. Este sistema se puede entender como un recurso formal utilísimo para la impostación de los

nervios sobre dicha plataforma con mayor libertad de la que se tendría en el caso de que su correspondencia con las molduras verticales fuera estricta.

Ejemplos de este hecho se encuentran, entre otros, y por lo que hemos podido comprobar personalmente, en la catedral de Gerona (fig.16), en la de Sevilla (fig.17), Barcelona, en la derruida de Lisboa, y en la de Palencia, aunque por los documentos gráficos manejados se dan en muchos otros sitios.

La primera sorpresa se produce al constatar que en ningún caso esta circunstancia es reseñada por los estudiosos que describen minuciosamente los monumentos. De nuevo la falta de detalles concretos y la concepción idealizada de la estructura gótica impiden un análisis más profundo de las intenciones de los constructores medievales. Por supuesto que los primos despieces de Viollet le Duc no son tenidos en cuenta hoy de forma exacta, pero tampoco se aporta como alternativa un intento de descripción más ajustado a la realidad.

El caso es, como ya hemos indicado, que en ocasiones desaparecen en las bóvedas molduras procedentes de las pilas y aparecen nervios que no están previstos en planta. Pero en esta línea, modificando y alterando el proyecto inicial, se producen otras irregularidades cuya asunción por parte de los constructores supone un conocimiento tan ajustado de las condiciones de trabajo del sistema, que es difícil aceptar. Molduras situadas en una cara de la pila se corresponden con nervios trazados en sentido perpendicular a esa cara, como por ejemplo ocurre en Gerona; nervios comenzados en el capitel se interrumpen al ser cruzados por otros cuando lo “lógico” sería intercambiar el trazado, como en Burgos; y en otros casos, como en Sevilla, simplemente, cuando sobra una moldura en la pila, se continúa recta hasta que desaparece en la bóveda sin mayor complicación.

### 3.5.2 Consideraciones previas

Cuando se trata de analizar el carácter del proyecto gótico, si se supone que responde a una lógica estricta; es necesario aceptar que casi todo está decidido desde



Figura 18

el momento de iniciar los trabajos. Los cimientos deben corresponder a las cargas, más o menos, y desde la primera hilada de sillares vistos, el esquema de la cubierta debe estar decidido. Se trataría, incluso, de que la altura estuviera fijada. De acuerdo con nuestros criterios de ella depende el valor del momento que el empuje va a provocar sobre los pilares y cuyo contrarresto debe determinar su dimensión y peso. también es obligado aceptar la correspondencia exacta entre las molduras de las pilas y los nervios.

Todo ello supone que desde el inicio los nervios están determinados para conseguir el equilibrio del conjunto de la cubierta. No sólo el trazado, sino también su sección forma parte de los datos que son necesarios para describir correctamente las molduras de las pilas. Cada una de ellas debe corresponderse con un nervio.

Éstos, además, deben estar previstos para resistir la parte que les corresponde del peso de la cubierta, o en el caso de que no sean elementos resistentes, como supone Choisy y ha demostrado Sabouret, y se consideren simplemente un recurso de talla para resolver la entrega de las bóvedas, deben de estar dispuestos de forma que su continuidad en la pila sea la más simple desde el punto de vista formal, es decir, aquella que permita una descripción más simple de la forma cons-

tructiva. Ésta es la ortodoxia, o por lo menos así lo pretenden. Incluso, si se entiende que solamente tienen un valor decorativo, parecería lógico que ese empeño se resolviera a través de una continuidad formal cuidadosa que permitiera la descripción exacta del conjunto moldura-nervio. Pero de un análisis más profundo se deducen otras intenciones, o por lo menos surgen algunas dudas.

### 3.5.3 La realidad

En la catedral de Barcelona (fig. 18) la discordancia entre el trazado de las pilas y el de los nervios es notable. Sólo los nervios de mayor entidad se corresponden con una moldura, lo que queda disimulado en parte por la altura de las pilas y por la hilada sobresaliente del capitel. Hace falta una cierta atención para percatarse de este hecho. Los nervios sólo son evidentes en la plenitud de la cubierta; en su parte más explícita.

Hemos tropezado con la dificultad que supone trabajar sobre fotografía, sin poder comprobar todas las medidas, ante la imposibilidad de habilitar un medio simple que nos permitiera la comprobación exacta necesaria para la descripción del conjunto. No obstante, es tan explícito el resultado que el método puede servir para el fin propuesto.

En el conjunto estudiado sólo los nervios centrales en cada dirección se corresponden con una moldura de similar tamaño en la pila. Los arcos formeros y los transversales tienen por eje un nervio flanqueado por otros dos y perfectamente definidos desde el inicio de la planta de la pila en dimensión y forma. A partir de ahí el diseño se complica. Los arcos diagonales no se corresponden, como aparecen en los dibujos usuales, con las molduras situadas en el centro de las caras de la pila. Se lanzan desde unas molduras inmediatamente próximas a los transversales, suponemos que para dejar sitio a los robustísimos formeros, formados por nueve nervios cada uno, algunos de los cuales arrancan desde esos arcos diagonales, creando una serie de interferencias entre ellos que los tallistas resuelven como pueden sin respetar al moldurado de la pila, ni la jerarquía estructural de cada elemento.

### 3.5.4 Otras observaciones

El aspecto que debía presentar una catedral gótica durante la época difiere sustancialmente del que podemos imaginarnos hoy. La inexistencia de una iluminación adecuada, por más que en las grandes solemnidades el templo apareciera como un ascua de oro, limita las posibilidades de que se vieran los detalles en la forma en que los vemos hoy. Lo más probable es que la percepción primera y casi definitiva del conjunto se limitase a la constatación de la existencia de un conjunto de nervios en los arcos, siendo muy difícil, de no estar en el secreto de otras intenciones, dilucidar la pureza de los trazados, y menos su concordancia con las molduras de las pilas. Estos prácticamente se definen por su volumen, por su simetría y por la mayor o menor abundancia de líneas de sombra. Aun hoy, con el auxilio de máquinas fotográficas con objetivos potentes, cuesta trabajo definir la forma exacta de cada nervio desde el plano de la nave.

Este hecho puede suponer que la variación del proyecto, por causas que en este caso serían lo de menos, sólo presenta a los constructores unos problemas relativos de adecuación. El resultado, sea cual sea el moldurado de las columnas, se justifica por sí mismo, por esa primera percepción a que hemos hecho referencia y que no necesita de un esquema estricto ni desde el punto de vista estructural ni del formal, por más que, de la mano de su profesionalidad como tallistas, el rigor del trabajo sea exquisito.

En un análisis más arriesgado de los conjuntos, se podría tratar de interpretar cuáles son los aspectos visuales que priman a la hora de decidir qué formas son las prioritarias, para establecer así una jerarquía en los puntos de vista que se consideran importantes. Se trataría de deducir del resultado cuáles son los nervios que conviene señalar más acusadamente para su contemplación desde el plano de la nave.

Por último, y antes de entrar en las conclusiones del caso, se podría establecer una salvedad que redundaría en lo expuesto en los párrafos anteriores. Hoy sabemos que los arcos empiezan a trabajar como tales a partir de los 30° de su arranque. Parece, por lo tanto, que todo el conjunto de nervios y bóvedas no trabajan en las proximidades del capitel, por lo que, en realidad,

todo el abanico que surge de él puede considerarse un ensanchamiento de la columna, que no deja de serlo hasta que se superan esos 30°. Incluso el despiece de los arcos se efectúa según unos planos horizontales, y no se tallan dovelas acuñadas hasta una cierta altura sobre el plano del capitel. A partir de aquí se pueden establecer dos hipótesis de trabajo: que los constructores medievales supieran este dato, o que lo ignoraran. Aunque personalmente nos inclinamos por la segunda posibilidad, el caso es que tampoco se puede demostrar que, enunciado de otra forma, ese principio no formara parte de su recetario constructivo.

En el primer caso parece claro que la definición de los arranques y de las primeras dovelas debe tener una intencionalidad puramente formal. Si no van a trabajar como dovelas, se tallan, o se deberían tallar con criterios exclusivos de facilidad en el trabajo estereotómico y de colocación, o según su aspecto formal, lo que no ocurre ni en éste, ni en muchos otros casos similares, en los que el asunto se resuelve con la misma confusión.

En el segundo supuesto la inquietud por el riesgo asumido es mayor. Si las primeras dovelas van a trabajar, suponiendo que se enunciara así el concepto, no se adivina basándose en qué prioridades resistentes se plantea el trabajo estereotómico del conjunto: aparecen arcos sometidos a esfuerzos transversales, otros incompletos, interferencias en la forma y otra serie de irregularidades notables. No parece, a la vista del resultado, que se tuvieran las ideas claras al respecto, por lo que, a nuestro criterio, ninguna de las dos hipótesis se puede expresar tan rotundamente. Simplemente no se plantean las características resistentes de las piezas y los tallistas se limitan a describir unas formas.

### 3.5.6 Conclusiones a este caso

Por el tratamiento dado a las molduras no parece que tuvieran en cuenta, desde el inicio, todos los nervios a desarrollar en cubierta, o en todo caso decidieron que se podía modificar ese trazado sin que se plantearan problemas estructurales. En el primer caso, el planteamiento -que puede ser consciente y que se puede justi-

ficar en la intención de conseguir pilas de menor sección en planta, lo que supone menor espacio ocupado por la estructura- por lo menos evidencia que se entiende obligada la correspondencia moldura-nervio.

Al margen de esa constatación, un problema puede ser justificar el porqué de ese cambio una vez que la estabilidad de lo construido ha avalado la posibilidad de que se hiciera.

Desde el punto de vista estructural no parece que sea demasiado trascendente la sección de los nervios, ni que su relación con la carga soportada, o con la luz sea tan estricta como para que se justifique el cambio sobre ese supuesto. No es explicable un error de esa categoría, entre otras cosas por que no es demostrable que existieran datos para constatarlo.

Desde el punto de vista formal la cosa presenta más justificaciones, pero en todo caso de ellas se deriva una gran perplejidad. Lo único que al parecer se contempla al decidir la modificación es el aspecto que presentará desde abajo el conjunto. En el caso de que sobre el arco aparezca una pared, puede que se trate de llenar todo su grosor a base del moldurado de los nervios, lo que ocurre con los formeros bajo el triforio, pero en el caso de los torales perpendiculares a ellos, ese problema no existe. En el primer supuesto parece que el grosor de la pared no se sabe al inicio de las pilas, y en el segundo, ni la luz, mucho menor que la de los arcos diagonales, ni la carga justifican el aspecto de mayor resistencia del arco. Puede que se trate de la natural tendencia a la complejidad que presenta el desarrollo gótico, tendencia que es lo único que sirve para justificar el laberíntico dibujo de sus últimas etapas, o puede que sea simplemente un cambio de manos en la dirección, con lo que ello supone de nuevos criterios estéticos. En todo caso ese dato, la existencia de *pentimentos*, es una nueva turbación a la hora de analizar las razones últimas de los esquemas estructurales góticos.

### 3.6 El descentramiento de los nervios de la catedral de Barcelona

Para los trabajos realizados con motivo de la compro-

bación de las modificaciones de los nervios observadas en la catedral de Barcelona, procedimos a definir lo más exactamente posible el conjunto formado por algunas pilas, nervios y bóvedas de la cubierta de ese edificio. Nos pareció que existían algunos descentramientos en el trazado de los nervios con respecto al núcleo central de la columna.

El sistema utilizado para la obtención de datos ha sido el mismo que hemos expuesto en el caso anterior, es decir, que hemos trabajado sobre fotografías y observando la realidad con prismáticos ante la imposibilidad de acceder hasta el plano de nuestro interés.

Trás la observación del conjunto grafiado, lo primero que salta a la vista es la diferencia entre la realidad y los dibujos “oficiales” de la cubierta de la catedral. Puede que se deba a que la escala a que se realizan esos planos impiden una mayor definición, o quizás a que el excesivo esquematismo de las teorías al uso sobre la estructura gótica ha hecho impensable una realidad tan irregular como la que constatamos en el desarrollo de nuestro trabajo.

El caso es que, como se aprecia en el dibujo (fig.19), los nervios presumiblemente más cargados, los que sostienen una parte de la bóveda y el conjunto del deambulatorio superior y claristorio, están notablemente descentrados del eje de la pila sobre la que descansan. Tan descentrados que parte de su trazado se desarrolla fuera de ella. Se puede argumentar, en el caso en que se considere imprescindible seguir defendiendo la “*racionalidad a ultranza*” de la construcción gótica, que la parte del nervio exterior a la columna no trabaja y que se trata de un recrecido puramente ornamental, pero sería mucho argumentar. Es muy difícil asegurar qué partes del conjunto del arco van a trabajar y cuáles no, una vez que éste entre en carga.

Pero no acaban en este punto las irregularidades. La parte próxima a la pila del muro al que se abren el deambulatorio y claristorio es mucho más ancha que la parte inferior sobre la que descansa. Las bóvedas penetran hacia dentro de la vertical del conjunto superior debilitando la sección, justo en el punto en que, por concentrarse los empujes de las bóvedas y los nervios, haría falta una sección mayor, o por lo menos de la misma dimensión que el muro (1, fig. 20).

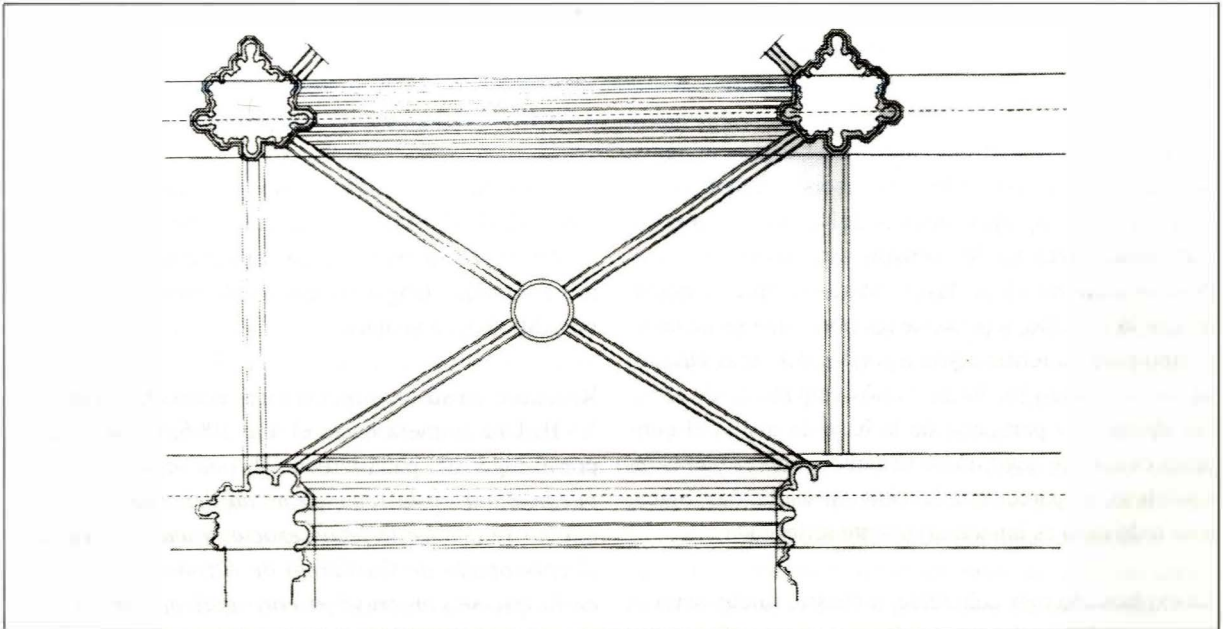


Figura 19

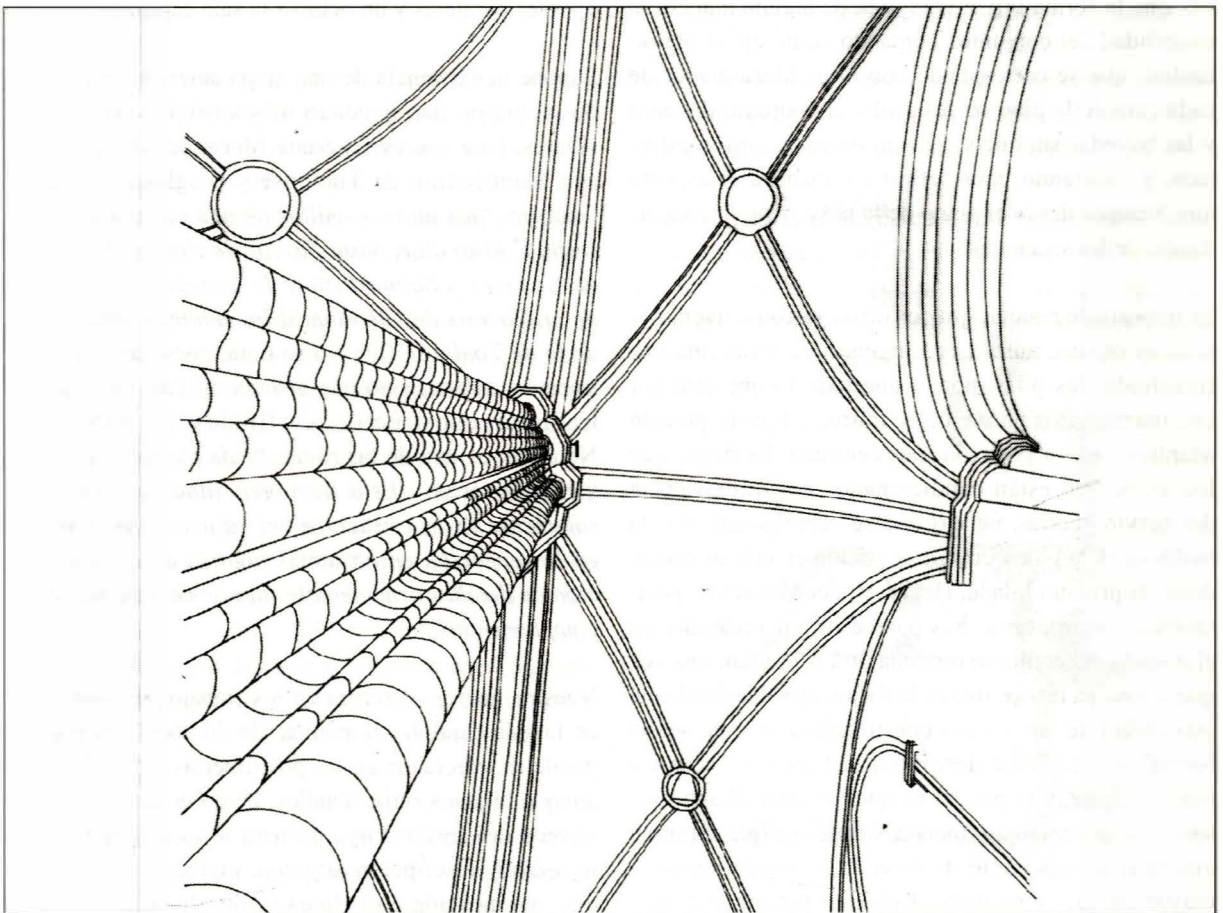


Figura 20



En las pilas mayores sobre las que descansa el cimborio también se produce este descentramiento, aunque su mayor sección lo hace menos espectacular.

A partir de aquí se pueden establecer una gran cantidad de explicaciones sobre las razones, naturalmente basadas en complejos análisis del conjunto, por las que conscientemente los constructores provocaron ese descentramiento. A su favor estará siempre el hecho de que la catedral, a pesar de las obras que se llevaron a cabo para su terminación a finales del siglo pasado, se ha mantenido incólume varios centenares de años. No obstante, y partiendo de la base de que si el conjunto es estable seguro que responde a un esquema en equilibrio, no parece que la solución sea la más lógica, o en todo caso es innecesariamente arriesgada.

La explicación más coherente, a nuestro juicio, sería la que entendiera el trazado de estos arcos formeros como un trabajo fundamentalmente decorativo, una vez que la forma ojival garantiza de alguna manera la estabilidad del conjunto. Tomando como eje el nervio central, que se corresponde con la moldura mayor de cada cara de la pila, se desarrolla el conjunto del arco y las bóvedas sin que se tengan en cuenta otros extremos, y valorando para definir su anchura el aspecto que presenta desde el plano de la nave, y no la concordancia de las secciones.

Es importante resaltar que los arcos se construyen, por razones obvias, antes que ninguna otra cosa, una vez construidas las pilas, por lo que todo lo que está por encima de ellos -bóvedas y muros-, habría podido adaptarse a otra posición más centrada. Es decir, que los arcos sólo están condicionados por la existencia del nervio central, nervio que se corresponde con la moldura en la pila y cuya disposición en ella se decide desde la primera hilada. Hecha esta constatación, posiblemente innecesaria, nos parece difícil pretender en el trazado del conjunto ninguna otra prioridad, una vez que, como ya hemos dicho, la forma ojival garantiza la estabilidad del arco a sus constructores, que no sea la formal o puramente decorativa. El arco no necesita tanta anchura, y la prueba es que los arcos diagonales son de sección mucho menor, siendo así que soportan una mayor superficie de bóveda, y por lo tanto la mayor carga, y reciben, o pueden recibir, empujes transversales en el arranque.

## 3.7 La sala capitular de Santa María de Alet

### 3.7.1 El edificio

Jean Nougaret en *El Languedoc románico*, indica que Santa María de Alet “*es una de las ruinas más bellas de Francia*”, afirmación que suscribimos casi totalmente, aunque tengamos que añadir que es una de las más difíciles de visitar.

Reconoce en su construcción tres etapas hasta el siglo XVII. Una primera hacia el año 1096, fecha de paso por el lugar del papa Urbano II, una segunda “*que se puede situar en la segunda mitad del siglo XII, de la que no se conoce la fecha exacta, y una tercera bajo el episcopado de Guillermo de Alzona (1333-1355), en la que se construyó el coro gótico, construcción que se continuó bajo el de Arnaud de Villard, en 1385*”<sup>(9)</sup>, momento en el que se añaden dos bóvedas ojivales paralelas y un óculo a la sala capitular.

Supone la existencia de una etapa anterior, carolingia, de la que no han quedado más vestigio que algunos sillares. Para Lasteyrie, Santa María de Alet es, junto con Saint-Sernin de Toulouse y la iglesia de Saint-Gaudens, “*los últimos anillos de una cadena que, por Burlats, Marcillac, Saint-Saveur de Figeac, Saint-Foy de Conques y Saint Martial de Limoges, se extendía de la diócesis de Clermont a los límites meridionales de la de Toulouse*”<sup>(10)</sup>. No se trata, pues, de una construcción aislada, sino que aparece inserta en la mejor tradición constructiva de finales del XIV. Para Nougaret es una de las ruinas “*más claras y legibles*” y homogéneas. “*Esta homogeneidad se revela, no solamente en la estructura del edificio, sino también en la repetición en bastantes lugares de la construcción de detalles ornamentales que se corresponden se complementan*”<sup>(11)</sup>.

Nuestro interés se centra en los trabajos de inserción, en la sala capitular románica, de dos bóvedas góticas paralelas, efectuada en las postrimerías del siglo XIV, aunque algunos otros detalles, como el despiece de la bóveda del ábside, cuya primera lectura puede ser de inmediata adscripción armenia, merecerían algo más que una mención en la línea planteada en nuestro trabajo.

En este caso, más que al análisis detallado del proceso constructivo hay que atender a los conceptos que informan desde el punto técnico la incorporación de estas bóvedas góticas a la fábrica románica.

### 3.7.2 El proyecto

A partir de la necesidad de obtener una sala capítular, es decir, un espacio cubierto en el que reunir a la comunidad de monjes para las lecturas rituales, se decide dotar de una cubierta y una puerta de acceso (A, fig. 21) desde el pasillo procedente de la iglesia, al espacio existente tras un muro provisto de aberturas arqueadas, posiblemente resto de un claustro.

Para ello se decide la construcción de unas bóvedas nervadas, de las que hoy quedan dos, con el esquema gótico más clásico y simple, que se apoyarán sobre los muros existente.

Según el plano adjuntado por Nougaret, cuya veracidad ha sido innecesariamente comprobada por nosotros "*in situ*", las dos bóvedas construidas no son iguales ni de trazado regular. La situada más cercana a la iglesia cubre una superficie mayor y presenta en planta una forma trapezoidal, adaptándose a las dos paredes perimetrales existentes. No poseemos datos para pensar que la convergencia de los nervios formeros (B y C, fig. 21), en el sentido del eje de la iglesia, se deba a alguna causa externa, como pudiera ser el aprovechamiento de los cimientos existentes para la nueva pared construida con las bóvedas. El caso es que los constructores prefirieron, a costa de la irregularidad de esta bóveda, mantener paralelos los nervios de la que construyeron yuxtapuesta (C y D, fig. 21). Esto puede significar una gran confianza en las posibilidades del sistema para cubrir superficies irregulares, pero también una cierta falta de rigor geométrico en el planteamiento de la ampliación. Por que ocurre que tampoco los nervios formeros son ortogonales a esta pared.

Para estribar el formero común a las dos bóvedas y los diagonales de cada una de ellas en la fábrica románica, se elige un punto más que conflictivo: la jamba de la puerta de acceso a la sala capítular desde el exterior. El motivo de esta elección no puede estar obligado por

la forma de las bóvedas, ya que las dos son distintas y una de ellas es irregular. Tampoco es estético, puesto que el resultado final del conjunto puerta, nervios y óculo es confuso, por más que a nosotros nos parezca de una expresividad notable. Tampoco es, por razones obvias, una elección que tenga en cuenta la estabilidad del muro. No se suplementa la jamba por la parte exterior, ni se maciza, confiando el contrarresto de los empujes generados en el sentido transversal a la rigidez del muro. En el sentido longitudinal no parece que haya existido ninguna preocupación. Simplemente se ha colocado un pilar ligeramente más robusto y cuadrado (E, fig. 21). El cimacio que corona el capitel (F) está poco empotrado en la fábrica, por lo que es meramente decorativo, además de que el capitel no coincide con el eje del conjunto de nervios. La única razón para elegir ese punto debe ser, pues, la facilidad constructiva. A pesar de los problemas de todo orden que plantea el sistema es preferible estribar en la jamba, deshaciendo parte del arco de la entrada, a centrar el apoyo en la plementería entre la puerta y la ventana.

Sin embargo en la pared opuesta sí se centra el conjunto de nervios sobre un machón, aun a costa de forzar más todavía la irregularidad de la planta.

Una explicación actual de esta solución se puede basar en que, como ya hemos dicho, los arcos y las bóvedas sólo son tales a partir de unos 30° del arranque. Es decir, que el conjunto de nervios que se apoya en la

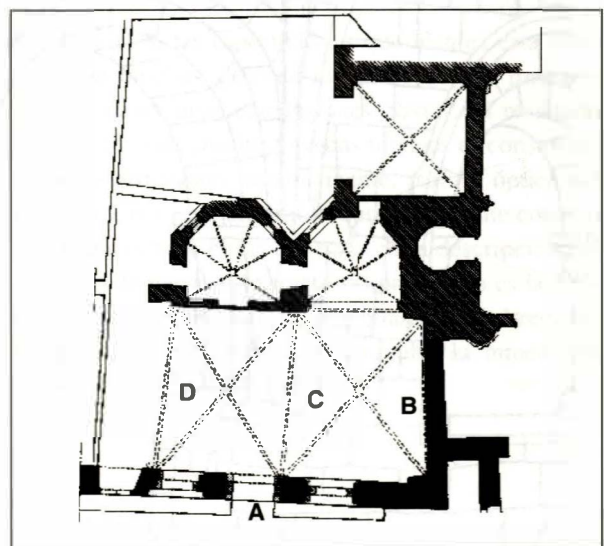


Figura 21. Planta de la sala capítular de Sta. María de Alet, según Nougaret.

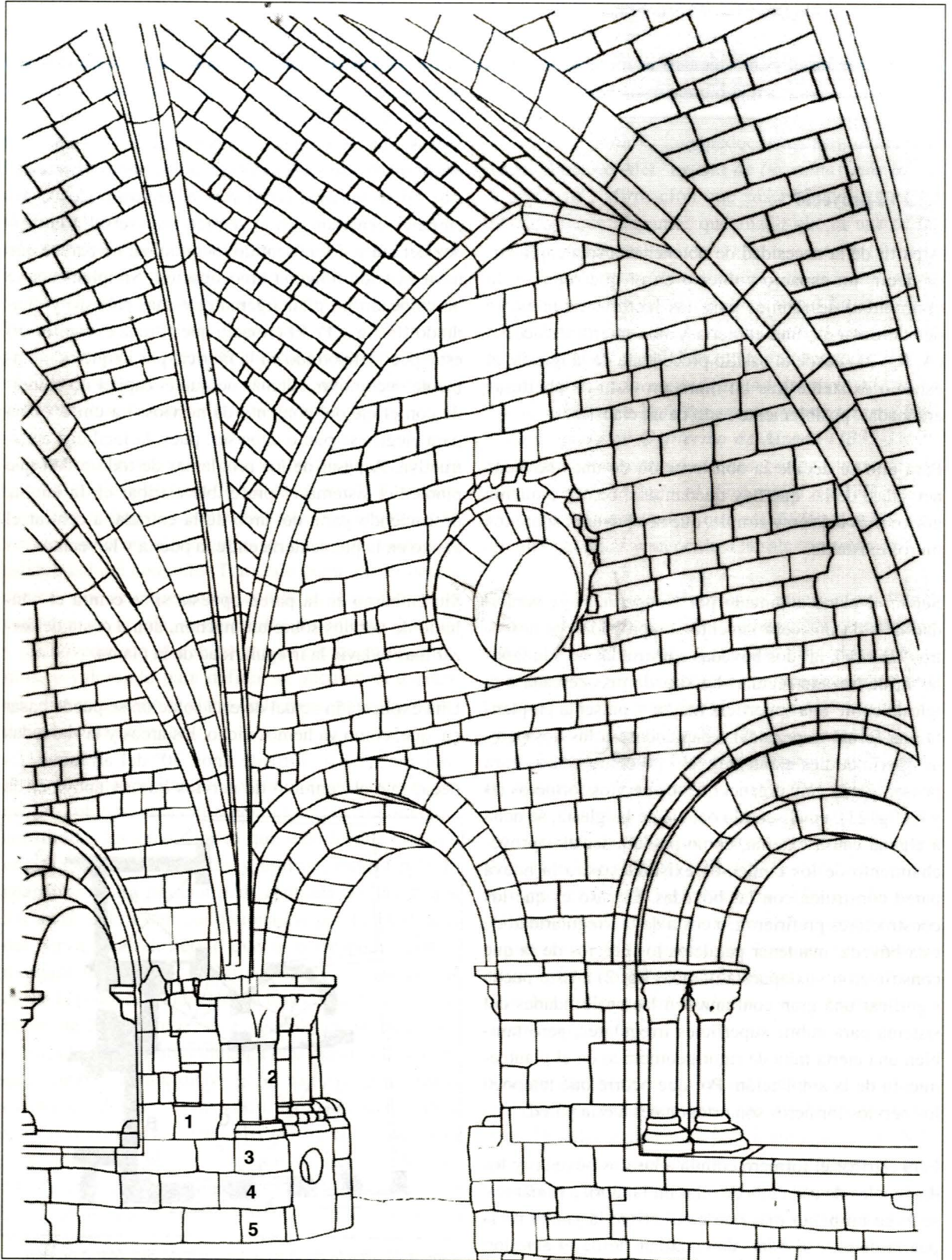


Figura 22

jamba no trabaja hasta que se ha sobrepasado la forma del arco existente, cuando su apoyo en el muro es más seguro. En este caso, si es verdad que los constructores conocían este dato, aún es más incomprensible que desmontaran ese arco. Hubiera bastado con empotrar una ménsula, como las que existen en los dormitorios de Poblet y Santes Creus, justo encima del riñón del arco. El hecho de que se bajaran los nervios hasta la altura de los capiteles existentes abunda en la hipótesis de que la solución ejecutada, tanto si se conoce el comportamiento mecánico del conjunto como si no, es una solución formal. Se describe la forma arquitectónica de los nervios y las bóvedas, aun a costa de deshacer el arco de la puerta, cuando no es necesario desde el punto de vista de la resistencia.

También es difícil justificar el óculo. No parece necesario dotar de más luz a la sala capitular, y su construcción supone un cierto debilitamiento en el muro.

Una posibilidad a manejar es que existiera un proyecto más ambicioso, en el que las paredes de la antigua sala románica desaparecieran como tales para convertirse en otro elemento más diáfano o quizás más cerrado, aunque esto último está en abierta contradicción con los presupuestos góticos. En ese caso no se entiende la secuencia por la cual se construyen primero las bóvedas.

### 3.7.3 La ejecución

En el caso de que fuera un simple interés formal el que guió el trabajo, los datos para efectuarlo son extraordinariamente imprecisos, o en ellos no figura ninguna referencia a la estabilidad. Insistimos de nuevo en que es impensable, a la vista del resultado, una certeza en la resistencia de esa solución, cuando es tan fácil abordar otras más fiables, de conocerse la realidad del comportamiento estructural del conjunto, como hubiera sido la de centrar el arranque en el apoyo, sin que el resultado se vea sustancialmente alterado.

Y en este aparente desconcierto, la talla de los nervios, de las bóvedas y de los demás detalles aparece efectuada con toda exactitud, excepto en la zona que nosotros entenderíamos como más comprometida: la

inmediatamente próxima al pilar soporte del arranque. En ella aparecen sillares tallados con una notable irregularidad, de muy distintos tamaños y sin respetar en absoluto las más elementales normas de recibido. Lajas diminutas (1, fig. 22) se alternan con sillares de gran tamaño (2), no se respeta el rompejuntas y se ignora la traba más simple.

Los tres sillares inmediatamente inferiores a la basa de la columna cuadrada (3, 4 y 5, fig. 22) también presentan alguno aspectos sorprendentes. Parecen colocados después de ejecutada la fábrica románica, y como inicio de los trabajos de la nueva cubierta, ya que sobresalen del zócalo de la puerta sólo en ese punto. En altura se corresponden con las hiladas de la fábrica de los antepechos, pero el mayor (4, fig. 22) está colocado en el centro. El tercero (3, fig. 22), en el que se apoya directamente la columna, es muy pequeño y está prácticamente exento del zócalo. El hecho de que el segundo sea mayor supone que, en principio, se han retirado durante los trabajos los dos de la parte superior, a no ser que ese segundo sillar se haya empujado lateralmente hasta su encaje, precaución poco probable a la vista del resultado del conjunto. El caso es que una vez desmontada la esquina inferior de la jamba, de haberse creído necesario, se hubiera podido aparejar mejor ese punto. A la vista de todas estas irregularidades constructivas no parece lógico que durante los trabajos se revisaran los cimientos de la pared y se confirmara su capacidad de resistir a las nuevas cargas.

Las posibilidades especulativas que plantea esta solución son muchas, pero en nuestro caso nos limitaremos a extraer unas conclusiones obvias. El resultado de cubrir la sala con las bóvedas ojivales es constructivamente arriesgado, estéticamente, para la óptica del momento, más que discutible, funcionalmente confuso y formalmente, a pesar del rigor en la descripción del conjunto de nervios, inexacto. El gran éxito es la delimitación de un espacio tan voluntariamente irregular. Ninguna otra consideración prima sobre la inmediatez de la cubierta y sobre su forma.

### 3.7.4 Otros casos

Esta forma de trabajar, añadiendo a un muro románico



Figura 23

unas bóvedas góticas no es única de Santa María de Alet. Quizás sea el sitio en el que más explícito queda el resultado del trabajo y las intenciones de los constructores. En España se dan casos similares. En el monasterio de la Oliva aparecen unas bóvedas góticas sobre unas arcuaciones románicas, que evidencia la misma simplicidad de criterio. Uno de los cimacios de los arranques está situado en la clave de un arco de medio punto, mientras que los arranques de las otras bóvedas se apoyan, coincidiendo también en el centro de los arcos románicos, sobre unas columnas de difícil justificación. O sobran éstas o falta la correspondiente a la puerta de entrada. El resto de la fábrica es mucho más regular que en Alet.

Otro tanto ocurre en Santes Creus. En este caso se trataba de añadir un claustro en lugar de una sala capitular sobre el muro románico. La distribución de los arranques se hace según un criterio puramente formal, sin tener en cuenta en qué punto del muro anterior

coinciden. Además, en este caso la fábrica ofrece un penoso aspecto, si hemos de aplicar una valoración que tenga en cuenta, no sólo el aspecto, si no la capacidad resistente que confiere un aparejo correcto a cualquier muro.

### 3.8 San Pedro de Besalú

#### 3.8.1. El elemento

Uno de los elementos elegidos para realizar el tipo de análisis que proponemos es la ventana central de la fachada principal de la iglesia de San Pedro en Besalú. Según todos los datos consultados no parece haber sufrido ningún tipo de restauración, por lo que la obra, siempre con las limitaciones de rigor, aparece tal y como la realizaron sus constructores.

La iglesia del monasterio de San Pedro en Besalú se inicia con posterioridad al 1171, fecha en que se acometen, además, la iglesia Parroquial de San Vicente y la adaptación de la iglesia de Santa María. Según Eduard Junyent: *“Es aleshores que escau el model importat d’arquitectura posat en obra amb tot el refinament de la plenitud arquitectònica en la conjugació dels elements que els mestres picapedrers assolien en el treball de la pedra picada amb la filigrana de columnes, capitells i cornises”*<sup>(12)</sup>.

Se debe entender, por la importancia del conjunto monumental al que pertenece, que se construye según la más depurada técnica del momento, por lo que puede ser un buen exponente de los criterios manejados por los constructores de la época. No nos ha sido posible analizar el espesor real de los bloques y la composición interna de la fábrica, aunque según Junyent, *“L’estructura es conserva en tota la seva grandesa, obrada amb grans blocs de pedra picada(...)”*, por lo que podemos considerar que la función resistente la cumplen los citados grandes bloques.

La fábrica es bastante regular con hiladas corridas de diferentes alturas, y sufre algunas alteraciones al llegar a las aberturas, que pueden tener, desde nuestro punto de vista, algún significado.



Figura 24

Es necesario señalar que la perfección de la talla a que se refiere Junyent es muy cierta, y que algunos detalles, como es la unión entre los sogueados correspondientes a cada dovela de la ventana que analizaremos a continuación, están perfectamente realizados, a pesar de la dificultad que desde el punto de vista de la ejecución material presenta ese detalle. Por ello debemos considerar que una mínima organización supone que los más expertos se van a dedicar a los trabajos más difíciles, y que no existen limitaciones en la calidad del labrado de la piedra.

Centraremos el análisis en la ventana central de la fachada desde el punto de vista de su proyecto y ejecución sin entrar en ningún tipo de valoración estética o estilística.

### 3.8.2 Preparación del recibido: detalles de la fábrica

Con toda verosimilitud, el responsable o los responsa-

bles la preveían centrada y a la altura a que está situada, siendo en nuestro caso un problema fuera de contexto cuáles fueron las justificaciones de esa decisión. Con respecto al centrado no existe ninguna dificultad para su definición, y con respecto a la altura, la exactitud del dato dependería de la posibilidad de llegar enrasados hasta ella. Puede que no se fijara una cota exacta, a la vista de la dificultad que plantea que, por la suma de las diferentes alturas de cada una de las hiladas, se acertara exactamente con el dato de proyecto.

De ser la hilada inmediatamente inferior a la colocación de las basas de las columnas la más estrecha de la fachada (A, fig. 25), se puede aventurar dos hipótesis: o bien se trató de enrasar a la cota prevista con una hilada de menor altura, o bien se adaptó la hilada a la altura del alféizar, que quizás se proyectó con el conjunto de la ventana.

El caso es que a esta segunda hipótesis, a pesar de ser la más verosímil, se le pueden poner dos pegas de

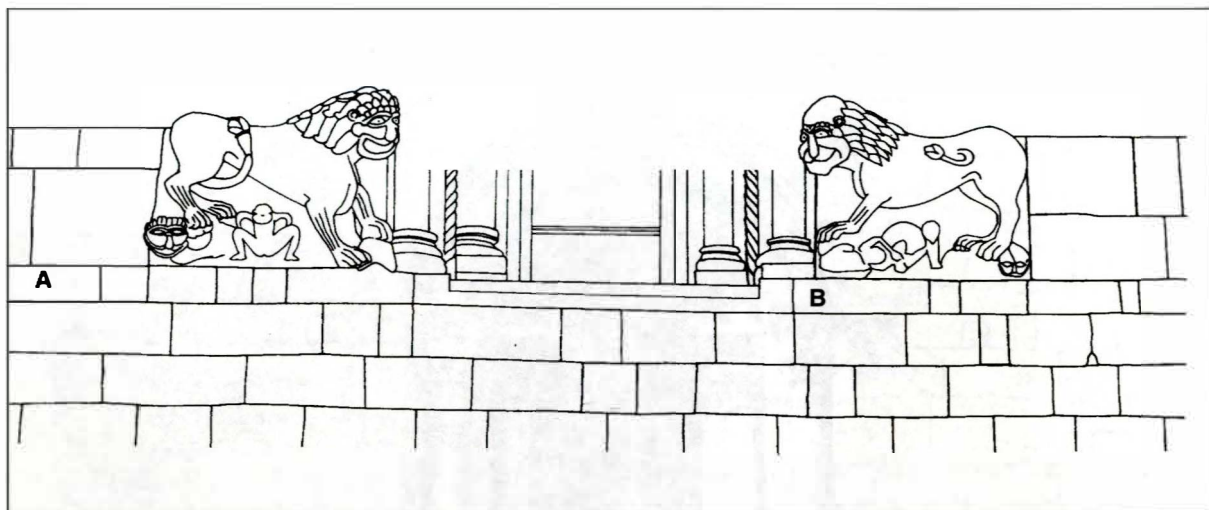


Figura 25

importancia. En primer lugar las dos piezas de que consta el alféizar no cubren la totalidad de la anchura prevista entre jambas ni son iguales, y en segundo, que las basas de las columnas más exteriores se apoyan justamente en la junta entre estas piezas del alféizar y la primera piedra de la hilada que lo continúa (B, fig. 24). A su favor se puede argumentar, además, que las dos piezas reciben una talla más compleja, aunque mínima, que los sillares del resto, y es también el único lugar de toda la fachada en la que no se respeta el rompejuntas entre los sillares de una hilada y los de la superior.

Sean cuales sean las razones, lo cierto es que se acepta que las columnas carguen sobre una junta y que además esa junta se corresponda, en una zona ciertamente comprometida para la inmovilidad de la ventana, con otra en la hilada inferior. Calculamos que no hubiera supuesto ninguna dificultad, correr las piezas del alféizar, que carece de goterón, incluso tallando una tercera para completar la anchura total de la ventana y evitar esa irregularidad. Debemos suponer que si no se hizo así fue porque se consideró aceptable el resultado. La presentación de la ventana en una fachada tan austera debió ser un acontecimiento lo suficientemente importante en el desarrollo de la obra como para que no podamos considerarlo un detalle menor, confiado al simple criterio de un albañil. Ni a los “fabricantes” de la ventana, entendiendo por la calidad del trabajo que ésta la realizan obreros más especializados, ni a los constructores les pareció peligrosa la coincidencia de juntas ni necesario que el alféizar sobrepasara la

parte vista del hueco. No puede ser una excusa el desconocimiento exacto de las dimensiones de la ventana. En el caso de que el enrase se efectuara sin disponer de ella en obra, no existen demasiadas dificultades para, de haberlo considerado necesario, haber cambiado dos o tres piezas de esa hilada.

### 3.8.3 El encargo

De esa manera, y con ese resultado, se llega al enrase en el que se efectúa el recibido de la ventana.

Su ejecución la suponemos al margen del trabajo general de construcción y realizada por un equipo distinto al que coloca los sillares, y al que habría que suministrar unos datos mínimos: la anchura del muro, que obliga a la disposición de las dos sucesivas líneas de columnas; la dimensión total del hueco, y unas ciertas instrucciones sobre los motivos ornamentales, en el caso en que no fuera el propio ejecutor el encargado de su invención, en el sentido renacentista del término. Su encaje previo en taller y su perfecto ajuste pueden imaginarse sobre un plano de monte de arena, material cuya facilidad de manejo e incompresibilidad garantizan una y otra vez el retoque de cada dovella, siendo su perfecto trazado y tallado la gran habilidad artística a que se ha referido Junyent.

Se puede considerar en este caso que la ventana constituye una unidad de obra en sí misma, cuyo desarrollo

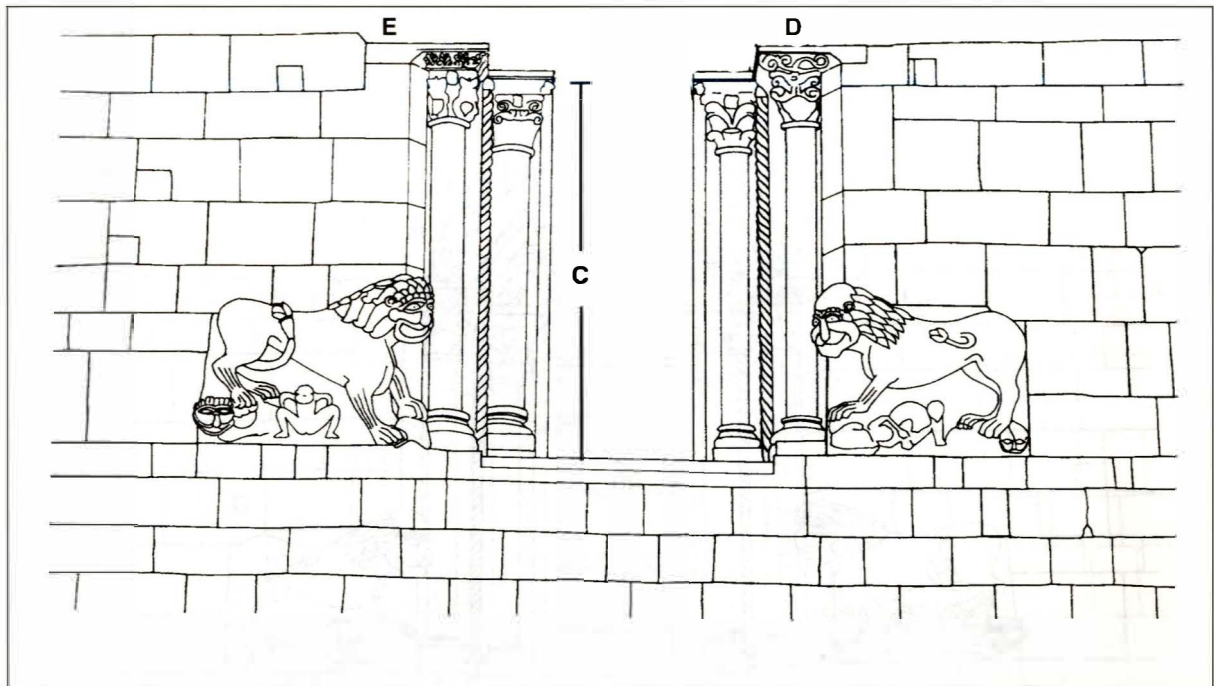


Figura 26

depende del grado de capacidad creativa de su ejecutor, de lo concretas que sean las instrucciones dadas y de que hayan sido correctamente interpretadas por parte de quien, con una cierta deformación profesional, llamaremos el subcontratista artístico.

Es evidente, e imprescindible para la regularidad del arco, que las basas, más las cañas, más los capiteles, más los cimacios sumen una misma altura en todos los casos (C, fig. 26).

De todas formas, la largura de estos últimos no es igual en ambos lados. El de la derecha del dibujo (D, fig. 26) es notablemente menor que el de la izquierda (E, fig. 26). De nuevo hemos de conjeturar sobre este detalle. Las jambas exteriores no vienen del taller, se tallan, verosíblemente, en obra, por lo que la dimensión de los cimacios es una decisión de los tallistas, aceptada en el momento de su recibido. Es necesario pensar en un accidente. El de la derecha (D, fig. 27) se rompió durante el traslado o durante el recibido, y no se pudo, o no se quiso, tallar otro. La solución adoptada, haciendo cabalgar el salmer de la rosca exterior (F, fig. 27) a medias sobre el cimacio y un sillar en escuadra, es la que más garantiza, dentro de su irregularidad, el correcto apoyo del arco. La solución se dio por

bueno. En la parte de la fachada correspondiente a nuestro análisis hay sillares de dimensiones superiores a las necesarias para que el cimacio tuviera el tamaño necesario, por lo que no fue una limitación de material lo que impuso la solución, sino que se consideró técnicamente aceptable. Los cimacios, además, son excesivamente delgados para que se les pueda confiar ningún trabajo, a pesar de por su situación absorberían, o deberían absorber, cualquier movimiento del arco y transmitirlo a los capiteles y a la fábrica. En el caso que nos ocupa, de producirse el movimiento, se romperían con toda seguridad, o quizás nunca se supuso que se movieran.

#### 3.8.4 Presentación de la ventana: las jambas

De la diferencia de tamaños de los sillares de las jambas, se deduce que no forma parte de lo que se entiende por necesidades de la pieza acabada el que tengan las mismas dimensiones en ambos lados. La perfección de la talla de los detalles ornamentales no hace creíble que esa diferencia se deba a limitaciones técnicas, o a la imposibilidad física de fabricar piezas más regulares.



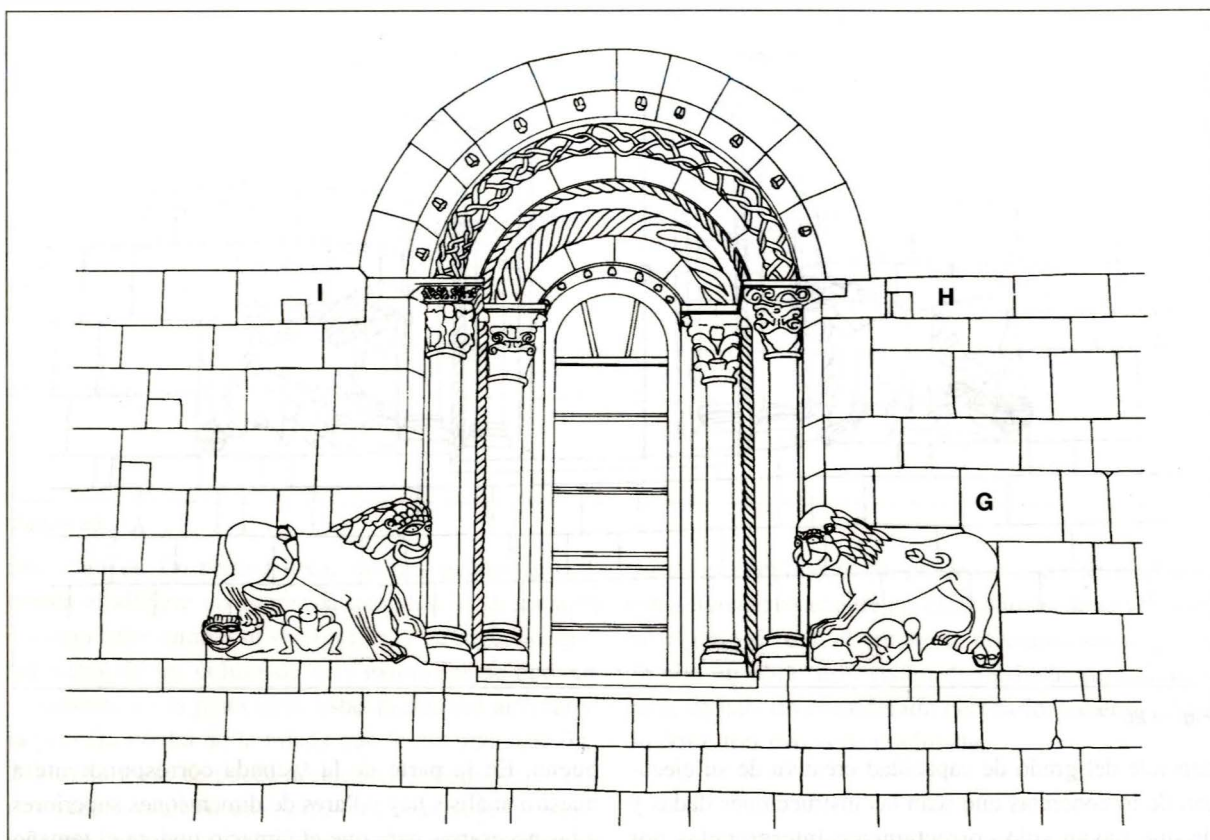


Figura 27

La ventana se recibe, a partir del enrase, comenzando por los leones, las basas y las jambas soguedas del interior. Para ello es necesario tener la medida exacta de cada rosca, al objeto de que coincidan sobre los cimacios los salmeres de cada una de ellas. No caben errores de importancia en este paso.

De nuevo coinciden, en la parte más externa de los alto relieves, dos juntas de dos hiladas. Parece por el resultado, que no se tiene en cuenta la medida del conjunto de la ventana en el momento de enrasar. En realidad en este caso, contrariamente a lo que ocurre con las basas sobre la junta del alféizar, la coincidencia no presenta excesivo problema.

En la continuación de la fábrica parece que se seleccionan dos hiladas cuya suma da aproximadamente la altura de la pieza de los leones. Se llega a ella mediante el retoque de las piezas (G y H, fig. 27).

El despiece de las jambas es distinto en cada lado. No coinciden las hiladas de la izquierda de la ventana con

las de la derecha, hecho que en sí mismo no reviste excesiva importancia desde el punto de vista estático si se tiene en cuenta que el resultado final, o sea, la transmisión de esfuerzos a través de caras horizontales se produce correctamente. No parece lógico suponer que se adapten las hiladas al despiece de la jamba, sino la viceversa. Por ello es razonable que las jambas se tallen en obra y a partir de los sillares preparados para la hilada con la que se corresponden. No se encuentra excesiva explicación, ni siquiera la de la comodidad, para justificar esta diferencia de altura en las hiladas. De nuevo parece que el constructor no tiene otro problema que el de llegar enrasado al nivel de los cimacios, lo que ocurre en el lado derecho (H, fig. 27), pero no en el izquierdo (I, fig. 27). En este último aparece un sillar en escuadra (J, fig. 4), de forma inversa al que hemos analizado en el apoyo derecho. De la existencia de esa pieza se puede deducir que la hilada que se entrega en la parte superior de ella no ha sido ajustada a la altura real necesaria.

Bajo nuestra óptica sería preferible trabajar con hila-

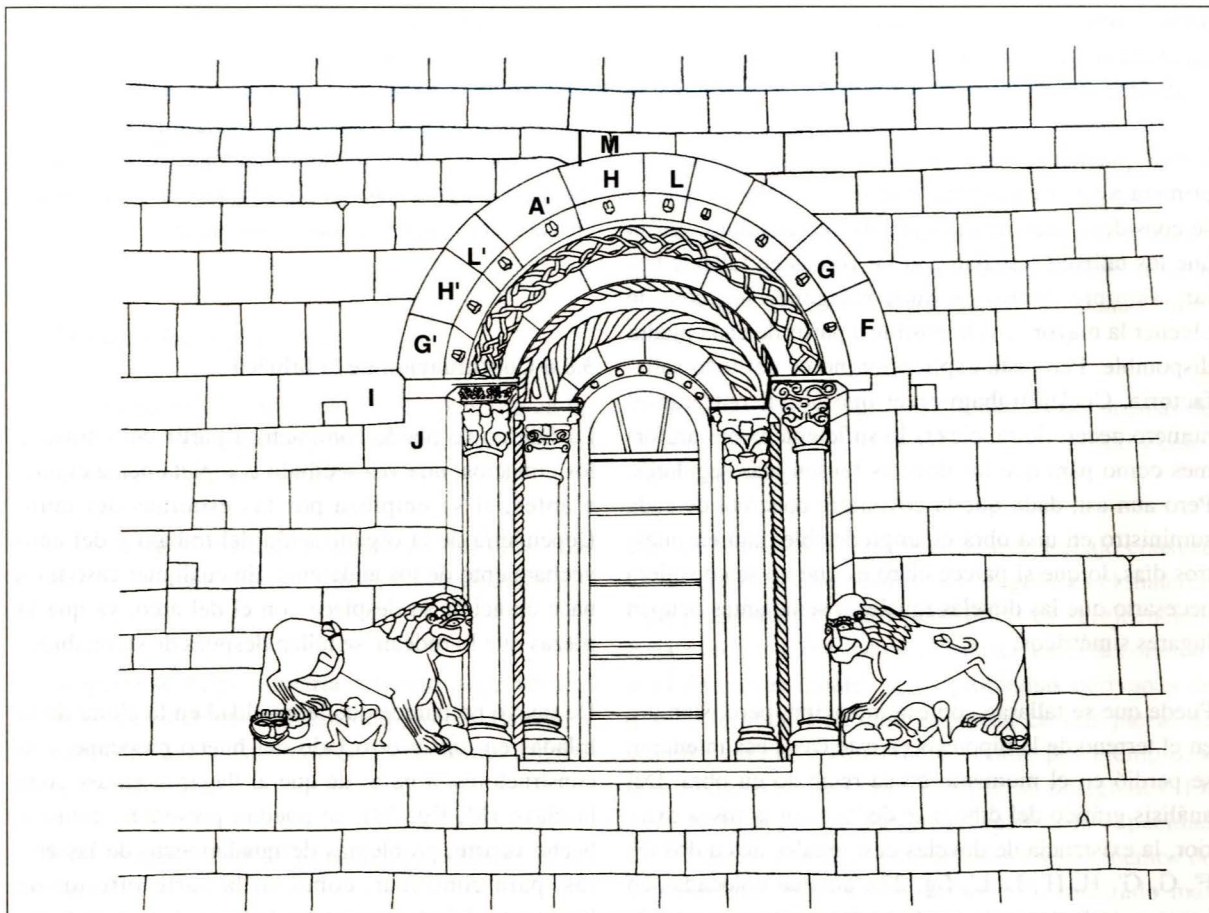


Figura 28

das de igual altura a ambos lados de la ventana. Ello daría lugar a soluciones simétricas y a un menor número de puntos singulares. Y era posible porque en el resto de la fachada las hiladas son corridas de la misma altura. No se acaba de encontrar una justificación a esa complejidad casi voluntaria, si no es que, a los que colocan los sillares no se les exige ni se les indica esa posibilidad, no preocupando a los constructores ni entendiéndolos como complicación, el sucesivo número de adaptaciones que es necesario realizar en cada caso.

Hay que tener en cuenta que el correcto encaje de los dos sillares en escuadra situados a ambos lados de los capiteles exteriores requiere por lo menos tres operaciones de presentación y comprobación “*in situ*”, que en el caso del de la derecha supone que hay que mover el cimacio por lo menos una vez de su asiento definitivo para encajar el sillar previamente. Por un mínimo principio de racionalidad debemos entender que para

los constructores esta forma de trabajar es preferible a cualquier otra.

### 3.8.5 El arco

En este caso es imprescindible montar el arco sobre una cimbra, tanto menor cuanto más cabalguen las dovelas de las rosas exteriores sobre las interiores. Es de suponer que esa cimbra se coloca después de enrasar la pared a la altura de los cimacios. Sea cual sea el grado de acabado previo de las sucesivas rosas, el montaje sólo presenta problemas de encaje que se pueden resolver mediante retoques mínimos en las caras de las dovelas, pero sólo en el caso de que la talla definitiva del sogueado y de los adornos se efectúe en obra.

Así se llega a la rosca exterior. Lo más notable es que

no formara parte de los requerimientos exigidos la igualdad de las dovelas, y ni siquiera su colocación simétrica.

Varias pueden ser las causas de esta desigualdad: la primera a tener en cuenta, y la más simple, es que no se consideró necesaria la igualdad, en absoluto, por lo que los tallistas trabajan con las piezas en taller y tratan, siempre dentro de unos márgenes lógicos, de obtener la mayor dovela posible a partir de cada piedra disponible. Pero esta explicación no es del todo satisfactoria. Cuesta trabajo creer que no encontraran el número necesario de piezas lo suficientemente uniformes como para que las dovelas fuesen más regulares. Pero aun así, dado que la coyuntura concreta de cada suministro en una obra es impredecible, aun en nuestros días, lo que si parece claro es que no se considera necesario que las dovelas iguales o semejantes ocupen lugares simétricos.

Puede que se tallaran con esa intención, pero, siempre en el terreno de la hipótesis en este caso, esa intención se perdió en el momento de su recibido en obra. Del análisis gráfico del dibujo se deduce, en la rosca exterior, la existencia de dovelas casi iguales dos a dos (F, F', G, G', H, H', L, L', fig. 27), aunque colocadas en lugares perfectamente inadecuados para conseguir la simetría. Además, los tetones que aparecen en el centro aproximado de cada una de ellas tienen su posición ligeramente corregida para que queden más o menos equidistantes, lo que puede significar, en el caso de que se hicieran en taller, que las dovelas estaban destinadas al lugar que ocupan, o en el caso de que se remataran en obra, que no se consideró necesario, a pesar del resultado ligeramente irregular, corregir la colocación.

Hay que hacer notar que no existe en la época ninguna dificultad para numerar las piezas, y que se poseen datos de transportes de gran envergadura, lo que supone un sistema de marcado y colocación perfecto.

Otra cuestión sería decidir si el acabado de la ventana se efectúa en la obra o en el taller. La perfección de las uniones de los temas ornamentales de las dovelas, y el hecho de que los cantos no estén desportillados abogan por un acabado en obra. En ese último caso es casi obligado deducir que la simetría no era un requere-

rimiento atendido por los canteros. Pero si las roscas interiores se acaban en taller, deben colocarse obligadamente en una determinada posición para que coincidan los sogueados y su aspecto exterior sea perfecto, con lo que la "culpa" de la asimetría sería de los tallistas. En cualquier caso el responsable o los responsables aceptaron el resultado como bueno.

### 3.8.6 Continuación de la fábrica

La fábrica se puede continuar, a partir del enrase de los cimacios, una vez recibido completamente el arco, o antes, si se empieza por las esquinas del muro. Dependería de la organización del trabajo y del aprovechamiento de los andamios. En cualquier caso no se hace coincidir su despiece con el del arco, ya que las piezas que lo rodean se tallan después de su recibido.

De nuevo no parece que la igualdad en la altura de las hiladas en uno y otro lado del hueco preocupe a los constructores, a pesar de que al llegar al enrase sobre la clave (M, fig. 28), se puedan presentar, como de hecho ocurre, problemas de igualamiento de las alturas, para continuar, como en la parte inferior del hueco, con hiladas corridas a lo largo de toda la fachada. La diferencia en la dimensión de los sillares es notable.

Esta desigualdad puede suponer la existencia de dos equipos distintos, uno a cada lado del hueco y que, además, a ninguno se le exige que tenga en cuenta el trabajo del otro. En las instrucciones no figura, o por lo menos no como un dato importante, que se llegue al mismo nivel a la altura de la clave. En descargo de este sistema, que podíamos considerar al menos poco riguroso según nuestra óptica, cabe decir que todo el problema se resuelve con una sola pieza de talla singular, concretamente la que está situada justo encima de la clave. Es aventurado pensar que este extremo es conocido. Una diferencia mayor daría origen a unas piezas realmente complicadas de labra y arriesgadas desde el punto de vista estático.

Todas estas soluciones, que parten de la aceptación de unas diferencias notables a ambos lados de la ventana en la altura de los sillares, se deben entender como

perfectamente aceptadas, casi voluntarias. Para realizar la fábrica de la fachada es necesario clasificar los sillares por alturas a pie de obra y con un cierto rigor. Ni tan siquiera una extrema pobreza en el suministro del material justifica esas diferencias en los únicos puntos en los que es posible construir así.

### 3.8.7 Conclusiones parciales

De todo lo anterior, y en función de lo expuesto en las consideraciones previas, se pueden deducir las siguientes conclusiones parciales:

1. No se exige igualdad al despiece del arco. Las dovelas de la rosca exterior son de cinco tamaños distintos.
2. Tampoco se exige simetría respecto a eje vertical del arco a pesar de que hubiera sido posible. Las dovelas más semejantes están colocadas de forma ostensiblemente asimétrica.
3. Igual irregularidad de tamaños se produce en las jambas.
4. Las dimensiones de los cimacios, tanto su estrechez, como el deficiente empotramiento del de la derecha, pone en cuestión su función resistente o de simple transmisión de cargas. Más parecen una referencia de montaje, trabajada, eso sí, con el primor de que hacen gala los tallistas.
5. No se tiene en cuenta, en el apoyo de las basas sobre el alféizar, la necesidad de contar con una superficie uniforme y firme. Descansan sobre una junta a ambos lados de la ventana.
6. La igualdad en la altura de las hiladas sólo se produce cuando es físicamente obligada por su continuidad a lo largo de la fachada. A ambos lados de la ventana no se exige, a pesar de que en principio no presentaría demasiada dificultad conseguirla. Sólo habría que clasificar los sillares antes de comenzar cada hilada, pero parece que la exigencia se reduce sólo a “llenar” el paramento sin ningún otro requisito sobre la colocación.

7. A pesar de lo perfecto de la talla, la simetría y regularidad de los adornos se consideran en algunos casos innecesarias. Los tetones de las dovelas exteriores no son equidistantes ni ocupan el centro exacto de cada una de ellas.

8. Es más que probable que las diversas roscas cabalguen unas sobre otras con un encaje deficiente, a la vista de los “defectos” explícitos que presenta el conjunto.

Todas éstas son conclusiones derivadas del análisis de las formas de las piezas atendiendo a su tallado y colocación en obra.

Uno de los hilos conductores de este trabajo consiste en la certeza de que cuanto más irregular es el material para realizar un trabajo más difícil es su ejecución. Existe un punto óptimo en el balance entre la consecución de piezas iguales y los problemas derivados de que no lo sean. Una cosa es pensar en seis piezas de veinte para conseguir ciento veinte, por ejemplo, y otra obligarse a esa cota con piezas desiguales. En cada caso, y por un mínimo respeto a la capacidad lógica de los constructores de otras épocas, hemos de suponer que se adoptó el método de resultado más satisfactorio. Sobre este esquema es posible arriesgar otras conclusiones relativas a la organización del trabajo, que serían las siguientes:

1. Existen dos o más equipos de niveles técnicos distintos.
2. Estos equipos no necesitan estar demasiado coordinados, ya que el despiece de la fábrica no influye en el de la ventana y viceversa.
3. Incluso entre los equipos de igual nivel técnico la coordinación es inexistente o mínima. Los problemas relativos al encaje de las piezas se resuelven en cada caso de forma singularizada. Sobre una idea básica, la libertad de ejecución de cada equipo no se circunscribe sólo a la creación artística.
4. Existen unos medios auxiliares comunes: andamios, cimbras, etc.
5. Se cuenta con un sistema de clasificación de sillares

según su altura a pie de obra, aunque es difícil justificar esta clasificación en razón de la estabilidad de la fábrica, más parece ser por una facilidad de colocación que otra cosa.

6. Dada la importancia de la obra, se puede entender

que este sistema de trabajo es usual en la época.

En todo caso, nosotros no habríamos planteado así el trabajo, si bien es cierto que la ventana hubiera sido, por lo menos en nuestro caso, menos expresiva posiblemente y hubiera durado menos años.

**NOTAS DEL CAP. 3**

(1) Margarit, Juan y otros. Una vista a Sta. María del Mar. Nº 146 de la revista Quaderns. COAC. Barcelona 1980.

(2) Pedro de Palol. Arte hispánico de la época visigoda. Ediciones Polígrafa. Barcelona 1968.

(3) Yarza. Op. Cit. Pág. 19.

(4) Castro, Antonio. Historia de la Construcción Arquitectónica. Ediciones UPC. Barcelona 1995. Pág. 125.

(5) Castro. Op. Cit. Pág. 126.

(6) Bonet Correa. Arte Pre-románico asturiano. Ediciones

Polígrafa. Barcelona 1967. Pág. 132.

(7) Bonet Correa. Op. Cit. Pág. 140.

(8) Altisent, Agustí. Historia de Poblet. Imprenta monástica. Poblet 1974. Pág. 161.

(9) Nougaret, Jean. Languedoc Románico. Pág. 87.

(10) Nougaret. Op. Cit. Pág. 87.

(11) Nougaret. Op. Cit. Pág. 89.

(12) Junyent, Eduard. Catalunya Románica. Edicions de L'Abadia de Montserrat. 1976. Pág. 51.



## 4. Los datos de la época: los tratados y otras fuentes

Para el análisis de los datos ciertos de los que podría servirse un constructor medieval, es obligado analizar los escasos textos y documentos que poseemos pero se ha de hacer desde una óptica meramente constructiva, de ciencia aplicada.

Vitruvio y Alberti como únicos textos teóricos, con la salvedad en el caso de este último, de que a pesar de ser contemporáneo de algunas variantes del gótico, su mentalidad y el desarrollo de su trabajo como arquitecto se inscribe en otro contexto muy distinto. La razón de incluirlo en este apartado es simple; puede que su ciencia como constructor esté influida de alguna forma por la de los constructores medievales. Sus viajes y la intención universalista de su estilo hacen posible esta suposición.

En algún caso se han de ampliar estos dos autores a otros relacionados con los temas que nos ocupan. En el caso de los arcos hemos recurrido a los escritos de Leonardo da Vinci recogidos por Corrado Maltese en el libro Scritti Rinascimentali di Architettura<sup>(1)</sup>. Su interés reside en que, a la vista de lo poco que aporta Alberti a este tema desde el punto de vista teórico, los comentarios de Leonardo pueden ser un exponente del máximo nivel de conocimientos, tanto teóricos como prácticos, en una etapa posterior, aunque aún próxima.

En el caso de los cimientos se ha alargado el análisis hasta algunos textos de los siglos XVIII y XIX, una vez que entendimos la dificultad que para su dimensionado cierto ha existido en todas las épocas. Es una manera de reforzar los datos sobre la falta de datos.

Como ya hemos indicado, el problema sería establecer si Vitruvio sirvió para construir, o en qué momento se

incorporan lo que consideramos mejoras de Alberti al proceso constructivo, e incluso analizar si toda la ciencia de su época está incluida en su obra. Con los datos actuales esta investigación aparece ardua. Si a lo largo de tantos años no se ha conseguido ninguna referencia, por remota que sea, a otro texto intermedio entre Vitruvio y Alberti, no parece probable lo que sería un venturoso descubrimiento. La ciencia y la técnica constructiva medieval serán, de no mediar un azar glorioso, objeto de especulación y debate y cada época aportará su particular manera de entender el proceso, pero lo que no es previsible que varíe sustancialmente son los textos originales. Por ello puede ser útil establecer de una vez por todas el alcance cierto de estos textos, entendiéndolos como manuales prácticos para uso de un constructor hasta cierto punto intemporal.

### 4.1 Vitruvio

Por lo que respecta a Vitruvio, y a falta de pruebas apodícticas sobre la profundidad de su influencia en los constructores medievales, se debe admitir al menos su presencia como texto. El descubrimiento del texto vitruviano en St. Gall en 1414, por Poggio, sólo es una referencia sobre el ejemplar que sirvió para que la voracidad cultural renacentista lo estudiara, completara, divulgara, y posteriormente lo reescribiera ampliado en la autorizada versión de Alberti. Cervera Vera recoge la mayor o menor presencia de Vitruvio a lo largo de todo el periodo, registrando sesenta y nueve copias de las que dos son incompletas, amén de numerosas citas ciertas sobre él<sup>(2)</sup>.

Según indica, la influencia detectable más directa se produce durante el imperio carolingio: “*El propio*



*Carlomagno, conocedor del latín y con singular formación romana,(...), pues en los LIBRI CAROLINI se manifiesta orgulloso de levantar magníficas iglesias que muestran en su arquitectura el deseo de construir según los modelos de la Antigüedad y los preceptos de Vitruvio”.*

Después, sobre la base de la existencia de los códices, y a la vista de algunas coincidencias en el enunciado de los conceptos estéticos, deduce la influencia de Vitruvio en personajes concretos: Vicente de Beauvais, San Alberto el Magno o Sto. Tomás.

Otto Von Simson considera que *“la predilección medieval por la proporción conforme a la medida cierta (el rectángulo 1:2), fue heredada de Vitruvio el cual (VI,3) enseña la forma de dar a un atrio esa proporción; es más, Vitruvio (IX, prefacio 2, y ss) destaca la demostración de Platón de cómo doblar un cuadrado y la considera uno de esos extraordinarios logros que han mejorado la vida humana y por ello merecen la gratitud de la humanidad. Para su demostración (Menon, 82 y ss), Platón utilizó la misma figura que empleaban los arquitectos que enseñaban a ‘sacar de la planta el alzado’ según la medida cierta. Este procedimiento, como hemos visto, debía recomendarse por sí mismo debido a la sencillez de su aplicación. No obstante el extraordinario elogio que Vitruvio hace de Platón por solucionar ese sencillo problema geométrico bien pudo reafirmar a la Edad Media en su convencimiento acerca de la tradición metafísica del rectángulo ‘conforme a la medida cierta’”<sup>(3)</sup>.*

Desde el punto de vista de la ciencia y la práctica de la construcción es más difícil definir su influencia, entre otras cosas porque no tenemos datos apenas sobre ellas. El problema consiste en que apenas ha quedado nada sobre los criterios que se siguieron para construir, entendiendo el término en su sentido más inmediato, es decir, para poner piedra sobre piedra, y por la magnitud de las obras es necesario que los hubiera.

La definición del proceso de creación del repertorio constructivo medieval, al que se incorporaron las técnicas vitruvianas, en el caso en que se incorporasen, plantea los mismos interrogantes que la definición del camino a través del cual por el que se difunden esas técnicas.

Dejando de momento en el aire todo lo concerniente a ellas, el caso es que si de una manera o de otra Vitruvio influyó en los constructores medievales, lo hizo en la medida en que el texto habla de construcción, y no más allá. Desde el punto de vista científico no parece que su aportación pueda ser grande, por una razón fundamental: Vitruvio no contiene apenas datos científicos abstractos relacionados con la construcción.

Pero desde el punto de vista práctico es posible, sólo posible, suponer una mayor presencia. A partir del momento en que existe como texto es evidente que fue tanta como quisieron que fuera los que conocieron sus escritos. La traducción de Miguel de Urrea figura, como no podía ser menos, en el inventario que con motivos testamentales se establece de la biblioteca de Juan de Herrera, junto a otras ediciones en latín, italiano y romance, no siendo fácil decidir hasta qué punto le fueron útiles para construir. En una carta que envía a Sevilla ordena reforzar en un pie una pared sin que medien más justificaciones, ni ningún otro dato sobre la naturaleza del problema.

García Melero cita y documenta la presencia de Vitruvio en las bibliotecas de Diego de Sagredo, Lázaro de Velasco, Miguel de Urrea, Juan Bautista de Toledo, Monegro, El Greco, Diego Hurtado de Mendoza, Juan Bernal Díaz Luga, etc., lo que da una idea de esa presencia. Esta abundancia de copias explicita la importancia de Vitruvio entre los arquitectos renacentistas españoles, lo que debió suceder en casi toda Europa, deslumbrados por la singularidad del texto, ya que era una base irrefutable para desarrollar los cánones clásicos sobre datos de primera mano. Su vigencia posterior tiene menos justificación: Benito Bails en su *Arquitectura Civil*<sup>(4)</sup>, publicada en 1783, cita a Vitruvio como autoridad a la hora de reforzar sus consejos, con la misma rotundez que si se tratara de un maestro próximo y prestigioso, ignorando tratados posteriores. Rieger<sup>(5)</sup> también recurre al mismo expediente y en algunos textos de nuestro siglo se enfatizan conceptos con las mismas palabras casi que aparecen en la traducción de Ortiz<sup>(6)</sup>. Puede que ello sea indicio de que en algunos casos no se ha avanzado apenas sobre los criterios contenidos en el texto vitruviano, o que se den por supuestos datos que no existen, o cuya existencia tiene sólo un valor relativo,

interpretando que gran parte del contenido es implícito.

El método debe ser otro. Sólo se puede leer lo que está escrito e ir más allá en la interpretación puede falsear las posibilidades reales del texto. Vitruvio contiene algunos datos técnicos y en ocasiones descripciones detalladas sobre puesta en obra y detalles constructivos, pero su alcance se puede definir con exactitud. Es posible que la autoridad de Vitruvio como constructor haya sido sobredimensionada por un prurito cultural explicable, pero si influyó sólo pudo hacerlo en la medida en que sus explicaciones eran interpretables. Una referencia cierta o una recomendación se pueden leer de muchas maneras, pero el caso es que si no aparece no es posible manejarla. Por eso creemos de interés un análisis en profundidad de su alcance técnico cierto, sin poner más de lo que él pone, y tratando de ceñirnos a sus explicaciones para decidir su validez. Para afirmar que algún arco pudo construirse en la Edad Media según Vitruvio, por ejemplo, en primer lugar es necesario saber si con Vitruvio se puede construir un arco en cualquier época. Parece que en ese caso concreto no lo es. En todo caso y como ejercicio complementario, trataremos de analizar las coincidencias que presenta el texto con nuestros criterios, para de ahí deducir, quizás inutilmente, porque muchas obras están en pie, que eran acertados.

Para el análisis del texto vitruviano es aconsejable manejar varias ediciones ya que las dudas sobre la exactitud del texto original y su significado no se han planteado exclusivamente ahora, ni se pueden considerar resueltas. Además de la dificultad que reconoce el propio Miguel de Urrea<sup>(7)</sup>, se han lamentado de este problema traductores mucho más preparados y cultos que nuestro esforzado “ensamblador”. Cesariano y Antonio de Sangallo entre otros, hacen explícitas sus dudas y en 1542 se funda la “Accademia della Virtú” dedicada exclusivamente al estudio de Vitruvio. Según este enfoque cobran, como veremos, un interés extraordinario las notas con las que comenta el texto Ortiz Sanz. Seleccionamos para nuestro trabajo la efectuada en 1973 por Unión de Explosivos Riotinto, en versión de Carmen Andreu y revisada por Fernando Higuera<sup>(8)</sup>. Puede que esta traducción sea la más acertada y la más ajustada de criterio, pero evidentemente no es de la que podían disponer los constructores

medievales, si es que dispusieron de alguna. También recurrimos, por su proximidad cronológica, a la clásica de Miguel de Urrea, a pesar de las prevenciones que sobre ella manifiesta en la edición facsímil de Albatros, Cervera Vera ya que en la de Carmen Andreu encontramos excesivas similitudes entre el lenguaje del texto y el que usamos hoy en el oficio, apareciendo conceptos de una sospechosa modernidad. Si algún Vitruvio se manejó, más se debió parecer a la edición de Miguel de Urrea, con su lenguaje de época y sus limitaciones de criterio, que a ninguna otra. Pero la duda respecto a la fidelidad de algunos pasajes nos obligó a recurrir a la de Ortiz Sanz, más correcta desde el punto de vista filológico a juicio de casi todos los expertos.

La relación de todo esto con la construcción medieval puede que sea muy remota, pero el hecho cierto es que si desde 1582, fecha de la primera edición en castellano, hasta 1973 sólo se puede extraer a Vitruvio el jugo que le extraen sus traductores, es poco probable que en la Edad Media sirviera para entrar en mayores profundidades constructivas.

Con posterioridad a la realización de los análisis que mostramos en los siguientes capítulos de este libro hemos podido enfrentarnos personalmente, con la colaboración de cuatro eminentes expertas, al texto latino original para su primera traducción al catalán y como resultado del trabajo podemos afirmar que, sobre todo cuando se trata de conceptos concretos, el texto vitruviano presenta más sombras que luces y que las aportaciones necesarias para hacerlo inteligible dependen más de lo que se quiera leer que de lo que se lee.

## 4.2 Alberti y la construcción medieval

Éste, a primera vista, pomposo título, no pretende desarrollar una teoría sobre la posible vinculación de Leon Bautista y su obra a la aún contemporánea construcción medieval. Sólo pretendemos resaltar, de la lectura técnica de su Re edificatoria, aquellos aspectos que supongan una coincidencia con lo observado en ella, y cuantos datos ciertos aparecen. Parece que Alberti escribió un Tratado de los pesos, del que no han quedado rastros. Franco Borsi considera que: “Al

*afrontar el tema de las máquinas para la construcción y su técnica, es lógico que Alberti mantuviera una postura parecida a la que mantuvo en el Tratado de la Pintura a propósito de las experiencias sobre perspectiva de Brunelleschi. En este caso se trataba de sistematizar y transmitir las experiencias mecánicas que Brunelleschi había realizado en el prodigioso tajo de la cúpula de Sta. María de las Flores y que Alberti se propone resumir en un instrumento práctico aclarando sus fundamentos teóricos”*<sup>(9)</sup>. Puede ser, pero el caso es que no tenemos el texto, y por lo tanto, sobre lo único que podemos trabajar es sobre la Re edificatoria.

Existe un trabajo de Sanpaolesi titulado Hipótesis sobre los conocimientos matemáticos estáticos y mecánicos de Brunelleschi<sup>(10)</sup> en el que abiertamente se reconoce que: “*Con su absoluto silencio Filippo no nos ha dejado ninguna posibilidad de información segura en tal sentido*”. De nuevo es el voluntarioso y erudito aporte del tratadista el que interpreta una realidad sobre la que ningún dato poseemos. Lo más contemporáneo es la Vita de Filippo Brunelleschi de Giorgio Vasari, y su intención hagiográfica le resta verosimilitud, aunque nos haya sido relativamente útil al solo efecto de corroborar un cierto lenguaje.

Una objeción puede ser la de que Alberti es poco o nada gótico. Ante ella reconducimos nuestra intención al planteamiento original. No hemos tratado de establecer una conexión entre dos maneras de pensar que suponen dos estilos y dos mentalidades diferentes y casi opuestas. Se trata simplemente de obtener una certeza sobre cuánta ciencia constructiva aparece en el primer tratado renacentista. Otro problema, como en el caso de Vitruvio, será definir que parte de esa ciencia se genera con anterioridad, cómo se genera, y en qué medida toda la que existe es recogida por Alberti. Pero ello escapa a los límites de nuestro trabajo.

Para el análisis de la Re edificatoria de Alberti se ha de utilizar la edición facsímil de la traducción al castellano efectuada “*por Francisco Lozano, alarife de la Villa de Madrid, a la vista del texto toscano de Cosme Bartoli, académico florentino*”<sup>(11)</sup>, en 1582 en Madrid.

Son realmente muchos pasos: del latín de Alberti al toscano de Bartoli, y de ahí al castellano de Francisco

Lozano. No obstante, nuestra intención es la investigación de unos datos, que, de existir, han de tener entidad suficiente como para atravesar las barreras idiomáticas, por otra parte mínimas, en el tema que nos ocupa. La difusión que presentan los sistemas constructivos en esa época, prácticamente total en el área cultural europea, hace casi imposible que se produzcan errores de bulto en la traducción.

### 4.3 Otros datos

Existen otros textos relacionados con el tema: los dictámenes emitidos por los “expertos” de la época, a petición de alguna parte interesada, sobre la marcha y calidad de las obras. Hemos entrecomillado la palabra expertos sin ninguna intención denigratoria. Nuestra reserva se establece solamente al dudar de las bases científicas sobre las que emitían sus opiniones. Investigarlas es el motivo de este trabajo. Puede que su bagaje fuera un conocimiento empírico avalado por la experiencia personal, o puede que se tratara de recetas más o menos misteriosas, pero el caso es que, como veremos, no trasciende en el que estudiaremos esa experiencia convertida en algún dato de los que consideramos imprescindibles para el desarrollo de una obra.

En este apartado hemos intentado el análisis de la Junta de doce arquitectos, celebrada en Gerona, sobre el modo con que se habría de seguir construyendo aquella catedral, con los pareceres de cada uno, como consta en el archivo de la misma iglesia, tomado de Noticias de los arquitectos y arquitectura de España(...) de Eugenio Llaguno y Amirola<sup>(12)</sup>. Su análisis lo hemos considerado necesario por dos motivos. En primer lugar porque su validez como documento relacionado con nuestro problema es muy directa: los datos contenidos en él deben de ser los que se manejaban habitualmente en esa época; y en segundo, por si el lenguaje fuera, en este caso, exponente de una determinada cultura técnica.

Incluimos además en este grupo el análisis del Álbum de viajes de Villard de Honnecourt y una breve referencia a los planos de St. Gall y Canterbury, muy posterior este último, pero también único en su género.

Hasta aquí de lo que se trata es de someter a una nueva lectura, más directamente relacionada con el problema constructivo inherente a cualquier proyecto, que es propia y casi privativa de los arquitectos cons-

tructores, a unos textos y unas conclusiones que han sido en general analizadas bajo otras ópticas y con otras intenciones, lo que, de alguna forma, ha alterado su contenido real.

**NOTAS DEL CAP. 4**

- (1) Maltesse, Corrado. Escritos de Leonardo da Vinci sobre Arquitectura. En *Scritti rinascimentali di Architettura*.
- (2) Cervera Vera, Luis. El Códice de Vitruvio hasta sus Primeras Versiones Impresas. Instituto de España. Madrid 1978.
- (3) Simson, Otto von. La catedral gótica. Alianza Forma. Madrid 1980. Pág. 69.
- (4) Bails, Benito. De la Arquitectura Civil. Viuda de Joaquin Ibarra. Madrid 1796.
- (5) Rieger, Cristiano. Elementos de toda la Arquitectura Civil. Traducido por M. Benavente. Joaquin Ibarra. Madrid 1763.
- (6) Vitruvio. Los Diez Libros de la Arquitectura. Traducido por Ortiz Sanz. Imprenta Real. Madrid 1787.
- (7) Vitruvio. Los Diez Libros de la Arquitectura. Traducido por Miguel de Urrea. Juan Gracián. Alcalá de Henares. 1582.
- (8) Vitruvio. Los Diez Libros de la Arquitectura. Traducido por Carmen Andreu. Unión de Explosivos Río Tinto. Madrid 1972.
- (9) Borsi, Franco. León Bautista Alberti. Obra completa. Electra Editrice. Milán 1980. Pág. 308.
- (10) Sanpaolesi. Hipótesis sobre los conocimientos matemáticos, estáticos y mecánicos de Brunelleschi. *Belle-Arte II*, 1951 pp 25-30 (según Franco Borsi. Op. Cit. Pág. 308).
- (11) Alberti, León Bautista. Los Diez Libros de Arquitectura. Traducido por Francisco Lozano. Alonso Gómez. Madrid 1582.
- (12) Llaguno y Amirola, Eugenio. Noticias de los Arquitectos y arquitectura de España desde su restauración. Fac. Ediciones Torner. Madrid 1977.

## 5. Los cimientos en los tratados

### 5.1 Concepto actual

De una manera inmediata y sin profundizar en conceptos que pudieran ser privativos de la alta tecnología o de aplicaciones especiales, para los técnicos de la construcción el cimiento es la parte del edificio destinada a transmitir sus cargas al terreno de forma que puedan ser admitidas sin deformaciones ni asentamientos excesivos.

Se determina en función de dos datos básicos: Primero, por la resistencia del terreno entendida como un valor objetivo, dado en unas unidades de interpretación inequívoca, generalmente en  $\text{Kg/cm}^2$ , y acotada en su uso, si acaso, con datos relativos a unas características concretas como grado de humedad, espesor de la capa, etc., o a determinadas condiciones de trabajo. En este dato influye en algunos casos la profundidad a la que se cimenta. Segundo, por el peso del edificio, extremo éste que suele estar perfectamente codificado. Las cargas se valoran exactamente, y las sobrecargas, mediante los factores de simultaneidad, se tienen en cuenta con una intención analítica, que pretende la mejor solución al menor coste dentro de una seguridad razonable.

Las demás acciones que pueden influir sobre los cimientos, como momentos, movimientos sísmicos, etc., se calculan esmeradamente y se hace responder a estos de forma exacta a cualquier solicitación que previamente es definida y cuantificada. Además, y a fin de atender no sólo a la estabilidad del edificio, sino también algunas patologías de grado menor, se vigila para evitar, cada vez con mayor rigor, los asentamientos diferenciales que causan agrietamientos, si no graves al menos incómodos, en los edificios, previendo en lo posible su aparición.

Cualquier efecto previsible sobre el terreno se cuantifica y, como es el caso de las riostras, se establecen elementos secundarios cuya función es prevenir situaciones inconcretas de trabajo, como una precaución adicional sin que participen directamente, al menos en los cálculos, en el reparto de cargas.

Hoy, con todas las reservas oportunas debidas fundamentalmente al carácter empírico de la mecánica del suelo, es posible, al menos conceptualmente, construir unos cimientos que garanticen una estabilidad casi total como transmisores de los efectos del edificio sobre el terreno.

La normativa, a pesar de todo, es escasa debido a falta de conceptos irrefutables. No obstante es posible cimentar en casi todo tipo de terrenos, con tal de que no importe el precio, por lo que en la elección de la capa sobre la que se va a construir intervienen también factores económicos.

Este concepto de cimiento es excesivamente riguroso y moderno como para que podamos exigirlo, siquiera remotamente, en la época que nos ocupa. No obstante, aun prescindiendo de la necesidad de definir las acciones que actúan sobre él de forma tan exacta, no deberíamos considerar construido un cimiento con conocimiento de causa si no se han tenido en cuenta, de alguna forma, los dos datos básicos antes mencionados, y si no se establece entre ellos una relación que determine, aun de forma aproximada, las dimensiones singulares de cada cimiento en cada caso.

Lo de menos será que la relación exista de acuerdo con unos datos que coincidan con los criterios que pudiéramos manejar hoy. Lo significativo será que haya una intención comprobable de definir cada terreno, así

como la carga que gravita sobre él para, en función de estos datos, decidir la construcción del cimiento, concretando unas dimensiones y un tipo de construcción específica.

Esta necesidad se intuye tanto en Vitruvio como en Alberti, pero a pesar del sentido común que aportan ambos autores sobre el comportamiento abstracto del cimiento como elemento resistente, no existen en ningún caso datos suficientes que garanticen "a priori" esa capacidad.

## 5.2 Concepto de cimiento en Vitruvio

Al hablar de las partes en las que se divide la arquitectura indica que los edificios, "*serán firmes cuando se profundizaren las zanjas hasta hallar terreno sólido*"<sup>(1)</sup>, concepto que no añade nada a lo que se conoce desde el momento en que se empieza a construir.

Poco más adelante repite el concepto sin añadir más que una vaga recomendación sobre el dimensionado, que analizaremos en su momento: "*Se cavará hasta hallar suelo firme si se puede y allí se tomará mayor anchura de la que se le quiere dar a la pared de fuera de tierra, en aquel tanto que pareciere conveniente, atendida la magnitud y calidad de fábrica; y este hueco se irá llenando de estructura solidísima*"<sup>(2)</sup>.

Hasta aquí, a pesar de lo inconcreto de la recomendación en todos los sentidos, el cimiento aparece como un elemento imprescindible para garantizar la estabilidad de los edificios en general, aunque ya veremos que Vitruvio no parece entenderlo así por la forma en que particulariza.

No se encuentra una referencia amplia hasta el cap. III del libro III: "*Las zanjas para pie de los columnados en los templos se cavarán hasta hallar el suelo firme, si le hay, y allí tomando mayor anchura proporcionada a la calidad de la obra, se comenzarán los cimientos por todo el suelo, de la más sólida estructura.*" lo que Miguel de Urrea traduce como, "*Los fundamentos de los edificios y de las obras se han de cavar hasta lo sólido y macizo, si se puede hallar, y en lo macizo se cimienten los edificios*".

Parece que existe una particularización en la traducción de Ortiz. Sólo se refiere a los templos, aunque en la anterior de Miguel de Urrea se hable de edificios. El caso es que al hablar de los teatros indica: "*Si aquel (terreno) en que se hubiere de fundar el teatro fuere monte, serán fáciles los cimientos; pero si por necesidad se edificare en llano, o en lugar lagunoso, la consolidación y cimientos se harán según diximos de los Templos en el Lib. III*"<sup>(3)</sup>. Él mismo considera que el párrafo es el más representativo del libro sobre cimientos. Es al que remite al lector cuando trata de ampliar el concepto de cimiento o de explicar su construcción. Los cimientos son simplemente una obra que debe llegar hasta el terreno firme, y ser más anchos que la pared que sobre ellos descansa, detalle incorporado a la construcción desde muchos siglos antes.

Esta necesidad de ensanchar el cimiento la repite justificada por causas distintas, en el Cap. XI del Lib VI como si antes no la hubiera mencionado, utilizando, casi, las mismas palabras: "*Los edificios sobre terreno macizo, haciendo los fundamentos según advertimos en los libros antecedentes hablando de muros y teatros, serán firmes y aptos sin duda alguna para la duración; pero si debaxo han de quedar sótanos y bóvedas, los fundamentos se harán más anchos de las paredes de encima, y éstas, los pilares y columnas sentarán perpendicularmente en medio de los cimientos; pues si el peso de las columnas y pilares sienta sobre pendiente podrán permanecer poco*".

Sería arriesgado extraer alguna consecuencia de la conjunción adversativa "*pero*" colocada antes de la advertencia. Puede que sea simplemente un recurso semántico. No obstante, se puede sugerir que, al considerar obligado penetrar con la pared en el terreno en el caso de que "*debaxo han de quedar sótanos y bóvedas*", repite la recomendación que, con motivo de llegar a "*lo sólido y macizo*", efectúa con anterioridad. Se trata de la misma advertencia ante la misma necesidad. La pared puede apoyar sobre el terreno apto directamente, pero si es necesario bajar por debajo de lo que hoy llamaríamos la cota cero, sea cual sea la causa, entonces es necesario ensanchar la parte enterrada de la obra, para proteger el plano de apoyo del cimiento y garantizar el centramiento de las cargas, evitando los vuelcos, a la vez que se consigue mayor sección para una carga mayor.

### 5.3 Concepto de cimiento en Alberti

Alberti trata el tema con una mayor amplitud conceptual, aunque ello no obsta, como ya veremos, para la misma falta de concreción en el dimensionado.

La razón de ser y la forma en que trabajan los cimientos está perfectamente entendida y descrita por Alberti: *“Para designar los fundamentos conviene que te acuerdes que los primeros principios o zocolos de las paredes, que también llaman fundamentos, han de ser por una parte alícuota más anchos de lo que ha de ser la pared, a imitación de aquellos que en los Alpes de la Toscana andan por las nieves, porque estos aplican a los pies unos crivos con soguillas texidas para este uso con cuya anchura se hundan más las pisadas(...)”* <sup>(4)</sup>.

Es de suponer que esté equivocado el traductor, o puede que sea simplemente un error de imprenta, el caso es que si se *“aplican a los pies unos crivos con soguillas”*, las pisadas se hundan menos en la nieve, no más. En este concepto de reparto de cargas, y en el empleo de la palabra *“alícuota”*, quedan compendiadas casi todas las exigencias del cimiento. Han de impedir que el edificio se hunda en el terreno, aproximación conceptualmente válida, de la que se puede deducir que Alberti entiende que el terreno resiste menos que la pared que se apoya sobre él, y para ello han de estar proporcionados a *“lo que ha de ser la pared”*. Están explícitas las condiciones de estabilidad. Veremos como no se define sobre cuál ha de ser esta proporcionalidad, pero el símil propuesto no ofrece duda. Para que un elemento pesante, el pie o la pared, no se hunda en un material menos resistente, la nieve o el suelo, es necesario ampliar la superficie de apoyo.

El efecto negativo que provoca un cimiento mal dimensionado, es decir, aquél cuya superficie de contacto con el terreno no sea la suficiente, caso de que la fábrica que sobre él carga tenga la resistencia necesaria, es el hundimiento del conjunto: *“Nos vimos una torre junto a Mestri, pueblo de venecianos, la cual después de algunos años que fue acabada con su peso agujereado el suelo sobre el que estaba (como lo mostró el negocio) flaco y debil se hundi6 hasta las almenas altas”* <sup>(5)</sup>.

Tan inmediata es su aplicación y su justificación, que no los considera necesarios cuando el terreno apto para cimentar es superficial. *“El cimiento (si no me engaño) no es parte del edificio, sino lugar y asiento en que se ha de levantar y asentar el edificio mismo, porque si se ofrece sitio macizo y muy constante, y por ventura todo de piedra, como hallaréis algunos acerca de los Vellos, que cimientos habéis de echar allí sino levantar el mismo edificio”* <sup>(6)</sup>.

En la actualidad se da una mayor importancia a la profundidad, pero ese dato no desmerece la claridad de ideas de Alberti: *“Junto a Siena se ven grandes grandezas de torres puestas en el mismo suelo primero y desnudo, porque esta debajo estendido un monte macizo de piedra arenisca”* <sup>(7)</sup>.

A la luz de los conceptos modernos sobre la importancia de la profundidad, y que desarrollaremos en relación con nuestro tema más adelante, la observación de Alberti evidencia una extraordinaria simplicidad. Desde muchos puntos de vista es imprescindible empotrar el cimiento en el terreno aunque sea una cantidad mínima, y es probable que a pesar de no ser recogido en el tratado, esa práctica fuera habitual. En la actualidad es difícil encontrar pruebas en un sentido o en otro, debido a las modificaciones sufridas por el nivel del terreno original en la mayoría de los casos.

Quizás se deba entender el comentario como una reflexión personal muy esclarecedora de su concepto de cimiento: se trata de una obra que es necesaria exclusivamente para llegar al terreno adecuado.

También es consciente de la necesidad de que cada cimiento sea distinto según sea el terreno sobre el que se construye: *“Habéis pues de tener diversa razón de hacer fundamentos, según la diversidad de los lugares. De los lugares uno es alto, otro bajo, y otro medio entre éstos, conviene a saber, el que es cuesta arriba, y éste también uno es seco y árido, como son principalmente los collados de los montes y las cumbres, otro del todo húmedo y mojado, como el que está junto a la mar, y el que está junto a las lagunas y entre los valles. Otro está puesto de tal manera que ni siempre está seco ni siempre húmedo, como de su natural están las cosas cuesta arriba, en quién las aguas no persisten sin moverse y pudriéndose, sino*



son llevadas de alguna caída cuesta abajo, y no os habéis luego de fiar de lugares algunos, hallado que rehúyan el hierro, porque podría ser esto en parte campestre y enferma”<sup>(8)</sup>.

A pesar de lo farragoso del párrafo, parece entenderse una prevención contra los terrenos húmedos, prevención que veremos reiterada más tarde al analizar otras clasificaciones. No se adivina bien cual es la intención de la expresión “rehuir el hierro”, aunque en el mejor de los casos se trata de una clasificación muy simple: hay terrenos que lo rehuyen y otros que no, no siendo oportuno fiarse de esta segunda clase, sin mayores puntualizaciones.

La razón genérica de todo lo anteriormente expuesto está enunciada inequívocamente, así como el requisito necesario para que el apoyo del cimiento sobre el terreno responda a la misma: “Demás de esto el hondo de todo cavamiento se ha de igualar llanamente con nivel, de tal manera que por ninguna parte esté cuesta abajo, para que las cosas que se hubieren de poner estén balanceadas con pesos iguales, porque el peso tiene esto en sí por instinto natural de agravar, y apremiar las cosas mas bajas”<sup>(9)</sup>.

De todas formas siempre es posible establecer una duda razonable sobre la claridad de sus criterios. Al tratar de la ejecución de los cimientos, introduce, mediante el oportuno ejemplo, un concepto inquietante: “Para hacer los recintos, esto es, los fundamentos cumplirlos hasta la área, ninguna cosa hallo acerca de los antiguos que amonesten sino sólo esto, que la piedra que al aire (como arriba diximos) tenida por dos años hiciere vicio, la hechas a los fundamentos, porque como en la guerra los perezosos y flacos que no pueden sufrir el sol ni el polvo, no sin infamia, los toman a enviar a casa de los suyos, así aquí se echan las piedras blandas y sin fuerza para que sosieguen en el antiguo ocio y acostumbrada sombra como menos nobles, aunque yo hallo acerca de los historiadores que los antiguos en el poner de los recintos en la tierra, haber acostumbrado a estrechar con toda industria y diligencia que allí la edificación fuese, cuanto ser pudiese en toda parte mas maciza que en la demás pared”<sup>(10)</sup>.

No se sabe a qué antiguos se refiere en cada caso. Si

se trata de Vitruvio, éste aconseja “la más sólida estructura”. Como por otra parte tan antiguos son los que recomiendan una cosa, poner las peores piedras en los cimientos, como la otra, “Cuanto ser pudiese en toda parte más maciza que la pared”, la duda persiste.

Parece lógico pensar que la recomendación de los antiguos citados en primer término, se refiere sólo al comportamiento de las piedras y no al concepto de cimiento. Aquellas que no resisten la intemperie, lo que no significa que sean las menos resistentes a los esfuerzos mecánicos, deben ponerse en los cimientos. No se trataría de debilitarlos, sino sólo de aprovechar más racionalmente el material disponible. Lo que ocurre es que el ejemplo es demasiado despectivo hacia lo débil, piedras y hombres, y parece otra cosa.

## 5.4 El dimensionado

### 5.4.1 Notas previas a su análisis

A partir del primer tercio de nuestro siglo, la mecánica del suelo se convierte en una ciencia independiente cuyos enunciados se van perfeccionando a la luz de nuevas investigaciones. Como resultado de estos estudios aparecen una serie de modificaciones en el concepto de cimiento desarrollado en el siglo XIX, y que no tienen influencia inmediata sobre el proceso constructivo común más que a partir de los años cincuenta, y eso con bastante lentitud.

Hasta hace muy poco la profundidad mínima se fijaba, cuando la calidad del terreno era suficiente para recibir las cargas del edificio, por medio de cimentaciones que llamamos superficiales por lo menos en 0,60 m y por razones parecidas a las que veremos cita, por ejemplo, Valzania<sup>(11)</sup>. En otros casos en los que necesariamente la profundidad había de ser mayor, la altura del cimiento propiamente dicho, es decir, de la parte considerada como repartidora de cargas y en la que es necesaria toda la anchura de cálculo, se determinaba según el diseño de toda la pieza, teniendo en cuenta la rigidez necesaria en la zona destinada a ese reparto, y dimensionando cada sección del resto de esta altura, según otros criterios en los que se manejaban datos

tales como el pandeo de la pieza, la carga unitaria en cada una de las secciones, etc.

El avance más notable, asimilado muy recientemente a la práctica común de la construcción, se refiere a entender la profundidad, y no sólo la anchura, como un dato imprescindible para determinar la tensión admisible del terreno. Para una capa homogénea, la norma MV101 considera aceptable el doble de capacidad de carga en el caso de rocas y de terrenos sin cohesión, aunque consolidados, y que requieran el uso de un pico para removerlos, (graveras, arenosos gruesos, arenosos finos), según se cimente a 0,50 m ó a 3,0 m de profundidad, y siempre que los cimientos se atengan a una serie de requerimientos muy específicos.

En las formulaciones propuestas por Terzaghi para fijar la profundidad media admisible sobre el terreno, aparece siempre la profundidad como un sumando, es decir, como un dato de cuya magnitud creciente depende en cierta forma una posibilidad resistente útil del terreno cada vez mayor. Con variaciones basadas en sutiles diferencias de las características físicas de cada terreno y en su mayor o menor grado de cohesión, la profundidad, corregida en las fórmulas por coeficientes empíricos, siempre es un factor positivo en el momento de considerar la capacidad resistente del plano de cimentación.

Por otra parte, según los diagramas de distribución de presiones bajo cimientos continuos, éstas profundizan su efecto de forma directamente proporcional a la anchura en cada caso, es decir, que a doble anchura, para una misma carga unitaria los efectos llegan a doble profundidad, lo que repercute en los asientos, que de la misma forma también son proporcionales a esa anchura para el caso de la misma tensión real sobre el terreno. Por lo tanto se puede afirmar a la vista de estos datos que una mayor anchura no mejora, la respuesta del terreno a la carga del edificio, sino todo lo contrario, mientras que una mayor profundidad significa a veces una optimización del conjunto.

A partir de aquí es posible interpretar las recomendaciones que veremos que se efectúan a lo largo de los siglos XVII y XVIII, a fin de considerar la profundidad relacionada con la altura del muro y no con la anchura, lo que puede ser lo mismo que considerarla

relacionada con el peso, como una intuición sobre el verdadero comportamiento del cimiento que después va a quedar explícito en las formulaciones de Terzaghi. La anchura casi siempre aparece como la medida en cuya determinación se hace menos hincapié. Si la mayor anchura va a suponer unos mayores asientos y la profundidad incide positivamente en el comportamiento del conjunto, los conceptos manejados para formular el dimensionado de los cimientos en los autores posteriores a Alberti son acertados dentro de su falta de concreción. Puede que cuando se utiliza ese sistema de dimensionado, se esté aplicando un concepto empírico, que se pierde en el momento en que se hace corresponder a cada carga o esfuerzo, convertido gráficamente en un vector, un elemento resistente específico.

En este caso el peso del edificio es un conjunto de vectores a los que, para conseguir el equilibrio de fuerzas en que reside la estabilidad global del conjunto, se opone la resistencia del terreno, definida como una reacción repartida en la superficie del cimiento.

Con los datos de que disponemos es difícil pronunciarse a favor o en contra de esa suposición, aunque lo cierto es que, si realmente para una misma capacidad resistente del terreno funcionan mejor los cimientos dimensionados de esa forma, por pura observación y a través de la estadística informal que supone la experiencia, no es descabellado suponer que se impusiera, sin apoyatura científica alguna, ese criterio en el dimensionado.

Parece más lógico, ante el hecho inmediato de que el edificio pesa sobre el terreno y éste puede ceder, que fuera la anchura la dimensión cuya determinación tuviera más interés desde nuestro punto de vista. Ya hemos visto como Alberti relaciona la anchura con la capacidad del cimiento para soportar el peso del edificio y repartirlo sobre el terreno. Es la dimensión que, en un primer análisis y en el caso más habitual de zanja continua, para paredes de carga sensiblemente regular y homogénea, determina en gran medida la capacidad resistente del cimiento. Se puede calcular mediante una regla de tres simple que relaciona directamente la tensión admisible del terreno con el peso que arroja el edificio en una longitud también unitaria, sin que este sistema produzca dispersiones excesivas

sobre otros más afinados, y en todo caso produciéndolas por exceso. De todas las descripciones estudiadas se deduce que en la mayoría de los casos se trata de zanjias corridas, aunque en otros, los menos, también se recomiendan las zapatas aisladas o las cimentaciones sobre arcos. Por eso, cualquier regla que permitiera dimensionar la anchura singularmente sería válida.

#### 5.4.2 El dimensionado en Vitruvio

Su primera recomendación sobre las dimensiones necesarias en un cimiento aparece en el Cap. V del Lib. I: “*Se cavará hasta hallar suelo firme si se puede, y allí se tomará mayor anchura de la que se le quiere dar a la pared de fuera de la tierra, en aquel tanto que pareciere conveniente, atendida la magnitud y calidad de la fábrica*”<sup>(12)</sup>.

El redactado sería impecable si en algún otro párrafo se explicara como atender a la “*magnitud y calidad de la fábrica*”.

Más adelante insiste “*(...)conforme a la anchura de la obra y como lo pide la razón. El cual cimiento sea muy macizo por todo el suelo. Sobre la tierra se edifiquen las paredes por debajo de las columnas del medio grueso más anchas que las columnas, que se han de poner encima, para que sean más firmes los fundamentos que lo de arriba, los cuales se llaman pedestales, porque éstos reciben la carga de las columnas, las salidas de las basas no huellen fuera de lo sólido de la pared*”,<sup>(13)</sup> según la traducción de Miguel de Urrea, y: “*Sobre tierra serán las paredes debaxo de las columnas una mitad más anchas que éstas, para que los cuerpos inferiores (llamados stereobate por sostener el peso) sean más firmes que los superiores; y para que las proyecturas de las basas no salgan de lo firme. Las paredes de allí arriba serán del mismo espesor; y los intervalos se cerrarán con arco, o bien se apisonarán fuertemente para que resistan*”<sup>(14)</sup>, para Ortiz Sanz.

No son suficientes desde nuestro punto de vista ninguna de las dos expresiones. Ni “*atendida la magnitud y calidad de la obra*”, ni “*conforme a la anchura de la obra y como lo pide la razón*”, sirven para fijar una

dimensión cierta o aproximada. Dejan este extremo, que debe decidirse de una manera concreta, al criterio del constructor, sin que se le indique de qué forma desarrollarlo.

Más interés tiene el final del párrafo comentado sobre la necesidad de tender arcos entre los fundamentos de las columnas, o en su defecto, apisonar la tierra entre ellos, “*fuertemente para que resistan*”.

Una de las últimas traducciones al castellano publicadas es muy optimista al interpretarlo como “*...el espacio entre estos muros de la estructura inferior habrá de cubrirse con una bóveda o rellenarse con tierra bien apisonada para que los muros se mantengan firmes y separados*”<sup>(15)</sup>. Son riostras lo que está sugiriendo, cuando lo más probable es que se trate sólo de una consolidación del terreno muy inmediata, y unos cimientos secundarios para las paredes de relleno con arcos y no con bóvedas.

Desde el punto de vista del dimensionado, la recomendación de dar a los cimientos media vez más la anchura de la pared que sobre ellos carga no se puede aceptar como buena, ni siquiera al nivel mínimo de receta. Sea cuál sea la carga admisible en la pared, pretender que un terreno por “*sólido y macizo*” que sea va a soportar sólo un tercio menos de esa carga es mucho pretender. Considerar resistencias para el terreno superiores a dos o tres quilos por cm<sup>2</sup> es riesgo que solo se puede asumir conscientemente cuando se dispone de sistemas de medición muy fiables, o cuando el terreno es de excepcional calidad. A la recíproca, adjudicar a una pared, sea cual sea el sistema de construcción, una resistencia inferior a quilo y medio por cm<sup>2</sup> es tener muy poca confianza en lo construido. No parece coherente la proporción. Una receta válida, atendiendo a unas resistencias posibles de un quilo para el terreno y de tres para la pared sería la que definiera la mayor anchura del cimiento como de tres veces la de la pared que carga sobre él. Claro que todo esto son simples reflexiones de quien está excesivamente acostumbrado a unos criterios numéricos en el dimensionado y que quizás no entienda otra coherencia que la de las tensiones admisibles. Pero el caso es que la receta de Vitruvio, entendida como de validez universal al ser la única que figura en el texto, aparece descompensada en favor de terrenos excesivamente resistentes.

No se encuentra en todo el tratado ninguna explicación más concreta sobre el dimensionado de los cimientos, lo que no es de extrañar si se atiende a la nota 1 de la página 18 de la traducción de Ortiz Sanz de 1787: “En ninguna de las tres o cuatro veces, a más de ésta, que Vitruvio manda dar mayor anchura a los fundamentos que a las paredes de fuera de la tierra, la determina, dexándola siempre a la prudencia del arquitecto, atendidas las calidades del sitio, materiales y edificios. NO SIENDO EN REALIDAD DEFINIBLE ESTA MAYOR ANCHURA en los fundamentos, se han dividido los modernos en varias opiniones. Unos quieren que sea doble, otros la mitad mayor, otros un cuarto. Pero todos son pareceres particulares, que no se pueden aplicar generalmente en todas las obras. En las ruinas del Antiguo es cosa bien moderada la mayor anchura de los fundamentos, y en ninguna de cuantas he observado pasa de un cuarto de la pared superior por cada parte. Donde se hayan de sobreponer columnas, es preciso que sean los fundamentos doble anchos que el diámetro de ellas por lo que se dirá en el Lib III”<sup>(16)</sup>.

Más de mil ochocientos años después de que Vitruvio escribiera su tratado, aún se considera indefinible la anchura, lo cual es lógico si se entiende que a lo que se refiere Ortiz es a una dimensión que sea válida para todo tipo de edificio en todo tipo de terreno. Según él, Vitruvio exige lo mismo que nosotros para la definición de la anchura: debe atender “a las calidades del sitio, materiales y edificios”. El hecho de que lo deje a la prudencia del arquitecto puede deberse a que realmente no sabe qué recomendar o a qué lo considera obvio. Mas parece lo primero que lo segundo. Las opiniones de los “modernos” sobre el tema evidencian también la falta de sistemas válidos en tiempos de Ortiz, para determinar la dimensión de los cimientos en función de los parámetros antes citados, carencia que en ese momento se considera prácticamente insuperable.

Cuando Vitruvio puede fijar las dimensiones de una pieza lo hace de una manera muy concreta. Al hablar de los muros de contención, indica; “Pero la mayor diligencia del arquitecto debe ser en orden a la estructura de los cimientos, pues suelen originarse en ellos diferentes vicios por impulso de algunos terraplenes. La tierra no puede tener todo el año el peso

mismo que tiene en verano; porque en invierno con las muchas aguas movedizas que recibe, creciendo en peso y volumen, rompe y rechaza las paredes que se le oponen. Para remediar este inconveniente se harán en primer lugar los cimientos de la fábrica anchos a tenor de la anchura del terraplén: Luego, en la cara se fabricarán unos pilares escarpados, o sea estribos, unidamente con los cimientos, distantes entre sí cuanto los cimientos fueran altos, y tan anchos como éstos en lo baxo; y de allí arriba se irán contrayendo poco a poco, de forma que la parte superior quede tan ancha como gruesa. A la parte interior contra el terreno se fabricarán unos dientes a manera de sierra, también unidos a la estructura del cimiento; las paredes de estos dientes serán tan anchas como la de la obra. A los ángulos de la fábrica tómesese desde el rincón una distancia por cada parte igual a la anchura del cimiento, desde cuyos puntos se formará una pared diagonal, y de la mitad de ésta se dirigirá otra al rincón del edificio. De esta forma el terreno exterior no podrá prevalecer contra el muro”<sup>(17)</sup>.

Lo único que no concreta es la anchura básica de los cimientos que serán “anchos a tenor de la anchura del terraplén”, sin que se indique ese tenor, pero a partir de ahí todas las demás medidas están perfectamente relacionadas. De la misma forma su apreciación sobre el distinto comportamiento de las tierras según su grado de humedad es correcto. La evidencia del desplome de los muros después de lluvias excesivas es una advertencia inexcusable para cualquier constructor consciente.

En realidad, sus limitaciones para establecer el dimensionado están explícitas al principio del libro. “Por la aritmética se calculan los gastos de las obras, se notan las medidas y se resuelven intrincados problemas de proporciones”<sup>(18)</sup>. No se refiere, en ese intrincado problema de las proporciones a los cálculos necesarios para establecer las dimensiones de los elementos resistentes. Sólo se trata de las proporciones formales. Los cálculos sólo son del coste de la obra, y las medidas sólo se “notan”, no se calculan. Y para nada más sirve la aritmética, lo que es un indicio importante del desarrollo del repertorio constructivo, por completo ajeno a un sistema de relaciones basadas en datos sobre su capacidad resistente que implique otros parámetros.

### 5.4.3 El dimensionado en Alberti

Quizás partiendo de la frase de Vitruvio ya mencionada, “*los fundamentos de los edificios se han de cavar hasta lo sólido y macizo*”, o quizás también porque es el dato más obvio, Alberti fija la profundidad en primer lugar y la considera suficiente cuando se llega a la capa resistente: “*Cava hasta que halles lo macizo*”(19).

Parecidas palabras son utilizadas por Diego de Sagredo: “*Item los fundamentos que hicieres penetren toda la tierra que se mostrare movediza*”(20).

Y tan estricto es el concepto que cuando “*lo macizo*” es superficial, recomienda explícitamente que no se cave como ya hemos visto.

La necesidad de establecer la anchura proporcionalmente a la calidad del terreno y a la importancia del edificio, es entendida por Alberti: “*Pero mientras más peso sobre éstas, (las paredes), hubieras de poner, tanto conviene hacer más anchas y firmes las fundaciones y zócolos*”(21). Aparece explícita la expresión “*peso*”, con todo lo que supone de dato cierto. Existen en su época, como no podía ser menos, medidas de peso y sabe que: “*El peso tiene esto en sí por instinto natural de agravar y apremiar las cosas más bajas*”(22). Sin embargo, no existe en todo el tratado ninguna regla, ni siquiera aproximada, que permita esa relación que nos parece imprescindible.

Sin embargo, cuando habla de cimentar con estacas, párrafo que inicia con una explicación sorprendente: “*Hay cosas que se mandan hacer en lagunas, pero más pertenecen al edificar que no a lo de los fundamentos*”(23) es perfectamente conciso en el momento de fijar las dimensiones: “*Fixarás copia de palos y pértigas con punta tostada cabeza abajo, hasta lo alto, de suerte que la área de esta obra sea doblada ancha que lo ha de ser la pared, y sean los palos largos no menos de una octava parte de la altura de la pared que ha de ser, y sea su groseza respecto de su largura, no menos que responda una duodécima parte. Finalmente unos con otros recalzados se fixen hasta tanto que cuando hayas fixado muchos no haya entrada para otros*”(24).

Queda sin concretar cuál es la dimensión de la que se

parte, “*la área de la pared*”, aunque una vez decidido ese dato todo lo demás esté exactamente relacionado, como ocurre con Vitruvio cuando se refiere a los muros de contención con contrafuertes.

De todas formas, la profundidad de las estacas se relaciona con la altura de la pared que “*ha de ser*”, sin que se mencione la situación del posible estrato firme. Atendiendo a un cálculo por rozamiento estricto, en el que no se pretende llegar a ese firme sino repartir las cargas a lo largo de los pilotes por fricción, se puede entender la recomendación formulada: estacas largas no menos de una octava parte de la pared correspondiente como una dimensión cierta, independientemente de que resulte o no aceptable una vez comprobada su capacidad resistente, aplicando nuestros modernos métodos de cálculo. Es de suponer que lo sea. Nada impide a Alberti recomendar una proporción mayor, lo que aumentaría notablemente la capacidad resistente de cada estaca.

Tampoco se relaciona con el peso del edificio, y debemos entender que la altura de la pared es el dato más significativo, hasta que en el siglo XVIII se cuantifica el trabajo de cada elemento en unidades mesurables.

Parece que cuando puede suministrar el dato exacto lo hace, aunque éste sea un argumento realmente débil, para deducir que no lo tiene cuando no lo da, pero el caso es que sus lectores no encuentran un sistema que permita dimensionar con certeza la anchura de las zanjas, y menos relacionada con la importancia de la obra y la calidad del terreno.

El siguiente y último párrafo dedicado al tema tiene un inicio francamente prometedor, aunque el “*cuanto*” se resuelva con un ejemplo. “*Y cuanto sean aptas las columnas para horadar el suelo y cuanto las empujen y apremien los pesos puestos sobre ellas, es indicio el ángulo del noble templo de Vespasiano que mira al poniente del estío, porque como allí quisiesen desembarazar la calle pública ocupada con el ángulo de la área, puesto un arco por la fábrica del templo, dexaron el mismo ángulo como pilar al lado de la calle, y confirmaron la obra como macizo de obra, y ayuda de barbacana. Pero finalmente éste apremiando la gran pesadumbre del edificio, y dando lugar el suelo hizo vicio*”(25).

#### 5.4.4. El dimensionado en otros autores

En el caso de los cimientos y particularmente en lo que se refiere a su dimensionado, nos ha parecido interesante averiguar cuál es el estado de la cuestión con posterioridad a Alberti.

Es un tema que podemos considerar hasta cierto punto diferenciado del concepto de estructura. Una hipótesis puede ser que, sea cual sea el sistema estructural empleado en los edificios, los conocimientos sobre los cimientos sí hubieran podido ser transferidos de una generación a otra de constructores sin que por ello se viera amenazado el secreto medieval. Es más, casi se puede pensar que obligatoriamente debieron ser transferidos, en la medida en que existieron. No se trata de conocer unas proporciones más o menos misteriosas, ni unas formulaciones complejas. Se trata simplemente de que si existe un sistema de clasificación de terrenos, y una manera más o menos cierta de determinar las dimensiones, éstas hubieran debido ser utilizadas con posterioridad con el sólo objeto de que no se cayeran las obras, máxime si el esquema general del edificio es tan radicalmente distinto.

En todo caso, a la vista del resultado podemos afirmar que no introducen ninguna distorsión en el enfoque y resultado de este trabajo.

Pero casi se podría prescindir del intento de encontrar otro tipo de referencias más concretas sobre el dimensionado, a la vista de la nota 1 de la pag 18 de la traducción de Ortiz Sanz. En 1787 sigue siendo, “*en realidad indefinible*” la anchura del cimiento. No obstante, se van acumulando conceptos confusos aunque cargados de un evidente sentido común, en los que de forma cada vez más explícita queda patente la necesidad de la relación que nosotros entendemos como imprescindible, y se incorporan algunas puntualizaciones, en algunos casos procedentes de la lógica constructiva, y en otros de la física abstracta que perfeccionan la idea de cimiento y la hacen relativamente más fiable. Rieger, por ejemplo, analiza el descentramiento de la carga, entendiendo, de alguna forma, que ello provoca un efecto que hay que anular: “*El muro, que se impone a los cimientos, no debe estar siempre en medio de ellos, sino es procurar cargue mayor base hacia la parte, que se acerca más al hipococlio del*

*muro*”<sup>(26)</sup>, reiterando un consejo que ya dieron Vitruvio y Alberti a fin de centrar el peso de cualquier elemento sobre el de abajo, pero afinando el concepto. No sólo se trata de centrar la forma sino, mejor aún, la resultante del peso de la pared.

En Vitruvio y Alberti la profundidad es la necesaria para llegar a lo sólido y macizo, o al terreno firme, no haciendo falta penetrar con el cimiento cuando el buen terreno es superficial. Este concepto, que según un criterio actual es erróneo, es corregido paulatinamente. Valzania recomienda que aunque “*el terreno en la superficie sea de la mayor solidez, no se puede excusar de abrir zanja para el cimiento, a fin de evitar que el edificio por las aguas se socave excepto cuando es peña, por no haber semejante contingencia; pero siempre que la construcción de subterráneos no obligue a más, parece muy sobrado darle al menos, cuando más tres pies de profundidad*”<sup>(27)</sup>, lo que supone un avance sobre la tajante postura de Alberti respecto al tema.

La recomendación se ha mantenido casi idéntica hasta hoy: P. Benavent en Como debo construir, indica para el caso de cimentaciones superficiales, que son las que se efectúan cuando el terreno firme no está a más de 2 ó 2,50 m de profundidad, que la cimentación se haga en zanja corrida, “*partiendo siempre de la altura de un metro (aproximadamente tres pies) como mínimo en un cimiento normal, aunque la escasa profundidad del estrato resistente la exija menor*”<sup>(28)</sup>.

Belidor afirma sobre la profundidad que no puede darse regla cierta, lo que resulta sorprendente si se tiene en cuenta que llegar al terreno firme es imprescindible en cualquier caso, y Penthero en su Segunda parte de la completa introducción a la arquitectura civil, indica que, “*en el caso de suelo firme, ésta debe ser de un sexto de la altura del muro, un cuarto si es de mediana firmeza y un tercio si es menos bueno*”<sup>(29)</sup>, con lo que introduce la calidad del terreno en su determinación, pero no hace intervenir la carga.

Dimensionar así la profundidad puede dar lugar a errores importantes y a desviaciones en el concepto. En algunos casos deja de ser la necesaria para llegar a la capa resistente y se convierte en un dato casi abstracto, no relacionado con la situación de esa capa.

Según un criterio actual, la mayor o menor profundidad influye en la determinación de la presión admisible, pero no parece que sea el caso referido. Debería especificar a partir de qué punto se miden esos sextos, cuartos o tercios, y añadir que con esa profundidad se debe llegar como mínimo e imprescindiblemente a la capa resistente.

Rieger insiste en este sistema de dimensionar estableciendo una relación bastante remota con la carga: “La experiencia ha enseñado ya, que para una casa de dos altos bastan tres pies o a lo más cuatro de altura de la zanja; para casas de tres altos, más a proporción”<sup>(30)</sup>. Nada sobre la “proporción” a la que hay que atenerse ni ningún dato que avale la “experiencia”. Se puede entender que, debido a la semejanza de las crujiás en casi todos los edificios, limitadas por la luz posible con forjados de madera, la carga que el muro repercute sobre el cimiento casi es proporcional a su altura, pero eso es sólo una suposición.

Para la anchura Rieger indica que, “según dictamen de Penthero, ha de determinarse de tal modo, que a proporción de la altura de los cimientos, de dos en dos, o de tres en tres pies de altura o de profundidad, se añada un pie a la anchura del cimiento”<sup>(31)</sup>. Queda relacionada con la profundidad, y como hemos visto que ésta depende de la carga, se podría entender que maneja un concepto global relacionando las dos dimensiones. Pero el orden que establece es muy conciso, y en él la profundidad es lo primero que se determina.

Al mismo sistema, es decir, a la receta de validez universal, recurren los demás autores, y la determinación de la anchura se efectúa por medio de reglas más o menos complejas de relación con la altura, y aun con la importancia del edificio, pero siempre generalizando estas relaciones y sin contemplar la naturaleza concreta del terreno más que de una forma muy remota.

Los tratadistas antes citados abundan en estas recomendaciones. Rieger añade a sus sistemas de dimensionado la siguiente nota: “La regla que se ha de guardar como más conforme a este principio mecánico es disponer de tal modo la anchura de la edificación, o fundamento, que para un muro de veinte pies de alto, se tome el exceso de anchura en el fundamen-

to de cuatro pulgadas de lado o de ocho pulgadas en todo, lo cual será bien observar, aun prescindiendo de otras reglas que suelen tener los arquitectos. De lo dicho es fácil la determinación para las condiciones de cualquier muro por la regla aritmética o regla de tres, Vg. ha de tener el muro sesenta pies: infiérase como se ha de altura veinte pies, ha (tiene) el aumento de la anchura de los fundamentos en cuatro pulgadas; así se ha la altura de un muro de veinte pies, ha el aumento de doce pulgadas que se ha de poner por cada lado de los cimientos; es a saber que la anchura de los cimientos excederá de dos pies, o en veinticuatro pulgadas la anchura del muro maestro alto de sesenta pies”<sup>(32)</sup>.

Como se ve, si bien dificultosamente, son artificios numéricos que quizás pretenden, a falta de cosa mejor, una proporcionalidad formal, un equilibrio gráfico en las dimensiones, más que la aplicación de un concepto técnico, aunque éste esté presente en el planteamiento y se infiera de las proporciones.

Se podrían seguir acumulando citas siempre en la misma dirección. Las dimensiones, por lo menos en teoría, se fijan empezando por la altura del cimiento como una proporción de la altura del muro; Goldamano<sup>(33)</sup> y Scamozio<sup>(34)</sup> recomiendan en este sentido, lo que en el mejor de los casos supone que sólo se tienen en cuenta las cargas debidas al volumen de la pared que descansa sobre el cimiento. En otros depende de la anchura de la pared, como un dato estándar que se mantiene en cualquier caso: Palladio afirma que la anchura debe ser dupla de la anchura del muro que sale fuera de la tierra.

Esta situación, suponemos, provoca el siguiente comentario de Muller en su *Tratado de Fortificación*: “Cuando el terreno es de buena consistencia hasta una profundidad regular y en toda la extensión que ha de ocupar la obra, no hay necesidad de otra precaución que la de abrir una zanja de cuatro o seis pies de profundidad para establecer el cimiento; pero es preciso proporcionar su anchura con la elevación de los muros, pues cuanto más sea ésta, tanto mayor será el peso que cargará sobre los cimientos. Aunque sea ésta una verdad que no necesita prueba, con todo, se desentienden de ella los arquitectos y prácticos, porque ordinariamente proporcionan la base del cimiento

con su anchura y no con la del muro y peso que ha de sostener”<sup>(35)</sup>.

A pesar de un párrafo tan cierto, él tampoco proporciona ninguna indicación, ni aporta un sistema que permita determinar ni siquiera el peso que soporta el cimiento, lo que es sorprendente si se tiene en cuenta que ya calcula muros por procedimientos gráficos, en los que se tiene en cuenta, si bien de forma bastante rudimentaria por lo poco preciso de algunos conceptos, el empuje de la tierra, el ángulo de rozamiento que determina los taludes, etc.

Como faltan los datos claves, la carga unitaria a soportar y la capacidad resistente del terreno, no puede suscribirse al dimensionado estándar y más adelante indica: “Si se encontrare que el terreno es de greda fuerte o arena mineral muy apretada hasta diez o doce pies de profundidad se podrán establecer los cimientos sin recelos de que se flaqueen con cualquier peso que los cargue”<sup>(36)</sup>.

Estos conceptos y sistemas de dimensionado son los que aparecen habitualmente en los tratados de finales del s. XVIII, a pesar de que algunas formulaciones teóricas que se van a vulgarizar a lo largo del XIX ya han sido efectuadas. Ocurre que aún no se han incorporado al recetario habitual de los constructores convertidas en reglas válidas de uso inmediato, lo que no sucede hasta que se manejan habitualmente conceptos como el de carga unitaria y datos como el peso concreto de cada edificio.

## 5.5 Cimientos especiales

### 5.5.1 Cimientos especiales en Vitruvio

Ante la posibilidad de no encontrar próximo lo “sólido y macizo”, recomienda la consolidación del terreno mediante la hincas de pilotes: “Si no se hallare suelo firme, por ser paraje postizo hasta muy hondo, o fuere paludoso, entonces se cavará y vaciará la zanja, y se hincarán dentro estacas de chopo, de olivo, o de roble, chamuscadas, metiéndolas a golpe de máquina. Clavaránse bien espesas, y los intersticios que dexa-

ren se llenarán de carbón. Sobre esta empalizada se construirán los cimientos de estructura solidísima”<sup>(37)</sup>.

Aparecen en este párrafo otras dos clases de terreno; los “parajes postizos”, de relleno, se supone, y el terreno “paludoso”, término que debemos entender por pantanoso. En ninguno de los dos es posible la cimentación directa, aunque el sistema de compactado los vuelve, a juicio de Vitruvio, perfectamente aptos. “Sobre esta empalizada se construirán los cimientos de estructura solidísima”<sup>(38)</sup>, repitiendo palabra por palabra lo que ya dijera en el párrafo comentado anteriormente. La utilidad del carbón como protector ante el ataque de los xilófagos es evidente.

En la actualidad, cuando se utiliza ese sistema se recomienda, además, empezar la hincas por los pilotes perimetrales para conseguir una compactación real. En el caso de comenzar por el centro o por uno de los extremos, en vez de compactarse el terreno expulsa hacia afuera los sucesivos pilotes que se van clavando. Este se puede considerar un detalle de menor importancia, ya que el hecho apodíctico es que el sistema les funcionó a los romanos y sigue siendo válido, a falta de otros mejores, hoy día.

Se podría considerar que faltan detalles sobre el dimensionado de las estacas, así como sobre el número de ellas a colocar, y en qué superficie. De todas formas la expresión “bien espesas” referida a ellas es una indicación bastante cierta sobre la intención del sistema. El término estacas es en la actualidad suficientemente explicativo de unas medidas determinadas. Faltan datos para saber si ocurría lo mismo en tiempos de Vitruvio, pero no es de extrañar que supusiera una dimensión aproximada, por lo menos de la escuadría, de algunas piezas de madera. Queda sin determinar en el párrafo la profundidad.

Cuando se trata de cimentaciones para obras submarinas la técnica es distinta: “La estructura en el agua parece que deberá ser ésta: traeráse del polvo que se halla desde Cumas hasta el promontorio de Minerva, y de éste se mezclarán dos partes con una de cal, del modo mismo que el mortero común. Luego en el sitio destinado se meterán caxones trabados con quartones de roble y con cadenas por todos lados; y se asegura-



rán firmemente. Todo el espacio encaxonado se igualará y limpiará en el fondo desde algunos maderos que se atravesarán para ejecutarlo. Iráse luego metiendo material cementicio y el referido mortero hasta que se llene todo el espacio que ocupan los caxones. Esta prerrogativa de la naturaleza logran los lugares que diximos arriba” (39).

Se puede suponer que los cajones mencionados por Vitruvio son parecidos a nuestras tablestacas. De todas formas a partir de un metro de profundidad parece difícil, en el caso de cimentaciones marinas, conseguir el enjutado total del recinto, lo que no hace falta dada la propiedad del polvo puzolánico, que es a lo que se refiere cuando habla del polvo que se encuentra “de Cumas hasta el promontorio de Minerva”, para fraguar mezclado con mortero de cal bajo el agua de mar, es decir, para proporcionar características hidráulicas al conjunto.

“Donde por la violencia de las olas y refluxos de una playa libre y desamparada no pudieren asegurarse los caxones, entonces fuera del agua o a su lengua se construirá un lecho firmísimo, elevándole horizontalmente hasta casi la mitad de su longitud; la otra hacia el agua se dexará con declivo. Despues por junto el agua misma, y por los lados del lecho referido, se levantará una margen ancha pie y medio con poca diferencia, y tan alta como el mismo lecho en la parte llana.

En seguida se llenará de arena el declivo, igualándole con la margen y llano del lecho. Sobre este llano de arena se fabricará un machón de la mayor magnitud que se pueda; y concluido, se dexará secar por espacio no menos de dos meses. Despues de seco se quitará la margen que sostiene la arena, y corroida ésta por las olas, se hará caer en el agua el machón referido. Continuando de esta forma, se podrá avanzar dentro del mar cuanto se necesite” (40).

Este sistema parece más simple y aporta un dato importante. Las piezas ejecutadas con argamasa se pueden considerar suficientemente consolidados a los dos meses de su fabricación, o por lo menos ésa es la experiencia de Vitruvio en este campo.

Como ocurre a lo largo de todo el tratado, no aparecen

datos suficientes para su dimensionado exacto, ni en lo que respecta a las medidas del “lecho firmísimo” ni, lo que es más importante, en lo referente a la pendiente necesaria para conseguir que, una vez “corroida por las olas” la arena que soporta la mitad del machón, éste caiga al agua, operación que puede presentar más dificultades de las que deja entrever Vitruvio.

“Pero donde se careciere del referido polvo se procederá de esta manera. Méntanse dobles caxones bien travados con tablas, y asegurados con cadenas en el sitio determinado; y luego en el vacío entre uno y otro caxón se irán metiendo esportones de enea llenos de greda, bien apisonados. En estando bien calado y bien denso dicho material, se sacará el agua del caxón interno, agotándolas con cócleas, ruedas o tímpanos; y después se abrirán las zanjas en aquel espacio. Si el suelo fuere de tierra, se profundizará hasta lo firme, y siempre más anchas de lo que ha de ser la fábrica fuera de la tierra. Luego vaciadas de la tierra y agua, se llenarán de estructura compuesta de piedra menuda y mortero de cal y arena. Pero no hallando suelo firme, se hará empalizada de estacas chamuscadas de chopo, olivo o roble, llenando de carbón los intervalos, como enseñamos en los cimientos de teatros y muros. Sobre este suelo se levantará en rededor una pared de piedras esquadradas, lo más largas que se pueda, para que haya menos juntas y traven mejor a las piedras de encima. El vacío que queda en el medio se llenará de cascote o bien de estructura; y en esta forma se podrá levantar aunque sea una torre encima” (41).

Según la nota referida por asterisco que aparece en este párrafo en la traducción de Ortiz Sanz, los cajones dobles se deben entender uno dentro del otro, en cuyo caso queda claro que el relleno de “esportones de enea llenos de greda, bien apisonados” va colocado en el espacio entre ellos. Al estar sujeto ese relleno por las caras paralelas, se deslía menos en el agua y permite el enjutado del interior. Se pueden oponer las mismas reservas que en el anterior párrafo a la posibilidad de que ese agotamiento sea total, con la diferencia de que en este caso no hay puzolana, y muchas más a que se pueda “profundizar hasta lo firme”. En todo caso esta zanja será, como “siempre más ancha de lo que ha de ser la fábrica de fuera de la tierra”, no aportan-

do el resto de explicaciones mas que una novedad sobre lo dicho anteriormente. La base de la pared se debe hacer “*de piedras esquadradas, lo más largas que se pueda, para que haya menos juntas*”. A estas piedras confía toda la capacidad resistente. “*El vacío que queda en el medio se llenará de cascote o bien de estructura*”, entendida en este caso como fábrica.

La especificidad de algunos sistemas de cimentación puede tener otras causas que las puramente constructivas. “*Si a las fortificaciones de muros y torres se añaden terraplenes, serán más seguras; pues así ni los arietes, ni las minas, ni las otras máquinas podrán perjudicarlas. Pues no todo el muro necesita de terraplén, sino sólo a la parte que fuere dominado de alguna eminencia en la campaña, de la cual pudiere ser opugnada la ciudad a pie llano.*”

“*En estos parajes se hará foso muy capaz en anchura y en profundidad; luego la zanja del muro se cavará dentro del foso mismo, y se construirá de tal anchura que pueda fácilmente resistir el impulso del terraplén. A la parte de adentro se construirá otro fundamento, a tal distancia del muro que pueda la tropa formarse y hacer sus operaciones de defensa. Construidos así ambos fundamentos, se construirán otros de traveés entre los primeros, dispuestos en figura de peyne, y como dientes de sierra. De esta forma, el peso del terreno distribuido en pequeñas porciones, y no impeliendo junta toda su gravedad, de ningún modo podrán reventar los fundamentos del muro*”<sup>(42)</sup>. Se trata de reforzar por medio de contrafuertes el muro de contención en que se convierte la parte de la muralla de defensa que se protege por medio de terraplenes.

### 5.5.2 Cimientos especiales en Alberti

Una vez entendido el concepto -el cimiento ha de servir para llegar hasta el terreno firme, y una vez allí ha de repartir las cargas del edificio-, Alberti describe como resolver los problemas que presenta, en casos especialmente dificultosos, este planteamiento: “*En lugares lagunosos conviene abrir una fosa ancha y los lados de la fosa se han de fortalecer por una y otra parte con palos zarzos, tabla, céspedes, lama, y semejantes cosas, para que la agua no escurra. Y luego se*

*ha de sacar la agua, si alguna quedó dentro del fortalecimiento y también la arena, y se ha de limpiar del todo la madre lodosa hasta tanto halles donde repare el pie con la pisada. Lo mismo se ha de hacer con suelo arenisco cuanto convenga*”<sup>(43)</sup>; son unas tablillas que permitirán cimentar en el terreno firme, terreno que se reconoce por la huella que deja el pie en la superficie.

Describe, ampliando el concepto, sistemas para cimentar mediante zapatas en vez de zanjas corridas: “*Y esto hasta aquí los cavamientos, sino es que se haya de añadir, que algunas veces, o por causa de honra, o por evitar el deslizamiento del suelo entremedio, os agrada, no con una y continuada fosa llevar a cabo la obra maciza, más con espacios puestos en medio hacemos fundamentos como quien ha de poner pilares y columnas, solamente para que desde allí hechados arcos de las unas a las otras se levante la pared restante. En éstas se ha de guardar las mismas cosas que hasta aquí hemos dicho*”<sup>(44)</sup>.

Como vemos, la falta de rigor técnico se produce cuando indica en que casos se puede recurrir a este sistema: “*Por causa de honra*” es una razón con poca base científica. Mayor entidad tiene la segunda causa expuesta, “*por evitar el deslizamiento del suelo entremedio*”, aunque, como no dispone de materiales que trabajen a tracción, sea dudoso que los efectos de un corrimiento de las capas intermedias del terreno se puedan evitar de esa manera.

Existen otros casos en los que se recomienda este tipo de cimentación: “*Pues para los órdenes de las columnas no es menester cumplir zanja a la larga perpetuado el derecho camino de la estructura, sino primero conviene afirmar el asiento y camas de las mismas columnas, y despues desde el uno hasta el otro se han de tirar los arcos de éstos vuelta la espada hacia abajo, para que por cuerda le sea la llanura de la área, porque así en un solo lugar puestos de aquí y de allí, los pesos serán menos aparejados para horadar el suelo, resistiendo semejante fortificamiento de arcos*”<sup>(45)</sup>.

Efectuando un análisis estricto del párrafo, se aprecian algunos criterios que hoy nos pueden resultar sorprendentes. En primer lugar, los arcos entre las columnas

sobre los que se han de apoyar las paredes van invertidos sobre el terreno: “*Vuelta la espalda hacia abajo, para que por cuerda le sea la llanura de la área*”. En algún caso, y suponiendo que los pesos que gravitan sobre las columnas sean mucho mayores que los que arrojen las paredes, en caso de que existan, y que además éstos sean inferiores a la capacidad resistente del terreno, con lo que el balance de cargas será uniformemente repartida sobre el extradós del arco y hacia arriba, lo que supone que el arco va a trabajar como tal en sentido inverso, se puede entender que un esquema de este tipo tiene por finalidad arriostrar las zapatas, al trabajar los arcos comprimiendo el conjunto y produciéndose unos empujes en cada columna, hacia arriba y opuestos. Los dibujos y láminas no ofrecen duda sobre la forma en que se entiende construido el conjunto. Esta forma de hacer trabajar a los arcos en las cimentaciones es bastante habitual. La cita Leonardo: “*El arco inverso es mejor para trabajar de espaldas que el ordinario, porque el inverso encuentra debajo de sí muro resistente a su debilidad y el ordinario no encuentra mas que aire*”<sup>(46)</sup>, y se mantiene, como sistema posible en algunos tratados de final del siglo XIX. En el Tratado práctico de las construcciones civiles de Germano Wanderley, se recomienda, en el caso en que la fatiga sobre el terreno sea excesiva, “*unir las bases de los pilares por medio de bóvedas invertidas. Estas bóvedas reparten uniformemente la presión sobre toda la superficie de cimentación*”<sup>(47)</sup>. Aún no se han vulgarizado las losas continuas, y aunque existen materiales que permiten otro tipo de ensanchamientos de la superficie de apoyo, cemento y acero, el sistema consigue, mediante piezas que trabajan preferentemente a compresión, el reparto de las cargas, de la misma forma que los arcos y las bóvedas permiten salvar una luz mayor que cualquiera de las piezas que componen esos elementos, haciéndoles trabajar de la misma forma. Si una bóveda resiste un peso a favor de la gravedad, otra invertida puede repartirlo sobre el terreno por la misma razón, por lo menos en teoría.

Para Alberti, de esa forma el conjunto es menos pesado, ya que al estar los pesos puestos de aquí y de allí, “*serán menos aparejados para horadar el suelo*”<sup>(48)</sup>. De este párrafo parece deducirse que recomienda este esquema en todos los casos en los que aparezcan columnas aisladas, situación en la que seguro que se

produce sobre el extradós de los arcos invertidos la carga uniformemente repartida como resultado del asiento de los machones. Sería la reacción del terreno la que actuaría sobre ellos, mientras éste resistiera en esas zonas. Después trabajarían las pilastras bajo las columnas sobre el terreno firme.

## 5.6 La tierra firme

### 5.6.1 Concepto

Desde nuestra propia experiencia sabemos que no existe una sola clase de terreno apto para cimentar. La norma actualmente en vigor en España reconoce doce tipos distintos, desde la roca a los de relleno, adjudicando a cada uno de ellos una capacidad resistente que varía en función de otros datos, como la profundidad del cimiento o su composición granulométrica. Por lo tanto, más que de un terreno apto para cimentar deberemos hablar de un terreno cuya capacidad resistente se conoce y a la que es posible referirse en el momento de fijar las tres dimensiones del cimiento, entendiéndose esta decisión en su sentido amplio, es decir comprendiendo en ella, y como su consecuencia, la fijación de todas las características del cimiento. Si se trata de una zanja, lo que significa que la tensión admisible se corresponde con la que arroja el cimiento después de ensanchar la pared la cantidad que indique el cálculo, o si se trata de una losa, lo que quedará definido por la necesidad de una superficie de cimentación superior, el resto de los detalles se derivan de ese primer dato y se definen según la tecnología particular de cada caso.

No parece que sea posible esa precisión a la vista de los datos contenidos hasta este momento en los tratados estudiados. Según los requisitos que hemos exigido a la construcción de un elemento, es necesario en cualquier caso que se definan las medidas, por lo que sería necesario que a cada clase de terreno le correspondiera un dimensionado según el edificio a sustentar. Podría considerarse aceptable que singularmente, o agrupados según un criterio más simple, apareciera un sistema de dimensionado referido a esos grupos, en cualquier clase de unidades o simplemente como una

proporción cierta de algún otro dato. Por más datos y definiciones que se encuentren, si no es posible establecer esas medidas como algo cierto, relacionadas con la resistencia del terreno y el peso del edificio, no se podrá entender que el cimiento se construye con conocimientos de causa. Incluso cuando un terreno se considera genéricamente bueno en un área geográfica, y la magnitud de la obra es estándar, se puede aceptar que sobre él es posible construir con unos cimientos de dimensiones también estandarizadas, pero dadas las importantes variaciones que puede presentar su comportamiento según sea la carga a que está sometido, si no están definidos otros extremos, la construcción del cimiento siempre será un albur.

### 5.6.2 La tierra firme según Vitruvio

Hemos visto al analizar el concepto de cimiento de Vitruvio que éste es un elemento que tiene por objeto llegar hasta “*lo sólido y macizo*” cuando no sea superficial, pudiéndose estribar en él la fábrica, con todas las limitaciones puestas en evidencia al estudiar el dimensionado. No se encuentra en toda la obra ninguna otra referencia que permita una mayor definición para determinar y dimensionar el cimiento en cada caso.

Para Vitruvio sólo existen dos tipos de terrenos: el aceptable para cimentar sobre él, “*lo sólido y macizo*”, que suele estar bajo la superficie y al que hay que llegar con los cimientos; y el que no lo es, en cuyo caso hay que utilizar el sistema de compactación por estacas. Desde un punto de vista práctico es posible que ese tipo de clasificación sea válida en ocasiones muy concretas, como hemos visto en el apartado anterior. Pero no se puede aplicar a este caso el beneficio de la duda, partiendo de la posibilidad de que, una vez definido el terreno como bueno sea posible dimensionar unos cimientos tipo para un edificio tipo. Su intención es universalista; habla de construir en parajes muy diversos, y edificios de todas las clases conocidas en su época, lo que según nuestro concepto le obligaría, para que el cimiento se construyera con conocimiento de causa, a una mayor precisión en la definición de la tierra firme, o a una mayor precisión en la descripción de sus diferentes calidades.

### 5.6.3 La tierra firme según Alberti

Alberti supone un avance en el desarrollo del concepto de terreno apto. En el Cap. I Lib. III, señala: “*será pues menester hacer cimientos, que es ir hacia lo hondo y cavar donde se ha de buscar el suelo firme y estable cavada hoyo, y hecha hacia abajo, lo cual conviene hacerse casi en los más lugares en los que se dirá después*”. Además de firme, el terreno debe ser “estable”, lo que, sea cual sea la acepción del término, supone una mejora importante en el concepto.

A continuación da unas normas generales que definen “*el suelo acomodado*”. “*Y serán estas cosas indicios que será el suelo acomodado, si no hay ninguna yerbas de las que suelen estar en lugares húmedos, sino lleva árbol alguno, o solamente aquel que no suele nacer sino en lugar espeso y duro, si en derredor estuviesen pedregosas con piedra no menuda, no redonda sino esquinada y maciza, principalmente con pedernal, si debajo de sí no nacieren fuentes, ni pasa cosa corriente, porque del arroyo es natural, que o siempre robe cuanto pueda, o con el movimiento se lo lleve, y de aquí es, que los llanos junto adonde corre el río no antes guardan firmeza de suelo, hasta que descendáis a la madre*”<sup>(49)</sup>.

Como se ve, el principal defecto que puede presentar un terreno, a juicio de Alberti, es la existencia de agua o humedad abundante, y cualquier indicio de ello es para él causa suficiente de precaución y se ve obligado a no recomendarlo. Desde nuestro punto de vista la recomendación es válida, aunque excesiva. Se dan casos en los que, para que se pueda garantizar una determinada resistencia, es imprescindible que se conserve el grado de humedad del terreno, como ocurre con algunos limos. Un terreno seco y que ofrezca garantías de que no es inundable siempre será más fiable, en general, que uno húmedo, pero eso se nota desde el momento en que se empieza a construir.

Su recomendación sobre las tierras “*pedragosas con piedra no menuda, no redonda sino esquinada y maciza, principalmente con pedernal*” coincide en parte con la norma MV101, si entendemos por piedra no menuda las gravas y gravillas, que aceptan en ese caso presiones admisibles entre 4 y 8 Kg/cm<sup>2</sup>, aunque no haga ninguna diferencia entre las piedras redondas y

las esquinadas, la norma hace la salvedad cuando se refiere a estos terrenos de que no deben presentar en su composición más que “arcillas en cantidad moderada”, por lo que la recomendación de Alberti, desechando todos los casos en los que parecen esos áridos, parece excesiva y se puede considerar dirigida a prevenir los cimientos en los terrenos de aluvión sin consolidar.

Su preocupación por la labor destructora del agua es evidente, y constante como veremos, a todo lo largo de la obra. En este caso, de lo que trata Alberti es de prevenir sus efectos, dado que además no son visibles sino cuando el problema es grave: “Así que o con pozo, o cisterna, o albañar, o con otro cavar más profundo reconocido, y las cortezas que debajo de tierra estaban abscondidas se ha de escoger las más acomodada para cometerle la obra, y demás de esto también en lugar alto, o cualquiera de donde el agua que corre pueda arrancar y llevar alguna cosa aprovechara cavar fosa profunda, porque ser los montes, lavados, limpiados, y por el tanto disminuidos con la acostumbrada continuación de las aguas, son indicios las cavernas relevadas, que de día en día se ven más desembarazadamente, las cuales antes no aparecían por el interponerse del monte” (50).

Es consciente de la insuficiencia de estos datos e indica cuatro métodos que permitirán establecer su calidad en cada caso. “Con todo esto hay argumentos para tentar y conocer la firmeza del suelo, porque cuando revolbéis por el suelo alguna cosa pesada o la dexáis caer desde alto, y el lugar no temblare debajo, o la agua de un plato puesta allí no se encrespase, entonces declararemos que allí promete firmeza” (51).

De estos dos sistemas el primero resulta bastante inconcreto, mientras que el segundo, el de fijar la consistencia del terreno según se comporte un recipiente lleno de agua a un golpe próximo, aún lo hemos visto usar, fijándose para el caso en que la inalterabilidad fuese evidente, resistencias admisibles entre uno y dos kgxcm<sup>2</sup> para obras de pequeña envergadura.

Aporta además otros dos métodos de los que no da detalles. “De las cuales (clases de tierra) todas cual sea la mejor, no se puede dar algún otro cierto juicio, si no uno, que la prueben en qué parte con dificultad

reciba el hierro, y en qué parte hechando agua no se desata, y por esta causa no piensan que pueda haber algún suelo macizo más cierto y constante que el que está debajo del agua que nace por las entrañas de la tierra” (52).

Cuando acepta como terreno apto aquel que “con dificultad reciba el hierro”, si entendemos que en ese caso se refiere al que cuesta trabajo de remover con herramientas metálicas, también hemos de considerar excesiva la precaución. La norma española cuando habla de terrenos sin cohesión, en cuyo caso la presión admisible puede variar desde 1,6 a 8 kgxcm<sup>2</sup>, según el tipo de árido y la profundidad del plano de cimentación, los define como aquellos que “requieren el uso del pico para removerlos”.

Acertado es considerar apto el terreno que “hechando agua no se desata”, si entendemos que los que se desatan son los arcillosos fluidos y limosos saturados, se refiere a los que admiten menos presión en la norma.

En general su clasificación coincide con nuestros criterios sobre la capacidad resistente de los terrenos. Para los que el considera aptos, nuestra norma acepta presiones desde 2,5 kgxcm<sup>2</sup>, lo que ocurre es que no aparece ningún dato a partir de una descripción que permita dimensionar.

La enumeración de las clases de terreno es mucho más amplia que en Vitruvio, pero siempre están referidos a dos grandes grupos: los aptos para cimentar y los que no lo son, y aunque como clasificación básica es perfectamente aceptable, en ningún momento aporta otro dato que permita una mayor concreción a la hora de tomar decisiones ciertas sobre el cimiento.

El mayor rigor se manifiesta en las recomendaciones que afectúa en tres párrafos distintos, además de la ligera referencia anterior, para comprobar el espesor de la capa resistente, extremo éste que no es considerado por Vitruvio: “Sino que levantan en ella sin consideración muy altas paredes, y sin deseo de disminuir el gasto echan a perder todo el edificio y por tanto son bien amonestados que lo primero de todo se caven pozos, y esto así por lo demás, porque claramente se vea cuántas y cuáles sean cada una de las cortezas para tolerar o enflaquecer la obra” (53).

La utilidad de estos pozos es doble: *“Y júntese a esto, que la agua hallada, las cosas que se sacaron sean para muchas comodidades. Allégase también que por aquí abierta respiración dara el edificio firmeza segura y no dañada por los movimientos soterraños de las exhalaciones”* (54).

Produce una cierta extrañeza esta segunda utilidad. Repite la recomendación cuando se refiere al macizo de la fábrica. No se acaba de entender cuál es el peligro que se conjura con esa precaución. Si entendemos que es la presión de vapor de la fábrica, en un alarde interpretativo, también hemos de considerar que en ningún caso la impermeabilidad de la misma es tal que merezca, por sus efectos ruinosos, esa precaución. Los tubos de ventilación de algunas terrazas o los de las grandes masas de hormigón se justifican por la impermeabilidad del conjunto y al objeto de acelerar el secado o de garantizar un grado de humedad similar al de la atmósfera. El concepto es otro.

Vuelve a repetir esta puntualización tendente a garantizar el espesor de la capa elegida, advirtiendo sobre los problemas que plantea errar en la elección: *“Tantas son las cosas que van debajo de tierra sin saberse, a las cuales no seguramente someteréis el peso y el gasto del edificio para que le sostengan, y cierto conviene así en todo el edificio, como principalmente en los fundamentos que no menospreciéis cosa en que se puede echar de menos la razón y diligencia de un cauto y bien mirado edificador; pues si en algo se hierra en las demás cosas, daña más livianamente y se enmienda más facilmente y se sufre más comodamente que no en los fundamentos, en los cuales no se puede admitir alguna excusa del error”* (55).

Su preocupación por el problema es patente, como también lo es su falta de concreción. La tierra, *“(…)tiene cortezas dobles y de muchas maneras, unas de tierra arenisca, otras arenosas, otras pedregosas, y así de esta suerte debajo de las cuales con orden vario e incierto esta otra corteza espesa y cuajada muy fuerte para sostener los edificios, la cual también aún es varia y en ninguna cosa casi semejante a las demás cosas de sus géneros, sino en unas partes durísima que no se puede batir con el hierro, en otras más grasa, en otras negreando, en otras blanqueando, la cual los más la tienen por más flaca, en otras gredosa,*

*en otras de piedra arenisca, en otras mezclada tierra cascajosa con cierto género de arcilla”* (56).

Impecable es su siguiente recomendación: *“Pero a mí me parece que se han de consultar todos los doctos y exercitados habitadores y vecinos arquitectos, por que los tales, por el exemplo de edificios viejos, y con el uso de los que cada dia se hacen, podrán saber fácilmente, cual sea el suelo de la región y cuanto pueda”* (57). La consulta “in situ” sigue siendo una recomendación válida, y un sistema ineludible, en la toma de datos previa a la decisión sobre los cimientos.

En la última línea del párrafo aparece la expresión “cuando pueda” referida al “suelo de la región”. Se puede aventurar que al decir “cuanto” se refiere a una cantidad concreta o a un dato técnico manejable. En ese caso, sería necesario aceptar la existencia de unas unidades en las que expresarla, lo que, con los datos que contiene el resto del libro, no es demasiado creíble. Más probable sería esperar una respuesta simple, del orden de “el terreno es bueno”, o “es malo”, sin que poseamos datos para definir a ciencia cierta la decisión que cualquiera de las dos respuestas provocaría en el constructor en cada caso.

Pero con ello sólo tendremos definido el suelo acomodado, es decir suelo apto en principio para cimentar, sin ninguna otra aclaración sobre cómo hacerlo. Todas las indicaciones se efectúan en ese sentido, abundando en el criterio vitruviano: sobre el suelo apto se podrá cimentar “como lo pide la razón”, o según las normas de dimensionado que hemos visto, mientras que sobre el suelo inconsistente, bajo el cual no se encuentra terreno apto en ningún caso, como ocurre “*junto a Adria y a Venecia donde debajo de amontonamientos no halles otra cosa sino una lama suelta*” (58), lo que coincide con el criterio de la MV 101 cuando, refiriéndose a terrenos de parecidas características indica “*en general resistencia nula, salvo que se determine experimentalmente el valor admisible*”, se cimenta con otros sistemas que nosotros hemos llamado especiales.

## 5.7 Conclusiones parciales

A pesar del sentido común y la intuición que aportan

casi todos los autores sobre el comportamiento abstracto de los cimientos como elemento resistente, no existen en ningún caso datos suficientes que garanticen "a priori" esa capacidad. Ni en Vitruvio ni en Alberti, ni en los autores posteriores hasta finales del s. XVIII aparecen esos datos, aunque su necesidad está perfectamente entendida.

El terreno se clasifica en dos categorías genéricas: los que son aptos para cimentar y los que no lo son, sin que se cuantifiquen en uno y otro caso la capacidad resistente real ni se relacione con el peso que en cada caso arroja el edificio, a pesar de que la expresión se utiliza explícitamente. Dada la amplitud de los límites en que se puede mover la tensión real sobre el terreno para una obra determinada, esta primera clasificación, aunque evita que se cimente sobre terrenos rematadamente malos, lo que se evidencia casi inmediatamente imposible en la práctica, no resuelve el problema de concretar las dimensiones en cada caso. Cuando aparecen otras clasificaciones más pormenorizadas, siempre están referidas a esos dos grandes grupos y con los mismos defectos.

Los terrenos aptos para Alberti coinciden en líneas generales con los que enumera la norma española MV101 con resistencias superiores a los  $2\text{kgxcm}^2$ , por lo que se puede entender que la definición es correcta. Indica además tres sistemas que permiten clasificar cualquier terreno. Dos de los mencionados, el de la vasija de agua y el del golpe, aún hoy se consideran válidos a falta de otros procedimientos mejores, pero en nuestro caso se extraen datos que permiten un cálculo numérico de la anchura del cimiento, es decir, que permiten tomar la decisión dimensional cierta: el cimiento ha de llegar hasta aquí, dicho de una forma coloquial. Se mantiene la duda sobre cuál era el mecanismo que decidía este extremo en el periodo que nos ocupa. No es aceptable que sea posible tomar la decisión basándose exclusivamente en el dato sobre la "bondad" del terreno y menos a la vista del recetario de normas que aparece tanto en Vitruvio y Alberti como en el resto de los autores estudiados.

No relacionan, además, de forma unívoca la calidad del terreno con las características del edificio, para la anchura, cuando se trata de zanja corrida, o al total de la superficie cuando se trata de pilastras aisladas.

Se puede interpretar que las indicaciones que a modo de recetas van apareciendo sobre el dimensionado, y que se inician en Vitruvio, tienen más que ver con el concepto de proporciones formales que con el de resistencia, a pesar de que los autores las entienden según este último criterio. Parece que existe una cierta fascinación pseudocientífica al enunciarlas basadas en proporciones más o menos misteriosas: vez y media, dos veces, un pie por cada seis de altura, etc., son fórmulas que evidencian una confianza excesiva, si no son referidas a otros parámetros.

Las desproporciones que desde el punto de vista de nuestra lógica se manifiestan en Vitruvio, cuando fija el dimensionado de la anchura en vez y media la de la pared que descansa sobre el cimiento, se pueden interpretar desde el punto de vista expresado al comentar la cita. Se trata de que a los constructores de la época no les preocupa, quizás porque no pueden definirla, la condición necesaria para la estabilidad de la obra. Ni tan siquiera definen lo suficiente por demasía. Parece como si las medidas se fijaran según unos criterios formales, sólo que, en este caso, al quedar enterrados, no se pueden justificar por razones estéticas. Aun aceptando esta suposición, no se puede afirmar tampoco que existan unas proporciones ciertas. H. E. Kubach, en su *Arquitectura Románica* indica que "Los cimientos revelan el espesor de los muros, pero no varían, como es normal hoy, según su altura. No se pueden deducir de la profundidad de los cimientos las variaciones de la presión sobre el terreno debida a la diversa altura de las partes construidas. Por eso no podemos deducir con seguridad de los cimientos la altura de lo construido"<sup>(59)</sup>.

De todas formas el problema se puede plantear al revés, partiendo de paredes cuya anchura se corresponde a su capacidad resistente, de seguir de forma estricta la recomendación vitruviana se puede dimensionar un cimiento escaso. Cuando en el párrafo 33 del Cap.VII Lib. II describe las paredes de los edificios de un pie y medio de anchura, medida determinada por ley para mejor aprovechar el suelo de la ciudad, si se aplica estrictamente su recomendación, los cimientos serían de dos pies y cuarto, unos setenta y cinco centímetros, lo que aceptando que los edificios son de un "buen número de altos" puede suponer una elevada fatiga del terreno, habida cuenta de la anchura de la pared.

Puede que no sea de su interés como constructor aprovechar, como lo hacemos ahora nosotros, el máximo de las posibilidades resistentes de la pared. Sería quizás objeto de otro trabajo definir la fatiga real de los terrenos sobre los que se cimentan la mayoría de obras romanas. En cualquier caso sólo aportaría a nuestro empeño la certeza de las posibilidades resistentes del conjunto de lo construido: las obras, como ya hemos dicho en repetidas ocasiones, están ahí.

En Alberti está casi todo lo necesario para desarrollar correctamente el concepto de cimientos, pero falta también casi todo lo que pudiera servir para su dimensionado. Como quiera que éste se efectuó en todos los casos según algún criterio, faltan datos para decidir cuál fue el que se utilizó en cada caso. Sus recomendaciones sobre la inutilidad del cimiento cuando la capa apta es superficial impiden extraer otras consecuencias de sus conocimientos.



**NOTAS DEL CAP. 5**

- (1) Vitruvio (2). Lib. I. Cap. III. Pág. 22.
- (2) Vitruvio (2). Lib. I. Cap. V. Pág. 32.
- (3) Vitruvio (2). Lib. V. Cap. III. Pág. 7.
- (4) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 63.
- (5) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (6) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. I. Pág. 62.
- (7) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. I. Pág. 63.
- (8) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (9) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (10) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. V. Pág. 69.
- (11) Valzania, Francisco Antonio. Instituciones de Arquitectura. Sancha. Madrid 1792.
- (12) Vitruvio (2). Lib. I. Cap. V. Pág. 33.
- (13) Vitruvio (1). Lib. III. Cap. III. Pág. 41.
- (14) Vitruvio (2). Lib. III. Cap. III. Pág. 24.
- (15) Vitruvio (3). Lib. III. Cap. IV. Pág. 64.
- (16) Vitruvio (2). Nota 1. Pág. 18.
- (17) Vitruvio (2) Lib. VI. Cap. XI. Pág. 52.
- (18) Vitruvio (2). Lib. I. Cap. I. Pág. 3.
- (19) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 64.
- (20) Medidas del Romano. Diego de Sagredo Toledo 1526.
- (21) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 67.
- (22) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 67.
- (23) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 67.
- (24) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 67.
- (25) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. V. Pág. 70.
- (26) Rieger. Op. Cit. Lib. IV. Cap. I. Pág. 237.
- (27) Valzania. Op. Cit. Lib. IV. Cap. I. Pág. 237.
- (28) Benavent, Pedro. Como debo construir. Bosch, Casa Editorial, Barcelona 1939.
- (29) Rieger. Op. Cit. Pág. 56.
- (30) Rieger. Op. Cit. Pág. 231.
- (31) Rieger. Op. Cit. Pág. 57.
- (32) Rieger. Op. Cit. Pág. 57.
- (33) Goldmano. Referencia en Rieger. Op. Cit. Pág. 56
- (34) Scamozzio. Referencia en Rieger. Op. Cit. Pág. 57
- (35) Muller. Op. Cit. Pág. 263.
- (36) Muller. Op. Cit. Pág. 263.
- (37) Vitruvio (2). Lib. III. Cap. III. Pág. 25.
- (38) Vitruvio (2). Lib. III. Cap. III. Pág. 25.
- (39) Vitruvio (2). Lib. V. Cap. XII. Pág. 57.
- (40) Vitruvio (2). Lib. V. Cap. XII. Pág. 58.
- (41) Vitruvio (2). Lib. V. Cap. XII. Pág. 60.
- (42) Vitruvio (2). Lib. I. Cap. V. Pág. 38.
- (43) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (44) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 67.
- (45) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. V. Pág. 70.
- (46) Leonardo. Códice Tribulciano. Milán. Pl. XXXII.
- (47) Wanderley, Germano. Tratado Práctico de Construcción Civil. Trad. al francés por A. Bieber. Bernard y cia. París 1896.
- (48) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. V.
- (49) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. I. Pág. 63.
- (50) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (51) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 65.
- (52) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 63.
- (53) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (54) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. III. Pág. 66.
- (55) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 64.
- (56) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 64.
- (57) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 65.
- (58) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. II. Pág. 65.
- (59) Kubach, H.E. Arquitectura Románica. Electa Editrice. Milán 1978.

## 6. Las fábricas en los tratados

### 6.1 Consideraciones previas

La definición de las fábricas de muros es en la actualidad un tema complejo. No sólo se atiende a la resistencia, medida según múltiples parámetros, sino que se define la capacidad de los muros ante diversas sollicitaciones, su coeficiente de aislamiento, su capacidad como barrera de vapor, la reflexión a la carga térmica solar, etc. Es evidente que no se debe esperar nada de esto, pero la evidencia de que son elementos resistentes, quizás los que definen de forma más definitiva la pervivencia de un edificio, sí que está presente en los tratados que analizamos.

En ambos el tema aparece con más extensión que los cimientos, pero con la misma falta de referencias a la hora de establecer condiciones mínimas que garanticen su capacidad resistente.

Vitruvio presenta, además, una cierta oscuridad, oscuridad que hemos tenido la oportunidad de comprobar personalmente cuando coordinamos la primera traducción de Vitruvio al catalán.

Lo que parece su gran problema, y es de suponer que de todos los constructores hasta que se define el proceso científicamente, es que desconocen el mecanismo del fraguado y endurecimiento de los morteros. Una vez cargadas las paredes se produce, por causas misteriosas que con poco fundamento relaciona con la calidad de las piedras -las clasifica según unos criterios de difícil aplicación práctica- y con el grado de humedad permanente de la fábrica, una resistencia capaz para las cargas que sobre ellas gravitan. De no ser así se produce un aplastamiento, que es menor cuanto más regulares y ortoédricas son las piedras del relleno, y cuya manifestación externa es la deformación del

recubrimiento exterior y su separación del núcleo del muro.

La solución de intercalar tizones -“*diatomos*”- en la fábrica, además de ayudar a la unión de las tres capas del “*emplectum*” tradicional sirve para transmitir la carga más uniformemente en todo el espesor del muro y en toda su altura.

Desde un punto de vista actual sería muy complejo, adjudicar de forma inequívoca una capacidad resistente concreta a un determinado tipo de muro construido según el esquema vitruviano. Si atendemos a las modernas teorías sobre resistencia de materiales, cada una de las tres partes del muro absorbería una parte de la carga superior, en caso de que ésta se repartiera uniformemente sobre toda la superficie considerada, proporcional a su módulo de elasticidad, y ello en la medida en que el conjunto se pudiera considerar absolutamente solidario.

No obstante, ocurre que la desproporción formal entre el núcleo y las caras exteriores es a veces importante, así como la que existe entre los módulos de elasticidad de las tres capas. Siendo la interior o núcleo la más ancha, aunque sea la de mayor capacidad de deformación al ser la que proporcionalmente contiene más mortero, es la que recibe mayor carga, lo que provoca un mayor aplastamiento, con el consiguiente abombamiento de las caras exteriores que, ante tal efecto, se separan del núcleo.

Cabría a este respecto repasar los despieces de Viollet le Duc y de otros autores posteriores, que consideran uniforme el comportamiento del muro ante una carga que a veces gravita exclusivamente sobre una de las caras como es el caso de capiteles de remate de

columnas adosadas a muros o pilastras de gran sección.

Por lo que respecta a Alberti, podríamos dividir los conceptos manejados en el tema de las fábricas en dos apartados. Por una parte aparecen una serie de recomendaciones de diseño: Los muros deben tener sus partes diferenciadas y cada una de ellas cumple un papel determinado, cornisas, zócalos etc. De entre estas recomendaciones, unas tienen por objeto defenderlos de la intemperie, mientras que otras pretenden dotarlos de mayor capacidad resistente, entendiendo esto último en su sentido más artesanal. No se trata de conseguir un resultado determinado, sino de evitar patologías derivadas de una mala ejecución, tendencia que de alguna forma se ha mantenido hasta hoy.

Otra serie de consejos dispersos trata de conseguir casi exclusivamente una mejor puesta en obra. Son consejos también de ejecución que, aunque suponen un conocimiento bastante ajustado de las condiciones de trabajo de las fábricas, no aportan conceptos que sirvan para su dimensionado cierto, ni tan siquiera para establecer unas condiciones previsibles de comportamiento. Se trata en general de recomendaciones que permiten una ejecución correcta a los albañiles, pero que no solucionan el problema de las determinaciones exactas a los arquitectos, lo que podemos considerar inevitable si se tiene en cuenta el repertorio científico de la época.

## 6.2 Las fábricas en Vitruvio

Lo primero que hace es clasificarlas en dos tipos genéricos: “*Los géneros de la estructura son éstos: enredado, del cual todos usan ahora, y el antiguo, al cual llaman incierto*”<sup>(1)</sup>.

Establece inmediatamente una valoración estética y resistente de cada uno de ellos: “*Destos edificios, el más hermoso es el enredado, y por tanto es el más aparejado para hacer hendeduras y resquebrajos, por que de todas partes tiene sueltas las haces y ligazones, la incierta asentando unas piedras ligándolas entre sí sobre otras, no se hace el edificio hermoso pero es más fuerte que el enredado*”<sup>(2)</sup>.

Un juicio tan tajante por parte del propio Vitruvio pone en cuestión la esencia misma del *opus reticulatum*, tan usado por los romanos. En la traducción de Ortiz, en la nota siguiente correspondiente al párrafo, éste indica: “*Son tantas las ruinas y edificios aún existentes en Roma y su campaña de estructura reticulada, que sería molesto el referirlos. Pero es digno de notar, que siendo esa estructura hermosa y agradable a la vista, no obstante solían muchas veces los antiguos cubrirla de revocos y enlucidos bien gruesos, estucos, pinturas, etc.; cosa que habiendola observado en diferentes ocasiones y lugares, nunca dexó de maravillarme, sin poder entender el motivo de que pusiesen tanta exactitud y trabajo en el reticulado que debía quedar cubierto de jaharrado*”<sup>(3)</sup>. La duda que se plantea Ortiz es perfectamente razonable. El reticulado es más difícil, menos resistente, y su única ventaja, el ser una estructura “*hermosa y agradable a la vista*”, se desperdicia al revocarla. No se ve el intrínsculo de su uso. Lo que puede ocurrir, y ésta es una suposición a humo de pajas seguramente, es que el *reticulatum* resolviera en su origen el problema del recibido con morteros de difícil fraguado, y que cuando las juntas son horizontales rebosan durante largo tiempo. Las juntas en el *reticulatum*, por su disposición oblicua, no reciben tan directamente el peso de las hiladas superiores, además de que pueden ser más estrechas sin afectar a la estabilidad de la fábrica durante su construcción.

En la actualidad se ha enunciado una teoría sobre el caso que puede proporcionar una explicación más ajustada a la realidad. A lo largo de la vida de un edificio, una de las maneras de adecentarlo y renovarlo es unificar su aspecto por medio de un revoco. Puede que el *reticulatum*, que es un aparejo que sólo afecta a las caras exteriores del muro, pensado en su origen para ir visto, se revocara en algunos edificios con motivo de algún tipo de rehabilitación.

Se debe manejar este dato a la hora de enjuiciar el sentido del *opus espicatum* prerrománico. Puede ser un empeño estético, o pura facilidad de colocación de piedras de laja con morteros deficientes, pero si atendemos a una posible continuidad de conocimientos, o lo que es más inmediato, a una capacidad de juicio de los constructores medievales, en ningún caso se puede afirmar que sirva para reforzar nada.

El tamaño idóneo de las piezas de la fábrica lo establece Vitruvio, aunque de una manera poco concreta. “*Y el un edificio y el otro han de ser de piedras menudas, por que hartas las paredes de cal y arena duran más tiempo*”(4). No queda claro cuanto han de ser “*menudas*” las piedras. Este párrafo está en abierta contradicción con otros en los que las piedras de gran tamaño se recomiendan por su mayor resistencia.

La razón de recomendar este tamaño está expuesta a continuación: “*Pero si son delicadas, y de poca fuerza, y virtud, se secan chupado el xugo de la materia, mas cuando hoviere copia de cal o arena, teniendo la pared mucho humor, no desfallecerán tan presto, antes estos materiales la conservarán, pero luego que el humor de la materia se gastare por la rareza de las piedras, apartándose la arena de la cal se desata, y allende desto las piedras no se pueden apegar, antes hacen que las paredes se desmoronen y se caigan*”(5). Obedeciendo a motivos similares, entre otras razones, en la actualidad se mojan los ladrillos antes de recibirlos en la fábrica. Se trata de evitar que la capacidad absorbente de unos elementos excesivamente porosos provoque la deshidratación del mortero. No parece que Vitruvio contemple esa posibilidad.

En la actualidad, cuando se trata de construir con mampuestos irregulares, se trabaja con morteros de consistencia muy seca que evitan el deslizamiento de las piedras. No se puede considerar demasiado práctica la recomendación de Vitruvio, a no ser que se trabaje con mampuestos muy regulares, cuyas caras apenas permiten el acuerdo y unas juntas de mortero regulares. Desde nuestro interés por su posible relación con la construcción medieval, el consejo se puede considerar irrelevante. Las cualidades y posibilidades de uso de cada mortero, una vez que desaparece el empleo masivo de la puzolana, debemos suponerlas conocidas por los constructores locales, sobre todo en lo que se refiere a la proporción de agua, a la consistencia posible y a su facilidad de manejo. Veremos en Alberti que el proceso de fraguado y endurecimiento es algo misterioso cuyo resultado final se deduce de datos no excesivamente científicos.

Por otra parte, para los que pretenden un mínimo de continuidad en las técnicas, el esplendoroso *more goticum* que refiere San Isidoro en sus Etimologías, a base

de grandes sillares asentados sin mortero, (San Juan de Baños y Quintanilla de las Viñas) y que tiene su equivalente en Italia (Sebanípale) supone una ruptura importante sobre la manera de construir recomendada por Vitruvio.

La introducción del sillarejo en las construcciones es entendida por Choisy y Puig i Cadafalch como una de las llaves que abren las posibilidades constructivas del románico, ello casi mil años después de Vitruvio. Rolland Bechmann considera que el tamaño menudo de los sillarejos románicos, que se mantiene hasta bien entrado el gótico, se debe a la necesidad de disponer de piezas de poco peso y fácil manejo. Posteriormente, en el Renacimiento, la apariencia feroz de algunas fábricas se consigue con aplacados que en muchos casos no respetan el despiece aparente, por lo que la presencia de Vitruvio en este aspecto es realmente nula, de acuerdo con los datos que poseemos hoy.

Tres cualidades distingue Vitruvio en las piedras para describirlas: “*Fuerza, virtud y rareza*”. Las de poca fuerza y virtud son “*delicadas*” y ello supone que “*se secan chupando el xugo de la materia*”, mientras que la “*rareza*” hace que se “*gaste el humor, (humedad) de la materia*”. En todos los casos deben ser las porosas.

Como resumen podemos deducir que la capacidad resistente de las fábricas romanas, por lo menos en lo que se refiere a los conocimientos de Vitruvio, dependerá de la capacidad del mortero para mantener el grado de humedad necesario para su fraguado, siendo en este caso preferible un exceso de agua a un defecto. La explicación se puede entender razonable si se considera que un mortero desagregado tiene el aspecto de un montón de arena ligeramente teñido por la cal. Cuando se le agregó agua antes de su colocación era toda una promesa de capacidad resistente; el fallo debe venir por ahí.

En el párrafo siguiente comenta el problema planteado “*en algunos monumentos que están hechos cerca de Roma de mármol y piedra cuadrada, los cuales porque en medio por parte de dentro están llenos de ripio, y piedras menudas con la vejez gastada la materia de la cal, y despegada de las piedras y corrompidas se caen, y sueltas las ligazones de las junturas se*

*hacen pedazos*”(6). Recomienda al que *“quisiere no dar en este vicio, llene lo hueco del medio entre las dos hazeras de las paredes, haciendo un ortostato, o con piedras cuadradas, o coloradas, o con tejas quebradas, o con pedernales, y con sus chapas o crampones de hierro emplomadas, enlace y asga las piedras por las juntas, y no amontonando el edificio de la pared, sino edificándolo por su orden, durará para siempre sin vicio*”(7).

Este sistema genérico de construir muros, que alcanza con los romanos su total vigencia, corregido con algunos detalles estructurales cuya intención aún nos es desconocida, como ocurre con los sucesivos arcos ciegos del Panteón de Adriano en Roma, permanece vigente prácticamente y con ligeras variantes hasta mediados del siglo XIX. Cambian el tamaño de los sillares, el aspecto exterior, la calidad y aparejo del relleno, el tipo de mortero y un sinfín de detalles, pero el concepto principal, dos caras de buena vista aplacadas, o contenidas, o ancladas en una masa central imaginada como relleno, es constante a lo largo de dos mil años.

En cada caso y de acuerdo con las necesidades de cada momento, se le irán añadiendo ligeras variantes y se cuidará más, según unas prioridades muy concretas, un extremo u otro, pero la idea central es inamovible y, lo que supone casi el eje central de este parte de nuestro trabajo, en ningún caso se tienen en cuenta datos ciertos que permitan su dimensionado o su subordinación a criterios de resistencia.

En la descripción de Vitruvio aparecen chapas o crampones de hierro como una solución inmediata a la posibilidad de que las dos *“haceras”* exteriores de la pared se despeguen. Eso y no otra cosa son nuestros anclajes de acero galvanizado, aunque el carácter del relleno, único elemento resistente del conjunto, haya variado sustancialmente.

Cabe hacer una reflexión sobre las recomendaciones vitruvianas. Si tenemos en cuenta que el relleno es una masa fluida hasta que no se produce la carbonatación del mortero, y que las caras exteriores del muro presentan forzosamente una muy pequeña resistencia al empuje de dicha masa, excepto en el caso de que se trate de sillares de gran tamaño, es imprescindible,

para poder construir sin que se produzca el colapso durante el proceso, o sin que sea necesario esperar a un mínimo endurecimiento del relleno, que éste esté colocado según un cierto orden. Sería aventurado, a la vista de los datos que poseemos, ir más allá en la interpretación del texto. Una vez producido el fraguado de la masa interior, las posibilidades resistentes que presenta este tipo de muro dependen de un gran número de parámetros, entre los que destacan los módulos de elasticidad de la fábrica de las caras y su comparación con el de la masa resultante en el centro, en el caso de que se pueda considerar la carga uniformemente repartida en la superficie superior del muro, para que, aun siendo muy remota, se pueda suponer una relación directa entre sección y resistencia admisible, resistencia que por otra parte supondría el conocimiento de la carga y su forma de reparto, lo que no parece ser el caso de Vitruvio.

Más parece que, por ser las caras un encofrado débil, se les quiera evitar un trabajo excesivo durante la construcción. Después, la resistencia, incluso en el caso de que se trate de una masa informe, dependerá, de la calidad y cantidad de mortero, de no ser un relleno rigurosamente ortoédrico, pero en algunos casos en sentido contrario al que indica Vitruvio, es decir, que a más mortero menos resistencia. Sólo en el límite de su resistencia el interior presionaría de una manera notable sobre las caras exteriores.

De todas formas recomienda asegurar la coherencia del relleno, cómo disminuir su empuje y cómo absorberlo en el caso que se produzca dentro de unos ciertos límites. Más no puede hacer.

Además, con este sistema *“los cubículos, o asientos que se hacen en el edificio que se hace, para meter las cabezas de las vigas, y el cognomento, que es la cal, morteros asentados entre sí con las juntas de las piedras, no comoverán la obra, ni se derribarán, ni los ortostatos las piedras con sus juntas encaxadas estando ligadas entre sí dexaran caer el edificio*”(8).

La conclusión que podría obtener un constructor de este párrafo es que el relleno se debe hacer con un cierto orden, lo que es beneficioso para la duración de la obra, extremo éste en el que coinciden tanto Vitruvio como Alberti.

Con respecto a la medida cierta, hay que señalar que en su referencia no aparece ningún dato que permita relacionarlo, ni con los materiales y su capacidad resistente, ni con el tipo de aparejo de forma inequívoca, ni con el tipo de edificio en cada caso. Se trata, ante lo escueto de su enunciado, de una medida de validez universal, lo que la inhabilita para ser entendida como una recomendación válida desde el punto de vista estático. No obstante es una referencia cierta.

Para Vitruvio presenta notables ventajas el método griego: *“Así que no es de menospreciar la manera de edificar los griegos, los cuales no usan de cimientos delicados de piedras blandas para mampostería, ni pulidos, más cuando dexan de edificar con piedra cuadrada, ponen una hilada de pedernales, o de piedras duras, como si edificasen con ladrillos, ligando las juntas de los pedernales con hiladas a veces, una de sillares, o piedras cuadradas, y otra hilada de pedernales o piedras duras, y así hacer el edificio tan firme que dura para siempre. Mas estas paredes, o muros son de dos maneras. La una se llama isodomo, y la otra pseudosodomum. Isodomo es cuando las hiladas de piedra son de igual groseza. Pseudosodomum es cuando no son igualmente gruesas, Cualquiera de estos dos generos son firmes”*<sup>(9)</sup>. Se podría añadir que además son caros, sobre todo cuando se construye con *“piedra cuadrada”* exclusivamente, razón por la cual es difícil encontrar obras en las que se apliquen de forma sistemática.

El sistema alternativo, es decir, el que utiliza *“hiladas de pedernales, o de piedras duras, como si edificasen con ladrillos”* es utilizado con bastante frecuencia por los romanos, y de una manera o de otra aparece a lo largo de toda la historia hasta prácticamente nuestros días. Unas veces como motivo decorativo y otras como una imprescindible regularización de la fábrica, el caso es que las hiladas alternadas de piedras duras, ladrillos, o simplemente sillares escuadrados se encuentran en todos los sistemas constructivos.

La firmeza que proporciona la fábrica de sillares según *“la manera de edificar de los griegos”*, para Vitruvio se debe a que: *“las piedras de la mampostería estén espesas y macizas, y así no pueden chupar el humor de la materia de la cal, antes se conservan en humedad hasta la vejez”*<sup>(10)</sup>.

De nuevo el que las piedras no puedan *“chupar el humor de la materia de la cal”*, lo que para él es lo mismo que no perder *“la humedad hasta la vejez”*, es la garantía de una correcta conservación de la fábrica, lo que supone en este caso que se va a mantener la capacidad resistente del mortero. Para nada se tiene en cuenta que las cargas verticales se transmiten mejor a través de unas caras horizontales paralelas. La ventaja se obtiene al evitarse el proceso de desagregación debido a la pérdida de la humedad.

Además, con el sistema griego *“los cubículos destas paredes puestos llanos, y a nivel, no dexan caer la materia o madera, antes en la perpetua groseza de las paredes se tiene perpetuamente”*<sup>(11)</sup>. Como se ve todo son ventajas.

*“La otra estructura, o pared, es la que los griegos llaman emplecton, de la cual también usan nuestros rústicos, labrando las frentes de las paredes, dexándose lo demás tosco y por labrar, asientan las piedras con la cal y júntanlas con argamasa”*<sup>(12)</sup>. Se trata de la mampostería concertada que aún se utiliza, aunque no queda claro cuál es el tipo de trabajo que se ejecuta en las caras vistas. *“Mas los nuestros, teniendo en cuenta que la obra se acabe presto, poniendo hiladas de piedras levantadas y derechas, sirven las haceras de la pared, y el medio hínchenlo de ripios menudos, quebrados de piedras, y apartados con la materia de la cal, y así se hacen tres costras en el tal edificio, dos para las haceras, y otra en medio llena de ripio”*<sup>(13)</sup>. A pesar de la queja de Vitruvio, queja que se puede compartir genéricamente, el caso es que el relleno de ripio es prácticamente el más utilizado en todos los casos, dependiendo de muchas circunstancias la calidad de dicho relleno. No es hasta el Renacimiento cuando, quizás por influencia de Vitruvio, o quizás simplemente por un aumento en las disponibilidades de ladrillos, lo que significa una mejor técnica en el cocido de la cerámica, se construye con el macizo interior cerámico, por lo menos en las obras de mayor importancia, dándose el caso de que se fabrican ladrillos apantillados para preformar las molduras.

De todas formas, en el párrafo no aparece ninguna referencia a la calidad del mortero, que es en definitiva una de las causas que podría garantizar la resistencia del relleno.

Su explicación de los defectos que el sistema de relleño irregular provoca en la pared es perfectamente clara: “*Así se hacen tres costuras en el tal edificio, dos para las haceras y otra en medio llena de ripio*”. “*Los griegos no edifican así, antes asentando llanas las piedras, y engrosando lo largo de las hiladas con juntas, no echan nada en medio, mas de sus sillares que traban todo el muro, hacen una mesma groseza en la pared*”<sup>(14)</sup>. Desde un punto de vista abstracto podría parecer que el sistema griego que Vitruvio defiende tan insistentemente es el que mejor resultado puede dar. Se trata de una fábrica a base de sillares regulares perfectamente sentados unos sobre otros con una cantidad mínima de mortero en las juntas o sin él. La realidad demuestra que eso no es cierto. En el área mediterránea por lo menos, la actividad sísmica es continuada, y ese tipo de obra, en la que no aparecen más esfuerzos que los verticales que se transmiten de cara horizontal a cara horizontal, es más susceptible de abrirse que la construida con piedras irregulares o la recibida con mortero. En el primer caso, y para evitar este defecto, es un ejemplo la fábrica ligeramente inclinada hacia adentro de las pirámides. Cualquier movimiento abre grietas irreparables, mientras que en otros tipos de estructura los movimientos sísmicos, de no alcanzar una intensidad elevada, provocan un encaje de las piezas que retrasa el agrietamiento de la fábrica. Incluso en el caso de fábricas recibidas con morteros deficientes, su propia elasticidad puede ser una garantía de supervivencia ante algún tipo de movimientos de la obra.

A continuación recomienda un sistema de indudable valor práctico: “*Y además desto entreponen sus piedras con haceras de entramas partes porque atraviesan todo el muro, que los griegos llaman diatonus. Las cuales piedras ligando y trabando, confirman y sueldan la pared*”<sup>(15)</sup>.

A la vista de todo lo anterior se puede concluir que excepto la anchura, de dos pies referida en general a cualquier tipo de fábrica y a cualquier tipo de edificio, sólo aparece en Vitruvio otro dato que permite dimensionar específicamente un muro. En el caso de las murallas defensivas, “*la anchura del muro debe ser tanta que puedan pasar libremente por arriba dos hombres armados, sin que se impidan al encontrarse*”. El resto de recomendaciones se pueden entender divi-

didadas en dos grupos. En primer lugar aquellas que tratan preferentemente del proceso constructivo más que del resultado final, y en segundo, las que se refieren genéricamente a la resistencia de la fábrica, aunque nunca se llega a resultados concretos por remotos que sean. Así como en otros casos se puede aceptar que se enuncian las condiciones suficientes, y no las necesarias, para garantizar la estabilidad de lo construido, en el caso de los muros, y a la vista de las proporciones de algunas obras romanas, ni tan siquiera se llega a ese punto.

## 6.3 Las fábricas en Alberti

### 6.3.1 Concepto y función

Casi al principio del libro define la pared, así como su función dentro del conjunto del edificio: “*Pared llamamos a toda composición que desde el suelo se levanta a lo alto para sostener el peso de los techos, o la que está cubierta en cerco para cercar los interiores vacíos del edificio*”<sup>(16)</sup>. Dos aspectos quedan casi claros; por un lado es un elemento estructural, sostiene el peso de los techos; y por otro, define la ordenación del espacio interior del edificio. Atendiendo de una manera estricta a la arquitectura de Alberti en particular y a la renacentista en general, se hecha a faltar otra función importante. Las paredes, por lo menos las exteriores, se tratan con un valor simbólico específico. Existe una indudable intencionalidad estética en su textura superficial cuyo máximo exponente se pueden considerar los *bunniatos* teatralmente belicosos de algunos palacios. Quizás es que Alberti entiende que esta última función de las paredes corresponde a otro tratamiento más relacionado con sus postulados estéticos, pero el caso es que los despieces, falsos en algunos casos, de sus obras, tratan de representar una fábrica inexistente, aprovechando ese lenguaje exclusivamente constructivo para la obtención de un determinado resultado estético.

Se pueden dar por sobrentendidas en la definición otras dos funciones derivadas inmediatamente de las expuestas. Las paredes, por sostener los techos, transmiten el peso de éstos, además del suyo propio, a los

cimientos, por un lado, y por otro, al ser los elementos definidores del espacio interior, han de ser resistentes a la intemperie y constituir una barrera ante ella.

En este segundo caso, por la insistencia con que a lo largo de la obra se refiere a los efectos del sol, la lluvia y el viento, así como por las recomendaciones que hace para defenderse de ellos, es evidente que tiene en cuenta esa función a pesar de no haberla explicitado. Menos seguro es que considere las paredes como transmisoras de cargas. En ningún pasaje aparece la concatenación de efectos techo-pared, como carga o empuje, palabras que emplea en varias ocasiones, sobre los cimientos y el terreno.

Todas estas funciones, unas explícitas, otras implícitas y otras inevitables a pesar de sus olvidos, convierten a la pared en una estructura compleja: *“Pero no todos entienden que tiene lo que sea cada una (de las partes del edificar) naturalmente, y por que difieren entre sí, porque no es menester (como piensan los no ejercitados) poner una piedra sobre otra y sobreponer unas mamposterías sobre otras mamposterías, sino que como sean las partes diversas, tienen necesidad de diversas cosas e industria, porque una cosa se debe a los cimientos, otra al recinto y a las cornisas, otra a los ángulos y a los labrios de las aberturas, otra a las sobrehaces de encima, otra a los replenos y engrosamientos de dentro, y será de nuestro oficio proseguir lo que se deba a cada cosa”*<sup>(17)</sup>.

Prácticamente es un índice de las cosas que, más o menos enunciadas confusamente a lo largo de algunos capítulos, va a tratar sobre las fábricas. Es complejo sistematizar los datos ofrecidos por Alberti y de todas las formas posibles hemos elegido la de agrupar los conceptos según las partes anteriormente mencionadas: ángulos, cornisas, recintos, etc., para resumir en cada caso lo que pueda dar una idea sobre su concepto global de muro.

Como en el caso de los cimientos y de los arcos, Alberti es mucho más completo y complejo que Vitruvio, por lo que de nuevo hemos de hacer patente nuestra sorpresa ante el hecho de que en muy pocos tratados posteriores se refieran a él como autoridad, cuando se abusa inexplicablemente de las citas del arquitecto romano.

### 6.3.2 Los ángulos

Entre las funciones de uso que realizan las paredes, la primera referencia de Alberti es a la contención de tierras. Ello condiciona la situación de los ángulos, aunque en el párrafo que reseñamos a continuación la complica con una curiosa mezcla de utilidades: *“Los ángulos mandan que se pongan hacia aquella parte donde carga la fuerza del peso de la roca, o el ímpetu y fuerza de las aguas y los vientos, para que hienda y derrame la injuria que carga, y el peso combatiendo, (por hablar así) los muros con fuerte frente y no con la flaqueza de los lados contra la molestia. Y si los demas lineamientos del edificio vedaren que no puedas a tu placer usar allí de ángulo, hase de usar de flechamientos, pues que la línea flechada es parte del círculo, y según el parecer de los filósofos, el círculo todo es ángulo”*<sup>(18)</sup>.

En primer lugar cabría destacar la identidad de tratamiento que reciben las cargas físicas y las agresiones meteorológicas. Iguales “injurias” son el peso de las rocas que la fuerza de las aguas y los vientos. Se puede entender que la fuerza de las aguas es una expresión referida a las corrientes, es decir a las procedentes de avenidas, pero en cualquier caso en la frase figuran junto a los vientos. El idéntico tratamiento que reciben las solicitaciones físicas y las meteorológicas se repite a lo largo de todo el libro, hasta tal punto que soluciones cuyo origen debe de ser eminentemente constructivo son justificadas en muchos casos por Alberti como una defensa contra los elementos, excesivamente desatados a nuestro juicio. Y como las agresiones son del mismo tenor es lógico que se les oponga el mismo remedio: el ángulo del muro, que es un “frente fuerte” por lo menos superior a la “flaqueza de los lados”.

Debe entenderse esa “flaqueza” referida a los esfuerzos laterales, aunque, como indica más adelante, también es preferible la forma angular para todo tipo de cargas, incluso las verticales, lo que es cierto si se tiene en cuenta que aumenta la resistencia al pandeo.

De su concepto de equilibrio como algo activo, una especie de pulso continuo, de enfrentamiento siempre inacabado, es una muestra la expresión *“para que hienda y derrame la injuria que carga y el peso com-*



*batiendo(...) contra la molestia*". Este tipo de expresiones se repite como veremos a lo largo de toda la obra y pueden tener una explicación lógica. Cuando se produce la ruina de una parte del edificio, por la razón que sea, lo que se ve es que esa parte se mueve hasta caer. Si no se conocen, como es el caso, de forma concreta los principios teóricos de la física, cualquier elemento resistente parece que se opone a un movimiento, no a una fuerza, aunque aquél sea el resultado de ésta.

Cuando no es posible colocar ángulos para reforzar los muros contra los empujes laterales, Alberti recomienda la planta en sector circular con la convexidad hacia la carga. Se puede discutir, desde la perspectiva filosófica a que él se refiere, si "*el círculo todo es ángulo*", pero se puede considerar de alguna forma que los modernos métodos de cálculo de estructuras en superficies alabeadas parten de supuestos semejantes. Se considera a la superficie compuesta de elementos diferenciales planos sobre los que actúan fuerzas coplanarias a ella.

Las posibilidades del arco de círculo desde el punto de vista resistente son ampliadas en un ejemplo: "*Aquel arquitecto, el cual en el lugar donde no tuvo mucha abundancia de piedra para regir el peso del monte hizo un valladar con frecuentes semicírculos, puesta la espalda de las líneas flechadas dentro del monte, lo cual es agradable a la vista, también muy firme, y demás de esto tiene en cuenta con el gasto, porque hace el muro no macizo, y que tenga tantas fuerzas como si del todo fuese macizo, tan ancho cuanto son las sagitas allí de las líneas flechadas*"<sup>(19)</sup>.

Es evidente que un arco de círculo, si los estribos son suficientes, trabaja mejor contra los esfuerzos laterales que una superficie plana. La aseveración de Alberti de que la curvatura "*hace al muro no macizo y que tenga tantas fuerzas como si del todo fuese macizo, tan ancho cuanto son las sagitas allí de las líneas flechadas*" no es del todo cierta, pero se ajusta bastante a la realidad. El momento del peso propio del muro, referido al eje de giro o punto de vuelco posible, también situado en los estribos, es mayor cuanto mayor sea la sagita. Como el empuje de las tierras es constante, el ahorro de volumen construído a que se refiere Alberti es obvio.

Por el enunciado más parece un problema de ingeniería (casi forzosamente militar en este caso) que un recurso utilizado en la construcción de otro tipo de edificios.

El refuerzo que los ángulos representan para las paredes no sólo es recomendado por Alberti en el caso de que existan empujes o agresiones exteriores, sino que además es necesario en cualquier caso para su estabilidad: "*Ahora se sigue que sumariamente tratemos de la descripción de las paredes, pero no querría dexar aquí aquello que note acerca de los antiguos, haber ellos guardándose muy mucho de no tirar alguna línea extrema de la área derechamente, de suerte que fuese muy larga, y no continuada en algunos lugares con ligadura de líneas flechadas y cortamiento de ángulos. Y es cosa clara que estos varones exercitados lo hicieron donde quisieron hacer la pared mas fuerte, con ayudas aplicadas a que esté arrimada*"<sup>(20)</sup>. En la vigente norma española sobre cimientos aún se mantiene la misma recomendación, aunque en su desventaja debemos hacer notar que no se cita en ella la autoridad "*de los varones exercitados*", sino lamentables razones sobre la debilidad de las delgadísimas fábricas actuales.

De todas formas hay que hacer notar que en las plantas de las obras de Alberti no aparece explícitamente que esta recomendación suya trascienda al diseño de la pared. En todo caso cabe suponer que, como no era prácticamente posible por razones puramente arquitectónicas proyectar paredes "*de suerte que fuesen muy largas*", no se plateó esa oportunidad.

No se indica cuál es el límite a partir del cual es necesario establecer los ángulos o flechamientos, ni remotamente como han de ser éstos. Parece que la expresión "*muy largas*" ha de ser, a juicio de Alberti, suficiente.

Los problemas que la carencia de ángulos y flechamientos plantea en las paredes excesivamente largas es ilustrado por Alberti con un ejemplo. "*Y en este lugar me place no dexar los vicios de los edificios, para que en el negocio estemos más recatados, por que el primer loor es carecer de todo vicio*", recomendación ética de valor universal y eterno, "*he advertido en la iglesia de San Pedro en Roma una cosa que por*

*sí misma muestra haber sido hecha con muy mal consejo, y es, que sobre las aberturas muy a menudo y continuadas pusieron una pared muy larga y alta, no fortificada con algunas líneas flechadas, ni fortalecida con algunos sustentamientos, y lo que convino más haber considerado, que toda la misma ala de la pared muy cavada con abertura muy frecuente la estendió muy alta, y la puso que estuviere para recibir los impetuosos vientos del Norte, con lo cual ha venido a que ya con la continua molestia de los vientos se ha trastornado hacia abajo de la rectitud de la plomada, por más de seis pies”<sup>(21)</sup>.*

En primer lugar hay que advertir que previsiblemente se trata de algún muro perteneciente a la anterior basilica. Es probable que el problema esté bien descrito en lo que respecta a la causa interna: la pared, falta de contrafuertes, muy larga y alta, construida sobre las aberturas muy a menudo continuadas, está desplomada. Lo que ya no es tan creíble es que lo esté casi dos metros, “*más de seis pies de la rectitud de la plomada*”, y desde luego lo que parece inverosímil es que se deba al impetuoso viento del norte. En la actualidad, y debido fundamentalmente a la estrechez de nuestras fábricas, en obras en construcción es posible, cuando aún no se encuentra todo el recinto definido, que debido a vientos de fuerza excepcional se caigan algunas paredes. En el caso de estar aisladas y mal asentadas, se produce a veces el desplome de paredes de mampostería por idénticas razones y en ambos casos de forma instantánea. Pero si atendemos al espesor que en general presentan las fábricas a las que presumiblemente se refiere Alberti, y a que el deterioro es progresivo, no parece demasiado probable semejante destrozo, aunque sea posible que el colapso final se produzca, en el caso de una situación como la que describe, en un día particularmente ventoso, y como resultado de la acumulación de patologías previas.

En éste y en otros párrafos, se advierte lo que a nuestro juicio es el mismo error. Cuando existen defectos en las fábricas, achacables en general a otras causas, Alberti les adjudica una etiología metereológica.

No obstante, según J. Kerisel, la acción continuada del viento dominante del este es la causa de la desviación de la torre de Murano, por lo que tampoco se puede descalificar el diagnóstico totalmente.

El paramento, según parece, se encuentra en un estado calamitoso: “*Y no dudo sino que adelante con liviano empujón, o haciendo pequeño movimiento se caerá*”, lo que ocurriría “*si no fuese detenida por los envigamientos de los techos, sin duda que de suyo con la comenzada oblicuidad se hubiere caído*”<sup>(22)</sup>. Y ésta es otra razón para desconfiar de la veracidad del dato sobre el desplome: ¿como son unos envigamientos que permiten, sin separarse de la pared, desplomes de más de dos metros?

Para que no existan dudas sobre el origen externo del desplome y en aras de un cierto corporativismo, continúa: “*Hase de vituperar algo menos al arquitecto, pues que siguiendo la necesidad del lugar y sitio, por ventura pensó que estaba harto seguro de los vientos con la postura del monte, el cual está delante del templo: con todo esto querría yo más que todas aquellas alas de aquí y de allí estuviesen más firmes*”<sup>(23)</sup>.

Debido a su carácter de refuerzo, los ángulos deben construirse cuidadosamente: “*Demas desto, los ángulos por todo el edificio, porque conviene que ellos señaladamente sean muy fuertes, han de ser fortalecidos con compostura muy maciza, porque cierto si yo bien declaro, qualquier ángulo es la media parte de todo edificio, pues no sucede vicio de un ángulo sin pérdida de dos lados. Y si a eso miras, sin duda hallarás que casi ninguno edificios comenzaron a desfallecer por otra parte, sino por la flaqueza de algun ángulo. Muy bien pues acostumbraron los antiguos hacerlos mucho mas gruesos que no las paredes, y aplicar a los ángulos mas firmes alas en los portales con columnas*”<sup>(24)</sup>. Entendiendo con la necesaria amplitud de miras el que “*cualquier ángulo es la media parte de todo edificio*”, el párrafo parece coherente.

En la segunda parte se puede interpretar que mezcla algunos conceptos. En los portales con columnas, de cuya cubierta de momento no dice nada, no existe, en el caso de techos planos, razón especial para reforzar la columna de los ángulos. Esta recomendación, cuyo origen puede estar en la que de forma similar, pero por otras causas, efectúa Vitruvio, es para cuando los portales se cubren con arcos, en cuyo caso es imprescindible debido al empuje acumulado que soportan.

No se puede entender como una contradicción esta

necesidad de reforzar los ángulos, teniendo en cuenta la fortaleza superior que les ha reconocido con anterioridad. Se trataba de una mayor resistencia a los empujes horizontales, mientras que el refuerzo se debe a que su función de enlace entre dos paredes, “*dos mitades del edificio*”, supone un esfuerzo superior a cualquier otro punto del muro. “*Luego la firmeza del ángulo no solamente se desea para sostener el techo, porque ésta es la obra de las columnas aún más que no de los ángulos, sino principalmente para que las paredes se mantengan entre sí para hacer su oficio, porque no se transtornen hacia alguna parte de la derecha de la plomada*”<sup>(25)</sup>.

Al margen de que en el párrafo cuele una curiosa afirmación cuyo significado intentaremos analizar más adelante: “*luego la firmeza del ángulo no solamente se desea para sostener el techo, porque ésta es la obra de las columnas*”, el trabajo más importante del ángulo de dos paredes en una construcción es evitar que se “*desplomen de la derecha de la plomada*”. Las razones por las que las paredes sufren esa desagradable patología pueden ser variadísimas. Desde la acumulación de dilataciones y contracciones transmitidas por los forjados, a empujes de arcuaciones, pasando por asientos diferenciales de los cimientos, existe una muy variada gama de posibilidades. Alberti ataca las causas combatiendo el efecto, lo que en este caso no es suficiente: “*luego éste, (el ángulo) tendrá piedras muy duras, y en longitud muy prolixas que se estiendan por el largo de las paredes a manera de brazos y de manos, y estas piedras seran anchas según la groseza de la pared, de suerte que no sea necesario ningún* *repleno*”<sup>(26)</sup>.

En realidad es más que discutible si resulta beneficioso o perjudicial para la fábrica un refuerzo tan desproporcionado. Si los cimientos son eficaces puede ser útil, pero si no lo son, pueden acelerar el agrietamiento. Este sistema es desechado, en su forma más explícita, apenas comienza el románico a manifestarse como un sistema constructivo coherente, y casi desaparece en el gótico. Choisy lo considera una práctica viciosa y degenerativa de los aparejos romanos, lo que es verdad sólo a medias. Lo que parece de un gran sentido común es tratar de construir un punto por el que comienzan “*a desfallecer*” los edificios con mayor solidez que el resto de la fábrica. Y en aquellos

momentos la única manera de obtener esa mayor solidez es “*la compostura muy maciza*”.

Como en el caso de los refuerzos angulares en las paredes largas, en la arquitectura de Alberti no se refleja esta recomendación de forma explícita. En cambio, se sigue de forma literal en algunas construcciones prerrománicas (un caso muy explícito puede ser el conjunto de Tarrasa), quedando por decidir si la intención es la que indica Alberti o si se trata sólo de el único medio de conseguir aristas durables, a la vez que se establece el encajonamiento lateral de las fábricas. En la actualidad aún se utiliza ese sistema en algunas zonas de montaña cuando se construye con piedra y barro, lo que en muy pocos casos evita la aparición de grietas, a veces enormes, como resultado de asientos diferenciales en los cimientos, o por acumulación de los efectos producidos por las constantes variaciones dimensionales debidas a los cambios térmicos.

Este refuerzo de los ángulos también lo recomienda Alberti para los puntos singulares de la fábrica. “*Semejantes será bueno que sean a los ángulos los huesos en la pared, y los lados de las aberturas, y tanto más firmes cuanto se hubieren de poner debajo de mayores pesos, principalmente conviene que estiendan manos, que es algunas piedras de la una y de la otra parte como por ayudas, para sustentar los cumplimientos de la otra pared*”<sup>(27)</sup>. Además la expresión “*manos*” ha pasado de ser un recurso semántico a ser un elemento constructivo perfectamente definido.

### 6.3.3 El zócalo

Por su situación el zócalo es, a juicio de Alberti, una parte de la pared perfectamente singularizada: “*En la pared hay partes principales, la de abajo, que es la que se levanta luego sobre el repleno del fundamento; ésta (si se nos permite) llamar la hemos así poyo o cadahalso*”<sup>(28)</sup>.

Esta situación obliga a unos mayores cuidados en su construcción: “*Porque para el poyo no pondremos la costra sino con piedra cuadrada muy grande y dura, por que así conviene que sea la fábrica (como dixi-*

mos) en cuanto ser pudiere, entera y muy maciza, y en todo el muro en ninguna parte hay necesidad de macizo y firmeza más que aquí, antes lo habías de fortalecer con una piedra si pudieses, o a lo menos con número de piedras que sea muy cercano a la entereza y perpetuidad de uno”<sup>(29)</sup>.

La razón de que sea necesaria una mayor “firmeza” no es la que podríamos esperar. No se trata de una precaución que, como en el caso de los ángulos, esté basada en la existencia de unas mayores solicitaciones mecánicas: “Porque se roe aquella parte de la pared con las gotas de las lluvias que corren por los techados”. Para nuestra mentalidad parece excesiva la recomendación. Bastaría con que el recubrimiento en esa zona fuera más cuidadoso para ser más resistente al agua. Sólo en casos muy extremos se justificaría un tratamiento especial que desde luego no se basaría exclusivamente en la colocación de “piedras cuadradas grandes y duras”.

Dada la anchura de la fábrica, el peligro a las humedades exteriores debería ser bastante remoto, pero el caso es que para Alberti tiene prioridad sobre las necesidades resistentes del zócalo. La razón debe estar en la naturaleza de los morteros empleados. Los morteros de cal, únicos a los que se refiere y únicos que se usan, tardan mucho en fraguar, años en algunas circunstancias, por lo que el ataque de las escorrentías debería producir mucho daño hasta que no se alcanzara un grado mínimo de resistencia. Si las construcciones son en general solubles en el agua -gran parte de nuestros esfuerzos hoy van encaminados a protegerlas de sus ataques-, usando sólo morteros de cal el problema debería ser de importancia. Lo que ya es más difícil de justificar es que, como parece deducirse de los silencios de Alberti sobre el tema, no influyera en ese refuerzo y enfatización del zócalo ninguna otra consideración de índole mecánica, cuando queda tan clara su función de reparto de cargas sobre el cimientto.

Este problema, junto con la solución que propone Alberti, es sistemáticamente ignorado por los constructores medievales. El zócalo como tal apenas recibe tratamiento en el gótico y ninguno en el románico y prerrománico. En muchos casos es la parte más deficiente de las fábricas debido al aprovechamiento de cimientos anteriores.

Tan grande es el temor de Alberti a esa patología que achaca a esa causa soluciones realmente extremas: “Pero nos cuando repetimos y miramos los edificios de los antiguos, veremos que estas partes de los edificios fabricados están hechas con piedra muy dura, y demás desto acerca de aquellas gentes donde temen la injuria de las lluvias, ha habido quien ha puesto debajo de toda una pirámide junto a Egipto una basis de piedra negra muy dura”<sup>(30)</sup>. Es evidente que en este caso habla de oídas. Se han supuesto cambios climáticos de importancia en el norte de Africa, pero por los datos que poseemos no parece que en Egipto la capacidad erosiva de las aguas de lluvia haya sido nunca excesiva. Otra cosa sería el que la tal basis se justificara por las crecidas periódicas del Nilo, pero no se puede afirmar que la construcción egipcia se caracterice por sus precauciones a la casi inexistente lluvia del desierto.

También se deduce de sus explicaciones que su concepto de humedad es bastante más complejo de lo que podíamos suponer. No se trata sólo, como hemos dicho anteriormente, que sepa que la construcción es soluble en el agua: “Y aquí es que más largamente declare yo la cosa, porque como en el hierro, cobre, y las demás semejantes, si una vez y otra se tuerce hacia partes contrarias, se hienden, y finalmente cansados se rompen, así también los cuerpos provocados con una y otra ofensa se vician y corrompen mucho”. Parece que son las alternancias las que ocasionan el problema: “Lo cual yo advertí en los puentes (principalmente) de madera. Porque las partes que con las mudanzas de los tiempos son ahora secas con el rayo del sol y soplo de los vientos, ahora húmedas con las evaporaciones nocturnas de la agua, vémoslas consumidas y del todo carcomidas. Aquello mismo se puede ver por las partes de los muros que están bajas junto a la tierra, porque con los unos y los otros ensuciamientos de las humedades y del polvo, se deshacen y roen”<sup>(31)</sup>.

Los dos párrafos anteriores ponen de manifiesto una gran confusión. Los efectos de la humedad sobre el fraguado de los morteros de cal pueden ser beneficiosos si el agua contiene anhídrido carbónico disuelto. En todo caso no son los mismos que provoca el agua, descritos por él como puramente mecánicos. La experiencia práctica de la época no podía ser ajena a estos

extremos. Secar la madera es un sistema para conservarla, aunque se provoquen deformaciones. Lo que la puede pudrir no es la alternancia ni el que esté sumergida en aguas corrientes relativamente neutras, sino la humedad. Toda una experiencia naval contradice sus explicaciones. Además existen gran cantidad de ejemplos de pervivencia de construcciones en madera en lugares muy húmedos, como es el caso de algunas iglesias noruegas.

Por eso no se puede considerar que su consejo final sobre la construcción de zócalos sea muy brillante: “*Por lo cual yo mismo delibero que se ha de hacer el poyo de todo el edificio con piedra dura, firmísima y muy grande, para que persevere muy defendido de las continuas ofensas de las cosas contrarias*”<sup>(32)</sup>. No corresponde en absoluto, como podría parecer de su lectura aislada, a un consejo tendente a garantizar la robustez de la fábrica, sino sólo a resolver un problema que considerado en conjunto se puede entender de menor entidad, sobre todo en comparación con las dificultades que pueden presentar el asiento sobre los cimientos de unas fábricas tan irregulares. No tiene nada que ver con nuestras verdugadas.

Lo que puede ocurrir, en éste y en otros casos, es que son soluciones correctas deducidas de planteamientos incorrectos. Funcionan porque mejoran realmente la obra, aunque su justificación sea en algunos casos errónea.

Los desconocimientos de Alberti en esta materia son notables a pesar de la inquietud que le causa. Desaprovecha una oportunidad única de recomendar la primera barrera antihumedad de la historia. Cuando se refiere a las técnicas concretas de ejecución, al hablar de unas verdugadas que, cada cinco pies, homogeneizan los asientos de las fábricas, dice: “*Y hemos visto también quien haya esparcido en lugares de ligamiento láminas de plomo muy largas, y en anchura iguales a las paredes*”<sup>(33)</sup>. Dada la poca capacidad mecánica del plomo es evidente que esta solución no tiene por objeto establecer ningún asiento regular en la fábrica. Se conoce de antiguo la capacidad impermeable del plomo, lo que unido a su facilidad de manejo y a su inalterabilidad lo hace especialmente recomendable como impermeabilizante, a falta de materiales menos pesados. Existen cañerías de

plomo romanas que aprovechan todas las ventajas anteriormente expuestas. Pues bien, Alberti no sólo no encuentra explicación al sistema sino que además lo reprocha. “*Pero en poner piedra grande (los anteriores constructores) veo que se contentaron con más raro recinto, y aún que casi se contentaron con solas las cornisas*”<sup>(34)</sup>.

Una vez que se resuelve el problema de la fortaleza del zócalo ante la humedad, el resto del muro tiene de momento menos importancia, máxime si lo dice Catón: “*Tirarás el muro de piedra firme y cal, de suerte que salga la obra por un pie sobre tierra, pero la parte que resta, no prohíben que la hagas de ladrillo crudo si se te antoja. Y bien se ve aquí que éste se movió por esta razón, porque se roe aquella parte de la pared por las gotas de las lluvias que corren de los texados*”<sup>(35)</sup>.

#### 6.3.4 Los zunchos y las verdugadas

Al margen de las carencias que hemos apuntado en las exposiciones de las razones que justifican la necesidad de un tratamiento especial al zócalo -es más una barrera antihumedad que un elemento resistente-, la necesidad de disponer de asientos horizontales y las ventajas que ello reporta están explicitadas por Alberti: “*En el echar de los repletos, miraron los antiguos de levantallos con un continuo derramamiento, y no más altos que estendiesen las ordenes más que de cinco en cinco pies, para lo cual como nervios y ataduras estrechada la fábrica se volviese ceñida. Y para que también si por todo el repleto por algún vicio de los oficiales, o por acontecimiento hallo haber algo hecho asiento, no luego atraya para sí el peso de las más cosas que empujan, sino que las cosas de arriba tengan una como nueva basis, para retener y sustentar*”<sup>(36)</sup>.

A pesar de lo farragoso del párrafo, o de las limitaciones expresivas del traductor, en él están expuestos una serie de conceptos que conservan hoy plena vigencia. Se pueden suscribir casi con esas mismas palabras. En primer lugar, es bueno que la fábrica esté “*ceñida*” y más “*de cinco en cinco pies*”. También es impecable que la fábrica se suba “*con un continuo derramamiento*”. Estamos hablando de fábricas resistentes y no de

cerramientos, es decir, de muros de un cierto espesor, y en ese caso la regularidad en los asientos que este sistema garantiza evita la aparición de grietas durante la construcción. La fábrica se ve sometida paulatinamente en todo su perímetro a una carga uniforme. Además, de esa forma aparecen “*como nervios y ataduras*” que la “*estrechan*”. No otra cosa se pretende con nuestros modernos zunchos, sino evitar que las paredes se muevan relativamente unas con respecto a las otras. En este caso el acierto en la elección de las palabras es evidente.

También se consigue que “*las cosas de arriba tengan una como nueva basis, para retener y sustentar*”. Por eso resulta decepcionante la explicación a los refuerzos del zócalo. Alberti sabe que las cosas de arriba “*empujan*” y parece evidente que el zócalo es la parte del muro que tiene más encima. De todas formas el concepto es tan claro que no cuesta demasiado extenderlo al “*cadahalso*”. En ese caso la “*como nueva basis*” es la “*basis*” real de toda la obra.

Si el verbo “*empujar*” es empleado con rigor, y nada hace suponer que no lo sea, se debe entender que el peso de las cosas de arriba hace fuerza contra la parte inferior del muro para moverla, sostenerla o rechazarla, según la acepción más estricta del verbo.

En la etiología de este empuje se tienen en cuenta las deficiencias en el trabajo: “*Por algún vicio de los oficiales*”, constructivo, se entiende, y cualquier otra causa, o por “*acontecimiento*”, que no explica, y de lo que se trata es de conseguir que queden localizadas y reducidas: “*Luego no atrayan para sí el peso de las mas cosas que empujan*”. Explica las ventajas del reparto uniforme de las cargas sobre las fábricas y la manera de conseguirlo está expuesta de forma impecable.

Aparece la palabra “*asiento*” como resultado del empuje en una significación igual a la que le daríamos hoy; realmente notable.

Sobre estas precauciones, a emplear en cualquier fábrica y en toda ella, recomienda unas verdugadas de forma explícita: “*Ay otros recintos, y cierto principales, que se tiran por todo el largo de la pared para abrazar las esquinas y fortificar la obra*”. La expres-

sión “*abrazar*” es suficientemente clara como para que no haya necesidad de más explicaciones. Además se “*fortifica la obra*”.

Ocurre es que ésta no es una práctica habitual: “*Por estos postreros (recintos) se aplican más raras veces, y en una sola pared no me acuerdo de haber visto en alguna parte más que dos, y alguna vez tres*”.

### 6.3.5 Las cornisas

La singularidad de cada una de estas franjas es evidente y reciben un tratamiento específico, en función de unas necesidades concretas: “*Y el sitio y asiento principal dellos (de los recintos, y cierto principales) es en lo alto de la pared, como cornisas de ella, para hacerla libre, de aquellas más continuas enlazaduras, siendo todos ellos iguales a cada cinco pies, y no desconventrá que sean allí las piedras subtiles, pero en esas cosas que llamamos cornisas cuanto ellas son más raras y cuanto de más importancia tanto conviene poner piedras más robustas y gruesas en las unas y en las otras, según su género son menester piedras muy largas y muy anchas y firmísimas*”<sup>(37)</sup>.

La cornisa necesita un aparejo especial, en este caso en razón de la estabilidad de la fábrica: las piedras han de ser “*muy largas muy anchas y firmísimas*”, y con ello la pared estará más “*libre de aquellas continuas enlazaduras*”. Es decir, que reforzando el coronamiento del muro es posible suprimir las verdugadas intermedias, aunque siempre son aconsejables “*todas ellas iguales a cada cinco pies*”. Sin materiales que trabajen a tracción, ésta parece ser la única posibilidad.

En este caso es difícil entender cuál es el significado exacto de la cualidad de “*subtil*” aplicada a una piedra, y más si esta cualidad es la que se recomienda para las que forman el conjunto de la pared. Puede que se trate de un consejo tendente a reducir peso o simplemente una manera, a nuestros ojos confusa, de decir “*menos importantes*” que las de las cornisas.

A continuación explica, en uno de los pocos párrafos en los que desciende a los detalles de colocación, como ha de ser el aparejo de las cornisas: “*Pero estas*

menores, (para el caso en que no puedan ser tan anchas y largas como se quisiera) *se asentarán en manera que ellas convengan a plomo y a regla, pero estos otros que imitan las cornisas extenderán la frente hacia afuera, y pónense las semejantes piedras muy largas y anchas a nivel y se enjutan muy bien en hileras, casi como con suelo sobre añadido se cubren las cosas fornecidas debajo la ligazón de las piedras, allí es que se sobreponga cada piedra postrera, y de suerte se engruda y se adoba sobre las ya puestas que venga a caer en medio de la pegadura de las dos de abajo, con estendimiento igualado y nivelado*<sup>(38)</sup>. O sea, que han de quedar a rompejuntas sobre las últimas piezas del macizo de la fábrica, muy juntas unas de otras, “*enjutas*”, a nivel y verticales: “*a plomo y a regla*”.

Esta forma de trabajar, que recomienda especialmente en las cornisas, debe ser la habitual para toda la fábrica. “*La cual ligazón de piedras en ninguna manera se ha de menospreciar en toda la fábrica, y demás desto, se ha de tener cuenta con ella misma, principalmente en los recintos*”<sup>(39)</sup>.

Al explicar el concepto último que debe regir la construcción de las cornisas también acierta de forma notable, él o el traductor, en la elección de las palabras: “*En el hacer las cornisas, pues que éstas también reciñen la pared con firmísima atadura, no conviene menospreciar nada de aquellas cosas que hasta aquí hemos dicho del recinto, de suerte que en esto no se han de poner ningunas piedras sino muy largas y muy anchas, y las más firmes de todas, y acomódense con ligadura continuada y bien compuesta perfeccionadas las hileras con nivel, y reducidas a regla e igualadas según la razón de cada una, y tanto mayor cuidado y diligencia pide el negocio que pongas aquí, cuanto en más caedizo lugar las cornisas ciñen la obra, y tiene oficio de techo en sus paredes*”<sup>(40)</sup>.

“*Reciñen*”, “*firmísima atadura*”, “*ligadura continuada*” y “*ciñen*”, todo ello con “*piedras muy largas y muy anchas y las más firmes de todas*”, son expresiones que no dejan lugar a dudas. Alberti se ha dado cuenta de la labor que realiza el zuncho de coronación, que es lo que está describiendo, y a falta de un material que trabaje a tracción, recomienda un sucedáneo dentro de las posibilidades de la época.

En un primer momento sorprende el énfasis puesto en el trabajo mecánico de la cornisa a la vista de que no indica nada semejante para los zócalos. No obstante se puede encontrar una explicación a esta diferencia de trato.

Cualquier grieta, y más las debidas a los asientos diferenciales, a los esfuerzos cortantes de una pared con respecto a otra, o a los desplomes provocados por dilataciones y contracciones, se evidencia normalmente por la parte superior de los edificios. Es en esa zona donde son más anchas, lo que es asimilable al aspecto que presenta cualquier material cuando se desgarrar: la rotura aparece en la línea en la que se aplica la fuerza que la provoca. Lo más natural, atacando la causa por el efecto, es impedir la aparición reforzando esa línea. Este párrafo puede ser paradigmático de una de las formas de trabajar en construcción, hasta que se somete a análisis el comportamiento de cada elemento. Se observa la aparición de una patología determinada y se actúa sobre el efecto. En este caso hay que evitar, con todos los sanos artificios que recomienda Alberti, que las paredes se abran por la parte superior, actuando directamente sobre ese punto, aunque nosotros sabemos que en muchos casos el fallo es de los cimientos.

Añade unas recomendaciones para, como en casi todos los demás elementos expuestos a la intemperie, evitar los problemas derivados de los ataques de la lluvia: “*Y de aquí es lo que dicen: aplicarás cornisa de ladrillo cocido a las paredes de ladrillos crudos, para que ninguna cosa las lleve del techo alto, o de las canales, o dañe, sino que con cobertura lo defienda, y por tanto se ha de mirar mucho en toda la demás pared, que se ponga encima por cubierta una cornisa bien apretada para rechazar toda la injuria de las lluvias*”<sup>(41)</sup>.

### 6.3.6 Las jambas

Algunos puntos del conjunto de la fábrica reciben, en función del trabajo que realizan, un tratamiento especial: “*Ay también entre las principales partes de la pared aun en las principales, angulos y pilares o columnas enxeridas y entrepuestas, u otra cosa así, la cual está en lugar de columnas para sostener los envi-*

*gamientos y los arcos de los techos, las cuales cosa todas vienen con el nombramiento de huesos*"<sup>(42)</sup>.

La denominación de "huesos" con la que "vienen" es algo más que un recurso expresivo o un símil útil; es todo un concepto. Vasari emplea la misma cuando, hablando de los trabajos de Brunelleschi en Roma, se refiere a su análisis de los monumentos romanos. Son las partes de la pared que, de una manera cierta y singularizada, realizan un trabajo resistente: "sostener los envigamientos y los arcos de los techos", sustituyendo en ocasiones a las columnas.

Las jambas reciben un tratamiento más delicado, aunque sin llegar a la altura del que adjudica Ortiz Sanz a Vitruvio al hablar de ellas: "Muslos quiciales". Alberti dice: "Ay los labrios de las aberturas que están de aquí y de allí, las cuales imitan la naturaleza de los ángulos y columnas juntamente"<sup>(43)</sup>. De la expresión "labrios" se puede interpretar que de nuevo la forma interfiere en el análisis mecánico de un elemento sin demasiadas justificaciones según un criterio moderno. Labio es una expresión que indica el borde de una abertura. Son labios, además de los de la boca, los de las heridas y los de los vasos. Parece más oportuno llamarlas huesos. Además, sólo desde el punto de vista formal se puede defender que las jambas "imiten la naturaleza de los ángulos y las columnas juntamente". Son columnas por ser estrechas y son ángulos por estar al final de una pared.

### 6.3.7 Los dinteles y los arcos de descarga

Hemos visto en el capítulo de arcos que Alberti, y quizás con él los constructores de su época, evidencia una cierta confusión en el tratamiento de los de descarga, que no son en realidad para su criterio más que una "viga flechada". No obstante, completa el concepto con unas precisiones de interés para el mantenimiento de la obra: "Demás de esto, el techo de las aberturas, que es lo de sobre la entrada, ahora este puesto con viga derecha, o con arco tirado, será contado entre los mismos huesos"<sup>(44)</sup>, lo que significa que realizan una labor resistente concreta.

Esta labor resistente debe procurar la cohesión de toda

la fábrica, ya que estos elementos son los que soportarán las cargas. Por ello cuando habla de los tizones que es necesario colocar en la fábrica para garantizar el trabajo uniforme de las tres capas que la componen: revestimiento exterior, relleno y revestimiento interior, se refiere a la necesidad de que estas piezas, los tizones, unan "los huesos con los huesos".

### 6.3.8 Los huecos

Además de otras consideraciones de carácter formal y compositivo diseminadas por todo el libro, Alberti da una explicación irrefutable sobre el criterio que debe presidir la situación de las ventanas: "Pero las luces de do quiera que hayas de recibir, las podrás haber con facilidad de la parte que podrás ver el cielo libre, y en ninguna manera conviene poner muy bajas las aberturas que se hacen por causa de recibir las luces, porque con el rostro se miran las luces, y no con los pies"<sup>(45)</sup>. No hay vuelta de hoja; a partir de esa explicación el que se equivoca es porque quiere.

Tras una digresión de carácter estético sobre las ventajas que aporta al proyecto que el número de ventanas sea impar, expone un concepto que se puede considerar muy regresivo como criterio, sobre la situación alcanzada por la técnica constructiva en la aún inmedita etapa gótica, y que autoriza a suponer que, a pesar de la vaguedad del término, cuando habla de "los antiguos" se refiere principalmente a los romanos y griegos: "Procuraban mucho los antiguos que se tuviese respeto a la fortaleza de los edificios, y por eso las ponían lejos de los ángulos y asientos de las columnas, las aberturas principalmente en los lugares más débiles de la pared, pero no que sirviesen de sostener la carga, y procuraban que desde el suelo hasta el techo se levantasen a plomo las más partes de la pared que podían enteras y no interrumpidas"<sup>(46)</sup>. Es irreprochable su afirmación de que desde el suelo hasta el techo "se levantasen a plomo" las paredes. Es perfectamente suscribible el que se tenga respeto por "la fortaleza de los edificios". Prácticamente a ello tienden gran parte de nuestros conocimientos.

Lo sorprendente es el concepto, ligeramente ingenieril y cargado de un peligroso sentido común, de que estas



paredes, que se han de levantar a plomo, sean “*las más partes de la pared que podían*”.

Muy poca cosa queda del esfuerzo de los constructores góticos por aligerar los muros -esfuerzo consciente, y ése es su mérito, en la dirección contraria a la señalada por Alberti-, ni de su magistral uso de columnas y pilastras como únicos elementos sustentantes. Ni una sola salvedad que permita interpretar que entiende el planteamiento conceptual de esos constructores, que de lo que tratan es de levantar las menos partes de la pared que podían, y a ello se aplicaron con notable éxito.

Alberti, que ha viajado a Francia con el cardenal Albergatti cuando aún se construye según ese criterio, ignora, o se olvida, o desprecia, que todo puede ser, esos conceptos, la cada vez mayor diafanidad de los cerramientos, que es una referencia obligada para entender el nacimiento y la evolución de la construcción gótica. El empeño es construir bóvedas cada vez más complejas y que se sustenten sobre columnas cada vez más esbeltas, todo ello, y por razones obvias, teniendo “*respeto a la fortaleza de los edificios*”, mucho más respeto en algunos casos del que tuvieron algunos constructores renacentistas. Produce una cierta desazón pensar qué hubiera sido de las catedrales góticas si se hubiera seguido a rajatabla el consejo albertiano.

Este párrafo, que quizás sea excesivo juzgar una ramplonería constructiva, o una lamentable desconexión cultural, puede que sea otra muestra de la ruptura entre los dos mundos, el medieval y el renacentista, por lo menos en lo que a técnicas de construcción se refiere. Durante su viaje a Francia, si ofició en algo de arquitecto, no fue lo suficiente como para tener acceso a esos sistemas, aunque más parece, de acuerdo con los datos suministrados por Cervera Vera, que naciera con posterioridad y a su llegada a Roma, su interés por el oficio.

### 6.3.9 Otros conceptos

Para concluir este apartado de los conceptos, quedan por referir dos recomendaciones generales, la una realmente misteriosa y la otra de un indudable valor higiénico

y profiláctico: “*En los grandes edificios donde la grandeza de los muros ha de ser más gruesa desde los fundamentos por medio de la obra hasta lo más alto se ha de dexar testeros abiertos, y respiraderos no del todo apartados, por donde si algo de vapor cuajado y forzado se mueva debajo de la tierra pueda este escalar anchamente sin ningún daño de la fábrica*”<sup>(47)</sup>. De mucho interés es la puntualización de que “*en los grandes edificios la grandeza de los muros ha de ser más gruesa*”, si bien no indica cuánto más gruesa, ni con referencia a qué. Lo que no se acaba de entender es qué clase de vapor, por muy “*cuajado*” que sea, puede ser el que necesite tal precaución, sobre todo para evitar que se produzca “*daño*” en el muro. Por su énfasis, el “*daño*” ha de ser físico. En algunas fábricas de ladrillo se disponen a veces unos tubos cerámicos horizontalmente y con los extremos abiertos al exterior, cuya misión es concentrar la humedad por capilaridad y eliminarla por la ventilación que se establece en su interior. Este sistema tiene una vigencia de casi dos mil años y aún se comercializaba en España hace muy poco tiempo. Pero no es éste el caso. Si se tratara de humedad se referiría a su aspecto más inmediato, la aparición de moho, y como ya veremos eso lo soluciona más adelante. Por otra parte, no existen precedentes conocidos de ninguna ruina provocada por un estallido interior de la fábrica debido a la humedad, aunque los daños provocados por la tensión de vapor en algunos materiales muy concretos pueden ser importantes.

La similitud, tantas veces relatada, entre los comportamientos de los materiales inertes y los vivos, que se afectan de la misma manera por las mismas causas, puede justificar este comentario, o quizás se trate de una tradición constructiva sin fundamento que ha desaparecido debido a su inutilidad, a la manera en que desaparecen algunas supersticiones.

En el párrafo siguiente insiste en el concepto, aunque oscureciendo aún más su interpretación: “*Los antiguos en algunos semejantes lugares por causa de esta cosa y de comodidad que haya subida a lo alto de la obra, y por ventura, por disminuir el gasto, guiaban por de dentro una escalera de caracol*”<sup>(48)</sup>. La palabra “*cosa*” no presenta ninguna posibilidad de interpretación. Más lógica, y obvia es la segunda explicación: las escaleras son muy útiles para subir “*a lo alto de la obra*”. Por último, la tercera justificación de las escaleras de cara-

col insertas en la fábrica, la de “*disminuir el gasto*”, puede ser la más sobresaliente. Parece que lo caro en esa época sea el volumen del relleno y no la complicada talla de los escalones ni de la cara interior del hueco de la fábrica. En nuestros días una escalera de caracol tallada, insertada en el muro, encarecería la obra, y más si se trata de muros macizos a base ripios o mampuestos irregulares y mortero.

La otra recomendación es, como indicábamos al inicio, de gran utilidad higiénica y profiláctica: “*Y pienso, que aquello no es de menospreciar que conviene rehinchir todas las concavidades, y en ninguna parte dexar vacío, así por las demás cosas, porque allí no entren animalejos que con hacer nidos, y con frezas allegadas y con simientes, críen por el muro cabrahigos*”<sup>(49)</sup>. El peligroso cabrahigo es combatido también mediante la limpieza de los materiales durante la ejecución de la fábrica: “*La obra riégala una vez y otra con agua clara, hasta que se humedezca bien, y lávense los polvos para que no queden cosas que críen cabrahigos*”<sup>(50)</sup>.

Importantes destrozos debía causar en la obra el pernicioso moho cuando dedica dos párrafos a precaver su crecimiento.

No obstante, la capacidad destructora de algunos seres vivos es notable y según su versión, “increíble”: “*Es increíble decir cuántas grandezas de piedras y qué amontonamientos he visto haber sido movidas con una raíz de árbol. Hanse pues de ligar y replenar con diligencia todas las cosas que fabricares*”<sup>(51)</sup>.

### 6.3.10 Conclusiones parciales a los conceptos

Al final del Cap. XI del Lib. III aparece un párrafo que casi hace inútil cualquier análisis: “*Resta que como epílogo refiera yo una ley muy antigua usada acerca de los arquitectos, la cual me parece que se ha de guardar como oráculo, y es ésta: Al muro ponle debajo basis firmísima, por que las cosas de arriba responden a las de abajo en el centro de en medio a plomo. Los ángulos y los huesos de las piedras desde el suelo hasta lo alto afirmalos con piedra más robusta, remojárs la cal, no pongas la piedra sino muy mojada en*

*la obra. A las dañosas ofensas pon la más dura, la fábrica guíala a regla y plomo. Procura que sobre las junturas de las piedras de abajo caya el medio de las piedras de arriba, pon en las hileras las piedras enteras, y en el medio de la pared replénalo con pedazos. Liga las hiladas con ligazones espesas de piedras; y hasta aquí está dicho de la pared*”.

Está todo lo que debe saber un albañil, o en todo caso un capataz, para la correcta ejecución de la fábrica, pero no hay ningún dato, a pesar de lo que dice Alberti, que pueda suponer una ayuda a los arquitectos. Lo más probable es que no los haya porque no existen. El saber del arquitecto se limita a la invención de las formas.

En los párrafos vistos en este apartado se pueden obtener algunos datos que permitan hacer esa invención más estable. En ese tiempo se manejan conceptos claros sobre algunos aspectos del comportamiento mecánico de las construcciones. Los zócalos y las cornisas reciben un tratamiento especial, en un caso por la humedad y en el otro por las tensiones mecánicas. Los problemas que se pueden presentar en las esquinas también están relacionados y resueltos satisfactoriamente y se entiende el muro como una barrera específica contra la intemperie, con todo lo que ello supone. El valor rigidizador de los ángulos y contrafuertes está explícito, así como la existencia de unos puntos determinados, “*los huesos*” que trabajan más que el resto de la fábrica. El problema es de concreción. Ni una sola medida cierta que permita tomar las decisiones imprescindibles para marcar sobre un plano, o sobre el terreno, el punto exacto en que se acaba o se empieza un elemento. Las explicaciones y las recomendaciones se dan por comparación: más que en otro caso, o menos, según sea el tema, sin que aparezca otra referencia.

De lo minucioso de sus explicaciones en algunos casos, se puede deducir que cuando no las da es que no las tiene. Nosotros nos detendremos antes: Alberti no las da, por lo que cualquier lector deberá decidir, en función de su leal saber y entender, el dimensionado. Se puede argumentar que la realidad física de la fábrica impone algunas condiciones. No se pueden hacer tabiques de cinco ni paredes de quince con mampuestos irregulares, o por lo menos no es lógico

hacerlos, pero por exceso el problema sigue abierto, aunque esto sí, y sólo sí, se pretende definir lo suficiente y necesario para construir la fábrica; si el dimensionado es estricto. En el caso contrario, en el que la estabilidad de la obra se demuestra por su resultado, no es necesaria otra prueba de acierto que la estabilidad de lo construido. En los casos en los que no se alcanzó la dimensión necesaria, la prueba del error ha desaparecido. Sólo nos quedan, obviamente, los aciertos, y en ellos es obligado que el dimensionado sea suficiente, aunque en algunos casos roce, con desconocimiento de los constructores, el límite de lo necesario.

En Alberti aparece el concepto de estabilidad de la obra como algo condicional, es decir, que se entiende, como no podía ser menos, la posibilidad de que no se acierte en la solución. De todas formas el problema más acuciante en esa época debería ser el de la ejecución. Durante esa fase la obra aún no ha alcanzado la consistencia necesaria ni todos los elementos trabajan de consuno, por lo que la primera preocupación de los constructores debió ser la constructibilidad del proyecto en su sentido más inmediato. De otra manera no se explica el párrafo en el que indica: *“Entre el fundamento y la pared acabada, hay esta diferencia, que aquel ayudado de los lados de la fosa puede constar de sólo el repleno, pero ésta compónese de muchas partes, como luego diremos”*<sup>(52)</sup>. Esa diferencia, que él entiende favorable, lo que según nuestro criterio no es cierto, pues si en algunos casos significa unas mejores condiciones de trabajo en el cimiento por rozamiento, desde el punto de vista mecánico supone una menor resistencia al carecer la fábrica del refuerzo de las caras exteriores, sólo, como indicamos, se justificaría por la comodidad en la ejecución: en el cimiento, lo que hoy llamaríamos encofrado, es sustituido por las paredes de la zanja. Pero el encofrado es necesario sólo durante la ejecución.

Este concepto ha tenido una perniciosa vigencia. Valzania, todavía en 1792, indica, entre otras confusas explicaciones que justifican la mayor anchura del cimiento porque: *“Así por lo menos se verifica en las obras de la naturaleza, la cual ha producido los montes con una basa de mucha extensión, haciéndolos piramidales en elevación; en las plantas, prescindiendo del considerable trecho, que en comparación del*

*tronco ocupan las raíces, sube este también con disminución de grueso(...)”*, que: *“(...)como también la disparidad que se encuentra entre una pared exenta, y otra que se halla empotrada en el terreno, pues la primera no puede tener más firmeza o subsistencia que la que le proviene de su buena construcción y de su misma gravedad, cuando la otra por estar ceñida, no sólo conservará su bondad hasta los siglos más remotos, como la acredita la dificultad que se encuentra en deshacer un cimiento viejo, que haya sido construido en la debida forma, sino que se hace absolutamente incompreensible el cómo y por dónde pueda fallar”*<sup>(53)</sup>.

### 6.3.11 Clases de fábricas

El esquema general de todas las fábricas está descrito tanto desde el punto de vista constructivo como desde el funcional: *“También hay en toda pared cosa que a ella misma convenga a todas las partes que hemos dicho, esto es, el repleno de enmedio del muro y los dos de aquí y de allí, ahora los llames cueros, ahora cortezas, el uno de los cuales recibe los vientos de fuera y el sol, el otro recrea la sombra de dentro de la área”*<sup>(54)</sup>.

En uno de sus párrafos más vitruvianos Alberti es excesivamente conciso: *“Los géneros de fábrica son estos: ordinario, reticulado, e incierto”*<sup>(55)</sup>. Tan vitruviano es que no refiere la gran cantidad de tipos de fábricas que se le ofrecen a la vista. Toda la variada gama de aparejos que forman el repertorio románico y gótico es ignorada con tal de seguir el esquema clásico. Refiere otras fábricas, pero es más a título erudito que como constructor interesado: *“Y aquí hará algo al propósito aquello de Varron que dice que los tusculanos solían hacer los valladares para sus villas con fábrica de piedra, pero en el campo gálico de ladrillos cocidos, en los sabinos de crudo, en España de tierra compuesta de piedras pequeñas. Aquella es fábrica ordinaria en la cual se apegan piedras cuadradas, o justas, o muy grandes, de suerte que estén puestas con sus líneas en orden a plomo y a nivel, que la cual fábrica ninguna es más firme ni más constante”*<sup>(56)</sup>. De una manera tan sucinta que apenas se llega a entender está casi todo lo necesario. Son piedras cuadradas

colocadas “a plomo y a nivel”.

“Reticulada, es aquella en que se ponen las piedras cuadradas o justas, o por mejor decir, disminuidas, no tendidas por lado, sino que están de esquina con la frente puesta a regla y nivel”<sup>(57)</sup>. Sería realmente una proeza descubrir aquí al aparejo reticulado. Aporta, una vez que se sabe como funciona el sistema, un dato definitivo para entender el verdadero alcance del reticulado: “por mejor decir disminuidas”. Debe tratarse del apiramidamiento que defiende Ortiz en contra de la opinión de Perrault cuando traduce y comenta el párrafo de Vitruvio que se refiere a las fábricas, aunque él, cuando usa este aparejo, como en la parte inferior de las ventanas del palacio Rucelai, lo simula sobre una losa aplacada sin atenerse a ninguna regla de colocación.

“Inciertas, en las que se inxiere piedra incierta, de suerte que cualquier lado suyo en cuanto se permitiere por sus líneas se apegue muy justamente a los lados de la piedra que le está pegada”<sup>(58)</sup>.

Realmente no es de las descripciones más brillantes del libro. Bien sea por defecto propio, bien por incapacidad del traductor, el caso es que poco se podría construir con esta explicación solamente, por más voluntad que se ponga en su interpretación.

### 6.3.12 La ejecución

“Ahora pues pertenece al oficio de exercitado oficial no tanto escoger las cosas más cómodas, cuanto apta y cómodamente usar de las cosas que hay, proseguiremos esto en esta manera”<sup>(59)</sup>.

Para Alberti el muro ha de ser el resultado de un balance ilusionado: “Hay también acerca de las paredes algo que no aprovechará menospreciarlo, porque no se ha de amontonar la pared con piedra arrojada, y mano sin orden, nunca dexándola de la mano, ni tampoco comenzada la obra se ha de guardar de un día para otro con negligencia perezosa que edifiquéis como por fuerza, sino conviene proseguir el negocio con modo y razón en que estén la presteza junta con madurez de consejo y diligencia”<sup>(60)</sup>.

Debido a las características del esquema propuesto (dos caras y un relleno) durante la ejecución es necesario tomar una serie de precauciones: “Yo más querria para que durase, que con enteras órdenes hicesen cumplida la pared con piedra cuadrada, pero con cualquiera piedra que instituyeres de hinchar aquel vacío entre las cortezas, procurarás cuanto el negocio lo sufriere, que se enlacen las ordenes y alanzadas con trazo igualado”<sup>(61)</sup>. Se trata de hacer coincidir las juntas de las hiladas, “las órdenes y alanzadas”, además de conseguir un relleno uniforme. Tiene gran importancia que se haga con piedra cuadrada, ello impide que se produzcan empujes en las costras. Si no fuera posible este sistema: “Demás de esto, será bueno traspasar desde la corteza de fuera hasta la de dentro no muy raras algunas piedras ordinarias por medio del grueso de la pared que se enlacen entre sí hasta las mismas cortezas, y para que los repleenos echados dentro no empujen en las camas de las costras”<sup>(62)</sup>.

Aporta muy poco sobre lo recomendado por Vitruvio: estas piedras ordinarias son los *diatomos*. Se puede considerar que avanza algo en la comprensión del trabajo que realiza la pared: “Para que los rellenos echados dentro no empujen las camas de las costras” es una explicación satisfactoria, aunque lo más probable es que se trate sólo de un problema planteado durante la construcción. Es evidente que el empuje se hace más ostensible cuando aún no se ha producido el fraguado del mortero. La masa semifluida que constituye el relleno ejerce una presión sobre las caras, deformándolas hacia afuera. No parece probable que se refiera al empuje vertical que aparece como consecuencia de la deformación transversal provocada por una carga en el coronamiento, aunque en ese caso también se produce empuje.

En esa dirección ha efectuado otra recomendación ya analizada sobre la que insiste más adelante: “Entre los recintos, demás de lo dicho se ponen algunas ligazones de piedras mayores, para que enlacen las costras de fuera como en las de dentro, y los huesos también con los huesos, cuales son éstas que diximos que se habían de entremeter hasta cinco pies”<sup>(63)</sup>.

Es evidente que los problemas derivados del uso de rellenos de gran volumen, a veces injustificados por la

carga que soportan, fueron tratados y resueltos de forma satisfactoria por lo menos en su fase de realización, por la simple razón de que un error en esa fase suponía la imposibilidad de continuar la fábrica por derrumbe de lo construido, y más trabajando con morteros de fraguado dificultoso. La técnica que consiste en establecer verdugadas cada cinco pies -metro y medio aproximadamente- garantiza por lo menos la estabilidad funcional, ya que se puede considerar que se comporta como una fábrica de grandes sillares, aunque su resistencia sea, naturalmente, mucho menor. Los romanos llegaron a construir arcos con dovelas de mortero vertido "in situ", separadas por planos de imposta a base de ladrillos radiales. El material entre estas impostas, de la misma forma que el que se sitúe entre las verdugadas, se puede considerar como una pieza de comportamiento homogéneo que transmite sus esfuerzos a la cara regular mientras no se sobrepasen unas determinadas dimensiones, en cuyo caso su respuesta interior podría falsear el pretendido aparejo del conjunto.

Para conseguir este efecto, el de la regularidad y la homogeneidad en el comportamiento de cada nivel de relleno, así como para poder continuar la fábrica sobre lo construido, es necesario garantizar un estado semejante de endurecimiento en todo el perímetro a partir de un mínimo que permita soportar el peso de las consecutivas etapas: "*Prohíben los ejercitados que no se levante la obra más alta, si la parte que está acabada antes no estuviere ya endurecida, porque la obra reciente y blanda como sea sin potencia y que se pueda deshacer, no podrá en manera alguna sufrir lo que compusieres encima*"<sup>(64)</sup>.

El problema consiste en decidir, con los morteros al uso, cuando se ha alcanzado la suficiente "potencia". Hoy conocemos los procesos de fraguado y endurecimiento con suficiente exactitud, por lo que podemos decidir ese extremo con conocimiento de causa. En tiempos de Alberti se trataba de un saber ligeramente misterioso: "*Hasta que los principios de la obra hayan tenido firmeza: dicen que ha endurecido la cal cuando sudare vello y flor conocida a los oficiales*"<sup>(65)</sup>. Nuestros tiempos de desencofrado son la codificación de un problema similar. La regularidad y homogeneidad del material, que es comprobable con probetas, permite fijar unas fechas perfectamente fia-

bles con las que se garantiza la resistencia.

La importancia de la homogeneidad física de la fábrica también es entendida por Alberti. Será bueno que "*entre el replenar no se metan piedras tan grandes que pasen del peso de una libra, porque las que son más menudas piensan que más fácilmente se unen e igualan en los enlazamientos, que no las muy grandes*"<sup>(66)</sup>.

Es uno de los pocos datos concretos que suministra: se han de usar piedras en el relleno que no "*pasen del peso de una libra*". Teniendo en cuenta la amplitud de algunos rellenos, la idea es conseguir una masa homogénea y bien cubierta de mortero. Antes se ha referido a la inconveniencia de colocar en él "*piedra menuda*", pero por abajo no acota la dimensión. Vendría a ser algo parecido a nuestras recomendaciones sobre el tamaño máximo del árido en algunos hormigones, aunque por razones distintas.

### 6.3.13 Las columnas

Basándose en la frase: "*En toda la arte de edificar ciertamente el primer ornamento está en las columnas*", Witzkower opina que, "*ésta ocupa, entonces, un lugar destacado en la teoría estética de Alberti*", afirmación a la que no tenemos nada que oponer. Otra cosa es cuando continúa: "*Al colocar la columna en la categoría de ornamento, Alberti toca uno de los problemas centrales de la arquitectura renacentista. Pensando en función del muro, el principal elemento constitutivo de toda la arquitectura renacentista, ve la columna, ante todo como una decoración*"<sup>(67)</sup>. Puede que esto sea verdad en la arquitectura de Alberti, y no es motivo de nuestro trabajo su análisis, pero desde el punto de vista teórico, Alberti señala inequívocamente que: "*Ninguna otra cosa son sino una pared asentada, abierta en muchos lugares, y aun si agradare definir la columna misma por ventura no diría yo que es una continuada parte del muro levantada a plomo desde el suelo bajo hasta lo alto del techo por causa de sostener*"<sup>(68)</sup>. A su explicación sobre lo que es la columna, un trozo de pared, se le pueden dar muchas vueltas, tanto desde el punto de vista de los conceptos estéticos como desde los cons-

tructivos, pero lo que no ofrece duda es que su “causa” es la de “sostener”, en primer lugar. Su importancia desde el punto de vista estético también está expresada. Poco más adelante indica: “*Demás desto en toda la arte de edificar ninguna cosa hallarás que en obra, gasto y gracia antepongas a las columnas*”. Es de suponer, a la vista de lo dicho anteriormente sobre las paredes que han de ser “*las más partes que se puedan de la obra*” que se trata de las, para él perfectas, columnas griegas y romanas, base de casi toda su sabiduría compositiva.

Incluso algunos detalles ornamentales tienen un origen constructivo: “*Las columnas, al principio diólas la naturaleza de madera y redondas, después de esto hizo el uso que en algunos lugares se hicieran cuadrángulas, y por lo tanto, si bien declaro el negocio, viendo que a las columnas de madera les estaban metidos anillos hechos de hierro o cobre, para que con la pertinacia del peso las mismas columnas menos se hendiesen. De allí también los arquitectos a las columnas de mármol, en el pie de abajo fixaron un anillo a semejanza de faxa, con lo cual hacen que sea defendidas de las gotas que resultan de las canales*”<sup>(69)</sup>. La justificación del anillo, que en principio es correcta, “*para que con la pertinacia del peso, las mismas columnas menos se hendiesen*”, se complica luego con la pretensión de que de esa manera se protege la base de “*las gotas que resultan de las canales*”. No aclara quiénes fueron los que pusieron los primeros anillos de hierro. A pesar del salto cualitativo que supone el que un refuerzo como el de los anillos se convierta en una protección contra el agua, se puede aceptar que, ante la vulnerabilidad de la madera a la humedad, se protegiera la base de las columnas, impidiendo el contacto directo de éstas con el terreno interponiendo algunas piezas que dieron origen a las basas.

“*También en lo alto pusieron faxuela y collar con las cuales ayudas vían estar fortalecidas las columnas de madera*”<sup>(70)</sup>. Parece que, a juicio de Alberti, la forma definitiva de las columnas tiene su origen en consideraciones de índole resistente y de tecnología constructiva.

La forma genérica de la columna y la secuencia de las dimensiones de las partes que la forman está descrita con concisión: “*A cuales quiera columnas se les pone*

*debajo fundamentos y igualados los fundamentos a la llanura de la área acostumbraron a ponerles encima un murecillo, el cual llamamos llanura pequeña, y otros por ventura llamaron dado sobre el zócolo. Aplicaban la basa, y en la basa asentaban la columna, y sobre la columna ponían el capitel, y la razón de esto era ésta: que toda la columna se ensanchase en bajo del medio y hacia arriba se ensagostase, y en su grosez fuese por el pie más ancho que en la cabeza de arriba*”<sup>(71)</sup>.

Se puede interpretar que, como en el párrafo anterior, es la estabilidad de la columna lo que define ese apiramidamiento.

Poco más adelante insiste en este concepto adjuntando un dato decisivo sobre el esquema general: “*Pero en la basis de las columnas guardaron esto, que la parte más baja dellas sea de líneas rectas y ángulos rectos, pero que la superficie más alta se terminase en la redondez de la columna, y procuraron que por toda parte fuese esta basis más ancha que alta, y demás desto fuese por alguna parte cierta, de sí más ancha que la columna. Quisieron también que la superficie baja de la basis fuese más ancha que no la alta, y que el murecillo fuese también por alguna parte cuota más ancha que no la basis y quisieron también que el fundamento fuese por alguna parte cuota más ancho que no el murecillo*”<sup>(72)</sup>. El hecho de que aplique la misma expresión que cuando habla de cimientos, “*parte cuota*”, puede suponer la misma intención: se trata de ensanchar la base para garantizar un mejor apoyo del conjunto. Además deben ser más anchas que altas, tanto la basa, como el dado, como el cimiento, aunque nada dice en este capítulo, que es el que dedica a la construcción de las columnas, de cuánto “*más anchas*”.

Parece que está hablando de nuevo de las columnas clásicas griegas y romanas. Aunque en algunos casos las columnas góticas pueden responder a este esquema, no se enfatiza en ellas la basa como indica Alberti.

Por lo que respecta a los capiteles: “*Todos convienen en estas cosas, que sus partes de abajo imitan las líneas de la columna, pero las de arriba se acaban en superficie cuadrángula, y siempre será la más alta parte del capitel más ancha que no la de abajo*”<sup>(73)</sup>. Es

difícil encontrar capiteles góticos cuya “*parte de arriba*” acabe “*en superficie cuadrángula*”. En algunos casos el capitel es casi inexistente, o se reduce a una fina línea moldurada para el apoyo del salmer. Mayor similitud con el esquema descrito tienen los capiteles románicos, aunque puede que se deba a su mayor sim-

plicidad. Como colofón a este apartado incluye un párrafo que no deja lugar a dudas sobre su concepto de una ejecución correcta: “*Y cualesquiera cosas semejantes que pusieron, las asentaran unas sobre otras a plomo sobre el centro*”<sup>(74)</sup>.

**NOTAS DEL CAP. 6**

- (1) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 26.  
 (2) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 26.  
 (3) Vitruvio (2). Nota 1. Pág. 42.  
 (4) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 26.  
 (5) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 26.  
 (6) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 27.  
 (7) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 27.  
 (8) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 27.  
 (9) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 27.  
 (10) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 28.  
 (11) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 28.  
 (12) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 28.  
 (13) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 28.  
 (14) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 28.  
 (15) Vitruvio (1). Cap. VIII. Lib. II. Pág. 28.  
 (16) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. II. Pág. 7.  
 (17) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. I. Pág. 62.  
 (18) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. VIII. Pág. 19.  
 (19) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. VIII. Pág. 20.  
 (20) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 23.  
 (21) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 25.  
 (22) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 25.  
 (23) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 25.  
 (24) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VII. Pág. 73.  
 (25) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VII. Pág. 73.  
 (26) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VII. Pág. 74.  
 (27) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VII. Pág. 74.  
 (28) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (29) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 72.  
 (30) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 72.  
 (31) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 72.  
 (32) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 72.  
 (33) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 81.  
 (34) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 81.  
 (35) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 72.  
 (36) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VII. Pág. 75.  
 (37) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 76.  
 (38) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 76.  
 (39) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 76.  
 (40) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 81.  
 (41) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. IX. Pág. 81.  
 (42) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (43) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (44) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (45) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (46) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. XII. Pág. 29.  
 (47) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 70.  
 (48) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (49) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VIII. Pág. 76.  
 (50) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. X. Pág. 83.  
 (51) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VIII. Pág. 76.  
 (52) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (53) Valzania. Op. Cit. Pág. 22  
 (54) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (55) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (56) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (57) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (58) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.  
 (59) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. X. Pág. 82.  
 (60) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. X. Pág. 82.  
 (61) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VIII. Pág. 75.  
 (62) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VIII. Pág. 75.  
 (63) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VIII. Pág. 76.  
 (64) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. X. Pág. 82.  
 (65) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. X. Pág. 83.  
 (66) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VIII. Pág. 75.  
 (67) Wittkower, Rudolf. *Idea and image studies in the italian renaissance*. Thames and Hudson. London 1978.  
 (68) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 24.  
 (69) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 24.  
 (70) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 24.  
 (71) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 24.  
 (72) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 25.  
 (73) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 25.  
 (74) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. X. Pág. 25





## 7. Los arcos, bóvedas y cúpulas en los tratados

### 7.1 Consideraciones previas

Como cuestiones previas al análisis de los datos ciertos que en cada caso se manejan para construir los elementos arqueados -arcos, bóvedas y cúpulas- puede ser de interés intentar responder a tres preguntas: ¿cuándo, cómo y por qué aparecen?.

Respecto al porqué no hay excesivas dificultades. La primera noticia la aporta Estrabón que indica que los egipcios construían así “*a causa de la falta de madera*”. Puede que ello sea una razón importante, pero no la única. A las ventajas constructivas se suman la majestuosidad, la durabilidad y la incombustibilidad como razones válidas.

Pero desde el punto de vista de la lógica constructiva más primaria, el hecho de poder salvar una luz mediante unas piezas, cada una de las cuales es menor que el espacio a cubrir -en realidad no han de guardar ninguna proporción entre su tamaño y el del vano- es una solución cuya utilidad no necesita excesivas justificaciones. Hoy sabemos, además, que esos elementos trabajan principalmente a compresión, lo que es una ventaja adicional importante. Los materiales resistentes a ese tipo de esfuerzo son los más abundantes en la naturaleza, y en casi todos los casos, esa capacidad depende más de los criterios de colocación que de sus características intrínsecas, extremo éste muy difícil de definir hasta que no se emplean métodos físico-químicos de análisis, de conocimiento relativamente reciente y de aplicación dificultosa.

Con respecto al cuándo, las opiniones son variadas. A medida que la arqueología perfecciona sus sistemas de investigación y se amplía su campo, se va atrasando la fecha de aparición de estos elementos. Viollet le Duc,

como inicio de la voz "arco" en su Diccionario de Arquitectura, despacha el tema de forma sucinta: “*Arco es el nombre que se da a todo conjunto de piedras o ladrillos destinado a franquear un espacio más o menos grande por medio de una curva; este sistema de construcción, adoptado por los romanos fue desarrollado por los arquitectos de la Edad Media*”(1). Muy poco más tarde, y merced a las excavaciones de Thomas y Place en el palacio de Khorsabad se demuestra la existencia de bóvedas en el Oriente Próximo, confirmando lo expuesto por Estrabón, que indica que todas las casas de Babilonia estaban abovedadas.

“*En Egipto, Caldea, Asiria y la antigua Persia se disputan hoy la invención que hace cincuenta años se atribuía solamente a los romanos*”(2). A pesar de algunas avances, la situación sigue siendo la misma que la descrita en este párrafo por Domenech i Muntaner en 1886. Las dificultades existentes para la datación de las obras arquitectónicas hace difícil la exactitud en este tipo de cuestiones.

Es posible que se produzcan estadios culturales similares, que permiten en distinto sitio y momento llegar a los mismos resultados técnicos o artísticos, por lo que dado el escaso repertorio de materiales es posible que el arco y los demás elementos arqueados no tengan un origen único, sino que, con unas diferencias difíciles de precisar, se inventen en varios sitios a la vez, siempre, por lo que hoy conocemos, en la órbita del Oriente Próximo, y que en un proceso bastante complejo y tan dilatado en el tiempo como haga falta, se difunde, evoluciona, casi desaparece y renace como técnica perfectamente codificada en Italia, justo en la forma en que puede ser aprovechado por los romanos sistemáticamente.

Las bóvedas y arcos más antiguos conocidos hoy datan del IV milenio adC, en Uruk, aunque, según Estrabón, con anterioridad existían arcos en Egipto, extremo éste pendiente del hallazgo que lo confirme.

Pero no es nuestro interés participar en la polémica cronológica, sino en la medida en que pueda servir para aportar datos sobre los conocimientos ciertos que en cada caso se manejan en la construcción de arcos en la Edad Media. En ese aspecto, debido fundamentalmente a la falta de rastros sobre esos datos, es necesario conformarse con las deducciones que se puedan efectuar a partir de la observación de lo construido, sistema que en relación con nuestro trabajo tiene poca validez, ya que es obvio que los arcos se mantienen. Lo que está por ver, y es nuestro principal interés, es en función de qué datos se construyen para que eso ocurra.

La tercera cuestión es la de más interés para un constructor. ¿Cómo se inicia y se desarrolla la solución arqueada? ¿Cuál es el proceso desde que se conforma un intradós curvo, si es que se empieza así, hasta la apoteosis gótica?

Existen muchas teorías sobre el tema aunque se pueden reducir a dos: Una que presupone el origen del arco, de las bóvedas y cúpulas en la utilización sistemática del saledizo y en el aprovechamiento de las sugerencias que presenta el sistema, y otra que pretende el inicio de estos elementos en los dinteles de dos piezas inclinadas de menor luz que el vano a cubrir, apoyadas la una en la otra, y en las sucesivas complicaciones que surgen cuando se va aumentando su número.

No hemos encontrado datos que permitan avalar objetivamente ninguna de las dos teorías, por más que la primera sea, a nuestro entender, la más sugestiva y coherente.

Alberti es el primer tratadista que aventura una hipótesis sobre el origen del arco, aceptando como buena la segunda que hemos enunciado; *“Porque pienso que de aquí tomaron los hombres la razón de ser de los arcos, porque como viesan dos vigas juntadas las cabezas, y apartados los pies de abajo poderse afirmar de tal suerte que con el forcejear de ambas resis-*

*tiesen los pesos contra ellas puestos, agradóles la invención y comenzaron con esta obra a poner techos despidientes de aguas a los edificios. Y después desto por ventura por no poder cubrir mayor espacio con la brevedad de las vigas pusieron alguna cosa entremedias las cabezas altas de los trozos, de suerte que casi fuese acerca de los griegos la letra  $\Omega$  y por ventura a aquello de entremedias lo llamaron cuño; fue cediendo despues el argumento en los multiplicados cuños semejantes, viendo la semejanza hecha de arco aprobáronla. Y esta manera de poner arcos pasándola a las obras de piedra hicieron arcos con añadiduras”*<sup>(3)</sup>.

Cabría plantear, con un rigor excesivo para el interés de nuestro trabajo, si es cierto que el origen de las cubiertas a dos aguas se produce, como indica Alberti, como resultado de resolver un problema constructivo, o por el contrario, su evidente utilidad como cubierta planteó un problema a resolver. Las cubiertas a dos vertientes, *“despidientes de aguas”*, son de uso común prácticamente desde que el ser humano construye su primer refugio. Las incisiones de Valcamónica representan unas indudables cubiertas a dos aguas en una fecha desconocida, aunque muy remota con toda seguridad, no faltando multitud de ejemplos de este tipo de cubierta en otros testimonios dibujados a lo largo de la época protohistórica.

Queda patente la ventaja que supone utilizar piezas menores que la luz *“por no poder cubrir mayor espacio con la brevedad de las vigas pusieron algunas cosas entremedias a la cabezas altas de los trozos”*.

En apoyo de la otra hipótesis existen más datos, aunque ninguno de ellos es definitivo. Por las evidencias fue en Egipto, reinando la I dinastía (3100 adC), cuando aparecen las primeras bóvedas en saledizo. En un salto cualitativo importante se pasa a la disposición convergente de las piezas, posiblemente ladrillos sin cocer y de forma paralelepípedica -los dibujos que se conservan de los silos para el trigo presentan un perfil excesivamente rebajado para que sea en saledizo-, y como no se han encontrado dovelas de piedra parece lógico suponer que son las juntas las que acuñan el elemento. Este sistema puede funcionar si la entrada en carga es uniforme, ya que se produce un aplastamiento hacia el interior. Todo esto sería posible en las cúpulas, y no en los arcos, ya que en aquéllas, además,

a partir de una determinada altura cada pieza en cada nivel es comprimida hacia el interior por la disposición inclinada que adopta cada anillo, lo que facilita la construcción. El único problema durante la ejecución se reduce a cerrar cada uno de estos anillos sin que sea necesaria una cimbra para el conjunto.

Desde ese punto es posible pasar al adovelamiento en piedra con una cierta capacidad de observación, ya que la forma de cada dovela es explícita si se cuenta con un centro de curvatura del intradós o cualquier otro sistema para definirlo. Pocas certezas permiten avalar esta teoría, si no es la lógica intrínseca de cualquier proceso constructivo, aunque el primer resto datable de una cúpula es una aneja a la tumba de Seneb, en Gizhe, construida sobre una sala cuadrada por medio de enlaces empíricos en los que se prefiguran conjuntamente la trompa y la pechina, y en la que, como hemos dicho, no aparecen dovelas de piedra.

Puesto que el procedimiento se aplicaba a una planta cuadrada es probable que se hubiese empleado desde mucho antes, y con mayor razón, en una planta circular.

Los llamados tesoros de Agameón y de Clitemnestra, construidos en saledizo sobre una planta circular, pueden ser versiones tardías del sistema que dió origen a los elementos abovedados, y aún se utilizan como apriscos en casi toda la cuenca mediterránea construcciones similares ejecutadas con mampuestos irregulares dispuestos en círculos concéntricos hasta la clave, sin adovelar.

## 7.2 Requisitos de los arcos

El problema de fondo es el concepto mínimo. Se debe entender que el arco es un elemento útil del repertorio constructivo cuando es posible construirlo con unas ciertas garantías de estabilidad para una situación concreta. No se trata de que se pueda definir exactamente cómo lo haríamos hoy. Sólo se trata de que el constructor se atenga a una serie de normas que le permitan la ejecución del trabajo con esas garantías.

Actualmente el diseño de las bóvedas o de los arcos,

con la introducción de algunos conceptos del cálculo diferencial, puede presentar una complejidad extraordinaria. Pero no tiene objeto aplicar fórmulas que con nuestros criterios justifiquen lo construido. Lleguemos o no a descifrar las normas de ejecución en cada época, el hecho apodíctico es que los arcos y las bóvedas están y se mantienen. En todo caso sería importante a nuestros efectos definir cuáles son esas normas que, por distintas que sean a las que enunciaríamos hoy, han servido admirablemente al fin propuesto, sin mayores complicaciones.

En la actualidad, en obras no excesivamente singulares, cuando se trata de calcular y diseñar arcos aparejados en piedra o ladrillo, es la estática gráfica la que aún se emplea prioritariamente. Los requisitos que según ese sistema, de menor complejidad que otros cálculos numéricos, son necesarios para la estabilidad de arcos y bóvedas, son los siguientes:

1. La curva de presiones debe hallarse contenida en el espesor de la bóveda. Esta condición se deriva del concepto mismo de curva de presiones. Los puntos de la curva no son otra cosa que los puntos de aplicación de las reacciones mutuas de las dovelas, por lo que la transmisión de esas reacciones no puede efectuarse fuera de la zona de contacto.

1. El esfuerzo normal máximo en cada junta no debe exceder la resistencia a la compresión del material. Es evidente, o inmediato, que cuando el esfuerzo a soportar por cada dovela sea superior a su resistencia a la compresión, ésta se romperá sin mayores complicaciones.

3. El ángulo de reacción en una junta con su normal debe ser menor que el ángulo de rozamiento entre dovelas contiguas. Por esta última condición se evita el deslizamiento de una dovela sobre la contigua, por efecto de las fuerzas actuantes en cada superficie de contacto.

De estos tres requisitos únicamente es posible que se pueda enunciar el segundo simplemente en una primer estadio de observación. El aplastamiento de las dovelas y su pulverización por los pesos actuantes es lo suficientemente explícito como para que no sea necesaria ninguna otra reflexión. Este problema se plantea

muy pocas veces. La resistencia a la compresión de las piedras más comunes es suficiente para soportar, trabajando con secciones manejables, los pesos de la gran mayoría de las construcciones. Este problema se puede subsanar, en el peor de los casos, aumentando la sección de contacto entre dovelas.

Mayor dificultad puede plantear la discordancia entre la curva de presiones y el espesor del arco. El proceso de colapso de un arco en general es descriptible: se levanta por los riñones, se hunde por la clave y se abre por las jambas. Pero todos estos movimientos pueden no ser tan claros, sobre todo si está cargado asimétricamente. La premisa básica para que esta curva pueda producirse dentro de los límites físicos concretos es que la altura de cada dovela sea suficiente. Su trazado está influido por la manera en que actúa la carga y por la forma del intradós. En este aspecto la supervivencia de un arco construido sin calcular puede depender bastante de su situación en la obra. La existencia de paredes, generalmente rodeando su perímetro, permiten que la línea de presiones se pueda mover dentro de unos márgenes mayores a los del aparejo concreto del arco.

Por último, la influencia del rozamiento en la estabilidad de los arcos y bóvedas es evidente para nosotros, y susceptible de recibir un tratamiento científico que cuantifique los datos a establecer. No obstante, en general la existencia de unas cargas suficientes sobre estos elementos, convierte en irrelevantes las pequeñas variaciones que puedan presentarse. Casi todos los autores sitúan el coeficiente de rozamiento entre las dovelas en valores comprendidos entre 0,35 y 0,60. Este coeficiente hace depender el valor de la fuerza contraria al deslizamiento de la carga que soporta el arco, y como ésta es en general muy elevada, en la mayoría de los casos no es imprescindible, dadas las magnitudes con las que se trabaja, la determinación de este tipo de datos.

Manejando adecuadamente estas tres premisas, fundamentalmente las dos primeras, es posible obtener un diseño completo y fiable de un arco.

Según estos criterios, sería necesario que de las explicaciones contenidas en los tratados, o en los documentos gráficos, se pudiera deducir alguna relación entre

carga, forma y dimensiones, o cuando menos entre forma y dimensiones, para que se pudiera entender que existen unas normas previas que garantizan el trabajo.

Lo que pretendemos es conocer hasta que punto existe un conocimiento cierto de la forma y dimensiones que debe adoptar un arco determinado ante una situación de trabajo concreta, o al menos, cuál es la capacidad de carga o las indicaciones que aconsejan el uso de cada arco en cada caso, por remoto que sea el dato.

### 7.3 Los arcos en Vitruvio

A pesar de que los romanos lo hicieron prácticamente todo en el uso de bóvedas, arcos y cúpulas, desde la mayor y más compleja de las conocidas, el Panteón de Adriano, de 43,30 m de luz, hasta el aparente contrasentido del dintel plano adovelado, pasando por las bóvedas vertidas de mortero puzolánico, sólo tenemos el mínimo testimonio de Vitruvio para entender sus conocimientos.

La definición formal del arco y algunos requisitos muy primarios para su estabilidad están enunciados en la única cita referida al tema: *“Así mismo se ha de tener en cuenta que las bóvedas y arcos sustenten y alivien las cargas de las paredes con divisiones de bóvedas y que respondan sus cerraduras al centro, porque cuando fuera de las vigas o de las cabezas de los umbrales se hiciesen arcos con cuneos. Lo primero no se bregara la madera aliviada de la carga. Después desto, si algún daño recibieren por la vejez, fácilmente se mudara sin ponerle cuentos. Y allende desto, los edificios que se hacen de pilar a pilar y las bóvedas que se hacen con trabazones y junturas que respondan al centro, y en esos edificios los pilares postreros se han de hacer más apartados, porque éstos, teniendo fuerzas, puedan resistir cuando las bóvedas apremiadas con la carga de las paredes, apretándose por las travazones hacia el centro deshechasen las cargas. Así que si los pilares o pilastras de los ángulos fueren anchas teniendo las bóvedas y arcos darán más firmeza a las obras, como hemos advertido que se pongan en estas cosas buena diligencia”*<sup>(4)</sup>, en la traducción de Miguel de Urrea.

La nota correspondiente a este párrafo de la traducción de Ortiz en 1787 no tiene desperdicio para conocer el estado de la cuestión a finales del siglo XVIII: *“Los arquitectos teóricos y los matemáticos definen con bastante precisión para la práctica cuánta debe ser la anchura de los pies y jambas respecto al claro en todo género de arcos. Mr de la Hire, los Bernoulis, Poleni y otros han expuesto esta importante dificultad en estado de poder calcularse, pero no queda decidida. Sé que un sujeto instruido en esta materia está poniendo en orden algunas investigaciones que sobre ello tiene hechas, y se espera dexe el punto fuera de dudas, y con seguridad de obrar bien en la práctica.*

*“Vitruvio, considerando que pocas o ninguna vez sucede que los arcos no hayan de llevar encima el peso de las paredes, altos, techados y otras cosas, dexa la anchura de los pies o estribos a la consideración del arquitecto, amonestándole que nunca quede corto en esto, sino antes peque por exceso, gobernándose por la experiencia”<sup>(5)</sup>.*

La recomendación vitruviana que hemos analizado, si bien se mira, no aporta nada al conocimiento científico del trabajo de los arcos. Es una observación inmediata. Cualquier constructor al que se le haya caído al menos una rimera de arcos, sabe que el colapso comenzó, de estar los arcos bien contruidos, por los extremos, desplazándose hacia afuera los pilares.

Quedaría por plantear una única cuestión. Al final del párrafo Ortiz pone en boca de Vitruvio una explicación interesante: *“Pero si son anchos los pilares angulares aseguran la fábrica con su resistencia al impulso de los arcos”<sup>(6)</sup>.* Parece que el concepto, y ahora quizás caigamos en el error que prometimos evitar no leyendo más que lo que está escrito, puede ser más amplio. El hecho de que haya dos fuerzas que se opongan hacia el interior del edificio, que no otra cosa son los impulsos de los arcos y la resistencia que a él oponen los pilares angulares, la fábrica queda reforzada. Hasta aquí es pura lectura, pero su interpretación en este caso debe ir más allá. Es beneficioso el efecto y no se adivina ninguna otra posibilidad en la expresión *“asegurar la fábrica”*. Los contrafuertes, o los pilares angulares reforzados, son empujes pasivos. Su capacidad resistente no es ostensible hasta que actúa sobre ellos una fuerza interior y activa del edificio,

como la que provocan los arcos a los que se oponen. Mientras tanto su única acción es vertical. A la vista del énfasis que las torres angulares reciben en la etapa gótica quedan por interpretar todo un cúmulo de posibilidades. Y ninguna otra referencia a los arcos se encuentra en todo el tratado.

Es evidente que con este contenido no se puede pretender que, fuera cual fuera el conocimiento que de Vitruvio se tuvo en la Edad Media, se hubiera obtenido de él, ni remotamente, nada que pudiera haber servido para construir las equilibradas estructuras pétreas incluso del primer románico, y menos aún, las complejismas fábricas del último gótico. Lo único que aparece de forma clara es la necesidad de reforzar los machones extremos en el caso de arcos yuxtapuestos, pero sólo como recomendación. Nada dice de cómo hacerlo, y mucho menos de cuánto.

## 7.4 Los arcos en Alberti

### 7.4.1 Concepto

Desarrolla el concepto en dos capítulos de forma mucho más completa que Vitruvio. Ésta será una sorpresa constante; los autores posteriores citan una y otra vez al arquitecto romano sin mencionar casi al florentino, siendo así que éste amplía sustancialmente los conceptos. Quizás la propia complejidad de Alberti y su farragoso estilo sean una barrera importante para sus lectores, aunque en eso Vitruvio no presenta excesivas ventajas. Leonardo ni lo cita en sus escritos. Es un siglo posterior y quizás se puedan encontrar algunos antecedentes de sus aportaciones a la teoría de los arcos en una relectura de estos textos, pero el caso es que la relación no es explícita.

El párrafo que mejor idea puede dar del concepto mecánico que sobre el arco tiene Alberti es el que indica: *“Demás desto, el techo de las aberturas que es lo de sobre la entrada, ahora este puesto con viga derecha, o con arco tirado, será contado entre los mismos huesos, porque el ser arco, no diré yo que es otra cosa que una viga flechada, y la viga que otra cosa que una columna puesta atravesada”<sup>(7)</sup>.*

Por si cupiera alguna duda repite dos veces más la frase, casi con las mismas palabras: “Ya diximos que el arco era viga flechada”, y: “Ya en otra parte diximos que el arco era un arquitrabe flechada”<sup>(8)</sup>.

No es posible analizar lo que quiere decir Alberti de forma exacta, pero en cualquier caso el arco, y eso lo entendieron perfectamente los romanos a pesar de la parquedad de Vitruvio al tratar el tema, no es ni remotamente una “viga flechada”. Puede que se refiera a que el arco realiza la misma función que una viga, pero eso se podría decir de otra forma.

El caso es que ésa es su versión, si bien en otros párrafos da muestras de una mayor concreción y justeza: “De suerte que ya conviene confesar que el arco consta de compostura de muchos cuños, de los cuales unos con las cabezas de abajo se asientan sobre el mismo arco, otros asentados en la espalda tienen el nudo de el espinazo; otros cumplen la demás redondez de los costados”<sup>(9)</sup>.

Al margen del curioso defecto semántico que supone considerar que los cuños de abajo se asientan sobre el mismo arco, confundiendo una parte casi externa, las jambas, con el conjunto, divide las dovelas en tres clases sin que ello suponga más que una clasificación terminológica.

Después va a explicar que la clave habrá de hacerse, preferentemente, en una sola pieza, pero en esta clasificación aparecen varias posibles piezas en esa zona: “Otros asentados en la espalda tienen el nudo del espinazo”.

Es evidente que el arco es un elemento estructural, y en ese sentido apunta un criterio para decidir su uso: “Demás desto las aberturas unas son cuando estuvieren espesas las columnas y otras cuando raras, porque sobre las columnas espesas se pone viga, y sobre las raras arco”<sup>(10)</sup>. A su criterio los arcos son más fiables que los dinteles que se recomiendan cuando las aberturas “estuvieren espesas”.

La mecánica interna del arco está expuesta más como una reflexión personal que como el enunciado de una doctrina: “Y esto se puede ver porque el cuño mas alto que es uno solo en el espinazo de en medio, como

puede echar fuera los cuños de los lados o apremiándoles ellos mismos cuando podrá ser hechado fuera del asiento y ocupado; pero los cuños que se suceden cercanos por los costados fácilmente son retenidos en sus oficios con la igualdad de los pesos. Finalmente los cuños que están asentados en las dos cabezas, ¿porque han de ser movidos estando los de arriba en sus oficios?”<sup>(11)</sup>.

No aparece en esta reflexión ninguna salvedad que permita deducir que Alberti entiende el concepto de carga admisible, o de carga límite, o simplemente, que hay arcos que se caen si la carga es excesiva, y no es un concepto tan difícil. Un arco muy liviano y de mucha luz es menos resistente, a primera vista, que otro muy ancho y de poca luz, siempre dentro de la misma calidad del trabajo, y esto no parece entrar en su explicación. Es posible encontrar una disculpa a la rotundez de su enunciado. Quizás se trata de un arco teórico, pero en cualquier caso no es válida la generalización. Desde mucho antes de su tiempo ya se debe saber que la forma de un arco no es el único dato que condiciona su resistencia.

Se puede considerar que está entendida la forma en que se transmiten, desde la clave a los salmeres, los empujes internos que son, en definitiva, los que mantienen en su sitio las dovelas sometidas a carga.

La necesidad de que los empujes de cada semiarco se anulen en la clave está expuesta de una manera casi científica: “De aquí es aquello de Varro, que dice, en las obras de arcos no se rigen más las cosas diestras por las siniestras, que las siniestras por las diestras”<sup>(12)</sup>.

Cabe hacer una observación sobre este último párrafo. Es cierto que en un arco considerado aisladamente, “no se rigen más las cosas diestras por las siniestras que las siniestras por las diestras”, pero ésa no es la única forma en que pueden trabajar. Es más, en la reciente para Alberti, y en muchos casos coetánea, construcción gótica, los arcos se pueden entender como soportes lineales muy versátiles, cuyos apoyos y cuya forma dependen de su situación en el conjunto de la estructura. Como ejemplo valgan los arbotantes, que son arcos cojos, o por tranquil, y que trabajan generando empujes opuestos a los de las naves, precisamente

generando empujes asimétricos, y en muchas ocasiones el equilibrio estructural se consigue oponiendo a un racimo de arcos, otro, uno de cuyos arranques está situado en el vértice de éste, y sigue la bisectriz del conjunto al que se opone. Lo que posiblemente quiera decir Alberti es que el arco debe estar en equilibrio. Hoy esa premisa la enunciamos explícitamente como necesaria para cualquier elemento constructivo y como base imprescindible de su diseño.

#### 7.4.2 Influencia de la forma en la capacidad de los arcos

Alberti clasifica los arcos en tres grupos por la forma, adjudicando a cada una de ellos una serie de propiedades que, a pesar de la singularidad con la que los trata, son comunes, según nuestro criterio, a cualquiera de ellos, porque son propiedades o defectos de todos los arcos.

*“Los arcos difieren sobre sí, porque es uno recto el cual constituye un entero semicírculo, la cuerda de éste se endereza por el centro del círculo”. “Ay otro que imita más la natura de la viga que no de arco, a éste llamamos desminuido por ser no entero medio círculo, sino que es una parte cuota de él, la cuerda deste dista del centro y está encima”. “Ay también arco compuesto el cual mismo unos llaman angular, otros arco que se compone de dos arcos disminuidos, y tiene su cuerda dos centros de dos líneas flechadas que se cortan entre sí”<sup>(13)</sup>. Parece conocer sólo los que tienen su origen el círculo, no existen para él los carpeneles ni todos los demás de trazado complejo que Viollet ha encontrado en las catedrales góticas. De todas formas, a pesar de lo farragoso del párrafo, se puede entender bien el trazado de cada una de las tres clases.*

No se le ocultan las ventajas que posee el arco apuntado desde el punto de vista resistente, y lo recomienda para los de descarga: *“Pero en todas las aberturas que se les pone arco se ha de procurar que aquel arco no sea menor que una media parte del círculo añadida una séptima parte del semidiámetro, porque afirman que acerca de los experimentados es éste el más acomodado de todos para durar siempre. Pero de todos*

*los demás arcos piensan que son flacos para sufrir la carga, y aparejados a ruyna y caída”. Y aquí empieza una relativa confusión. Este arco, según queda explícito, es “el más acomodado para durar siempre”, siendo “todos los demás aparejados a ruyna y caída”. La expresión no ofrece duda, pero poco más adelante indica: “El arco recto ser el más firme de todos, se ve por ello mismo y se demuestra por razón y argumento. Y no veo de que manera se pueda deshacer de suyo, sino es que los cuños el uno empuje al otro hechándolo fuera, de la cual injuria están tan apartados que aun el uno se confirma con la ayuda del otro, y si por ventura acometiesen hacer esto son prohibidos por la natura de los pesos debajo de que está, o con que los mismos cuños están embutidos”<sup>(14)</sup>.*

Por más esfuerzos expresivos que hace, no logra dar una explicación convincente que sirva sólo para los arcos de medio punto. De nuevo unos conceptos propios del análisis de formas interfieren en la explicación sobre las capacidades resistentes de los elementos constructivos. Antes indicó las virtudes del arco apuntado, recomendándolo para colocar sobre los dinteles, pues dura siempre. Ahora es el arco recto, de medio punto para nosotros, el más firme de todos.

En sí misma, la explicación, demostrada “por razón y argumento” es bastante válida, aunque no se mencionen los límites de resistencia de las dovelas, ni ninguna otra causa por la que los arcos se caen por bien contruidos que estén. Lo que ocurre vale para todos los arcos y esto es sabido por los constructores anteriores a Alberti, puede que no de forma explícita, pero sí en la práctica.

Entre las propiedades de los arcos rectos parece que figure la de no generar empujes, lo que supone un retroceso en la interpretación de la realidad sobre los conceptos de Vitruvio: *“Luego en los arcos rectos que fácilmente se defienden, no tenemos necesidad de cuerda, pero en los disminuidos afirmamos una cadena de ferro, o cosa que tenga fuerza de cuerda a las estensiones de las paredes de una y otra parte, y deseamos que estas estensiones no sean más breves de que con ellas pueda ser enterada de las redondez disminuida que falta”<sup>(15)</sup>.*

Reitera el concepto sin que en la explicación aparezca



otra salvedad, como la que podría corresponder a los arcos compuestos: “*Demás de esto tenemos entendido que el semicírculo es un arco que no tiene necesidad de cuerda, ni de ayuda. Pero todos los demás sino les aplicaredes cuerda, o pesos contrarios con lo cuales contiendan, vemos que con su misra fuerza se hienden y caen*”<sup>(16)</sup>. Los demás deben ser los rebajados, “*disminuidos*”, aunque la realidad es que no se indica en el texto.

El simple concepto vitruviano de empuje se hace más concreto y aparece en Alberti como “*cuerda o pesos contrarios*” con los cuales debe “*competir*” el arco.

Realmente el valor plástico de la explicación es grande. Por una parte los materiales capaces de tener “*fuerza de cuerda*”, se puede entender que son materiales capaces de trabajar a tracción, palabra que no es posible que utilice Alberti en el mismo sentido que nosotros, y por otra, el equilibrio del arco es activo: se produce cuando dos fuerzas, por decirlo a la manera albertiana, compiten entre sí.

“*Lo cual mismo nunca menospreciaron hacerlo los más antiguos arquitectos, y los arcos disminuidos, mientras pudieron, nunca los dexaron de hacer enteros, dentro de los lados de las paredes y observaron excelentemente que a las vigas derechas donde había ocasión les aplicaban encima un arco disminuido. Y demás desto a los mismos arcos disminuidos les sobreponían encima arcos rectos que defendiesen debajo de sí a los arcos disminuidos y recibiesen en medio las molestias de los pesos*”<sup>(17)</sup>.

No se acaba de ver la razón para esos dos arcos sobrepuestos al dintel, el disminuido y el recto. Al margen de que los romanos, que son los antiguos arquitectos a que se debe referir, raras veces usan ese sistema -lo más general es que coloquen sobre el dintel un solo arco: el recto-, el caso es que no se adivina la utilidad de la redundancia constructiva. Si es posible colocar sobre el dintel el arco disminuido y sobre él a su vez un arco recto, no está clara la razón para no colocar directamente un arco recto, si no es la particular manera de Alberti de complicar el proceso, o los apuros de su traductor.

Con respecto a los arcos compuestos, Alberti da una

explicación susceptible de ser analizada bajo su aspecto semántico, ya que puede tener alguna relación con otras explicaciones contemporáneas a él: “*Los arcos compuestos no se veen: acerca de los antiguos hay algunos que piensan que se han de poner en las aberturas de las torres, para que hiendan los pesos puestos encima como con proa contrapuesta, porque los arcos compuestos semejantes se confirman con los pesos puestos encima, más que no son oprimidos*”<sup>(18)</sup>.

De nuevo el gran sentido plástico de algunas expresiones albertianas destaca por encima del concepto técnico. Hendir los pesos puestos encima “*como con proa contrapuesta*” es realmente un hallazgo feliz. Lo que sorprende es el final del párrafo, “*porque los arcos compuestos semejantes se confirman con los pesos puestos encima, más que no son oprimidos*”. Parece como si mejoraran las condiciones de estabilidad de los arcos compuestos al ser cargados.

En su *Vita de Filippo Brunelleschi*, Vasari, al dar cuenta de las explicaciones de aquél para justificar el perfil de Sta. María de la Flor, indica textualmente; “*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 éste es un arco que siempre empuja hacia arriba, y sobrecargado con la linterna se ayudarán mutuamente a hacerse duraderos*”. En nuestro lenguaje, desde luego la frase es un disparate. Una cosa es la capacidad resistente, tan grande como se quiera, y otra es la aparición de una resultante negativa, que no otra cosa es el empuje hacia arriba. Con una diferencia de pocos años, en el caso en que la transcripción de Vasari tenga la más mínima relación con la realidad de las explicaciones de Brunelleschi, cosa imposible de comprobar, se encuentran dos teorías coincidentes. Los arcos apuntados son activos hacia arriba. Hace falta equilibrarlos con un peso.

No se trata, como aseguran algunos tratadistas, que sepa que el arco apuntado ejerce menos empujes en los apoyos. Se trata de que el arco apuntado tiende a abrirse hacia arriba, o parte los “*pesos contrarios como con proa contrapuesta*”. Son conceptos que tienen más que ver con las sugerencias que intuitivamente provocan algunas formas sobre su capacidad resistente, que con el conocimiento, siquiera remoto, de la

descomposición de fuerzas. Existe una gran diferencia entre la comprobación científica de un fenómeno y su análisis inmediato. Se podrá dudar de la trascendencia de estos párrafos y de su utilidad como datos para interpretar la realidad de los conceptos constructivos de la época, pero el hecho es que son lo único que poseemos para aproximarnos a ellos.

### 7.4.3 La construcción

Al final del capítulo dedicado a arcos da unos consejos sobre la forma en que han de estar contruidos. El primero de ellos, de ser tomado en sentido literal, pone en cuestión el concepto de arco como elemento compuesto de piezas menores organizadas según un esquema resistente fiable: *“Los cuños de que se hace el arco querría que fuesen todos de piedra ancha y cuanto puede ser grande, porque la naturaleza de cualquier cuerpo es mas indisoluble la que está allegada y unida por natura que no la que es conjunta y compuesta por la mano y arte de los hombres, y conviene que sean entre sí iguales para que como en balanza correspondan las cosas diestras a las siniestras en haz grandeza y peso, y en las demás cosas semejantes”*<sup>(19)</sup>.

Parece cierto, en principio, que *“la naturaleza de cualquier cuerpo es más indisoluble la que está allegada y unida por natura que no la que es conjunta y compuesta por la mano y arte de los hombres”*. Por lo menos lo es en tiempos de Alberti. No obstante, ocurre que, aunque es bueno que las dovelas sean todas de la anchura total del arco, no es buen principio en los arcos pretender que estas sean de piedra *“cuanto puede ser grande”*. Los constructores góticos, puede que por razón del peso -se trataría de fabricar con piezas manejables-, tienden a un tamaño de las dovelas que no apura en absoluto las posibilidades de volumen que les permite el material empleado. Las dovelas no son todo lo grandes que pueden ser, sino que tienen un tamaño decidido según otros criterios. El propio Alberti no aplica este principio en su actividad constructora, aunque puede ser objeto de otro estudio ver cuántos de los que enuncia utiliza en sus obras. Parece que no se fíe de la capacidad resistente del arco, a pesar de que antes lo ha preferido al dintel, la sola pieza por reducción al absurdo, para cubrir huecos.

Más aceptable es la última recomendación contenida en el párrafo: *“Conviene que sean (las dovelas) entre sí iguales para que como en balanza correspondan las cosas diestras a las siniestras en haz grandeza y peso, y en las demás cosas semejantes”*. Hoy en día entendemos preferible la igualdad de las dovelas a efectos de simplificar el cálculo y racionalizar la construcción. Al trazar la curva de presiones es más cómodo contar con unos planos de contacto equidistantes entre sí y con un esquema que permite considerar de igual peso propio cada una de las dovelas. De todas formas es posible calcular los arcos despiezados según dovelas desiguales si bien con un mayor esfuerzo. La única dificultad estriba en que habrá que calcular el peso propio y el punto de aplicación de éste en cada caso.

Durante todo el periodo objeto de nuestro trabajo, la irregularidad de las dovelas es prácticamente constante, dentro de unos márgenes bastante amplios. Pero lo más discutible del criterio de Alberti es la justificación. Con ello se consigue, *“que como en balanza se correspondan las cosas diestras a las siniestras en haz grandeza y peso, y en las demás cosas semejantes”*. Otra vez un concepto excesivamente primario, y que no han considerado necesario los constructores anteriores, es entendido como imprescindible. La igualdad de esfuerzos sobre la clave no vendrá dada exclusivamente por la igualdad de las dovelas. El peso sobre el arco, la calidad de la piedra, el tamaño de los estribos, entre otros, son datos a tener en cuenta y que no refiere Alberti.

La siguiente recomendación se puede entender como inocua: *“Si hecharés muchos arcos a los portales por las aberturas continuadas desde las columnas y capiteles, harás que donde hacen dos cuños juntos o más de arco no estén dos piedras divididas, o otras tantas según el número de los arcos sino una y sola y del todo entera con que se sustenten las cabezas deste arco y de aquél. Pero los cuños segundos, que se levantan cercanos sobre estos primeros, si fueren de piedra grande, procura que ambos y uno esté pegado al otro juntadas las renes en línea; la tercera piedra que cubra a éstas segundas se asentará con igual enlazadura, según las leyes de los muros en nivel, de suerte que sirva a ambos dos arcos juntos, y con abrazo detenga los cuños de ambos”*<sup>(20)</sup>. Después de que los trabajos teóricos de Viollet le Duc y de Choisy, en

los que sobre la base de los despieces se establecen todo tipo de suposiciones mecanicistas, hayan sido desmentidos por la múltiple realidad de los despieces existentes, este tipo de puntualizaciones aparecen como secundarias en la práctica de la construcción de arcos. Pocas conclusiones se pueden sacar de su análisis. Precisamente Choisy basa una de sus teorías sobre el desarrollo de la construcción románica en una forma peculiar de efectuar el despiece del salmer común a dos arcos, que es a lo que se refiere Alberti.

Continúa con un consejo vitruviano: “*En todo el arco harás que las apegaduras de las juntas y los encajamientos se enderecen a su centro*”<sup>(21)</sup>. Tampoco es seguido a rajatabla, ni es imprescindible. Los despieces son posibles tomando como centro de convergencia de las dovelas puntos muy distintos dentro de unos límites bastante amplios. De todas maneras el consejo es válido como norma general, a falta de otro criterio mejor, aunque en el caso de Vitruvio está más justificado. Los arcos romanos, por lo general, son de una extraordinaria regularidad y simplicidad de trazado. En tiempos de Alberti, por el contrario, se tiene toda la experiencia gótica, con un repertorio extraordinariamente variado de ejemplos de despieces complejísimo. En este párrafo queda patente de nuevo la ruptura que se produce durante el Renacimiento con los saberes de la etapa gótica. El exclusivo interés por las obras romanas hace que se desprecien los aún próximos sistemas góticos, aunque en muchos casos se deba a una postura cultural consciente hacia lo que se considera un arte inferior, aunque poco más adelante Alberti diga: “*Y no dexare de decir aquí lo que he notado por cosa señalada y digna de loor acerca de los antiguos, que estas aberturas, y los arcos de las bóvedas fueron puestos de tal suerte por los arquitectos antiguos en los templos, que si quitaredes todas las columnas de dentro, como queden los arcos de las aberturas y las bóvedas de los techos no se caerán, de tal suerte son las guías de todos los arcos sobre que cargan las bóvedas tiradas hasta el suelo de maravilloso artificio, y conocido de pocos que está firme la obra restribando en solo los arcos, porque como a ellos la tierra les es cuerda firmísima, porque también los arcos por sí no duran ni están firmes siempre*”<sup>(22)</sup>. Lo más probable es que estos “*arquitectos antiguos*” sean los góticos: el párrafo rezuma admiración y desconocimiento. Muy acertado es el final: “*a ellos, (los*

arcos que restriban la fábrica) *la tierra les es cuerda firmísima*”.

Sin embargo, acaba con un consejo que se puede entender influido por la técnica medieval: “*El cuño del espinazo siempre, los exercitados, le pusieron de una piedra entera y muy grande*”. Es notoria la importancia de la clave en los abovedamientos góticos. En los arcos romanos, excepto cuando se trata de claves de clara intención decorativa, no aparecen resaltadas en el conjunto.

Éstos son, a nuestro criterio, los párrafos de la obra de Alberti relacionados con el proceso constructivo. Se podría intentar una mayor selección de citas mediante la interpretación de algunos párrafos a la luz de sus posibilidades constructivas, pero eso no estaría de acuerdo con nuestras intenciones. Los datos técnicos contenidos en el tratado son éstos, y la arquitectura de Alberti y la de los otros arquitectos renacentistas es la que conocemos. Habría que trabajar sobre la realidad de lo construido, como hemos hecho con los ejemplos medievales, para acometer ese trabajo, y eso escapa a nuestros límites.

## 7.5 Los arcos según Leonardo

El alcance exacto de las aportaciones de Leonardo da Vinci en el desarrollo de gran cantidad de aspectos de las ciencias y las artes es un hecho que no nos corresponde a nosotros decidir, y que excede los límites de este trabajo.

No obstante, está fuera de toda duda que tanto por su capacidad como por sus conocimientos, sus escritos se pueden interpretar como una de las cumbres de la sabiduría de su época. Es relativamente reciente la publicación de algunos de sus manuscritos -los códices de Madrid fueron descubiertos en 1967- y está aún pendiente un análisis detallado de algunos aspectos de los mismos.

En la “*nota introductoria*” a la recopilación publicada, se indica: “*Desde un punto de vista más general, el intento de puesta a punto antológica de Firpo, aunque como compilación es incompleta, ha sido muy útil*

para dar una idea de la amplitud, complejidad e importancia, siempre superior a lo predecible, de la exclusivamente teórica actividad arquitectónica de Leonardo. Los estudios de Heydenreich han continuado, con la amplitud de horizontes que cabría esperar, uniendo una filología muy precisa a la individualización y discusión en la crítica leonardiana, demostrando, entre otras cosas, la necesidad de establecer la hipótesis de la preparación por parte de Leonardo de un tratado de arquitectura<sup>(23)</sup>.

Es éste un tema de una densidad extraordinaria en el que no nos sentimos en disposición de opinar ni siquiera remotamente, tantas son las implicaciones y polémicas de todo orden que la sola mención de Leonardo supone en cualquier aspecto. Nuestro empeño será mucho más simple. Dando por buenas las transcripciones que aparecen en el libro citado, trataremos, como en otros casos, de analizar las posibilidades ciertas que, desde un punto de vista práctico y teórico, presentan para un constructor que pretendemos intemporal.

La definición y forma de trabajo del arco está expuesta cuando se responde a la pregunta, ¿qué es un arco? *“El arco no es otra cosa que una fortaleza formada por dos debilidades, ya que el arco en los edificios está compuesto de dos partes de círculo, los cuales cuartos de círculo, cada uno debilísimo en sí mismo, quiere caerse y oponiéndose a la ruina uno del otro, las dos debilidades se convierten en una fortaleza”*<sup>(24)</sup>. Si sustituimos el expresivo “debilísimo” por el más técnico “inestable”, tendremos una formulación muy válida. Hay que hacer notar que se refiere, quizás por ser un enunciado teórico, al arco como semicírculo, compuesto de dos cuartos de círculo, siendo así que él mismo utiliza en sus dibujos otros de formas muy variadas y trazados geométricos distintos.

La simetría es importante para el equilibrio: *“Porque el arco ya montado queda en equilibrio fundamentalmente porque tanto empuja el uno sobre el otro cuanto el otro sobre el uno; y si pesa más un cuarto de círculo que el otro, allí le será negada la estabilidad, ya que el mayor vencerá al menor peso”*<sup>(25)</sup>. El párrafo define sin equívocos uno de los principios de la estática, el de la igualdad de fuerzas, quedando perfectamente claro que la resultante de los dos empujes será

nula. El término empuja - *spinge*- deja pocas dudas sobre su concepto de equilibrio. Incluso la resultante está enunciada de alguna forma en la parte final del párrafo.

El único antecedente, redactado de forma mucho más confusa, se encuentra en Alberti: *“De aquí es aquello de Varrón que dice, en las obras de los arcos no se rigen más las cosas diestras por las siniestras que las siniestras por las diestras”*. Es evidente que de forma implícita o explícita, el conocimiento de este principio se ha producido en cualquier cultura que utilizara de forma habitual el arco. Prácticamente la única manera de construir un arco cimbrado es colocar la clave al final. Antes, las dos partes del arco son absolutamente inestable y se mantienen apoyadas en la cimbra, cargando sobre ella su peso. Lo acertado reside, a nuestro juicio, en la precisión del lenguaje. Rizando el rizo del análisis, cabe plantear una cuestión. Si bien este enunciado es absolutamente cierto, cuando el arco entra en carga de otros pesos que los propios, su estabilidad depende entonces, entre otras cosas, de que los estribos respondan a la asimetría de cargas que se puede producir.

Este aspecto de la cuestión es resuelto por Leonardo de forma restrictiva: *“Después del peso igual de los cuartos de círculo es necesario dar el mismo peso encima, de otra forma se incurre en el error antedicho”*<sup>(26)</sup>.

Lo importante, según un criterio actual, sería que el arco, sea cual sea la distribución de cargas, tenga capacidad suficiente para resistirlas. El problema será cuantificar esa disimetría, ya que él utiliza arcos con carga asimétrica en algunos dibujos.

Aparece otra novedad importante: la sobrecarga o carga de uso, así como los efectos que puede ocasionar en el elemento resistente, está enunciada explícitamente. En realidad, y quizás por cuestiones relacionadas más con el diseño arquitectónico que con el rigor constructivo, los arcos aparecen en el Renacimiento cargados de forma regular y simétrica, lo que hoy llamaríamos carga uniformemente repartida, o con suficiente plentería como para que la carga llegue repartida al trasdós, por lo que no es difícil que se cumpla el requerimiento. Pero no ocurre así en las ner-

vaduras góticas, en las que la asimetría de formas y cargas en los arcos es constante. De nuevo tropezamos con el olvido, o el desinterés, o el desconocimiento, que los hombres del Renacimiento parecen tener por la inmediata etapa gótica. Ni una sola referencia a otras posibilidades o interpretaciones de toda la compleja estructura arqueada que aún se desarrolla pujantemente en otras partes de Europa.

El concepto de resultante, además de enunciado, está entendido como algo activo: *“La pilastra que soporta la carga mas desigual se caerá antes”*<sup>(27)</sup>, entendiendo por carga más desigual la carga mayor.

La capacidad de abstracción de Leonardo se manifiesta en la interpretación de algunos efectos. Cabe dudar de su base científica. Puede que sean simplemente elucubraciones de inspiración personal sin datos objetivos que las avalen, lo que no representa a nuestro entender ningún demérito: *“El arco cargado por la mitad romperá en su cuarto derecho e izquierdo. Se prueba por la séptima de estas razones que dice: Las extremidades opuestas de los apoyos están igualmente cargadas por el peso que se les suspende”*<sup>(28)</sup>. No hemos conseguido averiguar cuáles ni cuántas son las “razones”, de las que se expone la séptima, ni de dónde salen, ni a qué metodología corresponden. Eso pertenece a nuestra voluntaria abstención ante lo complicado y lejano de cualquier polémica sobre la actividad de Leonardo. Para nosotros lo más importante es el enunciado de uno de los postulados de la estática de forma inequívoca. Las reacciones en los apoyos de una carga centrada, o uniformemente repartida, son iguales para una sección constante de la viga o del arco. Además, en el párrafo está explícito el concepto de carga de rotura, aunque no cuantificada: existe una a partir de la cual los arcos se rompen. Los avances sobre los conceptos o las enumeraciones de Alberti son extraordinarios. Otra cosa es que sea verdad el enunciado. Un arco cargado al centro puede romper en su cuarto derecho e izquierdo sólo en determinadas condiciones.

A pesar de un párrafo tan cierto y de la seguridad con la que maneja el concepto de reparto de cargas y reacciones, a la luz del siguiente se pueden establecer dudas sobre la coherencia del conjunto teórico. Quizás no sea lícito aplicar un análisis excesivamente riguro-

so a lo que presumiblemente sean unas notas de valor personal, y cuya cronología no está establecida de forma rigurosa, por lo que puede que, al ser anteriores o posteriores al anterior párrafo analizado, se anulen el uno o el otro, pero el caso es que ese concepto de reacción en el apoyo tan claramente enunciado resulta extremadamente confuso cuando afirma: *“La experiencia que un peso, colocado sobre un arco, no se carga todo sobre sus columnas, al contrario cuanto mayor peso se ha puesto sobre los arcos tanto menos pesa el arco sobre las columnas, la experiencia es ésta. Se pone un hombre bajo una romana en medio del agujero de un pozo; se hace después que alargue las manos y los pies contra las paredes de dicho pozo; veréis por experiencia, cuanto mayor peso le dareis, mayor fuerza hará en abrir los brazos y las piernas, y más presionará en las paredes y más faltará el peso en la romana”*<sup>(29)</sup>.

Los apoyos han dejado de estar *“igualmente cargados con el peso que se les suspende”*, y sin que medie mayor explicación de hacia dónde han desaparecido las cargas, dice que todo el peso no se carga sobre las columnas. Sorprende que la “experiencia” sea “ésta”. No parece darse cuenta de que la mayor fuerza que el hombre hace contra las paredes del pozo, cuanto mayor sea el peso se le coloque encima, lo que hace que marque menos la romana de la que está suspendido, es producto de la desesperación. No conocemos sus comentarios, ni las conclusiones que obtendría con las que enriquecer sus teorías sobre los arcos, cuando, de prolongarse excesivamente el inquietante experimento, el hombre, fatigado, se dejara caer. Según un criterio actual el hombre aguanta por el rozamiento que provoca contra las paredes con manos y pies, y aunque, como en el caso de la componente horizontal del arco, este rozamiento aumenta al aumentar la carga, en el caso del arco se produce por las leyes elementales de la descomposición de fuerzas, mientras que en el caso del hombre se debe a un acto de voluntad, quizás relacionado con la supervivencia, y depende de datos ajenos a la esencia del experimento, como son las características del peso y la ominosa profundidad del pozo.

A la vista de los riesgos de todo orden que supone la experiencia, vamos a quedarnos con el párrafo anterior en el que evidencia un conocimiento bastante exacto

de la existencia de la resultante vertical, e incluso hace una aproximación válida a su valor numérico.

No sólo se puede entender que enuncia las reacciones como fuerzas resultantes del peso analizando exhaustivamente otro de sus párrafos. También se puede interpretar que reconoce de alguna forma la existencia de los momentos, o por lo menos la importancia que en la aplicación de una fuerza tiene la distancia a la que se efectúa esa aplicación: *“El arco que está cargado en uno de sus lados, este peso se cargará en la cúspide de la otra parte y pasará el peso hasta el cimientito y romperá en aquella parte que esté más lejana de su extremo y de su cuerda”*<sup>(30)</sup>. Ya no es la afirmación simple de que cualquier peso sobre el arco se transmite a las pilastras que lo sustentan. Incluso la necesidad de que la carga sea simétrica ha pasado a un segundo plano. Se supone una carga asimétrica -el arco está cargado en uno de sus lados-, y se sabe que acabará transmitiendo esa carga a los cimientitos. Además, actuará con mayor intensidad, provocando el colapso *“en aquella parte que esté más alejada de su extremo y de su cuerda”*. Por ser la carga asimétrica, no son iguales las resultantes en cada pilastra, con lo que aparecerá otra que actúa generando un momento, que será máximo para el conjunto en el centro de giro más lejano posible a su punto de aplicación.

Las dos direcciones en las que descomponemos las fuerzas actuantes sobre un arco para el mejor dimensionado de los apoyos están perfectamente entendidas, aunque parece que no intuye su relación numérica. Las horizontales, que son las que más rápidamente se explicitan cuando se produce el colapso de un arco, ya que son las que provocan la caída lateral de los apoyos, son objeto de varias citas inequívocas: *“El arco será de más larga perpetuidad cuando haga bueno al contrario su empuje”*. *“Los arcos que se mantienen con ayuda de cadena (tirantes) no son estables”*<sup>(31)</sup>. No parece confiar Leonardo en los aceros de su tiempo y no los considera, al contrario que nosotros, un material definitivo en la construcción.

*“Que se demuestra con el arco hecho en los lados de un octógono empujan las pilastras hacia afuera, por lo que conviene sujetarlo por el centro de dicho octógono”*<sup>(32)</sup>. A pesar de que los empujes hacia afuera generados por los arcos han sido enunciados por

Vitruvio, en este párrafo de Leonardo aparecen importantes novedades. El empuje se produce por la acción de dos arcos, los que convergen en cada pilastra, y hacia afuera, lo que supone una ratificación del concepto de resultante, en este caso la suma del empuje de cada uno de los arcos. El hecho de que haya que contrarrestar ese empuje desde el centro de la planta del octógono implica que se sabe, o se intuye, que esa resultante, para el caso de arcos iguales, está en la bisectriz del ángulo formado por los dos arcos.

Lo que sorprende es que singularice su afirmación al octógono. Ello puede abundar en la teoría de que se trata de reflexiones personales, y de que ésta en concreto se le ocurre cuando trabaja con esa figura geométrica, por lo que no la extrapola a otros casos de arcos *“hechos en los lados”* de otras plantas poligonales.

Además de las resultantes y sus efectos, el resto de fuerzas que actúan en el arco se sitúan mejor que en Alberti. Un consejo que parece puramente constructivo se puede entender como la demostración de que conoce la debilidad de los riñones del arco y la necesidad de rodearlo para evitar el colapso: *“El modo de hacer un arco permanente es rellenar sus ángulos de buen relleno hasta su enrase en la clave”*<sup>(33)</sup>. Este consejo, que como hemos dicho se puede interpretar como un detalle constructivo, caso de estar bien ejecutado, reconduce la línea de presiones hacia la vertical del apoyo, impidiendo que pueda levantarse por los riñones.

Todos estos conceptos parten de la base de que el arco y la carga son 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”*<sup>(34)</sup>.

Como en otras generalizaciones técnicas, fundamentalmente las normativas, el párrafo está cargado de un peligroso sentido común. De aplicarse con rigor este criterio, que lleva implícita la exigencia de su contrario, como ya hemos dicho, la imprescindible coplanariedad de arco y carga, no hubiera sido posibles las complejas estructuras góticas en las que constantemente los arcos se apoyan unos en otros, arrojando cargas oblicuas, en absoluto dirigidas *“al pie del arco”* sustentante. El aserto es suscribible como principio y

si se entiende enunciado estrictamente. Nosotros tampoco aceptaríamos un esfuerzo transversal sobre un arco sin disponer de materiales que trabajen a tracción y sean capaces de absorber el momento que se produce en los apoyos. Sería muy arriesgado fiar la estabilidad al rozamiento interno de las dovelas, aunque el caso es que los constructores góticos lo hacen sistemáticamente. Por ello el único aspecto negativo consiste en la rotundez de la experiencia.

Además de estas reflexiones sobre el concepto de arco y su comportamiento, Leonardo establece otras sobre la capacidad resistente, iniciando tímidamente un intento de cuantificación: *“El arco reforzado aumentado cuatro veces su espesor soportará cuatro veces más peso que soportaba el sencillo, y tanto más cuanto que en la sagita de su espesor entren menor número de roscas en su longitud”*<sup>(35)</sup>. La proporcionalidad lineal entre sección y resistencia se enuncia con la sola matización de que esta proporción será más eficaz cuanto menor sea el número de piezas que compongan el espesor del arco. Como esta afirmación no es verdad, y desconocemos si tiene Leonardo algún sistema de cálculo, aunque sea errado, que le permita hacerla, siendo por otra parte muy difícil defender que responda a una experiencia basada en ensayos fiables, o simplemente personal, queda en entredicho el valor científico de lo expuesto. No se adivina en qué premisas se basa para llegar a una conclusión tan rotunda.

Lo extraordinariamente positivo del párrafo lo constituye su intento de cuantificar la resistencia a una sobrecarga exterior, relacionándola con la sección del arco, y suponemos que dando por supuesto que el resto de requerimientos exigidos hasta ahora se han cumplido.

A pesar de que maneja unos conceptos tan ajustados para analizar el comportamiento mecánico de los arcos, también adjudica unas propiedades específicas a cada forma del intradós, 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”*<sup>(36)</sup>.

Aparecen en el Manuscrito A del Instituto de Francia unos dibujos *“de lo inconveniente que sucede al cargar el arco agudo en su mitad”*, y del *“daño que recibe el arco agudo al ser cargado sobre sus flancos”*.

Describe algunos casos de rotura y de nuevo la rotundidad de sus asertos los hace contradictorios: *“El arco hecho de semicírculo, que está cargado en los dos tercios opuestos de su curvatura, romperá en cinco sitios de esa curvatura”*<sup>(37)</sup>, lo que difícilmente se aviene con la frase ya analizada que dice: *“El arco cargado sobre la mitad romperá en su cuarto derecho e izquierdo”*<sup>(38)</sup>. En otra indica que *“el arco se romperá en la parte por la que pasa en medio sobre el centro”*, puede que la clave.

Cada una de estas afirmaciones puede ser verdad en circunstancias muy concretas, pero la rotura de un arco depende de una gran cantidad de parámetros, por lo que en conjunto, y si no median más explicaciones, son contradictorias.

La capacidad resistente que sugiere la forma sigue siendo uno de los criterios usados para valorar cada una de ellas. Cuanto más apuntado es un arco, es decir, cuanta mayor sensación visual da de no caer, más resistencia se le adjudica. *“La parte del arco que sea más plana hará menor resistencia al peso puesto encima”*<sup>(39)</sup>. Esto, que incluso a nosotros nos cuesta un esfuerzo negar, no es cierto. La capacidad resistente de un arco depende de lo expuesto en la nota previa, y si está bien construido, cualquier forma es posible, aunque sea cierto que algunas, las más apuntadas, sean más “cómodas”, ya que en ellas las condiciones de estabilidad se pueden conseguir de una manera más natural. Los empujes laterales son relativamente menores, es más difícil que resbalen las dovelas, etc.

De entre todos sus comentarios, el que más valor tiene desde el punto de vista práctico, y realmente el único que puede servir para diseñar un arco de forma cierta, es el que indica que *“el arco no se romperá si la cuerda del arco de fuera no toca el arco de dentro”*<sup>(40)</sup>. Es decir, que el arco será estable si es posible trazar una línea recta desde el extradós de la clave hasta el apoyo, dentro del grosor del arco, lo que no es respetado en ningún caso por los constructores góticos, afortunadamente para el resultado formal del estilo.

Hasta que se arbitra el sistema, también gráfico, de descomposición de fuerzas, 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 permite, dentro de unos márgenes

excesivamente amplios, dimensionar el conjunto arco-pilastra de apoyo, con unos límites físicos exactos. Para las cargas y pesos propios habituales es casi seguro que se van a cumplir los requerimientos de la estática gráfica.



**NOTAS DEL CAP. 7**

- (1) Violett le Duc. Op. Cit. T. I. Pág. 45.
- (2) Domenech. Op. Cit. T. I. Pág. 572.
- (3) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 84.
- (4) Vitruvio (2). Lib. XI. Cap. XI. Pág. 51.
- (5) Vitruvio (2). Nota 5 de Pág. 159.
- (6) Vitruvio (2). Lib. VI. Cap. XI. Pág. 51.
- (7) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. VI. Pág. 71.
- (8) Alberti. Op. Cit. Lib. VI. Cap. XVI. Pág. 224.
- (9) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (10) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. XII. Pág. 30.
- (11) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (12) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (13) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (14) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (15) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (16) Alberti. Op. Cit. Lib. I. Cap. XII. Pág. 30.
- (17) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (18) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (19) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (20) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 85.
- (21) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 86.
- (22) Alberti. Op. Cit. Lib. III. Cap. XIII. Pág. 86.
- (23) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 279.
- (24) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 292.
- (25) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 292.
- (26) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 292.
- (27) Corrado Maltese. Op. Cit. Pl. XXVI.
- (28) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 299.
- (29) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 291.
- (30) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 293.
- (31) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 292.
- (32) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 293.
- (33) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 293.
- (34) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 293.
- (35) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 292.
- (36) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 293.
- (37) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 297.
- (38) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 299.
- (39) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 292.
- (40) Corrado Maltese. Op. Cit. Pág. 293.

## 8. Otros datos de la época

Otra posibilidad de conocer el alcance de los conocimientos constructivos medievales la ofrece el análisis de los documentos de la época relacionados con el tema, por si en ellos se manejara un lenguaje que permitiera deducir la existencia de conceptos relacionados con una ciencia, o seudociencia de la construcción, aunque fuera remotamente utilizada en la ejecución. Podrían encontrarse expresiones, o palabras sueltas, que a la manera de indicios permitieran imaginar algo detrás de ellas. No parece que sea así.

### 8.1 Actas sobre construcción

#### 8.1.1 La junta de Gerona

En este aspecto consideramos de interés el veredicto de la "Junta de doce arquitectos celebrada en Gerona sobre el modo con que se había de seguir construyendo aquella catedral con los pareceres de cada uno de ellos, como consta en el archivo de la misma iglesia"<sup>(1)</sup>.

Recogido por Eugenio Llaguno en su Noticia de los Arquitectos y Arquitectura en España(...) aparece el resultado de lo que hoy llamaríamos encuesta, hecha entre doce afamados arquitectos del momento (1417) sobre la conveniencia de continuar las obras de la catedral de Gerona, así como sobre el mejor sistema para ello.

Como veremos, todos son profesionales acreditados y se reúnen ante un problema que, en sí mismo, puede dar una idea de la forma de trabajar en la época. Se trata de decidir la mejor solución para continuar la

catedral de Gerona, eligiendo entre una o tres naves para el cuerpo principal del edificio.

Este planteamiento supone de entrada que un proyecto gótico puede ser modificado sin mayores problemas, con tal de que se cumplan unos requisitos mínimos. Veamos cuáles.

A todos se les formula las mismas preguntas, y todos deben "*en el nombre de Dios nuestro Señor y de la Virgen nuestra Señora Santa María*" responder a ellas, previo juramento. No cabe, pues, dudar de la importancia del tema, ni de la relevancia de los encuestados, ni de sus rectas intenciones, a pesar de que, como resultado de este solemne acto, "*el sr. obispo de Gerona y el honorable cabildo elegirán dos de los dichos maestros para que formen una traza o diseño por la que se habrá de continuar la obra*".

Las preguntas textuales son las siguientes:

1. Si la obra de la dicha iglesia catedral de una nave empezada antiguamente más arriba se podrá continuar con designio de quedar segura y sin riesgo.
2. Supuesto que no pueda continuarse dicha obra de una nave con seguridad, o que no se quiera continuar, si la obra de tres naves, seguida después, es congrua, suficiente, y tal que merezca proseguirse, o por el contrario, si debe cesar o mudar de forma; y en ese caso, hasta qué altura debe seguir; y se especificará todo de manera que no pueda errarse.
3. Qué forma o continuación de las dichas obras será la más compatible y la más proporcionada a la cabeza de la dicha iglesia, que ya está comenzada, hecha y acabada.

A la vista de la cuestión propuesta, tanto por lo que se refiere al fondo del problema, la continuación de una o tres naves, como a la forma, “*se especificará todo de manera que no pueda errarse*”, en nuestros tiempos se hubiera generado una inmensa cantidad de documentos gráficos y escritos en apoyo de cada opinión. Por la forma en que se desarrolla la encuesta no parece que haya más material que el que recoge en su acta el “*secretario del cabildo en una escritura pública*”.

Ése es el primer dato a tener en cuenta. Todo se resuelve con unas contestaciones muy breves y que apenas aportan, como veremos, datos ciertos sobre el asunto, ni referencias más o menos veladas a los secretos del oficio. Ello puede ser indicio de una manera de trabajar. Con sólo muy pocas palabras y la experiencia personal de cada arquitecto es posible desarrollar todo el trabajo, y eso lo saben los encuestados, y, por lo visto, “*el sr. obispo de Gerona y el honorable cabildo*”.

Ni un croquis, ni un dibujo, ni una referencia a soluciones estandarizadas aparecen en las respuestas. En algún caso se opina por comparación con otras obras ya ejecutadas, aunque en general se prescinde de justificar esa opinión, ni se apoya en datos objetivos.

Hay que hacer notar, además, que en el cuestionario no se mencionan en absoluto aspectos relativos a la capacidad de los elementos exclusivamente resistentes, como los cimientos, ni a otros aspectos de la estabilidad, como el grosor de los nervios, el espesor de las bóvedas, etc.

El primero en responder es “*Paschasius de Xulbe, lapiscida et magister operis*”. A la primera pregunta responde que a su juicio la obra de la nave existente “*es segura, buena y firme, y que los respaldos o zócalos de la obra antigua, ya hechos, lo son también, y que lo serán los demás si se construyen del mismo modo, y que serán suficientes para sostener la bóveda de la dicha obra de una nave*”.

Todos los encuestados están de acuerdo en este punto, contestando de la misma lacónica manera, sin aportar otros datos a su dictamen: “*Antonius Canet, lapiscida, magister, sive sculptor imaginum civitatis Barchinonae, magisterque fabricae sedis Urgellensis*”;

“*Guillermus Abiel, lapiscida et magister operum seu fabricarum ecclesiarum beatae mariae de Pinu et beatae mariae de monte Carmelo, et de monte Sion, et Sancti Jacobi Barchinonae, et hospitalis Sanctae Crucis*”; “*Antonius Antigoni, magister operis ecclesiae villae Castilionis Impuriarum*”; “*Guillermus Sagrera, magister operis sive fabricae ecclesiae Sancti Joannis Perpignien*”; y “*Joannes de Guinguamps, lapiscida, habitator civitatis Narbonae*”.

A esta respuesta afirmativa añaden alguna opinión o puntualización los siete restantes. “*Joannes de Xulve, lapiscida*”, hijo de Pascasio, dice que “*la obra será buena firme y sin peligro, pero que los arcos se deben hacer a tercer punto, y que se apuntale el principal*”, coincidiendo en el resto con sus compañeros. Es el único que proporciona una referencia formal, aunque no la justifica. Esto puede significar que no existen fórmulas, siquiera empíricas, que relacionen la forma de los elementos, entendida en su sentido amplio, es decir, la sección o el aparejo, o el tipo de bóveda, y sus condiciones de trabajo, la luz de las bóvedas, o la altura de los arranques, con una determinada solución constructiva.

“*Petrus de Vallfogona, lapiscida et magister fabricae ecclesiae Tarraconensis*”, añade que “*los respaldos hechos hacia el campanario se deben reforzar más que los construidos en la parte del mediodía*”. Nada de cómo se han de reforzar, ni de cómo ha llegado a esa conclusión.

“*Guillermo de la Mota, lapiscida, socius magistri in opere fabricae ecclesiae Tarraconae*”, lo encuentra todo bien “*pero que advierte en las obras antiguas, que las gruesas, como sería ésta de una nave, se hunden con los temblores de tierra o con los grandes huracanes, y por estas causas teme que la obra de una nave no sea permanente*”. A la vista de su opinión parece que tendría que haberse referido a los cimientos, pero no lo hace. También hubiera sido oportuno un comentario sobre los contrafuertes o sobre el esquema general que impide en otros casos esa vulnerabilidad que encuentra en la catedral.

En el mismo sentido, es decir, manifestando un cierto recelo ante “*los temblores de tierra, los vientos fuertes y otros fracasos que puedan acontecer*”, se muestra

“*Bartholomeus Gual, lapiscida et magister operis sedis Barchinonensis*”. Recomienda además que “*haciendo una pared sobre los capiteles en medio de los respaldos, que suba una cana de las ventanas, y que de esta pared arranque una bóveda que apoye sobre cada uno de los respaldos; de este modo quedarán seguros los respaldos*”. Es difícil saber lo que recomienda exactamente, pero en cualquier caso parece que a su juicio “*los respaldos*” se afirman si restringen en ellos una bóveda, todo lo contrario de lo que nosotros recomendaríamos sin haberlos afirmado antes. En este caso, la pared que se recomienda se ha de construir “*sobre los capiteles en medio de los respaldos*”, lo que no supone un refuerzo de la parte inferior que, según nuestro criterio, es la parte que soporta el mayor momento procedente de los empujes de las bóvedas.

La objeción planteada por Guillermo de la Mota y Bartolomé Gual sobre los terremotos y ventarrones provoca alguna inquietud en el cabildo, por lo que consultan sobre la cuestión al ya nombrado Antonio Antigonis, quien afirma “*que no habría que temer*”, en lo que coincide con Guillermo Sagrera: “*Por los terremotos que ha visto, ni por los vientos que naturalmente reinan no hay peligro de que la dicha obra se caiga, o venga a menos*”. Poco podían imaginar que pocos años más tarde, en 1450, una serie de terremotos serían la causa de la paralización de las obras.

“*Arnaldus de Valleras lapiscida et magister operis sedis Minorisae*” encuentra los zócalos de la obra ejecutada “*buenos y suficientes para sostener la obra de una nave; y que aunque no fuesen tan fuertes serían firmes y seguros, afirmando el que declara que está ahora construyendo la obra de la iglesia de Manresa, que es más alta que ésta, que no tiene tan grandes ni tan fuertes zócalos, ni son de piedra tan fuerte. Es verdad, dice, que la piedra de Manresa es más ligera y amigable para el mortero que la de Gerona, y que si él hubiese de construir esta iglesia haría la bóveda de otra piedra que fuera más ligera y que se pegase mejor al mortero, pero que las crucerías, lo principal, los respaldos y la demás obra se podrían hacer de piedra de Gerona*”. La respuesta evidencia que se trata de un gran profesional de la construcción, aunque su repertorio científico, por lo menos a la vista de lo dicho, sea escaso. No dice cuánto son más anchos son

los muros ni en función de qué datos, como pudiera ser la luz de las bóvedas, se consideraron suficientes los de Manresa. Su ciencia es puramente comparativa y empírica. Si los muros de Manresa aguantan y son más delgados y más altos, no hay razón para que éstos no lo hagan. Su recomendación sobre la ligereza deseable en la piedra de la bóveda, tampoco se refleja en ningún dato cierto sobre su espesor o sobre las características de los contrafuertes, aunque es un detalle estimulante sobre la capacidad de juicio de los arquitectos medievales.

Por último contesta a la cuestión “*Guillermus Boffiy magister operis sedis dictae ecclesiae Gerundensis*”. A su juicio la obra, “*si se continúa será firme y segura*”, y: “*Añade, que es verdad que los dichos zócalos, aunque fuesen menos robustos, serían suficientes para mantener la dicha obra de una nave, pues tiene un tercio más de anchura y de lo que necesitan; por lo que son más fuertes y no ofrecen peligro alguno*”. Por primera y única vez aparece un dato cierto sobre la anchura necesaria en un muro de esas características: en este caso son un tercio mayores de lo que haría falta, aunque no indica por qué. Parece que no existe una receta única que relacione el espesor de los muros con su altura ni con el tipo de bóveda ni con la luz, o, por lo menos, no es una receta que conozcan profesionales tan cualificados como los convocados en Gerona. Para unos es válida la anchura mientras que para otros es notablemente insuficiente.

A la segunda pregunta, Pascasi de Xulbe responde que: “*En el caso de que ésta de tres naves se siga, dice que será necesario que se deshaga la bóveda que está sobre el coro hacia el altar de la misma iglesia, y se descubra para que suba ocho palmos poco más o menos de lo que está ahora, y corresponda a su tercio por sus medidas*”.

Mediando sólo una ligera consideración sobre la capacidad resistente de la obra (sólo se dice que es “buena”), se recomienda subir, “*poco más o menos*”, ocho palmos, lo que significa que tampoco hay recetas o fórmulas exactas para las formas. Pero aún es posible otra deducción: Si fuera bajar, se podría interpretar que se hace en razón de la estabilidad de lo construido, pero si se habla de subir, parece que se trate de conseguir sólo unas proporciones formales.

En este sentido, es decir, a favor de la continuación de la obra con tres naves se manifiestan Juan de Xulbe, Pedro de Vallfogona, Guillermo de la Mota, Bartolomé Gual, Guillermo Abiel y Arnaldo de Valleras, aunque en todos los casos establecen condiciones. En contra se manifiestan Antonio Antigoni, Guillermo Sagraera, Juan de Guinguamps, Guillermo Boffiy y, con reservas, Antonio Canet.

Entre los partidarios de seguir con las tres naves, Juan de Xulbe opina que *“debe deshacerse la nueva bóveda que está contigua a la cabeza, porque es bastarda y porque no corresponde a la dicha cabeza”*. Es difícil interpretar correctamente el término *“bastarda”* aplicado a la bóveda. En todo caso, y puesto que no se repite en otros colegas la expresión, se puede pensar que es una fórmula subjetiva de Juan de Xulbe.

Pedro de Vallfogona, por su parte, condiciona las tres naves a que *“se deshaga la segunda bóveda hasta los capiteles y arranques inclusive; pero que si sobre el arco principal se levantase un sobreacto, no sería menester mover los arranques ni los capiteles, y que así podría subir la crucería de esta bóveda toda su rectitud con respecto a lo que exigen los arranques”*. Parece, abundando en el criterio de Juan de Xulbe, que existe una bóveda en malas condiciones, aunque habría que ver si coinciden en la misma. Además considera que *“deben deshacerse los arranques que están en los ángulos del cierzo y del mediodía, y que se deben volver a construir en razón de la obra de tres naves”*. Tampoco se puede definir a qué se refiere al decir que los capiteles *“se deben volver a construir en razón de la obra de tres naves”*, tanto puede ser una razón estética como resistente. En esta opinión coincide con Guillermo de la Mota, quien también considera necesario *“que se deshaga la segunda crucería nueva hasta los arranques, y que los principales de ella se derriben hasta los capiteles y se añadan hiladas derechas hasta la altura de catorce o quince palmos. Que también se deben deshacer los arranques de hacia el cierzo y mediodía, y que se deben volver a hacer con proporción a la obra de tres naves”*. Son casi las mismas palabras que Juan de Xulbe, y por lo tanto plantean las mismas dudas. En principio no se sabe si se trata de una recomendación formal o mecánica aunque empieza a quedar fuera de duda el lamentable estado de la *“segunda bóveda”*.

Se puede interpretar que la expresión *“a proporción”* significa el establecimiento de alguna medida, pero sólo se puede interpretar. No dice cuál es esa proporción, y por el resto de su dictamen no parece que sea una exacta. En ese caso, y no teniendo que interpretar nada, es necesario señalar que no se refiere en absoluto al muro sobre el que se apoyan *“los arranques de hacia el cierzo y mediodía”*.

Igualmente opinan Bartolomé Gual: *“La nueva bóveda del segundo arco, últimamente hecha, debe deshacerse hasta las cerchas, y debe subir hasta que quepa allí una O de catorce palmos de hueco; y de este modo será una obra bella y notable, y no será preciso deshacer del todo hasta la cercha”*, y Arnaldo de Valleras: La obra merece seguirse *“con tal de que la bóveda del segundo arco se deshaga hasta las cerchas, y que éstas también se deshagan, para que suba la obra por sus medidas, de modo que se pueda hacer sobre lo principal del primer arco una ventana redonda de veinte palmos de hueco, con lo que será muy buena y no se desfigurará”*. Antonio Antigoni reafirma el criterio de *“que desbarantado la bóveda de la crucería últimamente hecha hasta las cerchas, y alzándola después catorce o quince palmos por su medida, la obra de tres naves sería más tolerable, pero nunca se podría llamar bella ni bien acabada”*. Por la coincidencia aproximada en lo que habría que subir, parece que son proporciones formales lo que se trata de conseguir. En dos casos se habla de abrir un hueco redondo, de catorce pies en uno y de veinte en otro, pero nada se indica sobre la capacidad resistente del conjunto. Y son remiendos a juicio de Antonio Antigoni: la obra *“nunca se podrá llamar bella y bien acabada”*.

Guillermo Sagraera coincide con la misma solución propuesta con anterioridad: *“Debe deshacerse en primer lugar la bóveda de la segunda crucería desde las cerchas hasta los capiteles; en segundo, también se deben derribar los otros pilares que se han hecho después, para que suban rectos quince palmos alrededor”*, aunque a la vista de otros problemas que expone *“la dicha obra de tres naves no sería buena ni provechosa”*.

Guillermo Boffiy es más terminante y dice: *“Que la obra de tres naves de la misma iglesia no merece ser”*

continuada en comparación con la de una nave, por que de la de tres se seguirán grandes deformidades, grandes gastos y nunca sería tan buena como la de una nave". Las deformidades a las que se refiere deben considerarse desde el punto de vista de diseño, no desde la óptica moderna que utiliza el término para describir el resultado físico de algunos esfuerzos.

La contestación de los expertos a la tercera pregunta es la que puede presentar un mayor grado de subjetividad. Se trata de opinar si es mejor una o tres naves desde el punto de vista formal, "la más compatible y la más proporcionada a la cabeza de la dicha iglesia".

Contestan afirmativamente a la prosecución con tres naves, sin más comentarios, dos de los encuestados: los Xulbe, padre e hijo. Que será mejor "*sin comparación*", opinan Pedro de Vallfogona, Guillermo de la Mota y Bartolomé Gual. También a favor, pero justificando su criterio, dan su veredicto Guillermo Abiel y Arnaldo de Valleras. Para los dos dictaminantes las tres naves serían más proporcionadas "*a la cabeza de esta iglesia*".

En contra se manifiestan Antonio Canet, quien se justifica por razón del costo; Antonio Antigoni, con una confusa explicación sobre el buen gusto y la proporcionalidad con la cabecera de la iglesia; Guillermo Sagrera, sin demasiadas explicaciones; y Guillermo Boffiy porque "*si se continúa la de una nave tendrá grandes ventajas y tan grandes luces, que será una cosa muy hermosa y notable*".

La explicación más amplia sobre la conveniencia de continuar con una sola nave la aporta Juan de Guinguamps, quien basa su opinión en dos criterios. "*Que sin comparación la obra de una nave es más idónea y proporcionada a la cabeza de la dicha iglesia, que no lo sería la obra de tres naves por muchas razones: 1ª, que conoce el deponente que la obra de una nave con la dicha cabeza sería más razonable, más brillante, más proporcionada y de menos gasto; 2ª, porque si se continuase la obra con una nave, no habría deformidad o diferencia que chocase. Y aunque algunos puedan decir que siendo la obra de una nave se presentaría la cabeza baja y pequeña, más por esto no se sigue ninguna deformidad y la razón es que en el espacio que habrá en lo alto de la cabeza*

*hasta la cúspide de la bóveda mayor, habrá tan grande espacio que se podrá hacer en él tres roscas: la primera y principal en el medio, y otra pequeña a cada costado; y estas tres roscas quitarán toda deformidad, darán gran luz a la iglesia, y dejarán la obra con gran perfección*".

Lleva razón en que una nave sería "*más brillante*" -es la nave gótica más ancha construida, de 23 m de luz-, es importante que se considere la solución más barata: no influye la luz en el coste sino el volumen de piedra tallada, y es muy personal el que sea más "*razonable*". A pesar del precio, a nuestro juicio, es más razonable reducir la luz, máxime si, como en este caso, se superan los límites habituales.

Puede que la segunda parte de su explicación sea la que aporte mayores luces sobre los criterios prioritarios. Una sola nave es mejor porque "*no habría deformidad o diferencia que chocase*". Es un problema estético el que hay que resolver en primer lugar. Incluso por la forma en que está redactada la pregunta parece que es una de las preocupaciones de los responsables de la obra.

Aunque los partidarios de las tres naves son mayoría, siete sobre cinco, la catedral se continuó con una sola, según acuerdo recogido en el acta posterior al dictamen: "*Sub navi una prossequi magnum opus antiquum Gerundensis ecclesiae*".

### 8.1.2 Conclusiones parciales

A pesar de lo concreto del tema y de su relación con el proceso constructivo, ya que se trata de que opinen sobre la posibilidad de continuar la obra con una o tres naves, sobre los cimientos existentes y aprovechando la cabecera ya hecha, en ningún caso se formulan criterios que relacionen las dimensiones del espacio arquitectónico con unos sistemas constructivos concretos. Aumentar la luz de forma tan notable que se llega a construir la nave más ancha del gótico universal sólo supone un problema formal que no lleva aparejada ninguna otra consideración. El esquema básico no sufre alteraciones de importancia, o por lo menos no de la importancia necesaria como para relacionarlas

en el acta que se levanta con motivo de la reunión. No aparecen frases ni conceptos que sugieran ninguna precaución especial en la distribución de los nervios, ni en su trazado, ni en el trazado de la bóveda, ni en ningún otro aspecto relacionado con la estabilidad ante un aumento tan importante de la luz.

Tampoco parece existir un dimensionado concreto de los elementos resistentes. Éstos se definen en cada caso según el criterio particular de cada arquitecto, criterio cuyos orígenes no parecen tener base científica alguna y que presentan una valoración difícil. Sólo en un caso se recurre a la comparación con una obra construida, y en otro se suministra un dato cierto sobre la anchura. A nuestro juicio es notable la falta de referencias a la capacidad resistente de los elementos previos a la bóveda, muros y cimientos sobre los que ésta va a cargar mucho más del doble en el caso de una nave que en el de tres. No parece que constituya una preocupación de los expertos ese incremento notable de pesos y empujes. O los constructores anteriores sobredimensionaron los muros perimetrales sobre los que restringirían las naves laterales, de menor luz que la central, o los nuevos confían excesivamente en esos muros. Sólo uno de los expertos consultados, Guillermo de Boffiy, dice que “*tienen un tercio más de anchura de lo que necesitan*”. Se podría interpretar que maneja un criterio numérico que le permite tal afirmación, ya que es muy concreta: un tercio más de anchura. Pero tan probable es que exista como que no, máxime a la vista de las otras respuestas, quedando la duda, en el supuesto de que existiera, de cuáles son los datos que condicionan ese dimensionado.

También falta una referencia a la diferencia de empujes sobre los muros perimetrales que se produce al pasar de tres bóvedas a una. Debería figurar en alguna parte y debería ocasionar alguna inquietud en los expertos. Nada aparece que relacione esa mayor anchura de la bóveda y el consiguiente aumento de los empujes con el necesario refuerzo de los muros. Se podría plantear el mismo dilema que en el caso anterior ante la carga. O los muros son excesivos en un caso, o trabajarán muy al límite en el otro. Además, ¿a qué elemento se confía, en este caso, la función de los arbotantes, a los que ni se nombra, como contrarresto de unos empujes perfectamente definidos y exactamente situados?

Parece obligado concluir que en el dimensionado de esos muros no se tiene en cuenta la carga ni, en este caso, la luz. Son unos muros “*capaces*” a simple vista simplísima se podría asegurar, y eso basta. El problema de la definición de las dimensiones no se soluciona: ¿cuál es el criterio que les lleva a afirmar de forma tan unánime, mediando un solemne juramento, que la fábrica resiste en los dos casos, si no se aportan otros datos? O quizás el problema no existe. Si la anchura, muy *grosso modo*, es suficiente y el aspecto es bueno, no tiene por qué pasar nada. A partir de aquí todo son suposiciones. Para nosotros, la forma en que fijaban las dimensiones debía ser una mezcla de experiencias personales basadas en criterios sin ninguna base científica, y de apreciaciones formales muy remotamente relacionadas con la realidad de las cargas y los empujes. De ahí lo de “*un tercio más de anchura*”.

Y por la falta de justificaciones objetivas es necesario pensar que es esa misma valoración personal, cuyos datos de partida son confusos, la que dicta el criterio de la resistencia del conjunto a los terremotos y huracanes.

Hoy sabemos que los parámetros que son necesarios definir para efectuar un dictamen de esa categoría son extraordinariamente complejos. La falta de más referencias en el de los doce expertos hace suponer que no se consideran nunca otros datos distintos a los que hemos enunciado, lo que, de alguna manera, supone la inexistencia de un repertorio científico, o seudocientífico, aplicable al diseño de las obras y a su construcción.

Tampoco aparecen referencias o sobreentendidos que permitan suponer la existencia de una ciencia o seudociencia secreta. Las respuestas sólo son escuetas y poco argumentadas, no misteriosas.

Lo que sí parece que está fuera de duda es que los criterios manejados son puramente arquitectónicos y estéticos, subordinándose, por así decir, la construcción a la forma. En ningún caso se aportan razones de resistencia para justificar una u otra solución. Las recomendaciones que se aportan sobre lo que se considera necesario para que la solución propuesta se mantenga son tan remotas que casi se pueden considerar inexistentes, si se tienen en cuenta los datos más inme-

diatos necesarios para que respondan a la realidad del problema planteado.

## 8.2 El carnet de Villard de Honnecourt

### 8.2.1 El personaje y su obra

Es necesario, en este repaso de los datos de la época, dedicar una consideración especial al carnet de viajes de Villard de Honnecourt. Aún está por definir exactamente la figura del viajero francés. Desde lo que indica J. B. A. Lassus en la primera edición facsímil comentada del *Álbum*, en 1858<sup>(2)</sup>, quien lo considera como “*un de nos grands architectes du XIII siècle*”, hasta las dudas planteadas por Erlande-Brandenburg, quien, en el prólogo de una de las últimas publicaciones sobre Villard dice: “*El análisis del documento no nos aporta ninguna certidumbre sobre el oficio ejercido por Villard. No se puede afirmar que ejerciera en plenitud los trabajos que envuelve hoy el término arquitecto (artista doblado de técnico que concibe y dibuja el conjunto y los detalles de una obra y dirige su ejecución para un maestro de obras)*”, se han sucedido todo tipo de interpretaciones sobre las láminas del álbum.

Todo lo que sabemos de él se deduce únicamente del carnet. Sólo se puede afirmar que viajó a Hungría y que estaba vivo entre los años 1241 y 1250 para Lassus, y entre 1244 y 1251 para Vagnetti. Pendientes de algún otro dato sobre el personaje, se debe centrar en el análisis de su *Álbum* cualquier noticia sobre su relación con la construcción de la época, considerando todo lo demás aportaciones voluntaristas.

Sobre esta base se han deducido algunos datos cuya veracidad queda siempre al albur del acierto en las deducciones. P. Bernard aventura la hipótesis de que Villard trabajó en la reconstrucción de la catedral de Varsovia. Vagnetti dice que “*queda demostrado su conocimiento directo de las catedrales de Cambrai, Laon, Reims, Maux, Chartres y Lausana*”<sup>(3)</sup>. También lo supone ligado por su educación a la abadía cisterciense de Vaucelles en la que construyó, reedificando, en el año 1235 .

En su opinión, el *Álbum*, “*concebido originariamente como un cuaderno de modelos sacados de la viva realidad de los tajos directamente observada(...), fue transformado, a su regreso a Francia, en un verdadero texto didáctico destinado a las nuevas generaciones de arquitectos, como está explícitamente aclarado en las palabras con las que se presenta al inicio de la obra*”<sup>(4)</sup>.

Kostof por su parte indica que el álbum “*es un ejemplar muy valioso de estos libros de pautas*”<sup>(5)</sup>, libros cuya existencia presume, pues como hemos dicho el de Villard es el único existente.

Después de varias explicaciones laudatorias sobre el sentido de los dibujos de Villard, Vagnetti afirma que es: “*Un punto de referencia fundamental para todos los estudios sobre la actividad de los maestros constructores de aquel periodo*”, a pesar de que: “*Las reglas reportadas por Villard tienen una importancia teórica bastante modesta*”<sup>(6)</sup>.

Acaba su referencia indicando que: “*El `Livre de portraiture` aparece, en su unidad, un documento de extremo interés para la comprensión del complejo mundo de los arquitectos góticos, y una verdadera enciclopedia ilustrada de sus conocimientos, un modelo, desgraciadamente el único que ha llegado a nosotros, de los tantos que indudablemente debían circular entre los expertos constructores de la época*”<sup>(7)</sup>.

No entra en nuestra intención discutir las capacidades de Villard como arquitecto, y ni siquiera si lo era o no, cuestión que a la vista de las opiniones de los estudiosos puede resultar de capital importancia para entender “*el complejo mundo de los arquitectos góticos*”, sino simplemente constatar que se pueden plantear dudas más que razonables sobre la utilidad de su álbum como “*libro de pautas*”. Más parecen los apuntes de un viajero inteligente y culto, relacionado de alguna forma con la construcción, que toma unas notas muy elementales para su recuerdo personal, o como curiosidad, y al que se le ha negado el acceso a la verdadera ciencia de la talla. En algunos casos parecen incluso anotaciones furtivas por lo confusas.

Pero aún es más inquietante la posibilidad de que Villard sea realmente arquitecto, o constructor, ya que



esta hipótesis plantea una gran cantidad de interrogantes. No se adivina cuál es el paso siguiente para que lo reflejado en sus láminas pueda servir para la ejecución de una obra gótica, ni quién, ni como se reconducen sus remotas explicaciones hasta la consecución de la materialidad de la obra. En ese caso se debe concluir que el escalón inmediatamente inferior, el encargado del replanteo y la talla de cada elemento, es quien posee el secreto de la armonía de las formas y de la exactitud en la ejecución.

Sus dibujos, como notas para un tallista son inexactos, y como datos básicos para proyectos de estructura, son excesivamente concretos. Pero sea cual sea la intención de las notas, lo que no ofrece dudas es que no aparece en todo el álbum ningún dato que permita suponer que existen datos relativos a su capacidad resistente en el diseño de los elementos que permitan construir con una cierta seguridad. La frase, “*porque sino se cae*”, debía aparecer en algún momento de todo proceso constructivo. Si no aparece explícita es que se supone que lo que se construye no se va a caer.

En Ratisbona, en 1486, se imprime el Libro de la construcción exacta de los pináculos de Mateo Roriczer, que se centra exclusivamente en detalles de talla, por lo que se puede suponer que el secretismo inicial de los artífices medievales no es tan riguroso en esas fechas. Una pregunta puede ser: ¿Por qué no se escriben y dibujan más manuscritos como el de Villard? Y si se escribieron, ¿dónde están? Por muy secretos que fueran, a la vista de la gran cantidad de obras realizadas, de ser cierta la existencia de “*libros de pautas*”, deberían manejarse por cientos. ¿Cuándo se decide destruirlos todos? Parece como si los constructores se hubieran puesto de acuerdo para hacerlos desaparecer, a pesar de que muchas obras góticas se siguen construyendo hasta bien entrado el siglo XVI, eso en un entorno cultural que, fortuitamente o no, ha conservado gran cantidad de manuscritos con textos griegos y romanos peligrosamente heréticos, aunque como soporte de otros textos de mayor valor ejemplarizante. ¿Debemos pasarnos la vida golpeando las paredes de nuestras catedrales para averiguar en qué secreta hornacina están escondidos? ¿Ninguno de ellos cayó en manos de algún constructor, o arquitecto renacentista, de espíritu más abierto, que decidiera conservarlo? Sea cual sea la intención y el origen de los alza-

dos de algunas iglesias que se han conservado, el caso es que se salvaron de la quema y son unos dibujos mucho más precisos. La explicación debe ser que esos dibujos existieron realmente en cada obra.

A nosotros se nos hace muy difícil aceptar una conjura tan unánime para la destrucción de otras notas parecidas a las de Villard, máxime cuando lo que figura en su álbum es, como veremos, tan remotamente útil para un constructor.

Hemos de advertir que no hemos tratado de hacer una interpretación posibilista de las láminas contenidas en el Álbum de Villard. Se trata sólo de ver lo útiles que podrían resultar para un constructor hasta cierto punto intemporal, como ya hemos dicho, si pudiera disponer de ellas. No creemos que, en ese aspecto, un constructor medieval llevara ventaja sobre nosotros, si no todo lo contrario. Probablemente sabría menos geometría que nosotros y no hubiera dispuesto del aparato crítico previo de que disponemos, enriquecido por algunas interpretaciones que pueden ser válidas. En ninguna de sus láminas se refiere Villard, ni explícita ni implícitamente, a otros datos distintos de los que aparecen en ellas. Ninguna frase permite suponer que hubiera otro lenguaje complementario, más o menos críptico, con el que aclarar sus notas, ni existen referencias a otros saberes. Cuando dice “*así se hace(...)*” -*Par chu (...)*-, debemos suponer que es así como se hace y no con eso y algo más. En todo caso, de existir ese algo más, no figura en el álbum y sólo se puede suponer su existencia.

Por lo tanto, de lo que se trata es del análisis inmediato de sus posibilidades, sin aportar más de lo que él aporta y como si tuviéramos que empezar una obra con el Álbum como libro de instrucciones.

Por supuesto que el Álbum permite todo tipo de suposiciones y su contemplación, siquiera en facsímil, nos sumerge en un mundo sugerente y apasionante, pero lo que está escrito sólo es lo que vemos y ningún otro dato avala ninguna otra posibilidad. Por nuestra parte queda abierta la enriquecedora polémica sobre el misterioso viajero medieval en la seguridad de que nos gustaría, por razones obvias, que en algún momento pudiera ser complementado por otros datos ciertos, o por otras aportaciones más verosímiles.

### 8.2.2 Análisis de algunas láminas

Para este análisis nos referiremos a las láminas en las que aparecen detalles y dibujos relacionados con la construcción. Comenzaremos por las correspondientes, a la planta de la torre norte de la iglesia de Notre-Dame de Laon, y a los rosetones de Chartres y Lausana respectivamente. Hemos utilizado la edición facsímil de Lassus y sus dibujos complementarios.

De la simple comparación de la figura 29, la planta de la torre norte de la catedral de Laon, con la planta real de la torre, en una primera lectura sorprenden agradablemente las coincidencias. Los pilares, que en número de ocho, emparajados dos a dos, aparecen en los extremos de las diagonales de la planta cuadrada, tienen una notable similitud con la realidad: los ocho nervios convergentes al centro, en el que la clave está destacada casi al mismo tamaño que tiene realmente, y el perímetro exterior, coincidente en líneas generales con el de la torre, suponen una notable capacidad de descripción en Villard. Pero sólo suponen eso. Construir una torre como la que existe en Laon con ese dibujo como referencia es realmente difícil. No se trata de criticar la inexactitud de los detalles, detalles imprescindibles para construir, sino de constatar que con ese dibujo es imposible acometer una labor remota de replanteo. Cuando dibuja figuras humanas Villard es de una gran precisión. Bechman opina que

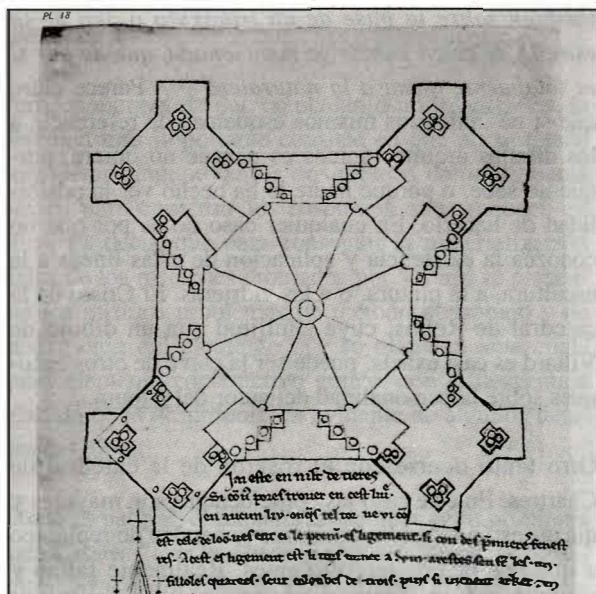


Figura 29

algunos de los de esquemas superpuestos a estas figuras son sistemas de replanteo basados en la indeformabilidad del triángulo. No se entiende entonces la falta de líneas maestras, de ejes, o de alineaciones válidas para el encaje de la planta. Los replanteos góticos son muy exactos e intencionados, por lo menos en lo referente a la alineación de los moldurados, y ni como concepto de ordenación de la planta funciona el croquis de Villard. Lassus resuelve el expediente diciendo que *“no tiene necesidad de revelar con cuidado todos los detalles y todas las medidas, como nosotros hacemos, para identificarnos, por así decir, con esas formas y esas dimensiones que queremos reproducir, o en las que queremos simplemente inspirarnos. Para él las disposiciones generales de la planta y del alzado son suficientes, ya que está seguro de recurrir a lo que necesite una vez en la obra”*<sup>(8)</sup>.

No vamos a polemizar con Lassus -la frase *“ya que está seguro de recurrir a lo que necesite una vez en la obra”*, se comenta por sí sola-, pero para construir la torre norte de la catedral de Laon es necesario replantearla exactamente, definir cada pieza casi al milímetro y hacer que encajen. Y eso no lo hará Villard, ni nadie, sobre ese croquis. Lassus lo reconoce: *“Es necesario, pues, no tomar los dibujos de nuestro arquitecto más que a título de recordatorio, y no imaginar que sirven para construir”*<sup>(9)</sup>. El problema está en definir si a un arquitecto gótico, inmerso según parece en un proceso tan complejo como delicado, le es necesario ese tipo de recordatorio. ¿Qué es lo que debe ser recordado? ¿Una remota forma en planta que no resuelve las proporciones ni los alineamientos obligados de los nervios? Después de la exacta definición de las figuras a que nos hemos referido antes, no parece que como arquitecto tenga la misma claridad de conceptos, ni el dibujo la misma utilidad.

Pero donde más inexplicable es el trabajo de Villard como arquitecto es en los rosetones de Lausana (fig. 30) y Chartres (fig. 31). Lassus indica: *“Esta doble inscripción, escrita en el borde del rosetón que dibuja, es necesaria para reconocer en ese croquis, trazado ciertamente de memoria, una vidriera redonda de la iglesia de Lausana”*<sup>(10)</sup>.

No se trata de que falten detalles o de que éstos no sean precisos. Se trata de que no coincide en absoluto

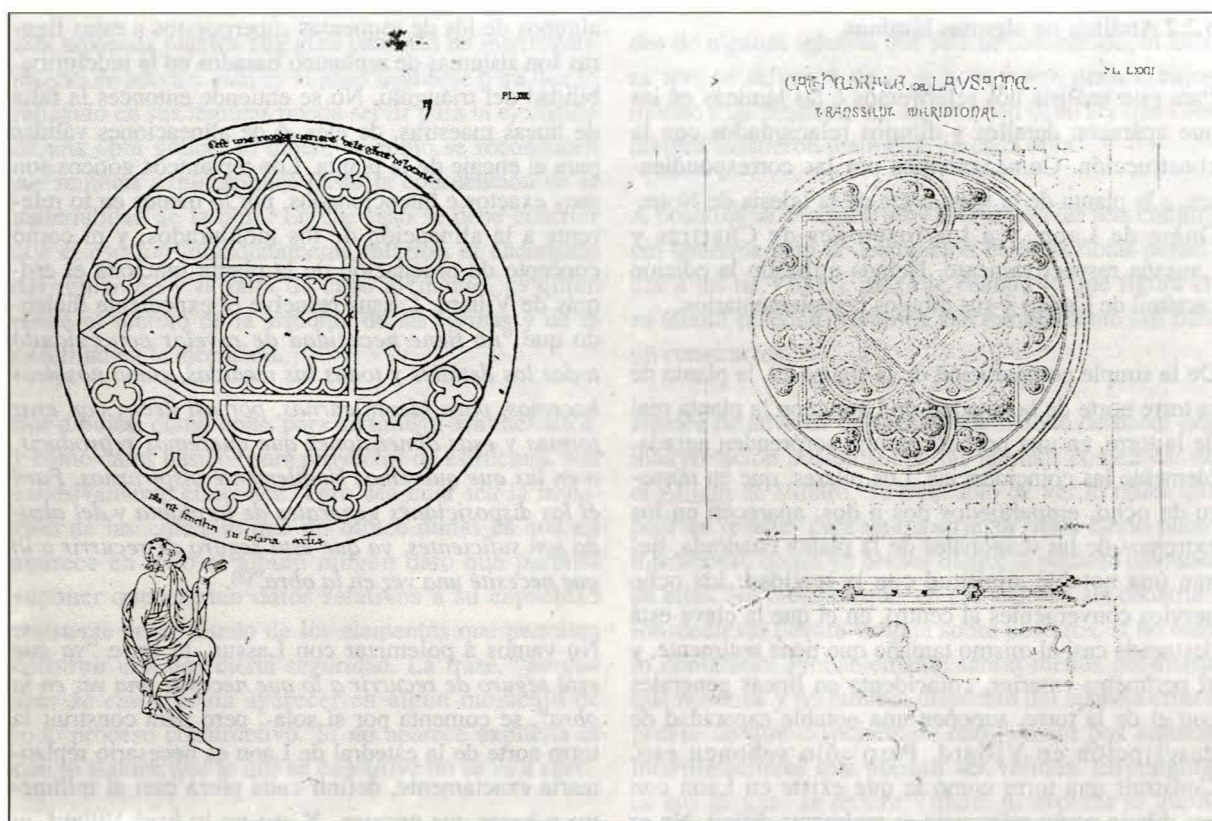


Figura 30

con la realidad. Existe un leve parecido entre la forma triangulada que dibuja Villard y los extremos del cuadrado en el que están insertos los lóbulos que forman el relleno del rosetón, pero ni siquiera los lados de esos triángulos definen un cuadrado. Los rosetones, como cualquier otro elemento tan complejo, necesitan de unas líneas generales, de un replanteo previo de las formas mayores, en este caso cuadrados y lóbulos, en el que ir encajando, según detalles de cada vez mayor precisión, todo el conjunto, exactamente igual que hace Villard para los rostros, o para los luchadores, o los apóstoles; primero se encaja la figura y después se desarrollan los detalles. Un arquitecto gótico, o un constructor, o un tallista, o quien haga el trabajo, se llame como se llame, tiene forzosamente que comenzar por esta primera fase: dividir la superficie en grandes cuarteles que después irá desarrollando. Más que en ninguna otra cosa, es en la falta de esas líneas de encaje en donde se evidencia la poca o nula práctica de Villard, su dudoso oficio como constructor o, para no ir tan lejos, como dibujante de construcciones. Para Panofski, las líneas superpuestas a las figuras son:

*“Líneas de guía en lugar de líneas de medida(...). Incluso las cabezas, lo mismo humanas que de animales, se construyen no sólo sobre la base de formas `tan naturales` como puedan serlo la de los círculos, sino también sobre la base de un triángulo o aun de la estrella de cinco puntas ya mencionada, que de por sí es totalmente ajena a la naturaleza”<sup>(11)</sup>.* Parece claro que si no aplica los mismos esquemas de referencia a los dibujos arquitectónicos es porque no quiere, porque no sabe, o porque nadie le ha hecho ver la posibilidad de hacerlo. En cualquier caso no es por que no conozca la existencia y aplicación de estas líneas a la escultura, a la pintura, o a las vidrieras. El Cristo de la catedral de Reims, cuya similitud con un dibujo de Villard es casi exacta, puede ser la clave de otros enfoques sobre la personalidad del autor del Álbum.

Otro tanto ocurre con el rosetón de la catedral de Chartres. En este caso las coincidencias son mayores y quizás estén referidas las líneas generales de replanteo a que nos hemos referido antes. Realmente faltan y sobran detalles si se compara con la realidad, pero el

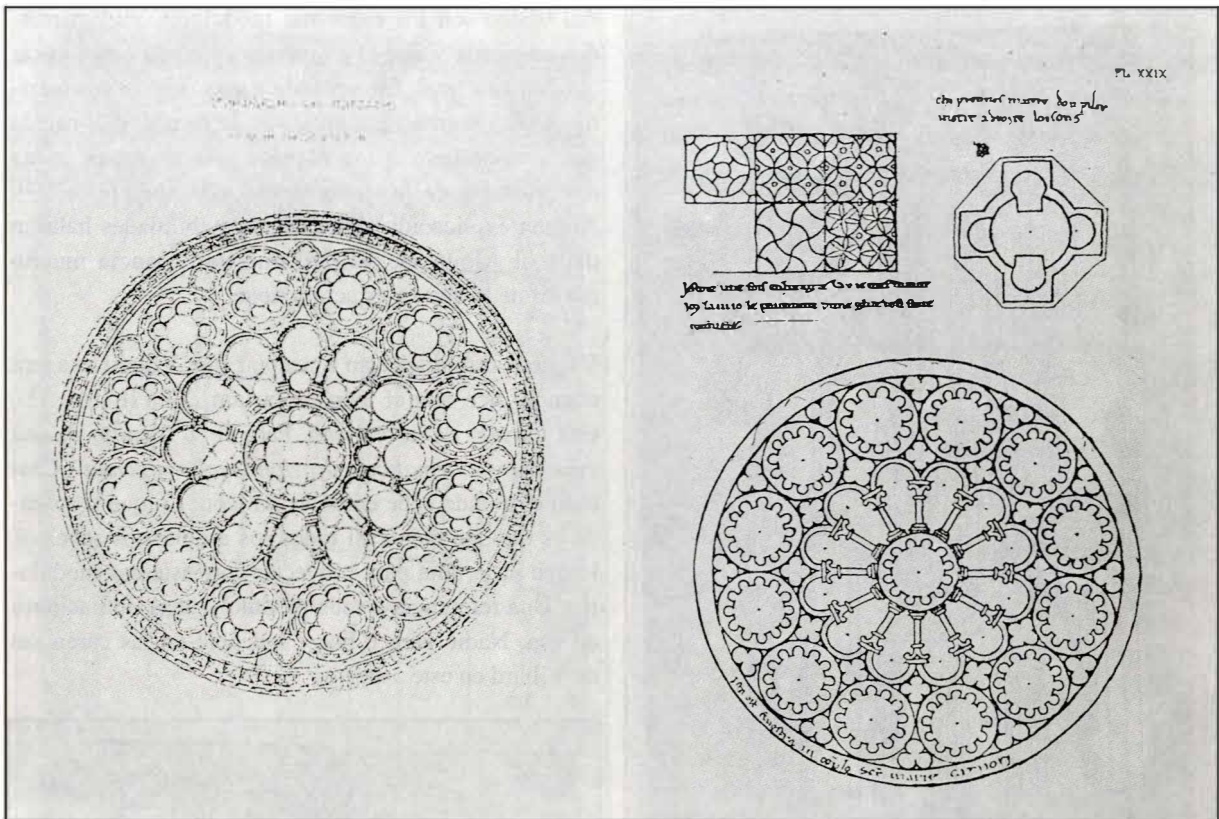


Figura 31

encaje puede ser válido. Lo que ocurre es que está enfatizado y desproporcionado el punto que permite más dibujo, el que más llama la atención de alguien que necesita un apoyo figurativo para desarrollar: El capitel de las columnas que convergen al centro.

Pero, al margen de que coincidan o no los detalles, la objeción más importante consiste en que no se puede considerar ninguno de los dos dibujos como esquema básico para construir los rosetones que aparecen en ellos. Es decir, que para conseguir la materialización física de los rosetones dibujados por Villard se presentan los mismos problemas de método de trabajo y de descripción del elemento que se plantean ante cualquier elemento constructivo gótico, con la desventaja añadida de la desproporción evidente de algunos detalles del dibujo.

Como es natural, el tema no presenta ningún problema para Lassus: *“Por lo demás, ningún despiece está indicado, ni ningún detalle escultórico, en ese simple recuerdo de una forma general, que es suficiente para*

*un hombre imbuido de los principios según los cuales se construye en su tiempo”*<sup>(12)</sup>.

Este análisis podría continuarse con el alzado de la torre de la catedral de Laon (fig. 32), pero no parece necesario. Villanueva ha demostrado que se trata de una perspectiva, ingenua si se quiere, y de la que da la situación del punto de vista.

Donde más interés parece presentar el álbum es en los croquis de plantas diseminados por las láminas y compartiéndolas con dibujos de figuras. En este caso las coincidencias son notables, a pesar de que sólo son croquis, es decir, les falta el rigor de desarrollo que permitiría usarlos para replantear. Posiblemente, aplicándoles un módulo y haciendo más riguroso el trazado geométrico, puedan servir de plano base para una catedral. Pero se olvidan al hacer estas valoraciones los primorosos dibujos existentes de los alzados de algunas fachadas: Siena, Ulm y Barcelona son ejemplos de lo que quizás sean dibujos proyectuales y están realizados con una técnica impecable.

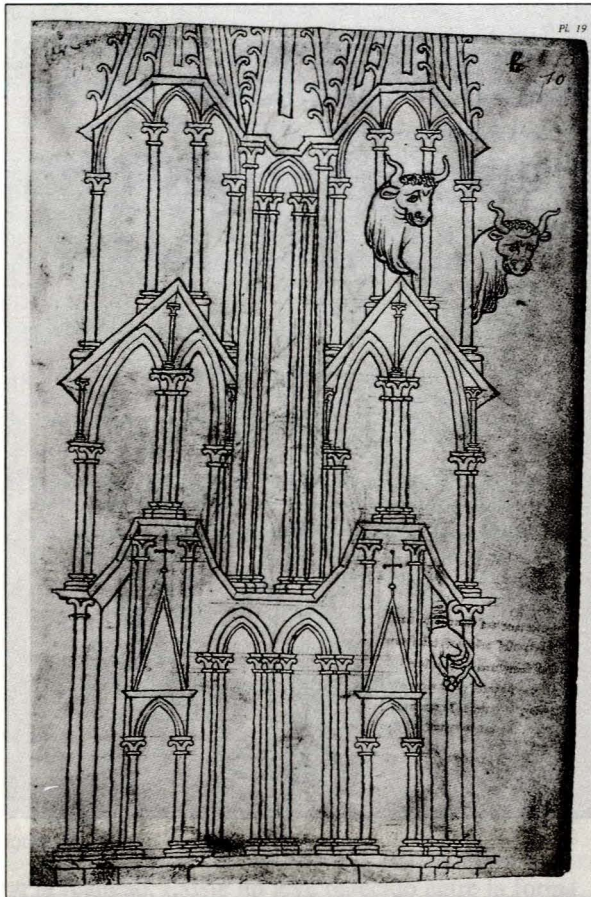


Figura 32

Por otra parte los croquis de Villard son siempre de plantas existentes. Es muy difícil que participara en todas ellas. Parece además, por lo que refiere Lassus, que en algún caso no se adaptan a la realidad. De nuevo lo más probable es que se trate de apuntes aproximados de lo visto por Villard. En este caso las líneas básicas de replanteo están en los croquis, pero es que, prácticamente, es la única manera de dibujarlos.

Cabe otra objeción importante a estos croquis de plantas. Si, como pretenden Vagnetti y Kostof, el *Álbum* es un libro de pautas, se echa de menos una referencia a las unidades modulares que sirven de base a la composición de cada catedral. El repertorio de plantas de las catedrales góticas es muy variado, pero en ellas siempre aparecen dos o tres soluciones básicas que se combinan entre sí hasta dar la planta particular en cada caso. La traza de una catedral, y más si está construida, no es un dato de trabajo para la siguiente. El mate-

rial básico son los esquemas modulares, muy parecidos en planta y que el arquitecto combina hasta llegar al resultado final. Choisy indica que “uno de los méritos de la construcción gótica es la flexibilidad con la que se acomoda a las plantas más diversas, a las necesidades de los programas más complejos”<sup>(13)</sup>. Alguna explicación sobre estas posibilidades habrían dado al *Álbum* de Villard una importancia mucho mayor de la que en principio tiene.

Vagnetti está dispuesto a aceptar que Villard exagera cuando dice que el león de la lam. XLVII (fig. 33), está tomado de la realidad. Para él “è il frutto di una evidente e schematica astrazione molto ingenua”. Casi todo el mundo sabe cómo es un león. Lo que sorprende es que también casi todos los arquitectos sabemos lo que hace falta para proyectar con sistemas modulares: Una referencia a cada módulo y unas limitaciones de uso. Nadie parece hacer hincapié en las carencias de Villard en este aspecto.

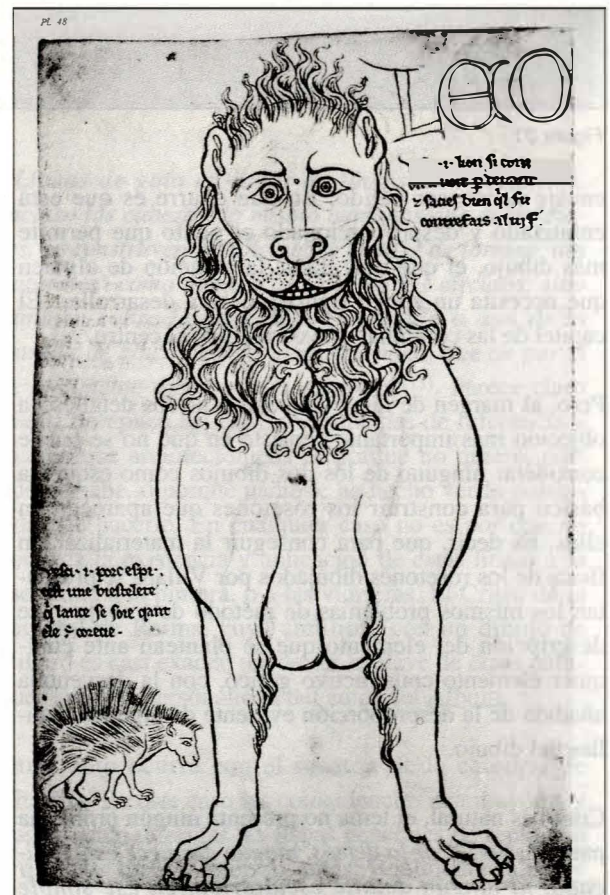


Figura 33



Figura 34

Hubiera bastado con que apareciera una leyenda del tipo, “así, ‘par chu’ en francés antiguo, se cubren las iglesias rectangulares,” o “así se disponen los nervios en los ábsides”, para que el libro tomara la dimensión que le otorgan los tratadistas desde Quicherat a Hahnloser. Cuando quiere explicar métodos generales recurre a esa fórmula, por lo que es razonable plantear serias dudas sobre el alcance exacto de algunos de sus dibujos si no la usa en ellos.

### 8.2.3 Alzados y secciones

Los alzados están repartidos en tres láminas, y en dos de ellos se ha intentado una suerte de ingenua perspectiva, basada en unas ciertas aberraciones visuales: en un caso, (fig. 34) contrarias a nuestros convenios gráficos; en otro, con variaciones similares aunque entendidas de otra forma (fig. 35); mientras que en la última

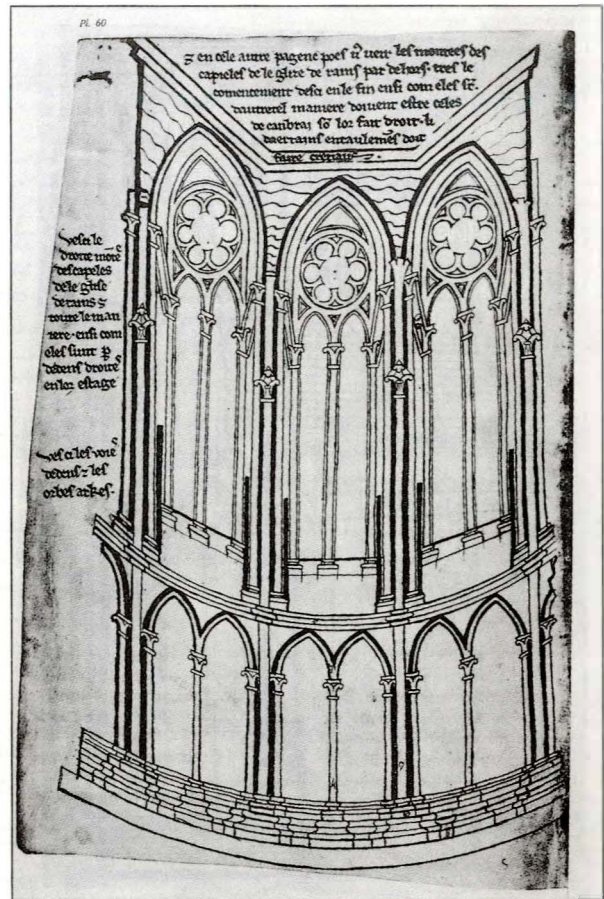


Figura 35

(fig. 36), podemos considerar que Villard dibuja un alzado plano según un criterio que podríamos considerar, *grosso modo* actual. Estos extremos son disculpables y poco significativos a nuestros efectos. Lo importante es la falta de referencias ciertas que permitan su utilización como modelo. ¿Cuáles son las líneas maestras del dibujo?, ¿a cuáles se aplica el módulo, si es que es aplicable, imprescindible para ampliar esos dibujos a la escala real? Y si no es aplicable, ¿cuál es su utilidad? A la vista de la pulcritud descriptiva de los dibujos de fachadas mentados, no se entiende, si se pretende su utilidad, la falta de detalles y de referencias prácticas que permitan la construcción de lo que contemplamos.

Otro tanto ocurre con la sección del muro y los arbotantes de las capillas de la catedral de Reims (fig. 37). Lassus reconoce que: “Aunque Villard no nos tiene acostumbrados a una gran exactitud en sus dibujos”, lo que para ser lo que se pretende que sean ya plantea

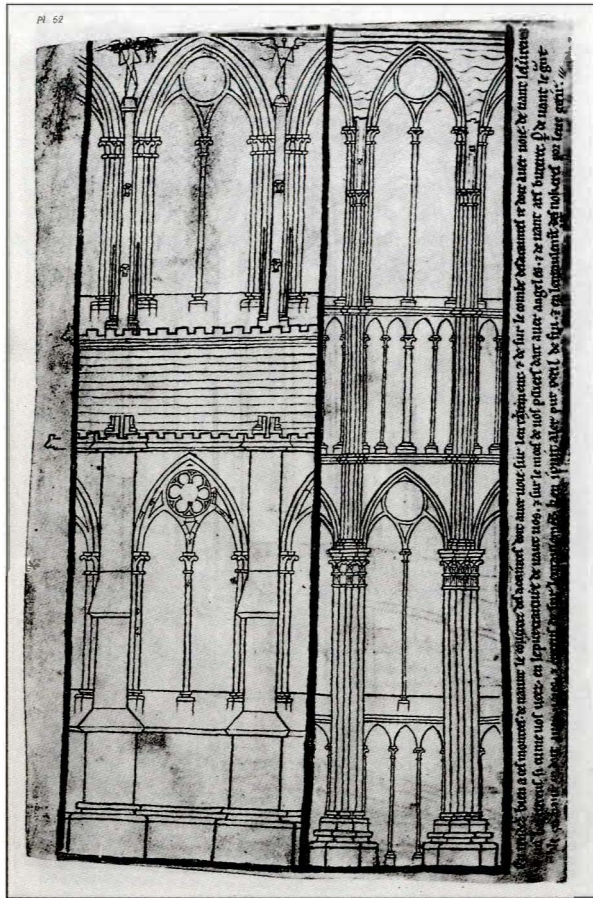


Figura 36

una grave duda: “Estamos forzados a reconocer que existen diferencias muy importantes entre los detalles que aporta para las partes altas del ábside de Nuestra Señora de Reims y lo que existe realmente”<sup>(14)</sup>.

Pero eso sería disculpable si en el dibujo aparecieran algunas referencias que permitieran dimensionar los arbotantes, colocarlos, diseñarlos, aparejarlos, o lo que fuera, de una manera concreta. Una explicación dibujada o escrita que indicara algún dato útil al constructor, una referencia gráfica de cómo pasar a la construcción con algún dato de utilidad práctica.

No olvidemos que para Vagnetti: “El libro de viajes de Villard aparece como un documento de extremo interés para la comprensión del complejo mundo de los arquitectos góticos. Una verdadera enciclopedia de sus conocimientos, un modelo, de los tantos que indudablemente debían circular entre los expertos constructores de la época”<sup>(15)</sup>.

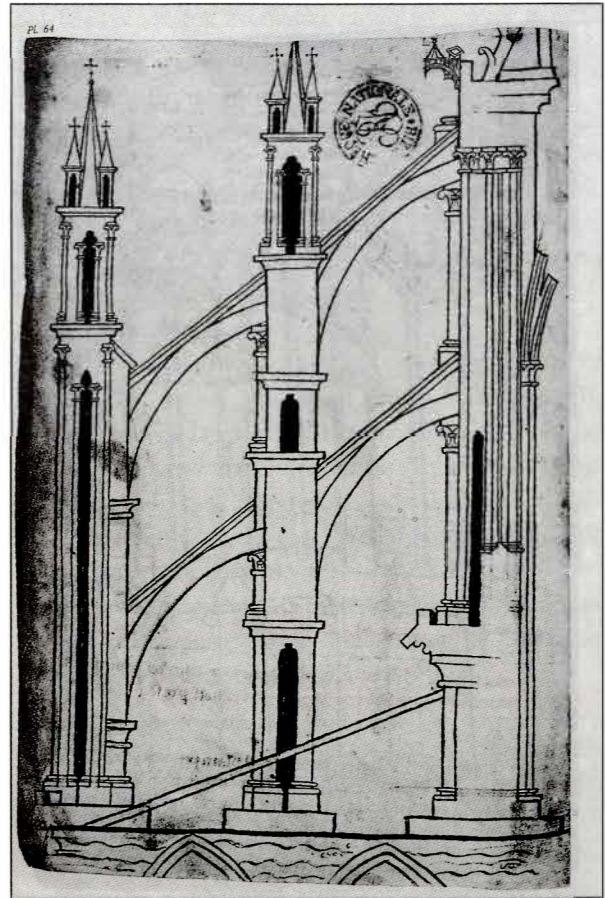


Figura 37

#### 8.2.4 La técnica constructiva en el álbum

A la técnica constructiva dedica Villard más de treinta dibujos repartidos en cuatro láminas (figs. 38, 39, 40, 41). En cualquier caso, y al margen de lo que puedan dar de sí cada uno de los croquis de estas láminas, sorprende la imprecisión general del dibujo. En la línea propuesta al principio, lo que trataremos nosotros es de averiguar si con esos croquis es posible replantear, tallar, construir, o definir siquiera en abstracto, alguno de los pasos imprescindibles para la ejecución de la más mínima pieza integrante de una obra gótica, ya que esta posibilidad es la que se resalta siempre que se analiza a Villard.

De los temas tratados ninguno reviste excesiva importancia, ni supone una aportación más allá de la geometría más inmediata. En esta apreciación coincidimos con Vagnetti cuando dice que: “En el álbum se exponen unas recetas geométricas bastante simples”.





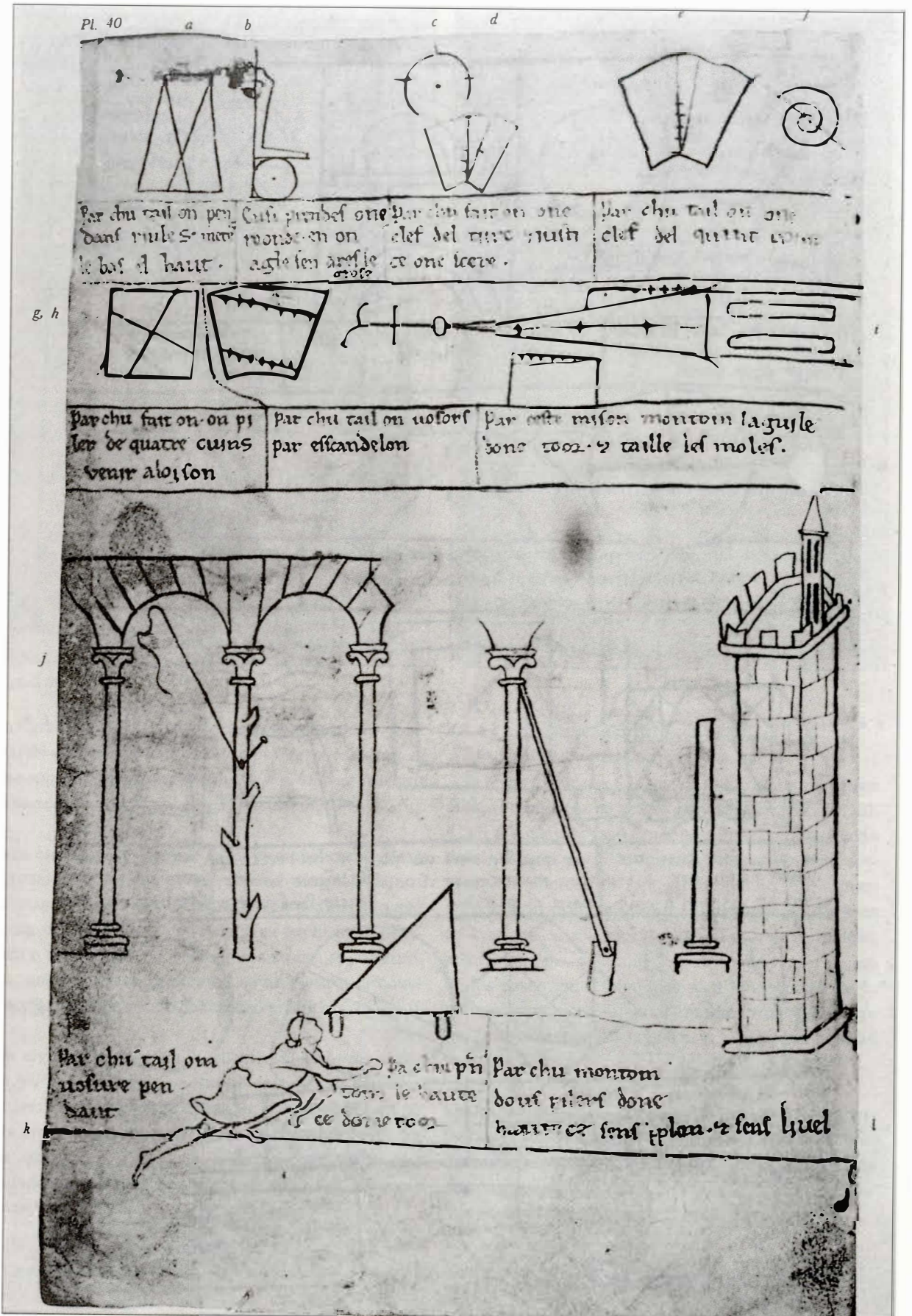


Figura 39

El que con un clavo y una cuerda se pueden trazar las dovelas de un arco, sea o no la clave pinjante, (fig. 39), no se puede considerar una aportación de excesiva calidad a la ciencia de construir.

En la misma lámina aparecen los sistemas para -“*par chu*”-, tallar, para tomar la medida del diámetro de una columna, para tallar una clave de tercio punto, y verificar un trazo de escuadra, para tallar una clave de quinto punto, para disponer las uniones (aparejo) de un pilar cuadrangular, para tallar dovelas escalonadas, la ya señalada forma de trazar una clave pinjante, tomar la altura de una torre, y cómo construir dos pilares de la misma altura sin plomo y nivel.

Hemos de hacer patente nuestra incapacidad para entender los sistemas propuestos en alguno de ellos, y su utilidad práctica. En primer lugar, por la poca definición de los dibujos. En segundo por la falta de datos. En tercero, por la dificultad de comprensión del objetivo de cada uno de ellos a pesar de la explicación añadida por Villard. Y por último, porque la construcción gótica no admite, a la vista de la perfección de la talla, un planteamiento tan poco preciso, y plantea a sus constructores problemas de mucha mayor entidad que los que refiere Villard. Partimos de la base de que no existe razón alguna para pensar que Villard intenta engañar a nadie, por lo que hay que creer en la recta intencionalidad de sus anotaciones. Para él, y eso es lo importante, de esa forma -“*par chu*”- se hacen las cosas. No supo o no quiso poner más, y la calidad del dibujo no se corresponde con la de las otras láminas. Cualquier explicación que se quiera aportar para completar los esquemas de esta parte del *Álbum* se basa forzosamente en interpretaciones personales del explicador, que en algunos casos, como cuando Lassus explica el primer dibujo de la derecha de la lámina, no tiene inconveniente en dibujar líneas paralelas que no lo son, llenar el dibujo de referencias, y aportar un concepto absolutamente nuevo, como es la distancia de corte de dos líneas, para que su exacta explicación encaje en un croquis tan rudimentario. Otro tanto ocurre con el caracol del quinto apuntado. Es mucho ver lo que ve Lassus. Lo único que parece ciertamente dibujado son tres divisiones en el croquis anterior, en el que se trata del tercio apuntado, y cinco en el del caracol. Una explicación bastante menos fantasiosa podría ser la de que por cada tres tramos en un caso, y

cinco en el otro, trazados en la diagonal de la clave, se abre un tramo igual a ellos el ángulo que determina la forma. Pero nada de esto aparece claramente reflejado en los croquis. Un constructor debería estar en demasiados secretos para poder aprovechar algo de esta lámina.

La lámina anterior (fig. 38), es la más cargada de detalles constructivos. Desde la forma de tomar el diámetro de una columna parcialmente oculta o inserta en un macizo, por el método que permite dibujar una circunferencia a partir de tres puntos, al sistema por el que se talla una dovela reglada -lo que no sabemos muy bien de que se trata-, Villard indica que todas estas figuras de trazados de geometría: “*Totes ces figures sunt estrasces de geometrie*”. Realmente no se nota el apoyo geométrico en los trazados que realiza. Todos son a mano alzada y de una gran inexactitud. De nuevo faltan datos y es mucho lo que hay que aportar si se quiere utilizar ese material gráfico, y muy poco lo que se puede hacer si se aprovecha.

El propio Lassus, refiriéndose al croquis de la izquierda, arriba, dice: “*En este croquis, tan rápido que las nervaduras indicadas no coinciden con los contrafuertes, es imposible reconocer cómo Villard de Honnecourt a pretendido iluminar su(...) con doce vidrieras*”, y a partir de aquí deduce que “*los seis puntos de apoyo, deben(...)*”<sup>(16)</sup> etc.

En el croquis de la derecha de la segunda línea vuelve a indicar: “*Nos es imposible encontrar la menor explicación al problema aquí planteado(...)*”.

En otro caso, en el que se explica que “*de esta forma se traza un claustro con sus galerías*”, según Lassus consiste “*simplemente en asegurarse de que los puntos de cruce de los lados iguales del cuadrilátero que forma la traza del claustro están todos a igual distancia del centro de la figura, en cuyo caso el cuadrilátero es un cuadrado*”<sup>(17)</sup>. Esta explicación, que no es en absoluto cierta, puesto que en el mejor de los casos lo único que se comprueba es que los puntos están situados sobre una circunferencia, presume un sistema de replanteo tan rudimentario que es incompatible con los replanteos góticos. En todo caso, en la lámina no parece resuelto ningún problema con el detalle que sería necesario para poder ejecutar una pieza cualquiera de

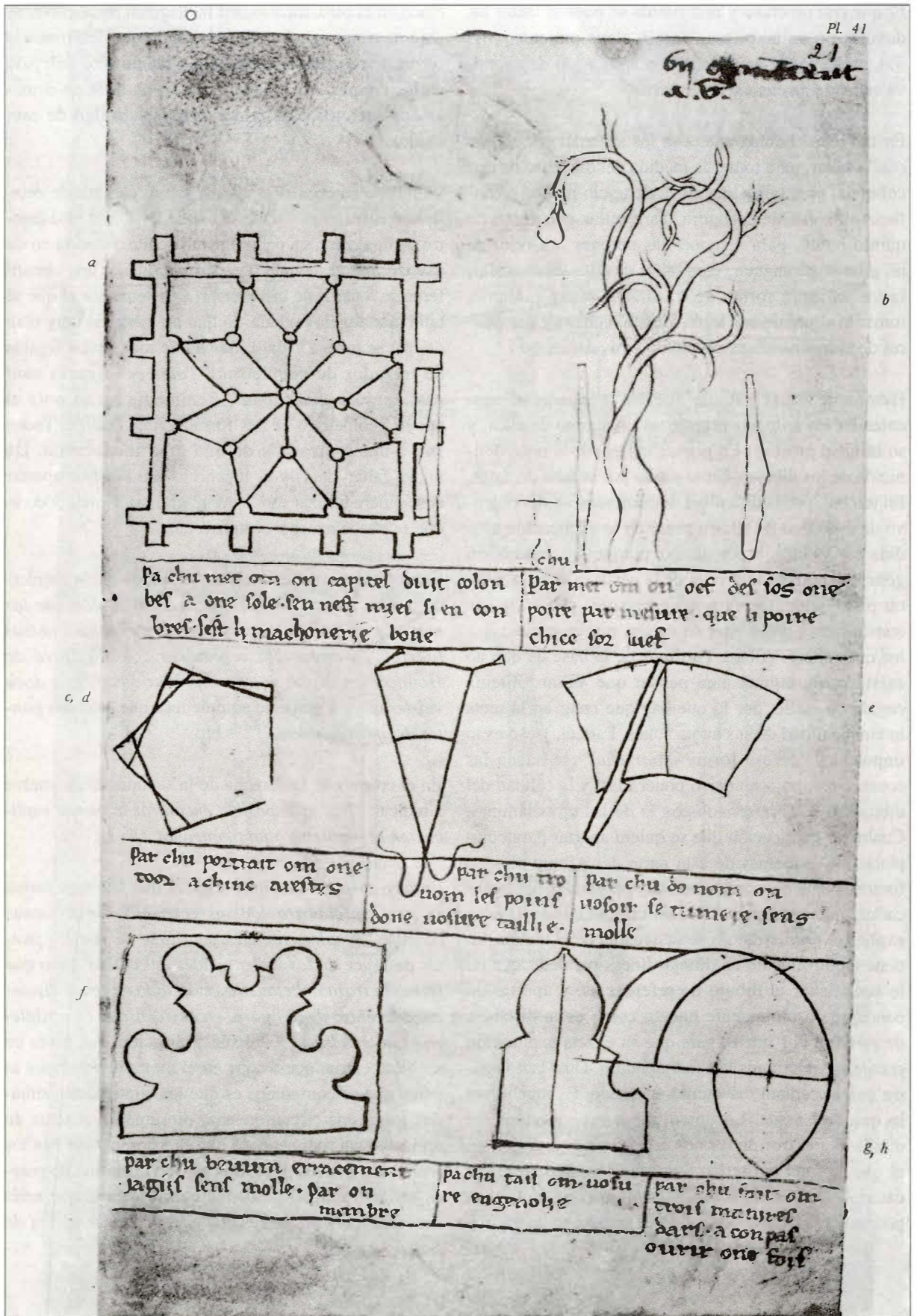


Figura 40



Figura 41

cualquier elemento constructivo. No se adivina a quiénes van dirigidos unos rudimentos, en el sentido didáctico del término, tan poco precisos. Quizás sean un primer grado de aprendizaje, pero en pocos casos aportan datos que singularmente se puedan aplicar a la construcción de catedrales. En general se hace difícil entender su valor práctico.

A pesar de la opinión de Vagnetti, para quien los diseños del álbum contemplan muchos aspectos de la técnica arquitectónica, aunque lo más importante sean las anotaciones sobre problemas algebraicos, es mucho lo que hay que interpretar para que resulten de otra utilidad que la meramente testimonial.

También la figura se refiere a detalles constructivos concretos. “*Aquí podéis ver uno de los pilares de la iglesia de Reims y uno de los de entre dos capillas, y hay muros de cierre y uno de los de la nave de la iglesia. El aparejo (les liaisons) de estos pilares son tal como deben ser*”.

Lassus reconoce que “*a peu près*” son conformes con la ejecución real. “*La sola diferencia consiste en que Villard indica como opuestas las caras talladas de cuatro columnas mientras que en la realidad son adyacentes*”<sup>(18)</sup>. Ya es una notable diferencia. Pero, además, este despiece, “*tal como debe ser*”, sólo es verdad en la primera fase de ejecución de los pilares.

Más arriba, cada hilada está compuesta de dos piezas, cada una con un trozo de columna, y la junta cae en el intervalo entre ellas. El caso, al margen de que no coincide ni el dibujo base ni el despiece con la realidad, lo que en sí mismo ya es sorprendente, sería dilucidar si con ese dibujo se puede emprender la talla de una de las complicadas pilas góticas. El aparejo puede ser el que indica Villard, o cualquier otro, si están relacionados los detalles que permiten dimensionar y replantear cada una de las piezas que forman cada hilada, las relaciones entre ellas, la preponderancia de una forma sobre otra, la manera de efectuar el aparejo del relleno, la correspondencia entre las bases de las columnas y su desarrollo vertical, la proporción de los salientes, las molduras del zócalo y un largo etcétera, datos todos ellos imprescindibles para tallar cada pieza. Todos estos extremos faltan. Lo único que aparece es la forma final que tiene la pila en planta, y eso,

además, con muchos errores. ¿Para qué sirve el detalle?

Lassus hace hincapié en un extremo que a nuestra manera de ver es irrelevante. Opina que en este dibujo, Villard explica cómo ocultar la junta entre las columnas exentas y la pila. Eso, que podemos considerar artesanía más que ciencia constructiva, no necesita de tanto desarrollo. No es un sistema tan sofisticado. Los romanos aplicaban cabezas y manos a unas estatuas prefabricadas sin que se notara, problema bastante más “difícil” que el que pretende desvelar Lassus.

En el resto de la lámina aparecen otros dibujos que Villard llama patrones, *molles*, y que son los únicos en los que se puede interpretar que existe una cierta recopilación de formas, aunque con el defecto de siempre, es decir, sin que se pueda explicitar una intención aclaratoria del trazado de las piezas, de las bases geométricas que permiten el encaje milimétrico de cada hilada con la siguiente, ni de las muy variadas formas que surgen de la entrega de estas molduras con paramentos rectos o con otras adyacentes.

Cuando en esta lámina aparecen indicios de despiece, tampoco se ajustan a una posibilidad real. O no están todas las líneas necesarias, o sobran las pocas que dibuja.

El único soporte geométrico de estos dibujos son las marcas centrales en cada una de las columnas circulares, que indican que se trazan con compás. ¿Es que se puede trazar un círculo de otra forma? Ninguna relación entre esos centros, ninguna alineación explícita que permita entender la forma en que cada pieza se dibuja sobre el plano de monte, que es lo difícil o, por decirlo de otra manera, lo verdaderamente intencionado de las pilas góticas.

Podríamos seguir desmembrando el álbum dibujo a dibujo, tropezando siempre con los mismos problemas: Por una parte, la falta de datos que permitan ejecutar sin ningún género de dudas una pieza determinada, y por otra, la falta de generalizaciones que permitan desarrollar las infinitas combinaciones que presenta la construcción gótica.

Sólo en dos ocasiones se puede entender que existe la

pretensión de generalizar y que se aporta una solución no explícita. En la figura 40, en la parte superior se explica que: “*Por ese medio se combinan los capiteles de ocho columnas correspondiendo a una sola sin que haya hundimiento*”. “*Ésta es buena albañilería*”.

En esa misma lámina aparece, en la parte inferior, un esquema que indica “*el medio para hacer tres clases de arcos con una sola abertura de compás*”. En este caso estamos totalmente de acuerdo con Lassus cuando dice que, “*a pesar de su simplicidad, esta figura tiene una gran importancia para la arqueología*”. Desde un arco de medio punto a uno muy apuntado, se pueden trazar con el mismo radio, lo que significa que las dovelas pueden tener la misma curvatura e inclinación de las caras de imposta, que son intercambiables, y que, por lo tanto, se puede industrializar su fabricación.

A la vista de lo leído y analizado parece evidente que hay que someter a revisión la figura de Villard. Es, evidentemente, una figura apasionante e incógnita que no dejará de levantar polémicas y estudios, cada vez más estrictos sobre él y las circunstancias que lo rodean por lo que todo lo dicho queda a resultas de futuros trabajos e interpretaciones. A estos trabajos les deberemos exigir una gran pulcritud de forma que reduzcan al mínimo las interpretaciones y el aporte voluntarista de ideas complementarias.

En esa línea, creemos, apareció en 1986 una edición facsímil del Álbum de viajes de Villard de Honnecourt, la primera desde 1906, y la tercera a lo largo de la historia del manuscrito desde que Quicherat publicó su trabajo. Acudimos a ella con una cierta esperanza, no exenta de temor, ante la posibilidad de que otros enfoques, basados en nuevos datos desconocidos para nosotros, hubieran modificado las bases de nuestro análisis.

Viene avalada por cuatro especialistas en el tema: Alain Erlande-Brandenburg, conservador jefe de los museos de Cluny y de Ecoen; Regine Pernoud; medievalista autora de numerosas publicaciones; Jean Gimpel, historiador de técnicas medievales y fundador de la Asociación Villard de Honnecourt, y Roland Bechmann, arquitecto y autor de unos de los trabajos más perspicaces sobre la construcción medieval.

Con desilusionada complacencia hemos leído que para Erlande-Brandenburg, autor del prólogo: “*El análisis del documento no nos aporta ninguna certidumbre sobre el oficio ejercido por Villard. No se puede afirmar que ejerciera en plenitud los trabajos que envuelve hoy el término arquitecto (artista doblado de técnico que concibe y dibuja el conjunto y los detalles de una obra y dirige su ejecución para un maestro de obras)*”(20). Parecen válidas, pues, nuestras dudas sobre Villard y su actividad y, por lo tanto, sobre el interés y utilidad del Álbum como libro de pautas, “*de los tantos que indudablemente debían circular entre los expertos constructores de la época*”. El que sean compartidas por los autores mencionados nos hace aparecer menos osados y explicita las dudas que plantea el álbum si se interpreta con rigor.

El desarrollo de los comentarios sobre las láminas se efectúa a la luz de una suposición bastante más verosímil que la confianza que Lassus manifiesta en la capacidad personal de Villard quien, “*está seguro de recurrir a lo que necesite una vez en la obra*”, como justificación para sus numerosas inexactitudes y desconcertantes olvidos. Para los autores del nuevo estudio, Villard conoce la realidad de los trabajos. Lo que ocurre es que, al dilatarse éstos en el tiempo -los talleres en Reims trabajaron casi sesenta y cinco años-, “*Villard elige de entre los documentos, los que le parecen más interesantes, sin asegurarse de que hubieran servido en la construcción*”(21). De esta manera todo cuadra mucho más.

No obstante sigue subsistiendo un excesivo voluntarismo en la explicación de las láminas. Rolland Bechmann no tiene inconveniente en decir, refiriéndose a la figura 37: “*Las diferencias señaladas por la mayor parte de autores entre los dibujos y la realidad se refieren más a la decoración que al sistema de contrarresto. Los puntos de impacto (de los arbotantes) están situados a la misma altura, calculados con exactitud para el equilibrio del monumento*”. Sobre esta lámina opina, por ejemplo, que “*la altura de la hoja de pergamino no le permite dar el desarrollo deseado a su dibujo*”(21), etc.

El resultado del análisis tiene, como no podía ser menos, una mayor coherencia y exactitud, sobre todo en lo que se refiere al aspecto iconográfico del Álbum.

Pero en cualquier caso, siguen siendo válidas nuestras conclusiones. No existe en el álbum ningún dato que permita valorar la capacidad resistente de los elementos, ni sus condiciones de uso, por una parte, y por otra, al faltar cualquier tipo de referencia a unas dimensiones exactas, la utilidad de los dibujos es muy discutible para un constructor.

El nuevo estudio tampoco encuentra en el Álbum ninguna explicación sobre el sistema para determinar la dimensión de los elementos constructivos. Por los datos aportados en él parece que no existía esa posibilidad, ni siquiera basada en unas formulaciones más o menos misteriosas, pero de base inexcusablemente empírica.

Como colofón a su parte en este estudio, Bechmann dice *“Aun contando con la parte de conocimientos que un técnico del siglo XIII podía mantener secretos, lo que no parece cuadrar con el objetivo de Villard cuando dibuja ese recordatorio personal que quisiera sirviese a otros, el débil nivel de conocimientos teóricas, señaladamente en geometría, que revelan los dibujos de este Álbum, confirma lo que se sabe de las ciencias de aquella apoca. Pero la simplicidad, la rusticidad de los medios empleados y de los trucos propuestos en el Álbum no justifican la condescendencia que algunos comentaristas han manifestado ante esos croquis. Al contrario, a uno le invade una profunda admiración cuando ve que con esos medios tan simples, los góticos han construido catedrales prestigiosas que desafían los siglos”*<sup>(22)</sup>. Quizás la principal razón de nuestro trabajo sea esa admiración, basada en la casi absoluta certeza de que los medios eran *“tan simples”*.

### 8.3 Sant Gall

En la biblioteca del convento de Sant Gall existe un plano detallado (fig. 42) de lo que hoy llamaríamos el programa de necesidades de un convento según la regla de San Benito.

Un dato sobre el carácter del plano es la carta escrita sobre él en la que el autor, un desconocido de muy alto nivel, pues llama al abad Gozberto *“dulcísimo*

*filii”*, indica que ésta es la disposición que han de tener las dependencias.

La grafía del plano, a falta de los espesores de los muros y pilares, que se deberían reflejar en planta, es muy clara, casi similar a la nuestra, y no deja lugar a dudas sobre la distribución.

Para Kostof: *“Dibujado a una escala de 1/16 de pulgada = 1 pie, el plano se configuraba como un módulo de 40 pies, subdividido en 16 unidades de 2 pies y medio, que es una unidad derivada de sucesivas divisiones por la mitad”*<sup>(23)</sup>. Puede ser.

Desde nuestro interés, el hecho de que falten los espesores de los muros y la sección de los pilares es altamente significativo y quizás sea sintomático de una manera de trabajar. Están grafiados detalles de mobiliario; los barriles situados en la bodega, posiblemente reproducidos a escala mediante un abatimiento simple; parte de los alzados del claustro; la ubicación de las chimeneas, *locus foci*, etc., y ni un solo dato que permita acometer ciertamente el replanteo de las fábricas.

Este punto se presta a múltiples conjeturas. Puede que se trate de un esquema de carácter exclusivamente funcional, hecho por personas que no entendían del proceso de construcción, como el croquis que hoy nos entregaría un propietario que sabe lo que quiere, pero no cómo construirlo, o puede que el arquitecto trabajara sobre ese tipo de croquis con una técnica de ejecución local en la que estarían resueltos los datos físicos de ejecución. Se trataría de ampliar ese esquema, para este caso o para este periodo, en lo que fuera necesario para su construcción.

Lo que es evidente es que no aparecen detalles que permitan el desarrollo material del proyecto, ni siquiera están definidos algunos datos esenciales como las alturas o los esquemas formales de fachadas y claustros, por ejemplo.

Puede, siempre el inevitable puede, que este plano formara parte de una documentación más amplia que se destruyó o cuyo soporte, el carísimo y raro pergamino, se utilizó para otros fines. El plano, según la opinión más extendida, se “salvó” debido a que en el reverso está referida la vida de San Martín, pero el caso es que





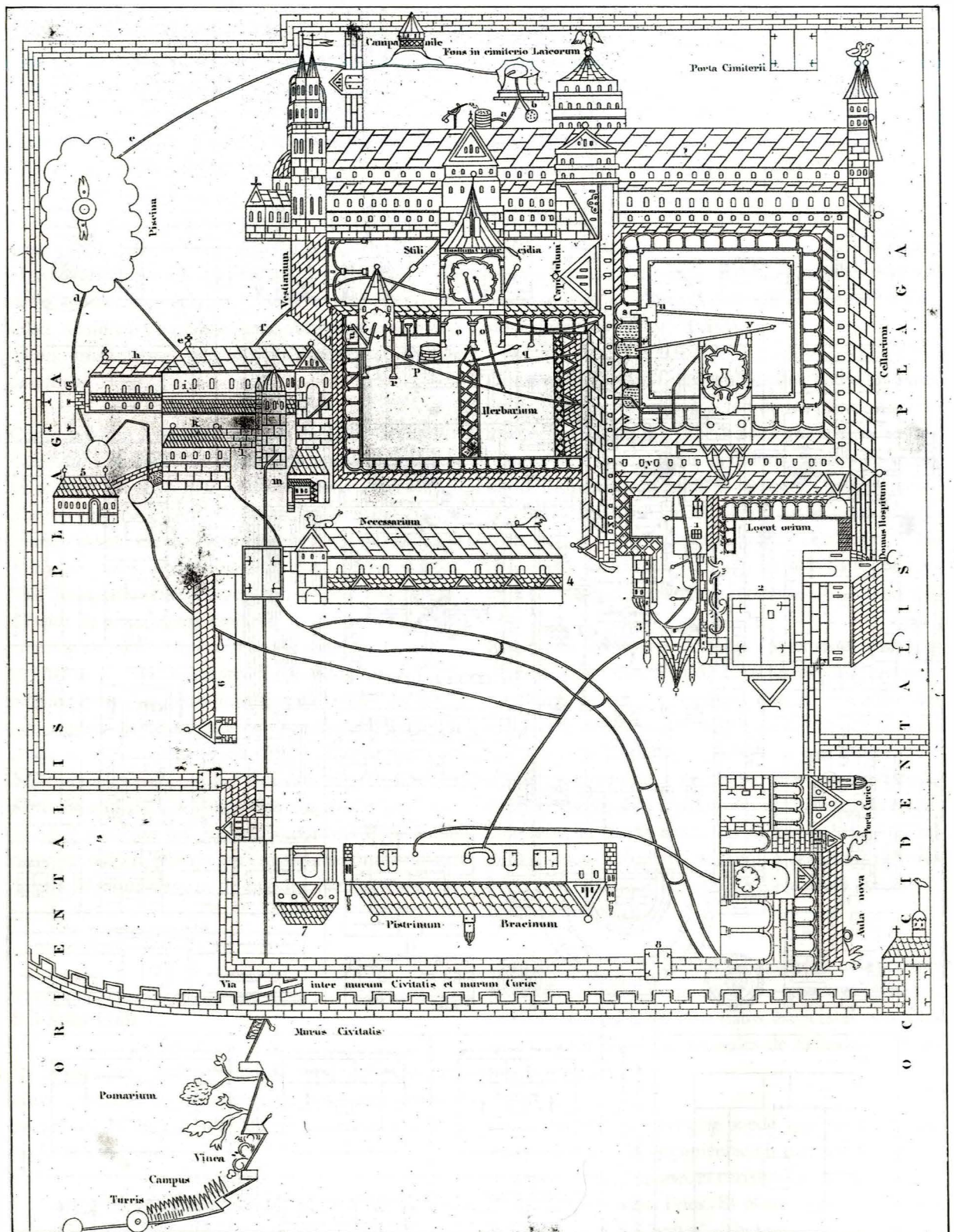


Figura 43

con sólo este documento, seguimos ayunos de datos y de detalles sobre los criterios seguidos para la construcción de un edificio de esas características.

#### 8.4 Canterbury

Otro tanto ocurre con el plano conservado de la abadía de Canterbury (fig. 43), *Canturiae*, y dibujado por el monje Edwin entre 1300 y 1304. Según algunos autores, las líneas dobles que lo recorren pueden ser un esquema de tuberías, bien de desagüe, bien de aporte, debido a que la principal referencia del plano se hace a puntos de llegada o salida de agua: piscina, fuente en el cementerio laico, abrevadero, etc. Para otros, y a la

vista de algunas complicaciones innecesarias en el trazado, también puede ser el desarrollo de un camino litúrgico, lo que a nuestro entender es menos probable. En todo caso no figuran en él datos que permitan deducir, siquiera remotamente, un proceso constructivo o un dimensionado cierto. Incluso desde un punto de vista estrictamente arquitectónico, presenta irregularidades tan evidentes que es dudosa la relación del monje Edwin con el problema que nos ocupa. Las sillerías inclinadas, los cuatro rincones del claustro lateral distintos y confusos, y el esquematismo de las cubiertas, son, entre otros, detalles que evidencian un desconocimiento palpable de lo más inmediato del hecho constructivo. Tampoco aporta, desgraciadamente, nada aprovechable.

**NOTAS DEL CAP. 8**

- (1) Eugenio Llaguno y Amírola. Noticias de los Arquitectos y Arquitectura en España. Madrid 1820. Págs. 262 y ss.
- (2) Lassus, J.B. El Álbum de Villard de Honnecourt. Arquitecto del s. XIII. Imprenta Imperial. París 1858.
- (3) Vagnetti. Op. Cit. Pág. 170.
- (4) Vagnetti. Op. Cit. Pág. 170.
- (5) Kostof, Spiro. Op. Cit. Pág. 23.
- (6) Vagnetti. Op. Cit. Pág. 170.
- (7) Vagnetti. Op. Cit. Pág. 170.
- (8) Lassus. Op. Cit. Pág. 94.
- (9) Lassus. Op. Cit. Pág. 94.
- (10) Lassus. Op. Cit. Pág. 127.
- (11) Panofsky, Erwin. Op. Cit. Pág. 99.
- (12) Lassus. Op. Cit. Pág. 126.
- (13) Choisy, Auguste. T. II. Pág. 284.
- (14) Lassus. Op. Cit. Pág. 217.
- (15) Vagnetti. Op. Cit. Pág. 175.
- (16) Lassus. Op. Cit. Pág. 147.
- (17) Lassus. Op. Cit. Pág. 151.
- (18) Lassus. Op. Cit. Pág. 213.
- (19) Alain Erlande Brandenburg, Régine Pernoud, Jean Gimpel, Roland Bechmann. Carnet de Villard de Honnecourt. Edit Stock París 1986.
- (20) Erlande y otros. Op. Cit. Pág. 19.
- (21) Erlande y otros. Op. Cit. Pág. 20.
- (22) Erlande y otros. Op. Cit. Pág. 50.
- (23) Kostof. Op. Cit. Pág. 78.

## 9. La ciencia medieval

### 9.1 El estado de la cuestión

Otra fuente para conocer el alcance del bagaje de los constructores medievales puede ser el análisis de los conocimientos científicos y técnicos de la época.

Los datos de que se dispone hoy tampoco son excesivamente alentadores si se pretende establecer como válida la teoría de la existencia del conocimiento, empírico por supuesto, aunque necesariamente ordenado, de algunos conceptos válidos para el enunciado de unas reglas que garantizaran la estabilidad de lo construido. Los últimos trabajos publicados reducen esta posibilidad a la vista de la poca materia aprovechable y de lo remoto de los pocos conceptos que se manejan. El tema se puede considerar prácticamente agotado con una breve nota.

Como ya hemos indicado, no existe ningún texto intermedio entre Vitruvio y Alberti, ni ninguna otra referencia a principios aplicables exclusivamente en construcción, por lo que, por si acaso, se tratará de ver si se manejan conceptos relacionados fundamentalmente con el equilibrio, presupuesto primero para que un edificio sea considerado como tal.

El incendio de la biblioteca de Alejandría concretó la fractura entre los conocimientos de la Edad Antigua y los de la Edad Media, aunque a partir de su conquista en 1204, en la cruzada contra los albigenses, se recuperaron algunos textos bizantinos traducidos por los árabes. Lo poco que sabemos sobre ese fondo bibliográfico, que preferimos suponer misteriosamente rico, llega hasta nosotros reconducido por el espíritu renacentista que forma y deforma gran parte de nuestros conceptos sobre la antigüedad. El Renacimiento rescata más un espíritu que unos datos ciertos, desprecian-

do, o desconociendo, que todo puede ser, los saberes medievales casi de forma sistemática.

Con posterioridad, poco a poco, se han ido recuperando manuscritos en proporción desconocida, aunque una cierta lógica hace suponer que ningún gran conocimiento ha quedado olvidado de raíz. En todo caso, las lagunas deben corresponder a tecnologías menores y a conceptos filosóficos confusos para nuestra óptica. No parece probable, a la vista de otros restos y otros datos, que existieran unos recursos técnicos muy superiores a los que imaginamos. De todas formas, es más sugestivo no decir la última palabra, aunque no parece prudente esperar mucho de futuros hallazgos. En general, parece que el pensamiento clásico se orienta más hacia aspectos especulativos del saber que hacia aspectos prácticos, que rechaza por considerarlos de orden inferior.

Cabe pretender que los conceptos de la mecánica aristotélica son aplicables a la técnica de construir, pero la falta de evidencias en este sentido convierte a la suposición en algo puramente especulativo.

En la Edad Media el concepto de sabiduría era distinto al nuestro. Prácticamente en todos los casos se proponen los conocimientos y la práctica de las artes mecánicas como parte esencial de la cultura. *“Los tratados técnicos fueron traducidos del árabe y del griego al latín por personas cultas. Fueron los estudiosos occidentales, en tiempos de Gerberto, al final del s. X, los que comenzaron a interesarse por la cultura árabe. Las enciclopedias del s. XIII de Alejandro Neckam, Alberto el Magno y Roger Bacon contenían mucha y precisa información sobre la brújula, la química, el calendario y otros temas técnicos(...) En el s. XIV, el padre dominico Giovanni de San Geminiano (m.1323)*

compiló en una enciclopedia destinada a los predicadores en la que explica, para que sean utilizados como ejemplo en los sermones, descripciones de muchos aspectos técnicos: agricultura, pesca, cultivos, molinos de viento y de agua, naves, pintura y miniatura, fortificación, armas, fuego griego, metalurgia, fabricación del vidrio, pesos y medidas, etc. Algunos manuales se ocupan de técnicas generales, como la construcción de naves, puertos o hilaturas. La serie de tratados de química práctica, que en los primeros tiempos de la Edad Media proporcionaban recetas para pigmentos más que ninguna otra cosa, continuó en los siglos XIV y XV con descripciones de la destilación y de otras técnicas prácticas, y en el siglo XVI con los libros sobre la destilación de Girolamo Brunschwig, y el *Probierebuchlein* y el *De re metallica* de Agrícola. Se podrían dar aún muchos ejemplos de los intereses técnicos medievales. Demostraron no sólo un deseo abstracto de dominar la naturaleza, como el expresado por Bacon, sino además que eran capaces de conseguir los conocimientos de utilidad práctica inmediata<sup>(1)</sup>.

A pesar de este sentido práctico, el hecho cierto es que no conocemos ninguna regla que permita dimensionar, siquiera remotamente, un elemento en el sentido más amplio de la palabra, es decir, un conjunto de exigencias necesarias y suficientes para que, a priori, se pueda garantizar de alguna forma la estabilidad de ese elemento ante un esfuerzo determinado. En todos estos tratados se nota a faltar la construcción como algo singular. En el *Didascalón* de Ugo de San Vittore (m. 1141) se indica: “La mecánica comprende siete ciencias: textil, forja de armas, náutica, agricultura, caza, medicina y escenografía. De éstas, tres contemplan la respuesta exterior de la naturaleza a fin de que ésta se defienda de las ofensas; cuatro contemplan el comportamiento intrínseco para que la naturaleza crezca y fructifique con cuidado. Se produce una analogía con el trivium y el cuadrivium, porque el trivium (gramática, dialéctica y retórica) se ocupa de la palabra como algo exterior, mientras que el cuadrivium (aritmética, geometría, astronomía y musical) se ocupa de los conceptos entendidos interiormente. Las ciencias mecánicas son las siete doncellas que Mercurio recibe como dote de la filología(...) ésta se llama adulterina (imitada), porque contempla la actividad manual que coge prestada su forma de la natu-

raleza(...) la mecánica es la ciencia de la que se aprenden los métodos para construir las cosas”<sup>(2)</sup>. Construir todo menos las construcciones, a la vista de la nula mención que esa actividad concreta merece a Ugo de San Vittore, siendo así que los mayores éxitos de las técnicas medievales se materializan en las obras. “Muchos de los dispositivos usados por los constructores medievales para resolver los problemas de la estática de las grandes iglesias fueron completamente originales. Es imposible establecer en qué medida se sirvieron criterios puramente empíricos o estuvieron en disposición de utilizar las aportaciones de las obras teóricas de estática; pero es significativo que a finales del s. XII y en el XIII, cuando la construcción de las grandes catedrales planteaba problemas difícilísimos desde el punto de vista práctico, Giordano Nemorario y otros se ocupasen del tema, aportando contribuciones importantes de estática teórica; por lo menos un arquitecto importante del s. XIII demostró conocer la geometría: Villard de Honnecourt. Los desarrollos originales de la arquitectura gótica nacieron de los problemas con los que se tropezó cuando se trató de cubrir con un techo de piedra los sutiles muros de la nave central de la basílica que era el tipo común de iglesia cristiana desde los tiempos de Roma. Los romanos no habían tenido nunca que afrontar los problemas que se plantean a los constructores medievales, porque construían las bóvedas encofradas o por arcos sucesivos en hormigón, y las cúpulas, como la del Panteón, con piezas de argamasa dispuestas en filas horizontales; cuando el hormigón o la argamasa había endurecido, el empuje sobre las paredes era mínimo. No ocurre así en los edificios medievales en los que no se usaba argamasa ni hormigón”<sup>(3)</sup>.

En este párrafo de Edoardo Benvenuto queda bastante aclarado el nivel de nuestros conocimientos sobre el tema: los planteamientos geométricos de Villard, cuyo alcance ya hemos analizado, son el único dato, además de la realidad de los trazados de las catedrales, que permiten una aseveración tan escueta como que “por lo menos un arquitecto importante demostró conocer la geometría”, eso suponiendo que Villard lo fuera.

Se van extrayendo con mucha dificultad conceptos de algunos manuscritos: “De los problemas constructivos se ocupó incidentalmente Alberto el Magno en su

Methaphysicorum, donde declaró apreciar particularmente, en los arquitectos, 'la Sapientia scire causam quae est ratio faciendorum', cuando saben la causa por la que hacen las cosas"<sup>(4)</sup>.

Vicente de Beauvais, según Vagnetti de clara influencia vitruviana, aporta argumentos teológicos en apoyo de postulados arquitectónicos, con frecuentes referencias al mundo antiguo.

La relación de estas referencias con la práctica diaria de la construcción parece realmente muy remota, aunque es imprescindible que supongamos unos conocimientos geométricos, al menos útiles: "Los Elementos de Euclides había sido reproducidos de forma más o menos completa en el siglo XIII(...). La geometría, toda práctica, se ceñía esencialmente a recetas para construir figuras, pero no a demostraciones en el sentido en el que lo entendemos ahora"; "pero los conocimientos teóricos de los constructores, que en general eran obreros promocionados autodidactas, eran igualmente limitados"<sup>(5)</sup>.

Según parece, el nivel del bagaje científico es, según todos los autores, muy bajo.

## 9.2 Algunos datos concretos

La falta de referencias al proceso constructivo ha llevado a algunos estudiosos a considerar relacionados con el tema algunos presupuestos de la farragosa física medieval en una labor más cargada de buena voluntad que de realidades.

Según Benvenuto, a la vista de los conceptos que se encuentran en el De ratione ponderis, atribuido a Giordano Nemorario, casi es posible afirmar que se enuncia, si bien reconoce que de forma confusa, la descomposición de fuerzas: "*Gravitas secundum situm*" (la gravedad depende de la posición). Tanto si se trata del plano inclinado, en el que la fuerza descendente depende de la inclinación, como si la afirmación corresponde a la palanca, en la que la potencia que presumiblemente Nemorario identifica con el peso, la *gravitas* del objeto, ha de ser menor cuanto más cerca esté del fulcro, en ambos casos, si es que ésta era la

intención del enunciado, la fuerza necesaria para sostener o mover el peso depende de la posición del objeto. Combinando ambas suposiciones, la *gravitas* se descompone en dos esfuerzos, de manera que uno aumenta al disminuir el otro.

A Giordano Nemorario se le atribuyen tres libros; Elementa Jordani super demonstrationes ponderis, Liber de ponderibus y el Liber Jordani de ratione ponderis. Existen varias teorías sobre su nacionalidad e incluso sobre la época exacta en que vivió, pero lo más probable según Benvenuto es que se trate de un físico del s. XIII que trabajaba preferentemente en Francia.

En el Elementa, destaca Benvenuto los dos axiomas siguientes por su posible relación con la estática de los elementos arqueados :

1. El movimiento de todo cuerpo pesado es directo hacia el centro (de atracción) y su cualidad es la tendencia a caer resistiendo el movimiento contrario.
2. Un móvil es tanto más pesado en su caída cuanto más directamente es su movimiento hacia el centro (de atracción).

Como es obvio que cualquier caída libre se produce según la vertical, sólo es posible apartar el móvil de esa trayectoria, y que siga cayendo, con un plano inclinado.

Es posible que el esfuerzo cada vez mayor, necesario para mantener las dovelas en su sitio conforme el arco crece, sea el origen de esta afirmación. Por lo menos es el campo de trabajo más inmediato y abundante con el que cuenta Nemorario. Indica Benvenuto que en esos axiomas se puede entender enunciada la teoría de los trabajos virtuales, en el sentido de que el trabajo que realiza el móvil sobre el plano se opone a su velocidad de caída. A nuestro entender es mucho entender.

En el Liber Jordani de Ratione ponderis modifica en algo sus supuestos, acercándose notablemente al concepto de momento. Según la traducción de Duhem, dice: "*Si se levanta un peso y se conoce la longitud del apoyo, se puede, en cualquier posición, determinar la entidad, es decir, el peso real*". "*Gravitas secundum*

*situm*”, pero relacionada con un dato cierto como la longitud del apoyo.

Por último, resalta Benvenuto un esquema que supone una mayor profundidad de análisis en los conceptos del movimiento sobre el plano inclinado, en definitiva el único posible a realizar por una dovela durante la ejecución del arco: “*Si dos pesos descienden sobre trayectorias inclinadas de forma distinta y sus pesos son proporcionales a la longitud del espacio a recorrer (para la misma altura, lo que supone que los pesos son proporcionales a los ángulos de cada uno de los planos por los que discurren, con la horizontal), estos dos pesos poseen igual calidad de descenso*”(6), lo que Benvenuto interpreta como que “*habrá que hacer el mismo esfuerzo para contrarrestar su caída*”.

Al margen de que la referencia a la proporcionalidad

simple es demasiado inmediata -se repite en otros casos, a lo largo de siglos, sin ninguna explicación ni demostración, aunque se pueda entender como el inicio de una actitud científica-, existen en el enunciado demasiados parámetros sin determinar: El coeficiente de rozamiento entre las superficies del plano y del objeto, o la forma del mismo. El concepto de “*calidad de descenso*” es lo suficientemente inconcreto como para que resulte aventurado basar en él ninguna suposición que autorice a suponer que ese principio puede utilizarse en construcción.

Y esta falta de datos sobre la ciencia medieval se acepta generalmente como una realidad y es el punto de partida de todos los trabajos sobre este asunto, por lo que cualquier propuesta sobre el esquema estructural se debe hacer sobre este supuesto: La presunción de unos conocimientos que hoy nos son desconocidos es sólo eso, una presunción.

**NOTAS DEL CAP. 9**

(1) Benvenuto, Edoardo. La ciencia de la construcción y su desarrollo histórico. Sansoni. Florencia 1981.

(2) Benvenuto. Op. Cit. Pág. 27.

(3) Benvenuto. Op. Cit. Pág. 28.

(4) Vagnetti. Op. Cit. Pág. 178.

(5) Erlande, Brandenburg y otros. Op. Cit. Pág. 40.

(6) Benvenuto. Op. Cit. Pág. 34 .





## 10. Recopilación y consecuencias

A la vista de las contradicciones que presenta lo recopilado, se puede afirmar que con sólo las teorías usuales no es posible enunciar un esquema válido que explique de forma exacta el funcionamiento de las estructuras medievales, de forma que sea satisfactorio en todos los casos. Desde un punto de vista estricto, no parece que los análisis efectuados hasta el momento tengan respuestas para todos los supuestos, y cuando las tienen, ignoran, o parecen ignorar, contradicciones evidentes y datos concretos que los pondrían en tela de juicio. El problema es que, en la búsqueda de esos esquemas, conforme los análisis se hacen más rigurosos, más difícil es llegar a una conclusión.

El primer problema ignorado, o dado por supuesto alegremente, es plantear con exactitud, para aplicarle nuestros sistemas de análisis del equilibrio, el esquema de cargas y pesos de forma que tenga validez universal.

Se pretenden unos materiales de peso y comportamiento homogéneo, y esa premisa no es cierta. Incluso cuando se trata de casos concretos, la falta de seguridad es notable. Juan Bassegoda explica que: *"Por lo que se refiere a Cataluña y Baleares hay diversos estudios hechos por Juan Rubió i Bellver y Jaime Bayó Font para la catedral de Palma de Mallorca.*

*"Este último preparó en colaboración con varios alumnos de la Escuela de Arquitectura de Barcelona la descomposición de fuerzas y determinación de las líneas de presiones en las catedrales de Tarragona, Burgos y otras.*

*"También Augusto Font y Carreras realizó prolijos cálculos para el cimborio de la catedral de Barcelona. Todos ellos adolecen del serio defecto de ignorar el*

*peso y, al mismo tiempo, la acción mecánica de los rellenos de enjutas con hormigón, y considerar que sólo debía trabajar la sección lítica que debería carecer de toda otra estructura superior"*<sup>(1)</sup>.

Después de esta crítica, Bassegoda describe una serie de trabajos útiles *"simplemente para una determinación exacta de pesos y volúmenes, paso previo totalmente necesario para otras etapas sucesivas"*. Eso, ahora que disponemos de metros, litros y kilos, balanzas y aparatos de medida de gran precisión.

En vista de esta situación, y partiendo de la base de que a nosotros nos es difícil valorar la realidad, más que de un esquema de las estructuras medievales creemos que es más lógico hablar de hechos irrefutables y establecer unas consecuencias derivadas de ellos.

Estos hechos son:

1. Los edificios sobre los que se establecen los supuestos esquemas estructurales están en equilibrio porque si no se habrían caído. Evidentemente esta circunstancia facilita las cosas a los teorizantes. Es irracional intentar una teoría sobre la coherencia estructural de un edificio arruinado, por lo que cualquier hipótesis mínimamente verosímil se ve avalada por el hecho apodíctico de la pervivencia de la obra sobre la que se aplica.

Pero existe una gran distancia entre la existencia de ese equilibrio y la necesidad de que responda a un esquema estructural racional en el que cada elemento realice una función concreta, única e inevitable.

2) Los casos de equilibrio basados en las posibilidades que presenta la combinación de soluciones simples en

su origen son muchos, sin que sea necesario que respondan a un esquema estructural estrictamente lógico, lo que es evidente al constatar que para luces similares se emplean esquemas de cubierta muy distintos.

Sobre la clave del arco fajón que recinta el ábside de la iglesia del monasterio de Poblet, se apoyan una serie de nervios perfectamente inútiles dadas las dimensiones de la cúpula semiesférica que lo cubre, y en contra de todo lo recomendable para el equilibrio de los arcos. Pero que según nuestro criterio no encontremos lógica esa solución no significa que no sea simplemente viable; el conjunto se encuentra en perfectas condiciones. Fundamentalmente en sus últimas etapas, la complicación de trazado que presentan algunas cubiertas góticas es perfectamente innecesaria desde el punto de vista estructural, y en muchos casos se utilizan esquemas que nosotros desaconsejaríamos; sinusoides en vez de arcos, arcos cuya principal carga se apoya en el intradós, etc. La posibilidad de que luces similares se cubran mediante soluciones muy distintas, simples unas y complejas las otras, puede evidenciar una intención formalista más que una lógica exclusivamente estructural.

Puede ocurrir, como en el caso de algunos sistemas de ligaduras superabundantes, que esos elementos de intencionalidad puramente formal compliquen extraordinariamente el equilibrio, ya que forzosamente participan en él. La posibilidad de describirlo sólo pondrá a prueba nuestra capacidad para abordar un problema teórico complejo, cuya concepción no pudo estar en el ánimo de sus constructores. Dada la gran cantidad de casos sobre los que es posible teorizar, en algunos de ellos es posible la exactitud, pero eso puede ser pura coincidencia.

### 10.1 Conceptos básicos

De todas formas se pueden fijar algunos principios evidentes como puntos de partida.

1) Todo el peso de las bóvedas cae sobre los cuatro ángulos del cuadrado o rectángulo en que se inscriben y en los que se localizan los empujes por pura continuidad física, ya que son los únicos puntos de apoyo,

pero no es posible aplicar una teoría única fiable sobre cómo se desplazan esos pesos y empujes por los nervios y bóvedas, pues existen ejemplos de todo tipo.

2) En cualquier caso el conjunto genera unos empujes que se descomponen, o pueden descomponerse, según una componente horizontal y otra vertical.

Lo difícil es decidir en cada caso la magnitud y punto de aplicación de esas fuerzas, debido a las interferencias en la forma, no sólo de los nervios, sino también de las bóvedas, de los diversas acciones recíprocas y de las secciones, cada una de las cuales presenta una muy variada capacidad resistente.

3) Es dudoso que el contrarresto se pueda confiar a la capacidad resistente del mortero. La estabilidad de las obras, sobre todo durante el proceso constructivo, no puede depender de él. No se tienen datos en esa época, como hemos visto al analizar la *Re Edificatoria* de Alberti, sobre el proceso de fraguado y endurecimiento, ni sobre las posibilidades concretas en cada caso. Y eso lo podemos considerar una suerte a la vista de la gran heterogeneidad de resultados y de la poca fiabilidad en los métodos de obtención de esos morteros.

La evolución de éstos puede haber modificado el comportamiento de la estructura, aunque no se pueda afirmar que eso sea beneficioso. En el caso de una carbonatación perfecta y de un endurecimiento al límite de lo posible, la estructura puede pasar de ser isostática a ser hiperestática, lo que siempre será una hipótesis difícilmente demostrable, pero aunque este hecho, enunciado de otra forma, fuera conocido por los constructores, no podía ser tenido en cuenta para garantizar el equilibrio inicial. Es posible que en un primer momento el isostatismo de la estructura permitiera una redistribución espontánea de las cargas y los esfuerzos y que, una vez que comienza el endurecimiento del mortero, esa redistribución se consolidara con lo que, si el coeficiente de seguridad en un primer momento es muy bajo, a largo plazo aumenta hasta alcanzar el grado necesario para la supervivencia varias veces centenaria de las obras.

4) Por lo tanto, y como los pilares no son capaces de resistir momentos, pues apenas pueden trabajar a flexión, sea cual sea la dirección en la que se producen

esos empujes, su componente vertical pasa por el núcleo útil de los apoyos en los edificios que han permanecido.

*“Los análisis realizados hasta ahora en la estructura de Sta. María del Mar están basados en procedimientos de estática gráfica que tratan de comprobar que la resultante de las cargas pasa por el núcleo central de los pilares, lo que garantiza la no aparición de tracciones. Son, pues, análisis para justificar una realidad, ya que la inexistencia de grietas garantiza la corrección del punto de paso de la resultante de las cargas. Si este punto de aplicación se hubiera situado en algún momento fuera del núcleo central de las columnas, cosa que debió de suceder en más de una ocasión en las construcciones góticas, su pervivencia hasta nuestros días habría sido más problemática, precisamente por la inestabilidad de la que sería reflejo el citado descentramiento”<sup>(2)</sup>.*

5) Naturalmente, y como consecuencia de los puntos anteriores, es forzoso que esos empujes estén contrarrestados de alguna forma. Pero este contrarresto no se efectúa siguiendo un solo esquema.

5.1) Puede ocurrir que los momentos generados sean de muy pequeña magnitud y los pueda absorber el rozamiento interno de las piezas del pilar, las características de su despiece, o una mínima capacidad del conjunto para trabajar a tracción.

Esta posibilidad la aporta Carlo Curcio, que demuestra que es posible que el simple rozamiento sea suficiente para contrarrestar en algunos casos esos empujes.

5.2) Pueden efectuar el trabajo los arbotantes. Pero éstos no son imprescindibles en todos los casos. Esto se ha demostrado tanto por lo ocurrido en la Gran Guerra, como por el diseño de algunas obras. Los casos en los que no se emplean arbotantes son contemporáneos a obras en las que sí se utilizan, lo que significa que prescindir de ellos era perfectamente aceptable.

En las construcciones románicas, por ejemplo, no se utiliza habitualmente ningún sistema de contrarresto, siendo así que las bóvedas son mucho más pesadas que las góticas, aunque la menor altura de los muros

disminuye el momento respecto de su arranque.

Sorprende, además, que no se haya intentado ninguna justificación para el equilibrio de otras estructuras que, en teoría, deben de provocar mayores empujes. Las cúpulas renacentistas y barrocas, por ejemplo, trabajan sobre muros limpios, en muchos casos calados con grandes óculos, sin que provoquen la más mínima interpretación.

En esta cuestión se puede aceptar una cierta intención por parte de los constructores medievales.

5.3) Cuando se produce una evidente anulación de los empujes -lo que ocurre en las salas capitulares o en algunas iglesias, como en Angers-, es decir, cuando la simetría formal y de cargas de nervios y bóvedas sobre el soporte es total, extremo éste que queda explícito en planta, se utilizan columnas de sección muy pequeña en comparación con los muros.

Esta solución se emplea, quizás forzada por el aprovechamiento de columnas romanas, desde el inicio de la Edad Media, sorprendiendo en muchos casos el límite a que llegan los constructores, que hacen soportar a las columnas las ingentes masas de las primeras bóvedas posromanas con resultados visuales verdaderamente espectaculares. En ningún caso se puede afirmar que esta forma de hacer fuera decidida responsablemente. La arquitectura islámica trabaja con soluciones parecidas sin que se haya planteado una teoría sobre su racionalidad, quizás por que no existe, de momento, un prurito científico por parte de los tratadistas dedicados, más bien poco, al tema. A veces el buen paño no se vende en el arca.

6) El arco apuntado es el más utilizado, incluso cuando no es necesario, pero el hecho de que en muchos casos se complique extraordinariamente su trazado y las combinaciones que permite, hace que pierda parte de su relativa eficacia en el aligeramiento de los empujes.

No se puede afirmar que las ventajas que objetivamente aporta el arco apuntado a la estabilidad de las construcciones fueran la razón determinante de su uso. El menor valor de los empujes está relacionado con ese apuntamiento, pero en muchos casos otros parámetros

los aumentan sin que se distinga una superposición de intenciones en su diseño: arco apuntado, piedra de menor densidad, menor espesor de bóvedas, menores secciones en los muros, etc. Es mucho más comprensible que se prefiriera como forma.

Estos hechos ciertos, que combinados sirven de base a alguna de las teorías habituales, pueden considerarse complementados por una explicación lógica que justificaría otros extremos que incorporan esas teorías como una premisa estructural: El sistema de nervios y bóvedas sobre pilares presenta una gran versatilidad y capacidad de adaptación a gran número de soluciones en planta, por lo que su empleo no se justifica sólo, aun en el caso en que se crea posible la “lógica constructiva” del esquema, por razones de estabilidad estructural.

Disponer de una fórmula que resuelva la cubierta por complicado que sea el diseño de la planta, es una razón más que sobrada para el empleo exhaustivo de esa fórmula.

Al margen de ello, otros hechos complican la posibilidad de enunciar una teoría única.

1) La heterogeneidad que presenta la capacidad resistente de cada elemento, aun para una misma forma o sección, y que depende de una gran variedad de calidades en la ejecución, imposibilita, en el caso de que se utilizaran métodos de dimensionado empíricos, la certeza apriorística en la viabilidad de una solución concreta.

La homogeneidad de los materiales y aparejos es la base de nuestros sistemas de cálculo. De no poderse garantizar esa homogeneidad, es difícilmente explicable sobre qué datos basaban los constructores, en el caso de que lo hicieran, la seguridad en cada caso.

2) A primera vista no hay una proporcionalidad entre las secciones de determinados elementos y la capacidad resistente que de acuerdo con nuestros criterios les adjudicaríamos. En el caso de que estas proporciones existieran, desconocemos en qué datos, sobre estabilidad naturalmente, que es de lo que estamos tratando, se basaban para posibilitar que a cargas mayores correspondieran secciones menores.

Ningún tratadista aporta dato alguno que permita suponer que se establecían relaciones, aun a la manera en que lo hace Vitruvio cuando habla de los muros de defensa -en los que la anchura superior ha de ser la necesaria para que se crucen dos hombres armados-, entre unos parámetros muy simples, como la luz, o el espesor de la bóveda, o la altura, con las formas y secciones en cada caso, entendiéndolas como las más idóneas. En este supuesto, lo de menos sería que fuera la relación acertada.

La primera relación de este tipo de que se tiene noticia son las fórmulas de Fray Lorenzo de San Nicolás en su *Arte y uso de la arquitectura*, y no parece que tengan más que un valor indicativo.

3) Ya afirmado con anterioridad, que no existen soluciones únicas. Para una misma luz es posible utilizar esquemas muy distintos, superabundantes en algunos casos.

## 10.2 Lo más probable

Margarit, Buxadé y L. Rey dicen: “*Dentro de la tendencia, seguramente irreversible, de intentar conocer la seguridad de los edificios, tendrían que ser sustituidos estos métodos gráficos, que por otra parte plantean problemas de difícil solución a nivel de bóvedas, por el análisis matricial de barras y elementos superficiales en el plano y en el espacio, así como por el ensayo de los correspondientes modelos con el nivel de precisión actual, mucho más alto que aquellos simples ensayos de estructuras parabólicas de final de siglo. Toda esta metodología tiene, además, la ventaja de que no se limita a constatar realidades, sino que puede señalar los puntos más amenazados por determinados tipos de acción exterior; se deduce una cierta previsión de lesiones, inestimable desde el punto de vista de la conservación, que hoy no puede ser ya una descripción aguada de lo que pueda pasar, sino una auténtica ciencia de la previsión estrechamente ligada con el cálculo de probabilidades*”<sup>(3)</sup>.

Para unos calculistas modernos, sólo es posible garantizar la estabilidad de ese tipo de estructuras, lo que en definitiva es la razón última de cualquier dimensiona-

do, estudiándolas a través de un sofisticado “análisis matricial de barras y elementos superficiales en el plano y en el espacio”, a pesar de que este sistema presenta muchas dudas sobre la validez de los datos que proporciona. Cuando se ha recurrido a los “métodos gráficos”, se han planteado “problemas de difícil solución a nivel de bóvedas”.

El profesor Mark ha tratado de aproximarse al análisis y la interpretación de las estructuras góticas mediante la aplicación de los principios de la fotoelasticidad en modelos de plástico de las secciones transversales de los edificios, lo que si bien como investigación es notable, como método complica la posibilidad de que las estructuras góticas se puedan dimensionar responsablemente basándose sólo en el cuerpo científico medieval.

No obstante, es necesario dar una explicación, sea cual sea la ciencia de los constructores, ya que las obras están ahí.

En algunas ramas de la actividad humana, el desconocimiento de la esencia real de las cosas puede subsistir durante siglos sin que se deje notar esa situación. En medicina, por ejemplo, los métodos erróneos de curación sólo suponen, en el límite del error, el adelantamiento de la fecha del óbito, ya que éste es inevitable en cualquier caso y achacable a múltiples causas, o, en el otro extremo, la curación de la enfermedad por la capacidad natural del cuerpo humano. Los errores sólo se explicitan, en general, cuando se ha establecido otra terapia distinta y más eficaz que la anterior.

En construcción ocurre que es posible trabajar desconociendo el fundamento teórico de los problemas con tal de que éstos se solucionen aunque, como hemos dicho, en el origen la solución sea por exceso. Freyssinet dice que es posible construir sin saberlo todo, aunque al precio de una exageración de los márgenes de seguridad. De haber aplicado a la resolución de los problemas constructivos, métodos tan inciertos como los que se usaron para tratar las atroces pestes y epidemias medievales, lo más seguro es que no se hubiera conseguido ninguna construcción perdurable. La atracción gravitatoria terrestre no presenta en principio ninguna excepción en su trabajo, mientras que ante una epidemia siempre aparecen naturalezas resis-

tentes. Sólo se es constructor si se construye, como sólo se es navegante si se llega a puerto. No existen en general placebos, ni milagros, ni recetas misteriosas para evitar el colapso de un edificio; o se acierta con la solución, o se cae. De ahí que el principal trabajo de los constructores y su principal saber consista en evitar ese colapso, sin que tuviera en otras épocas mayor importancia el conocimiento de la ciencia abstracta que justificara la solución adoptada. Las causas ciertas que provocan una ruina pueden ser bastante complejas, pero el resultado, es decir, el efecto visible, es relativamente fácil de acotar, y más si se repite el desastre. Se trataría de ir modificando la respuesta al hundimiento hasta acertar -en la más literal acepción del término- con un sistema que lo impidiera.

Pero el punto de partida común para el análisis de estos edificios ha sido la pretensión de que los constructores de esa época trabajaban, no sólo dentro de la lógica constructiva -lo que Roger Gilman llama “la verdadera espina de toda esta materia”: “¿Fue, pues, la lógica (esencialmente constructiva) la guía y la ley que presidió la concepción y el trazado de estas catedrales?”<sup>(4)</sup> -, sino que la exactitud dictaba sus decisiones. Esa pretendida exactitud es innecesaria a nuestro juicio y a ese planteamiento cabe oponer algunas objeciones.

En primer lugar parece evidente que, a pesar de algunos desequilibrios, la capacidad para generar conocimientos científicos suele ser bastante homogénea en cada cultura, y no existe razón para pensar en la existencia de un cuerpo de doctrina científica específico, aplicable sólo en construcción, que no haya tenido influencia en otros aspectos del saber o de la técnica, aunque lo cierto es que las realizaciones arquitectónicas han sido, con mucho, lo más espectacular y duradero que han producido algunas de esas culturas.

En segundo lugar habría que definir nuestro concepto de la ciencia de la construcción para saber lo que estamos exigiendo a esos constructores. La progresiva incorporación al proceso constructivo de la formulaciones teóricas de la física, extraordinariamente complejas en su concepción abstracta, ha dotado a los técnicos de un instrumento fácil para definir lo necesario y suficiente, tanto en lo que respecta a la estabilidad de un edificio, como a otros aspectos de la técnica

aplicada que se incorpora. Como dice Nervi: *"La construcción ha democratizado y popularizado el hecho estático, haciendo posible para muchos proyectistas afrontar correctamente con fórmulas a su disposición algunos temas antiguamente reservados a una minoría de personas excepcionalmente dotadas"*<sup>(5)</sup>; pero eso sólo a partir del siglo XIX.

Suficiente es lo bastante para lo que se necesita, sin que exista en el concepto otra limitación. Por el contrario, necesario es lo que es menester indispensablemente. En este sentido se contraponen a lo superfluo. Al definir lo suficiente y necesario, estamos acotando exactamente las necesidades que se plantean en cada caso. De esta forma los cálculos fijan, dentro de unos límites muy estrictos, el dimensionado y las características de los elementos resistentes. Es difícil que se caiga una estructura si el proyectista y el constructor se atienen a los procedimientos usuales de cálculo y ejecución, pero, por la misma razón, es innecesario correr riesgos superando los coeficientes de seguridad recomendados, y por lo general no se producen situaciones límite que pudiéramos considerar audaces. Dicho de otra forma, y volviendo al ejemplo propuesto en la introducción a este trabajo, en nuestros días nadie con conocimientos sobre el tema recomendaría la prosecución de la torre de Pisa, y menos después de constatar su progresivo desplome en la primera etapa de su construcción.

La aplicación de mayoraciones y de coeficientes de seguridad es un seguro cuantificable de este planteamiento, que pretende predecir todo lo que va a ocurrir en la vida del edificio, aunque se prescindiera de él en el momento de realizar ensayos de resistencia con carga real, prueba apodéctica de la resistencia garantizable.

Pero no siempre ha tenido que ser así forzosamente. Antes de manejarse las formulaciones teóricas a las que nos hemos referido, el problema se podía considerar resuelto en el momento en que se definía lo suficiente para presumir la estabilidad de lo construido, aunque esa suficiencia no estuviera respaldada necesariamente por una base científica que permitiera comprobar "a priori", y mediante el cálculo numérico, los supuestos.

Tenía que ser la experiencia la que definiera el límite

y avalara los sistemas, hasta tal punto que cuando se sobrepasaba un determinado esquema, de nuevo había que esperar a que se demostrara la viabilidad de soluciones alternativas que, a su vez, eran acotadas por nuevas experiencias negativas.

Esta forma de trabajar puede llevar en algunos casos, por puro desconocimiento de la realidad, a construir según unos esquemas extraordinariamente audaces para nuestra óptica. La única prueba de que un elemento resiste es que no se cae, y no hay datos suficientes, de no aplicarse cálculos numéricos, para saber la proximidad a los límites físicos de resistencia a que están sometidos los materiales, cuando la solución aprovecha esa resistencia excesivamente, pero aún se mantiene el conjunto dentro de lo posible. Muchos edificios medievales, cuando se les aplica procedimientos de análisis estructural modernos, dan coeficientes de seguridad inferiores a 1 y sin embargo se mantienen, a veces milagrosamente, en pie.

Este proceso, por el que constantemente se superan las soluciones válidas y en las que se está próximo al límite de la etapa inmediatamente anterior, está al servicio de unas ideas fundamentalmente de orden espiritual y estético que subordinan el proceso constructivo, exigiéndole soluciones más allá de lo razonable, hecho que desconocían los constructores, por más que nos empeñemos en demostrar lo contrario.

Bastan como ejemplo los colapsos de Cluny III y Beauvais, para el románico y el gótico respectivamente, en los que, de una manera desastrosamente clara se pusieron en evidencia los límites de las ambiciones proyectuales de los constructores de la época, sin que en ningún caso se definieran las razones de esas fronteras. Y ello por lo que respecta al sistema estructural total. En el caso de elementos aislados, el límite es rozado muchas veces, en una ignorancia que hoy nos parece exactitud y audacia.

Hemos visto como las posibilidades de que esas limitaciones estén condicionadas por datos contenidos en documentos anteriores o en una ciencia transmitida oralmente es remotísima. En Vitruvio no se encuentra prácticamente nada que sirva a un constructor medieval y que éste no pudiera deducir de la práctica de la albañilería más simple. Alberti sólo aporta una confu-

sa mezcla de reglas prácticas y abstracciones de escaso valor científico. Y eso es todo lo que hay escrito. Villard tampoco es una referencia válida, ni como científico, ni siquiera como práctico, y la realidad de las obras presenta situaciones analizables y justificables desde muchos puntos de vista. Tampoco hemos encontrado datos en la Junta de doce expertos reunidos en Gerona, ni es posible presumir que los hubiera a la vista de lo que hoy se conoce de la ciencia medieval. No existe, por lo tanto, ninguna prueba que permita demostrar que los proyectos medievales están obligados por las limitaciones de una teoría sobre su estabilidad. Las variaciones en el dimensionado de los elementos resistentes demuestran que los límites de aplicación de las soluciones son muy amplios.

No se puede aceptar, dado el material de que disponemos, que: *“Ni un átomo de la estructura era ineficaz, ni se dejaba nada que fuera vital al capricho o al azar. Las leyes de la belleza quedaban subordinadas a las de la vida científica”*<sup>(6)</sup>, aunque es lógico pensar que las progresivas exigencias de proyecto estuvieran relacionadas con soluciones anteriores de probada validez, o con unas recetas de las que desconocían el fundamento.

En esas recetas apenas podían figurar conceptos sobre la estabilidad de lo construido en la forma en que los enunciamos hoy. No son viables puntualizaciones exactas del tipo “por que si no se cae”, que es lo que en definitiva vienen a decir nuestros procedimientos de cálculo, basadas en un cuerpo de doctrina científico, aunque seguro que la frase se pronunció y que el concepto se explicitaba en muchas ocasiones. No es probable que los constructores medievales discurrieran sobre nociones de mecánica de cuya ignorancia estamos seguros, a pesar del empeño de todos los que pretenden una misteriosa exactitud en sus intenciones.

Si el concepto de dimensión mínima no aparece, y si no es posible demostrar una intencionalidad única en las soluciones constructivas, se debe aceptar como explicación más probable que el proyecto se basa casi necesariamente en combinaciones de base geométrica y en consideraciones formales, fundamentalmente.

El desarrollo de la geometría, ciencia en la que se producen gran cantidad de sorprendentes y casi enigmáti-

cas relaciones, ha facilitado, quizás, ese enfoque eminentemente gráfico con ribetes pseudocientíficos de la construcción medieval, que abunda en el concepto excesivamente esotérico que hoy manejamos.

Se puede añadir que el magnífico comportamiento de estas obras ante los ataques del tiempo puede haberse visto reforzado por el progresivo endurecimiento de los morteros. Un equilibrio isostático precario, inmediato al descimbrado, puede haberse convertido en otra cosa, cuya complejidad no adivinaron los constructores, al producirse este nuevo estado de equilibrio que aumenta considerablemente la seguridad del conjunto.

Otro aspecto importante del problema consiste en que se quieren obtener conclusiones generales válidas, es decir, se pretende enunciar la teoría general que justifique la estabilidad de las construcciones medievales, pero existe tan extraordinaria variedad de casos, que eso es, como se ha evidenciado hasta este momento, muy difícil. Todas las hipótesis llevan parte de razón, pero no son generalizables, de ahí que ésta pueda ser una polémica eternamente inacabada. Lo único común son las formas. Las recetas constructivas, si las hubo, fueron lo suficientemente difusas como para que a su cobijo se fabricara todo lo que se ofrece ante nuestra vista. Y eso puede ocurrir porque nos empeñamos en enunciar teorías basadas en la intencionalidad estructural del proyecto, cuando la abierta contradicción entre lo ejecutado y lo lógico es sólo la expresión de una osadía de raíz absolutamente arquitectónica.

Roger Gilman dice que: *“Conviene establecer una distinción, que con frecuencia se olvida, entre los principios determinantes y las formas arquitectónicas de los edificios”*<sup>(7)</sup>, entendiendo por principios determinantes, los conocimientos sobre el problema, y por formas arquitectónicas, las soluciones prácticas. En su opinión: *“El contrarresto de empujes, o bien en otro asunto en que es más frecuente la confusión, la transmisión de empujes sea el principio; pero el conjunto de arbotante y botarel no es más que el recurso constructivo”*<sup>(8)</sup>. La falta de datos ciertos y la confusión y variedad de las soluciones arquitectónicas ponen en tela de juicio la validez de esos principios e incluso su existencia. Lo más probable es que el planteamiento no fuera tan radical, y sí más confuso. Para evitar la



ruina se debe colocar algo. A partir de aquí se desarrollan el arbotante y el botarel, casi al margen del problema inicial que los justifica, y sin que la solución sea la estrictamente lógica, ya que el problema primero e inevitable es el de la construcción, el de la puesta en obra, y necesita respuestas inmediatas.

En algunos casos, además, a la vista de los defectos que presenta la ejecución se puede afirmar que de lo que se trata es de definir formas, más que de respetar criterios constructivos intrínsecos. La regularidad y perfección en los despieces y la exactitud en la talla no tienen por qué obedecer a la aplicación de unos criterios estrictos basados en la estabilidad de lo construido. La tendencia a la regularidad y al trabajo bien hecho justifica el esmero por razones de pura calidad visual y de ejecución. La consecución de unos mayores niveles culturales provoca, en general, una mayor exigencia en el aspecto de lo fabricado, sin que sean necesarios otros condicionantes. En el momento en que se plantean contradicciones sobre las prioridades, la buena ejecución se subordina a la definición arquitectónica de la forma.

Se puede cerrar este análisis con una afirmación de alto riesgo y que provoca una cierta inquietud en un profesor de construcción: Es imposible, con los datos que poseemos, demostrar que los constructores medievales aplicaran unos principios que definieran la capacidad resistente de sus estructuras. Seguro que existieron una serie de reglas prácticas para su desarrollo y construcción, pero carecían, no sólo de lo que hoy entendemos por rigor científico, sino de una seguridad inmediata aplicable a todos los casos, aunque en una gran mayoría de ellos, para nuestra fortuna, por su coincidencia con algunas leyes muy complejas de la estática, sirvieron maravillosamente bien al fin propuesto.

Este planteamiento se hace coincidiendo plenamente con las intenciones de Roger Gilman, quien como final de su estudio dice: *“Al romper así abiertamente, en ciertos puntos, con las teorías de los tratadistas, de ningún modo emprendemos sendas retrógradas, sino que, por el contrario, nos orientamos hacia el porvenir. La contemplación de estas ruinas ha de sugerir inevitablemente un nuevo concepto del gótico; concepto en cuya exposición, las nevaduras de las bóve-*

*das, los haces de columnas de las pilas, la forma dada a los arbotantes y contrarrestos, los amplios ventanales, y, por último, las fachadas, encontrarán su verdadera explicación como partes de un trazado y composición puramente arquitectónico que, no sólo se asimiló a las exigencias de orden religioso y constructivo, sino que las dominó y satisfizo por completo”*<sup>(9)</sup>.

Podríamos añadir sintéticamente que la arquitectura medieval es ante todo arquitectura, lo que Abraham llama *“formas arquitectónicas”*, y que las soluciones constructivas se plantean subordinándolas a un proyecto cuya inspiración tiene una base fundamentalmente espiritual con una clara intencionalidad estética, en contra, casi siempre y gloriosamente, de lo que hoy consideramos como saludable sentido común en el aprovechamiento de los recursos.

Su principal problema, una vez definido el proyecto, definición que como hemos dicho se efectúa para conseguir antes que nada bellos edificios, cada vez más esbeltos y luminosos, es materializar esa construcción sin plantearse otros problemas que los inmediatos de ejecución y trazado de formas y espacios. Los límites a las ambiciones de sus proyectos se evidencian sólo al construir y después de que se haya resuelto la puesta en obra. La inestabilidad de lo construido se constata al descimbrar, o cuando el viento u otra causa derriba la obra.

El cuestión de fondo subsiste aún hoy. Nadie con suficiente rigor podría dar una respuesta única e indiscutible sobre las condiciones exactas del equilibrio ideal entre arquitectura y construcción. En nuestro tiempo, en el que es posible construir casi todo, nos imponemos unas limitaciones lógicas en el momento de proyectar. Cuando no lo hacemos y por necesidades del programa el resultado del proyecto supera lo habitual, podemos recurrir a los expertos, cuyo trabajo se concretará en fijar esos límites, o en todo caso en valorarlos económicamente. Este proceso, partiendo de la misma ambición proyectual, no recibe en la Edad Media otra respuesta que la que proporciona la evidencia apodíctica de que lo construido se mantiene, sin que, por el material que podemos aportar, sea posible demostrar que tuvieran otra certeza previa.

Aunque a regañadientes, nosotros aceptamos mentir

cuando hacemos arquitectura. Arcos simulados, espesores inútiles, vigas planas y estructuras ocultas forman parte de nuestro repertorio habitual, en muchos casos con resultados nefastos, aunque en otros sea la única manera de generar espacios racionales, útiles y bellos. No hay razón para que los arquitectos medievales no se plantearan, con el repertorio proyectual de sus prodigiosos estilos, un sistema de trabajo parecido. Lo que ocurre es que sólo tenían piedra para trabajar y ello les obligó a una mayor pureza de formas. Nosotros rara vez llegamos al aprovechamiento límite de lo racional cuando construimos, a pesar de que el racionalismo ha condicionado la definición de la buena arquitectura. La interpretación de las construcciones medievales ha pasado de manos de los mecanicistas del siglo XIX a los racionalistas del XX y con ello, según nuestra particular manera de ver el proble-

ma, hemos perdido demasiado tiempo tratando de adivinar el funcionamiento de unos esquemas de los que a los arquitectos medievales, desde el punto de vista estructural, sólo les interesó, quizás por la forzada limitación de sus conocimientos, una relativa similitud con otras formas de demostrada capacidad de pervivencia.

A pesar de la subjetividad del juicio -¿cómo se cuantifica científicamente la inferioridad estética de un monumento?- puede que sea aceptable la intención, sólo la intención, de R. A. Cram, cuando en su libro Heart of Europe dice que el principio básico fue el amor a la belleza y que la lógica triunfa más tarde produciendo monumentos inferiores. Ello suponiendo que la lógica -no sabríamos decir cuál- triunfara en algún momento.

**NOTAS DEL CAP. 10**

- (1) Bassegoda Nonell, Juan. Op. Cit. Pág. 102.
- (2) Margarit, Juan y otros. Artículo citado.
- (3) Margarit, Juan y otros. Artículo citado.
- (4) Gilman, Roger. Op. Cit. Pág. 111.
- (5) Nervi, Pier Luigi. *Técnica costruttiva e architettura*.  
Architettura d'oggi. Florencia 1955. Pág. 8.
- (6) Stungis y Frothingham. *Historia de la Arquitectura*.  
Tomo III. Pág. XXIX.
- (7) Gilman, Roger. Op. Cit. Pág. 95.
- (8) Gilman, Roger. Op. Cit. Pág. 95.
- (9) Gilman, Roger. Op. Cit. Pág. 120.

## 11. Propuesta para otro Gótico

### 11.1 Los datos ciertos

A pesar de todo es necesario, sobre el resumen que sitúa la cuestión, desarrollar un esquema que permita aproximarnos lógicamente a la realidad de lo construido y al proceso proyecto-construcción. Hace falta formular una propuesta que tenga en cuenta los antecedentes anteriormente expuestos para describir un proceso compatible con la lógica de las obras y las posibilidades de la época.

Aceptamos de antemano cualquier reserva sobre esa propuesta, aunque sólo sea por mantener el mismo rigor con el que hemos analizado los trabajos de otros. Naturalmente creemos en la posibilidad de que sea acertada, ya que de no ser así no la enunciaríamos, aunque reconocemos su debilidad: depende excesivamente, como todo lo escrito sobre el tema y debido a la falta de datos, de nuestra capacidad interpretativa, aunque a nuestro favor, creemos, está el mayor rigor en el análisis de los antecedentes, no sólo de la realidad de lo construido y de lo escrito que hemos echado de menos en algunos autores. Pretendemos, además, relacionarlo con ese cúmulo de circunstancias, constantes en cualquier proceso constructivo, unificado en todos los tiempos y en todos los lugares por sus características intrínsecas: movimiento de grandes masas de materiales, con intervención de personas con muy distinto grado de preparación; desde la mano de obra sin especialización ninguna a grandes expertos, a la vez que en su desarrollo interfieren una serie de parámetros de toda índole - estéticos, resistentes, de ejecución, económicos, etc -, muy variados y a veces contradictorios,

Como resumen de los estudios previos se puede asegurar que los proyectos medievales, tanto góticos

como románicos, y con mayor razón los prerománicos, no están condicionados por unas normas que permitan garantizar *a priori* la estabilidad de lo construido, y ello es así por dos razones fundamentales.

La primera, sujeta al albur de nuevas investigaciones y descubrimientos, es que no se ha encontrado nada sobre ese tema hasta la fecha. Ningún dato se puede aportar que pruebe la existencia de unas reglas que determinen las condiciones de trabajo de los elementos resistentes, debiendo insistir al tratar este punto en que lo de menos sería quizás, que estuvieran ajustadas a nuestros criterios. Este es un extremo que hoy por hoy, y lamentablemente es irrefutable

La segunda es que la complejidad de los trazados y la enorme cantidad de casos singulares, en muchas ocasiones contradictorios entre sí, harían inoperantes de existir a esas normas ya que su enunciado debía ser forzosamente muy rudimentario y confuso, debido entre otras consideraciones a las limitaciones del lenguaje de la época. No es fácil imaginar como describirían, con esas limitaciones a que hemos hecho referencia, todos los conceptos, algunos muy enrevesados, que son necesarios para aproximarse a una estructura que incluso aplicando las teorías actuales sobre la estabilidad de las construcciones, se resiste a un esquema universalmente válido que explique la totalidad de los planteamientos que se observan en lo construido.

En esa realidad de las obras se observa además, una gran cantidad de situaciones opuestas a lo que hoy entendemos por correcto por lo que, de ser cierta la existencia de un cuerpo de normas sobre la estabilidad de las construcciones, habrá que suponer en el mejor de los casos una extraordinaria seguridad por parte de

los constructores, seguridad cuyo origen es difícil establecer y que les permite un amplio margen de error o, en el caso contrario, que esas normas eran de una amplitud y versatilidad que hoy nos es incomprendible, para, de esa incompreensión, deducir su escasa validez.

Por lo tanto, las hipótesis sobre la génesis y el desarrollo del esquema gótico deben imaginar un proceso adaptado a la lógica del hecho constructivo antes que a ninguna otra consideración, aunque condicionado fuertemente por razones teológicas, estéticas y sociales.

Se debe suponer una situación acumulativa en la definición de los esquemas estructurales. Se trabaja sobre la certeza obtenida en obras anteriores y se avanza en la dirección adecuada, o se suman soluciones de acuerdo con una previsión de resultados. Probablemente eso se llame ahora trabajar por tanteo y error y entonces sólo era construir; cuestión de lenguaje puramente.

Es necesario aceptar, pues, que de no mediar un dato hoy desconocido, las bases sobre las que se construye el primer gótico se han desarrollado en el inmediato, y sobrepuesto en algunos casos, periodo románico.

Negar este principio es suponer que alguien, un buen día, ignorando lo que se construye, es capaz de "inventar" todo el esquema, perfectamente adaptado desde su origen, no sólo a las aspiraciones estéticas, teológicas y de todo orden de la sociedad en que vive, sino también a sus posibilidades reales, seleccionando, de una sola vez aquello que es posible hacer y de la forma en que es posible hacerlo.

No parece que esa creación *ex novo*, a pesar de que alguien tuvo que hacer el primer proyecto gótico, sea la hipótesis más lógica, máxime si se tienen en cuenta todos los factores presentes, tanto de la realidad social en la que se desarrolla, como la de las obras, la cantidad de gente que estuvo implicada y la magnitud de la difusión del estilo que se impone en toda Europa en un tiempo récord.

Desde el punto de vista práctico esa creación *ex novo* supondría la necesidad, entre otras cosas, de que

hubiera sido posible enseñar a los miles de personas implicadas en los trabajos los fundamentos de un esquema estructural tan complejo y ello es bastante difícil de imaginar. Dejando al margen los problemas de lenguaje, suficientemente referidos anteriormente, el empeño aparece imposible, sobre todo a la vista de las innumerables variantes que se desarrollan sobre unos esquemas primarios, forzosamente simples, se desarrollan. Deberían estar comprendidos en las explicaciones sobre el tema conceptos de una gran complejidad y muy exactos, aunque sólo fuera para marcar los límites de lo posible.

Sólo la continuidad en el oficio de construir puede suponer en este aspecto una hipótesis válida. Casi todo lo que es necesario saber para construir los proyectos góticos ya se debe saber en el periodo románico, sólo que esos conocimientos se van a aplicar a proyectos distintos, en los que se han introducido unas variaciones que mejoran sustancialmente el proceso.

Una de las razones por las que el primer románico se difunde de forma tan rápida por Europa, a pesar de los grandes problemas de comunicación que sufre la sociedad medieval, es que sus edificios se construyen con técnicas y materiales locales, sobre proyectos de una gran simplicidad conceptual. Esas técnicas locales se han ido depurando a lo largo de varios siglos, a pesar de las penurias y de las dificultades en las que se desarrollan los trabajos. Se difunde a través de monjes viajeros cuyo bagaje tenía que ser forzosamente muy escaso, casi exclusivamente oral, y con la ayuda de las innumerables cuadrillas de obreros itinerantes, más o menos especializados, con cuyo concurso se resuelven los puntos singulares, tímpanos, capiteles, etc., y alguna peliaguda cuestión de estereotomía, pero el grueso de la obra se hace, en las miles de iglesias románicas, con aportaciones locales de materiales y mano de obra. Y con ese sistema de difusión se consigue en un tiempo sorprendentemente breve la universalización, en todo el ámbito cultural europeo, tanto del estilo como de los esquemas constructivos.

La enseñanza de estas técnicas de albañilería, muy simples, de padres a hijos en el limitado mundo de las aldeas románicas, posibilita el gran alarde constructivo de la época y sirve de base a la evolución posterior del segundo románico y del gótico.

Las modificaciones en el proyecto se introducen por las razones que expondremos a continuación, y se consolidan y justifican por el importante cambio que se produce alrededor del año 1200. Porque lo que si parece fuera de duda es la existencia de dos mundos distintos: el mundo románico deja paso al mundo gótico, en lo que sin duda fue un cambio extraordinario del entorno cultural medieval, y ese cambio, por las evidencias, planteó las exigencias que motivaron la difusión y consolidación del sistema constructivo gótico, a pesar del gran esfuerzo que supuso a la sociedad medieval y singularmente a los constructores.

Por lo tanto, deben buscarse los elementos constitutivos del repertorio gótico en el románico, por lo menos en los primeros momentos del estilo. En su evolución, como en la de cualquier estilo creado por el hombre, influirá decisivamente la tensión dominante en el proceso, que en este caso trata de conseguir iglesias cada vez más altas, más luminosas y más livianas.

No es difícil encontrar esos antecedentes ni las causas que justifican la fervorosa adhesión al nuevo estilo por parte de la sociedad gótica.

La inmediata percepción de las deformaciones que se producen en las naves de cañón seguido, que es la cubierta por excelencia del periodo románico, por efecto del empuje de las impresionantes bóvedas, a las que los arcos fajones sólo suponen una ayuda relativa, debió ser una inquietud constante, compartida por quienes, forzados por la limitación de los esquemas disponibles, construyeron ese tipo de iglesias en los siglos precedentes. Debía ser un riesgo muy alto fijar el límite a partir del cual se podía garantizar la estabilidad del conjunto. Depende ese dato de varios parámetros cuya determinación no es fácil, y que sólo aparecen explícitos como concepto muchos siglos más tarde. La altura y anchura de los muros figura entre los más claros y perceptibles, pero la consistencia de su relleno, la rigidez y orden del aparejo, el espesor y el relleno de las bóvedas, la densidad de las piedras, la fatiga de los terrenos y su comportamiento a medio y largo plazo, etc., no pudieron entrar, y si lo hicieron tuvo que ser enunciados de forma muy confusa, entre los datos que debían de tener en cuenta.

Con la misma luz y el mismo espesor de la bóveda,

incluso con la misma anchura de los muros y construyendo en terrenos de consistencia parecida, unas bóvedas se mantenían, otras se deformaban inquietantemente y otras se caían, en muchos casos por razones absolutamente misteriosas, a pesar de que cumplieran las normas al uso, o las recetas particulares de cada caso.

En aquellas que se mantuvieron, también debió suponer una gran preocupación las deformaciones que se iniciaban en el momento del descimbrado y cuya evolución era impredecible. Desplomes en los muros y contrafuertes de más de 40 cm no son difíciles de encontrar en las iglesias románicas, y es seguro que nadie pudo garantizar nunca que iba a detenerse ahí. Esta preocupación, que suponemos general entre las gentes que tuvieran capacidad de análisis y un cierto grado de decisión en el proceso constructivo, debió de generar más de un intento de codificación, siempre deficiente debido a la falta de conceptos y de datos sobre los que basarlos, por más que, de la mano de algunos éxitos, se pudieran desarrollar recetas cuya validez debía ser muy relativa.

Las bóvedas de cañón seguido, que son las más simples de trazar y las más inmediatas de imaginar, son, sin embargo, muy penosas de construir. Se necesitan cimbras muy robustas debido al gran peso muerto de los materiales durante la ejecución, cuando el conjunto aún no trabaja como bóveda, y hay que subir hasta ellas material de relleno en cantidades ingentes para el relleno de los riñones. Presentan, además, la dificultad adicional de que las aberturas para la iluminación de la nave deben hacerse en los muros antes de llegar a la imposta de la bóveda, lo que obliga a regruesarlos poderosamente aumentando el trabajo y el peligro de desplomes. A cambio presentan una cierta facilidad en el tallado de las dovelas, pero esa facilidad, por como evolucionó el gótico, complicándose inverosímilmente, no parece que fuera un dato que condicionara excesivamente el proceso.

Sin embargo, las soluciones a estos problemas estaban al alcance de la mano. Para ser consideradas como tales tenían que ser muy claramente ventajosas desde la óptica de un proyectista-constructor, sin que mediara ningún tipo de sofisticación en el balance, debiendo además, entroncar con la tradición constructiva al uso.

Se tardó en conseguir las como diseño completo el tiempo necesario para acumularlas en un solo edificio, con innumerables ejemplos de aproximaciones en varios grados. Como ya hemos dicho, seguro que ese mérito fue de alguien o de algunos en concreto, pero aún está por demostrar inapelablemente a quién corresponde ese honor, suponiendo que ese dato tenga interés para el desarrollo del tema.

La solución más inmediata al problema de las deformaciones provocadas por los empujes de las bóvedas de cañón seguido era dividir la cubierta en crujías transversales. Y esa solución se utilizó en muchos casos en diversas variantes, aunque no de forma sistemática, durante el periodo románico.

Las iglesias con la cubierta dividida en crujías, con apoyos intermedios transversales al eje mayor, en cualquiera de sus variantes -cúpulas de diversos tipos y crucerías-, se deforman mucho menos que las de cañón seguido, y eso pudo imponerse como dato cierto sin que fuera necesario que se enunciara de otra manera.

Lo que se consigue con esa solución es hacer trabajar todo el perímetro de cada crujía y no sólo las líneas paralelas al eje longitudinal. El empuje en esas líneas queda reducido a la mitad para la misma masa de dovelas y relleno, aunque su determinación exacta dependa de la forma de esas cubiertas parciales.

Su contrapartida, si se utilizaban arcos de medio punto para los apoyos transversales, es que el espacio interior pierde continuidad y el majestuoso aspecto que, a pesar de su pesantez, le confiere la bóveda continua, pero este problema casi desaparece cuando se trabaja con bóvedas de crucería.

Por una parte, y en ello puede que esté el origen de su éxito como forma, permitían unas superficies de iluminación en las fachadas laterales mucho más amplias, impensables hasta entonces, lo que tuvo que ser decisivo ante las dificultades que en este aspecto presentan las bóvedas de cañón seguido. En un momento en el que la luz se valora como algo muy positivo, ésa debió ser una razón de peso.

Y a partir de aquí todo son ventajas evidentes. El volu-

men interior de las naves crece de forma notable, con lo que se mejora la percepción del espacio dando unidad al conjunto, todo ello sin necesidad, en un primer momento, de subir la altura total del edificio. Bien es verdad que aumenta ligeramente el material tallado y que es necesario reforzar y aparejar mejor los apoyos, pero regruesar es una operación inmediata que no necesita excesiva reflexión. Se ha venido haciendo como respuesta a algunos problemas de desplomes y deformaciones desde muchos siglos atrás.

La solución se adopta y se desarrolla en el momento justo. Para entonces los muros han dejado de ser las masas pesadísimas necesarias para contrarrestar el empuje de las bóvedas del primer románico y se han convertido, de la mano de una mayor perfección en la talla, en unos elementos mucho más complejos y articulados, en los que se definen los tres niveles que integran el gótico: nivel terreno, triforio y claristorio. Las columnas se diferencian cada vez más de la superficie del muro y se complica, si bien muy levemente al principio, su moldurado. El resultado, y eso lo sabemos hoy, es que su calidad estructural aumenta porque disminuye la proporción de relleno inerte en los muros, además de resistir mejor los empujes laterales. Y eso posibilita la apertura de grandes claros en la parte superior hasta calar totalmente ese espacio.

No hacen falta excesivos tecnicismos para enunciar unas ventajas tan obvias. En el balance inmediato que se establece sobre cualquier actividad humana, la evidencia de las ventajas era lo suficientemente explícita como para que se entendiera inmediatamente.

## 11.2 El proyecto

Parece evidente que para empezar a trabajar en un edificio es necesario disponer de un proyecto, sea cual sea su grado de materialización desde la simple idea inconcreta que se desarrolla conforme avanzan los trabajos, hasta la documentación más completa, el caso es que es necesario que alguien sepa lo que se va a hacer. Otra cosa será cómo hacerlo, pero eso lo veremos más adelante. En el caso gótico, el proyecto, en el grado de concreción que sea y sobre el soporte que sea, como idea de un espacio usable, debe reunir los

requisitos que hemos enunciado hasta ahora como imprescindibles a la luz del estado de nuestros conocimientos sobre el tema. Es necesario que, además, justifique las osadías de los constructores y la unidad perceptible del estilo.

### 11.2.1 Las exigencias del proyecto. El punto de partida

La importancia de los conceptos teológicos en la Edad Media y la influencia que ejercían sobre todos los aspectos de la vida se manifiestan de forma notable en el mayor empeño de la época, la construcción, y de ello sí existen sobradas pruebas documentales. Las innumerables actas de consagración representan, de alguna manera, la justificación trascendente de esa actividad y revelan la intención explícita de personas e instituciones de servir a sus ideales.

Esa influencia se manifiesta en el proyecto, condicionándolo hasta unos niveles difíciles de imaginar, y obligando su desarrollo por consideraciones que hoy nos parecen, o pueden parecernos, subordinadas a otros aspectos de justificación técnica, utilitaria o puramente formal.

Oursell dice: *“La catedral no es sólo una creación arquitectónica, sino también una obra universal en la que contribuyen todas las artes. De ello resulta que los temas iconográficos siguen un orden dado, pues, si no se tienen en cuenta las obras pictóricas y las esculturas, resulta imposible comprender el significado del edificio como materialización del mundo celestial”*<sup>(1)</sup>.

A continuación pasa a describir las estrictas relaciones existentes entre las diversas partes y los motivos ornamentales de base teológica que exhiben.

Frases como: *“El recuerdo de la ciudad celestial se expresa, tanto en el decorado interno como en el externo, con la profusión de torres y los tres portales”*, o: *“Al tema de la autoridad absoluta e intangible que se expresa sobre los portales mediante la omnipotencia y la majestad de Jesús y María, se añaden en las galerías reales de la fachada de las catedrales de París, Reims y Amiens, el de la autori-*

*dad de quienes poseen el poder temporal”*<sup>(2)</sup>, evidencian una preocupación cuya única apoyatura es espiritual, y cuyas exigencias van más allá de lo que nosotros aceptaríamos como razonable.

Pero esa preocupación no sólo reside en el aporte que señala Oursell. No sólo la iconografía está influida: el mismo esquema general aparece formando parte de una concepción superior.

La importancia de esas relaciones entre teología y proyecto pueden quedar explícitas en un párrafo escrito mucho más tarde, en 1633, por Fray Lorenzo de San Nicolás: *“Fue disposición del cielo el nuevo uso de edificar los templos en forma de Cruz, y aun no falta quien diga que los mismos Cielos fueron criados en forma de Cruz, y el hombre también tiene la misma forma, y así como la Cruz es el arma más fuerte para la defensa del Cristiano contra la fuerza del enemigo, así esta forma de plantar es la más fuerte y más vistosa y agradable a la vista, agradable por su composición, fuerte por recibir en sí los empujos que la altura de la obra hace; y así hallarás que los cuatro arcos torales sirven de estribos los mismos brazos de la cruz, siendo fuerte por lo dicho, y provechoso por ahorrar de nuevos estribos, gastos escusados siendo el edificio como queda dicho”*<sup>(3)</sup>. Al margen de la curiosa afirmación de que *“el hombre también tiene la misma forma”* (que la cruz) -nosotros hubieramos afirmado lo contrario; la cruz tiene la misma forma que el hombre, y por razones que no se le escapaban a los romanos-, resalta lo que, quizás con menos confianza en la intervención divina, consideraríamos poco científico, aunque muy válido: *“Esta forma de plantar es la más fuerte(...) por recibir en sí los empujes que la altura de la obra hace; y así hallarás que los cuatro arcos torales sirven de estribos los mismos brazos de la Cruz”*<sup>(4)</sup>. Se debe entender esta manifestación en su justo término. A pesar de todo, una cosa es el dogma y otra la interpretación de las formas y su posible relación con los conceptos teológicos. Se trata de comprender en el párrafo la gran importancia y trascendencia de algunos conceptos, lo que supone una mediatización, no excluyente de otras consideraciones, en el enfoque del proyecto.

Por su parte, Otto von Simson afirma que: *“La afinidad que existe entre el segundo aspecto de la archi-*



*itectura gótica, la luminosidad, y la orientación metafísica de la época es aún más llamativa que en el caso de las proporciones. En el tratamiento coherente y dramático que dio a este aspecto, el maestro gótico estuvo pagando sin duda un tributo al gusto, o mejor al impulso estético de su época*"<sup>(5)</sup>. Ese tributo que señala Von Simson se materializaba en el riesgo que debía asumir en cada nueva obra, riesgo cuya magnitud sólo se evidenciaba en el transcurso de los trabajos, aceptados gozosamente por las comunidades en las que se desarrollaban y bendecidos, literalmente, por el sentido trascendente del proyecto. En ellos, y debido a ese impulso estético, se producen toda suerte de situaciones absolutamente imposibles de codificar atendiendo sólo a nuestros criterios constructivos, aunque a veces se den aproximaciones muy brillantes a lo suficiente y necesario para su estabilidad.

Sobre unos esquemas de probada validez cuyo origen, de no demostrarse la intencionalidad resistente concreta en cada caso, es necesario aceptar que está en la selección efectuada durante el periodo románico, selección cuya lógica se efectúa sobre la observación de ventajas evidentes y obvias por parte de los proyectistas-constructores de la época, esa tensión hacia la luminosidad de los templos obligó a su crecimiento, sin que se aportara más que sentido común y experiencia, con todo lo que tienen de inconcreto estos términos en ese desarrollo. No es posible, de no existir un conocimiento exacto de la realidad, que ese sentido común y esa experiencia proporcionaran por sí solos ningún tipo de certeza. Lo prodigioso es que el esquema básico pudo crecer y complicarse en la dirección en la que requirió la tensión emocional de la sociedad gótica, sin que fuera necesario introducir en él variaciones de importancia. Por la misma razón por la que no se caen las primeras catedrales se van a mantener los alardes progresivos que se construyen, y ello no exige que sus complicadas condiciones de equilibrio puedan ser enunciadas exactamente por los proyectistas y constructores góticos.

Esa tensión emocional empujaba hacia la altura y la luminosidad y no en otra dirección. No parece que aumentar la anchura fuera una preocupación evidente. No existe una relación directa entre el número de asistentes a los actos religiosos y la capacidad y altura de las catedrales. De ser así, Santiago de Compostela

hubiera sido, seguro, el mayor empeño constructivo de la Cristiandad hasta la construcción definitiva de San Pedro, y el ejemplo de la catedral de Gerona, o las impresionantes crujías de Santa María del Mar en Barcelona, hubieran condicionado las construcciones posteriores, por lo menos en su área de influencia.

### 11.3 Datos para un posible esquema básico

Una vez definidas las intenciones del proyecto, definición que no podemos asegurar cómo se realiza, pero cuyos programas responden presumiblemente a la complejidad de conceptos que indican Von Simsons y Oursell, es necesario un esquema primario que garantice la posibilidad de su realidad física.

No se debe olvidar en este punto que las herramientas teóricas para el trazado de ese proyecto eran muy simples y no superaban una fase muy primaria del conocimiento geométrico, por lo que cualquier propuesta debe basar la posibilidad del desarrollo del proyecto en el manejo de cuadrados, rectángulos, triángulos y círculos como mucho.

No debió ser éste un obstáculo insuperable. El proyecto se puede concretar en planta, a la manera en que lo hace Villard, sólo que con mayor exactitud de trazado. A partir de ahí el constructor debe resolver el problema físico de la construcción, o sea, la puesta en obra.

Pasar de la planta a la ejecución presenta muchas dificultades, pero es posible que la solución a esas dificultades esté en algunos dibujos de Villard. Con un mismo radio se pueden construir arcos para cubrir luces muy distintas, con lo que fabricación de las dovelas puede normalizarse. Su perfil queda definido por medio de plantillas, de las que Villard da algunos ejemplos, y su curvatura se puede fijar también por medio de plantillas simples. Claro que se necesitan los extraordinarios canteros góticos para que todo encaje con lo que hoy llamaríamos unas tolerancias mínimas, pero sobre su profesionalidad no existe la menor duda.

Así sí se justifica el uso y abuso del arco ojival. Es el que permite un trabajo previo más normalizado, ya que se pueden tallar miles de dovelas y todas van a

servir, aunque los arcos tengan luces muy distintas; sólo habrá que ajustar la clave y esa pieza, en muchos casos, se talla aparte y con otra forma. Si además consigue expresar mejor que ningún otro el sentido de elevación y la grandeza del espacio gótico, el resultado es realmente glorioso.

Es de suponer que existieran condiciones mínimas que impidieran formas inusuales, pero aun en el caso del proyecto más descabellado, y algunos de los que sólo queda memoria debieron de serlo, no se puede afirmar que tuvieran datos que les permitieran rechazarlo por la certeza de su inestabilidad, mientras se ajustara a unas normas que hoy pueden parecer notablemente insuficientes por inconcretas.

Mediante unos sistemas de relaciones que nos son desconocidos, pero en los que no es posible afirmar que se tuviera en cuenta una valoración estructural estricta, relacionando las dimensiones en planta de los muros y la situación y forma de los pilares, el proyecto fija unos datos que vienen, o deben de venir, determinados por la sección de los nervios que constituirán la cubierta y por las características de ésta. Esta consideración supone que todo lo que se hace, desde los cimientos hasta el final, corresponde a un esquema concreto para cada edificio. Es difícil entender unos cimientos y unos pilares válidos en cualquier proyecto, o que pudieran admitir variaciones de importancia.

En la definición de esos elementos, pilares y muros, sí que serían posibles unas proporciones para el trazado, por simples que fueran, entre el espesor de los muros y la luz, o entre la luz, la altura y la sección de los pilares, o cualquier otro sistema que estableciera en planta las hipotéticas condiciones de equilibrio, aunque sólo fuera gráfico, del dimensionado de muros, contrafuertes y pilas, a la manera en que lo hace mucho más tarde Fray Lorenzo de San Nicolás. El caso es que no se conoce que existieran y por la variedad de variantes tampoco se puede asegurar que, caso de existir, fueran únicas.

Parece necesario, aunque después se modifique el trazado, y ésa es una de las razones para dudar de la existencia de un esquema estructural estricto, que desde ese momento los nervios y el sistema de cubierta estén decididos, lo que es imprescindible para que se puedan

tallar las pilas, teniendo en cuenta los arranques de esos nervios, su forma y la sección necesaria para que el conjunto sea estable. Pero no es así. Las modificaciones que constantemente se introducen en el proyecto significan a nuestro juicio, que la valoración de la capacidad resistente de los elementos se efectúa, si es que se efectúa, de forma muy rudimentaria, contando más su realidad física, es decir, el hecho de que existan, que su verdadera capacidad, y que, además, el conjunto no es único como ocurre con nuestras estructuras, sino que cualquier elemento construido puede servir en otro esquema. Aparecen nervios no previstos, otros, cuya forma está prevista en la pila, desaparecen, etc.

No parece lógico pensar en unas normas que permitan tal versatilidad, sino más bien en unos esquemas muy simples que ignoren realmente el grado de variación que para la estabilidad del conjunto supone la introducción de algunas modificaciones. Mientras se cumplan los requisitos mínimos, cualquier solución es aceptada como buena, quizás porque sobre ella se ignora casi todo.

En la redacción del proyecto se tiene en cuenta como dato cierto la existencia de empujes, descritos ya por Vitruvio, pero a cuya autoridad no es imprescindible recurrir, pues se manifiestan de forma evidente en el caso de no estar contrarrestados. Esto es lo único que se puede asegurar. A partir de aquí es difícil demostrar que se conociera su valor y el punto exacto de aplicación, por lo que su anulación se confía al albur del espesor de los muros y de la situación de los contrafuertes. Y es forzosamente un albur, ya que en ningún caso se puede predecir la capacidad resistente de cada uno de esos elementos a la vista de la heterogeneidad de resultados que provoca el poco rigor en su fabricación, la falta de criterios unificados de recibido, aun dentro de la misma obra, la desproporción entre las secciones de algunos elementos y su verdadero estado de carga, la diferencia de densidades y de otros datos físicos de los materiales que componen esos elementos, entre otros parámetros de cuya variación depende, según nuestros conocimientos, esa capacidad, etc.

No obstante, se reiteran esquemas que casi garantizan ese contrarresto. Se triangula sobre la planta, entre los pilares y el muro, como indica Villard cuando discute



Figura 44

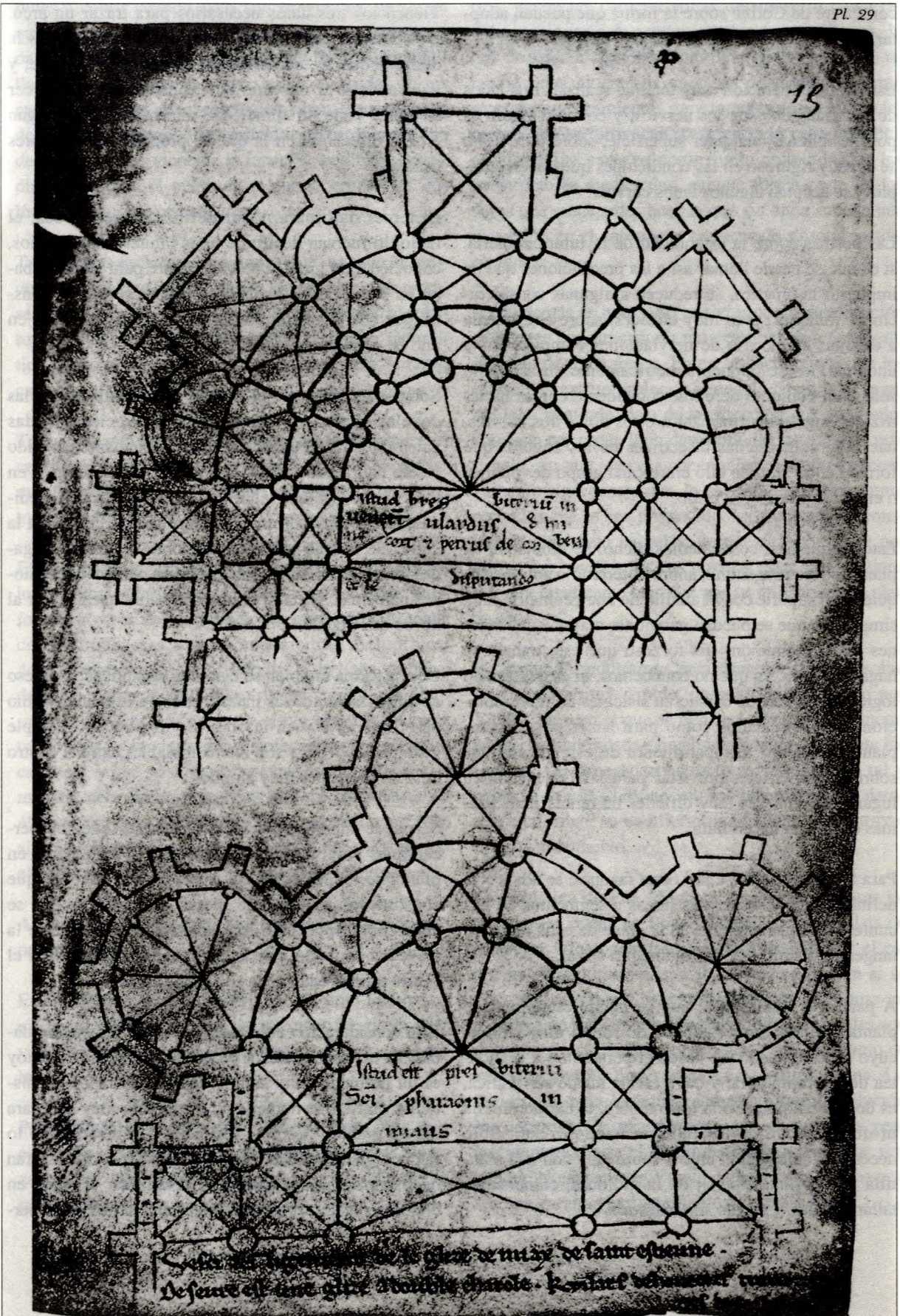


Figura 45

con Pierre de Corbie sobre la forma que pueden adoptar dos complicados ábsides (figs. 44 y 45).

Ésta es una operación muy fácil de realizar. Los lados de los triángulos son los nervios, y con esta figura es posible rellenar cualquier superficie, sobre todo si no se es muy riguroso en las condiciones que deben cumplirse y se aceptan algunos lados curvos.

Las normas sobre la estabilidad de la futura cubierta, si es que se puede llamar así a las precauciones que ha impuesto la práctica, se reducen a algunas consideraciones mínimas, pero muy eficaces, sobre el esquema a dibujar; en el caso de nerviaciones complicadas, a unos nervios se oponen simétricamente otros, o uno solo a un conjunto de ellos, coincidente con la bisectriz del ángulo que forman, u otros dos a dos nervios, haciendo coincidir las bisectrices de los ángulos que forman entre sí, todo ello entre cada grupo de pilares, o entre los pilares y el muro.

Estos esquemas, como hemos dicho, se dibujaban en planta, sobre pergamino, sobre el terreno o sobre cualquier otro soporte con el auxilio de una geometría muy simple, sin que se puedan garantizar mayores precisiones en su definición. Es forzoso que este trabajo se haga en planta, ya que no conocemos, ni es demasiado lógico imaginar que existieran sistemas de representación tan complicados como para hacer posible otro plano de trabajo. El abatimiento de estos triángulos sobre las superficies previstas para las bóvedas daría lugar a unas curvas muy difíciles de representar, además de que no hacen falta.

Para facilitar la talla, entre otras razones, se adapta la definición espacial de esas líneas a segmentos de circunferencia que se juntan en la clave de cada arco con tangentes distintas. Y eso es un arco ojival.

A partir de este dibujo, que se puede complicar en planta casi sin límite, aunque de forma muy simple, cuyo soporte puede ser desde el pergamino a la montea de la propia obra, y cuya escala puede ser gráfica, es decir, cualquiera, o la misma obra, la extraordinaria profesionalidad de los tallistas hace el resto. Sólo necesitan replantear el arco y sobre él, y con una plantilla que defina el perfil de la moldura, comenzar a tallar dovelas, y en eso son maestros.

Tienen los tres datos necesarios para trazar un arco. Dos de esos datos se refieren a dos alturas: una es la del arranque de los nervios y la otra la de la clave, y aquí apuran al máximo su experiencia para crecer siempre. Todo un cúmulo de imperativos les obligan en esa dirección, en la que se producen las mayores osadías.

El tercer dato para poder definir el arco, o sea, el radio, lo fuerzan dentro de unos límites muy amplios, conociendo la luz y el apuntamiento, para poder trabajar en serie. Luces distintas se cubren con arcos contruidos con el mismo radio, como explica Villard en uno de sus dibujos más explícitos.

Sobre este esquema, el trabajo de los tallistas de las dovelas puede ser, hasta cierto punto, ciego. Todas valen mientras el tamaño sea razonablemente parecido y sólo habrá que adaptar una por arco en la obra, o en todo caso habrá que tallar por encargo, con una medida expresa, una por arco, siempre la más cercana a la clave. Se podrán ir colocando sobre la cimbra, pegadas unas a otras, todas con el mismo perfil y dimensiones parecidas, hasta la última que habrá que adaptar al hueco que queda.

De esa forma también se evitan el complicado proceso de clasificación de las piezas, tanto en la cantera como en el transporte y en la obra. Se distinguen a simple vista por su perfil y son intercambiables entre sí dentro de unos márgenes muy amplios.

Se puede suponer, por las correcciones que son perceptibles en el simple trazado de diagonales, que en planta se tendía a que las áreas de las bóvedas que constituyen cada módulo fueran parecidas, lo que se consigue desplazando ligeramente la situación de la clave del conjunto, puede que tratando de encontrar el centro de gravedad de la superficie considerada.

Esta consideración abre todo un mundo de posibilidades. La determinación del centro de gravedad, que hoy es un problema muy simple de resolver mediante sistemas gráficos o numéricos, es un dato muy útil para mover grandes pesos y, sin que sea necesario que lo llamaran exactamente así, es posible que dispusieran de sistemas muy simples para determinar el punto en el que deben converger las líneas que parten las super-

ficies a cubrir cuando éstas son irregulares, de forma que los empujes de cada segmento de bóveda generada se anulen, al menos parcialmente. Basta una plantilla con la forma de la superficie, trapezoidal en los casos irregulares, para, colgándola alternativamente de dos puntos y trazando la vertical a partir de cada uno de ellos una vez adoptada la forma de equilibrio, decidir el centro en el punto en el que se cruzan las dos líneas que surgen en cada caso.

Tan seguros están de ese criterio que, cuando se produce la igualdad exacta de las superficies que representan los segmentos de bóveda sobre un punto, sustituyen la pila en la que convergen por un pilar monolítico, como ocurre en las salas capitulares más simétricas.

Todos los requisitos enunciados son fácilmente perceptibles y no necesitan una formulación excesivamente compleja, permitiendo su adaptación a casi todos los casos de plantas más o menos regulares.

El paso posterior puede ser claro. Una vez construidos los nervios, sobre ellos se montan las bóvedas, cuya forma, a pesar de que puede ser muy variada, viene condicionada por dos requerimientos ineludibles: deben contactar con esos nervios, y la línea de clave debe estar situada en la bisectriz del ángulo que dibujan los nervios. Además la clave central de cada tramo, que es la pieza que se coloca primero sobre un castillete, y que se sube por su interior con palancas de madera, debe ser la pieza más alta. No será hasta las últimas variantes del gótico, cuando el estilo casi roza al renacentista, cuando la clave principal y los demás elementos se inscriban en una superficie continua.

Así es difícil equivocarse si los obreros son buenos profesionales.

Estos criterios, además, permiten una gran libertad en el trazado de los nervios, lo que justificaría la gran variedad de trazados existentes para cubrir luces similares.

Por lo general, y trabaje como trabaje el conjunto, éste es estable. Las condiciones de equilibrio que se alcanzan con el transcurso del tiempo son muy complejas, pues en ellas intervienen una gran cantidad de paráme-

tros, desde las características del mortero hasta las deformaciones provocadas por los asentamientos, lo que provoca el agrietamiento de algunos nervios o de las bóvedas, la entrada en carga de elementos ornamentales, o rozamientos muy importantes debido a las cargas que los provocan, pero en todo caso es difícil asegurar que esa evolución fuera conocida por los constructores medievales, aunque forma parte de los datos que manejamos hoy, lo que sin duda supone una distorsión en el enfoque si se pretende su total justificación.

Pero además es necesario que el proceso de ejecución se plantee con un criterio muy estricto para conseguir el orden de los trabajos. En ese aspecto puede que los esquemas estructurales propuestos hasta hoy sean, desde el punto de vista de la ejecución, los que mejor consigan ese orden y un desarrollo de los trabajos más simple, sin que intervengan en ellos conceptos excesivamente rigurosos sobre la estabilidad del conjunto como los que se han pretendido. La secuencia de construcción, primero las pilas, después los nervios y por último las bóvedas, es tan obvia y clara que no tiene por qué justificarse más que por su utilidad como plan de obra.

Resumiendo, podríamos decir que construidos sobre un esquema muy simple, parecido al propuesto por Viollet, pero en el que se tiene en cuenta muy remotamente la estabilidad, y mucho más inmediatamente las formas y el proceso constructivo, los edificios tal y como los vemos hoy no son los mismos en los datos que conforman su equilibrio que los que se contruyeron en su momento.

La polémica de Pol Abraham con los seguidores de Viollet, las dudas de Roger Gilman, o los análisis de Sabouret y los posteriores intentos de explicar el esquema estructural evidencian su parte de razón si se enfoca el problema así; fundamentalmente como un esquema de trabajo, cuyas exigencias estructurales son mínimas e insuficientes, por lo que desde ese punto de vista presentan contradicciones insuperables. Lo importante para los constructores es que la solución sea construible y, naturalmente, que se mantenga, pero eso siempre, hasta el descimbrado final, está por ver, aunque el esquema que sirve de base para el proyecto sea una garantía bastante fiable de estabilidad.

Si el sistema en general se mantiene, incluso cuando se va complicando, a pesar de que se eleven continuamente los pilares o se supriman los arbotantes, sea cual sea dentro de unos límites de manejo razonables el espesor de las bóvedas, si además soporta sin problemas los cambios que se introducen durante la construcción, ¿por qué han de plantearse otras preguntas?

Ante la necesidad de que la próxima catedral sea más alta, más diáfana y con una cubierta más compleja, su respuesta es el intento material de hacerla. Deben construir el proyecto y en esa dirección van encaminados sus esfuerzos. Deben conseguir una forma determinada, lo que no es nada fácil, pero su preocupación, aunque no se acabe ahí, no encuentra respuestas con garantía suficiente para asegurar el trabajo. De todas formas el proceso de crecimiento, que se realiza paulatinamente, no provoca grandes fracasos, por lo que no es ninguna insensatez aceptar el reto de la nueva obra.

El hecho de que nosotros intentemos sacar conclusiones generalizables de lo construido, o pretendamos obtener *a priori* la certeza de la viabilidad del nuevo proyecto, no significa que siempre haya sido así.

Se debe suponer, pues, a nuestro juicio, que la ambición estética y el trabajo concreto de la puesta en obra a partir de los datos apuntados influye más en la toma de decisiones que los criterios resistentes, por lo menos entendidos como lo hacemos ahora.

A partir de aquí es posible que se puedan desarrollar un mayor número de explicaciones, previsiblemente más coherentes con la realidad, que si la interpretación de ésta se basa sobre la pretensión de un esquema estructural estricto.

El espesor de un muro, innecesario en sí mismo, puede justificar, al solo objeto de su recibido a plomo, la sección, también desproporcionada e inútil desde el punto de vista estructural, del nervio sobre el que descansa. La facilidad de colocación y la relativa sencillez del trazado en planta de los nervios sinusoidales pueden justificar, una vez resuelto el problema de la talla y sin otra consideración, su inclusión en algunas nerviaciones, aunque en algunos casos la carga trabaje sobre el intradós de los arcos. El posterior revoco y decoración con despieces simulados de los segmentos abovedados

haría inútil que el despiece real fuera cuidadoso, lo que da lugar a la aparición de piezas de talla deficiente en algunos puntos muy destacados. La irregularidad de algunas fábricas en muros y pilas evidencia que de lo que se trata de no disponer de medios que permitan una buena apariencia en el sentido artesanal de la obra, es de llenar el espacio, etc.

En este orden de cosas quedan explicadas las contradicciones. Los constructores construyen formas, se podría añadir que como pueden, sobre esquemas válidos dentro de parámetros muy amplios, pero de definición muy simple y poco científica, lo que favorece la aparición de una gran cantidad de soluciones a la vez que permiten algunos casos claramente irracionales a la luz de nuestros criterios.

Son válidos los trazados que contemplamos mientras se ejecuten como lo están, y no lo fueron los que, quizás, con el mismo esquema, se construyeron mal. Se puede intentar una clasificación estructural y una enumeración de las condiciones de equilibrio, pero es dudoso que se pudieran enunciar de forma que coincidieran con el lenguaje utilizado por los constructores góticos; entrarían en ellas demasiados conceptos que les eran perfectamente desconocidos.

Lo que nos parece estructura, para los proyectistas sólo son formas cuya estabilidad resiste toda su capacidad inventiva, con tal de que se cumplan esos criterios mínimos. No entra en ellos ninguna consideración que establezca relaciones con las secciones de los nervios, su curvatura o su forma, por lo que estos extremos pueden ser variados durante la obra sin mayor problema. Tampoco obligan a las bóvedas, que se definen a partir de ahí forzosamente y permiten unificar, definiendo sólo formas, todas las decisiones que se deban tomar con posterioridad para la materialización del conjunto.

Ocurre que el resultado es tan grandioso que no se plantean, por lo menos de forma sistemática, la necesidad de ocultar los elementos que componen el edificio, y nosotros hemos caído en la trampa de creer que querían dejar vista la estructura. Parece más correcto pensar que no necesitaron tajarla, lo que si fue necesario hacer unos siglos más tarde con las estructuras renacentistas y barrocas.

En todo caso desarrollaron una ciencia relativamente cierta al ajustar el proceso a los dilatados plazos habituales en la construcción de las catedrales góticas. Al construir, los nervios deberían estar en equilibrio, perfectamente anulados los empujes de unos por los de otros antes de comenzar las bóvedas sobrepuestas, a menos que aceptemos que todo el conjunto permanece cimbrado hasta el final, y aun así, caso de no producirse esa anulación previa, se debería aceptar la existencia de unas recetas que permitieran garantizarla por el añadido de las bóvedas.

La experiencia negativa de algunos casos, en los que los nervios previos no estuvieran en equilibrio, cuyo efecto inmediato sería su colapso al descimbrado, condicionaría una distribución en planta claramente equilibrada como dato obligado de proyecto, lo que se conseguiría con tal de que respondiera al esquema propuesto anteriormente, por las muestras más que suficiente para que los proyectos fueran aceptables.

#### 11.4 Otras justificaciones

En la línea de entender el sistema constructivo gótico como una prolongación especializada del románico, se puede considerar que, además, soluciona algunos problemas que se han ido poniendo de manifiesto desde que se comienzan a construir bóvedas de piedra.

Los nervios pueden ser, además de todo, un detalle constructivo, un elemento que resuelve la unión entre cada dos bóvedas de la crucería. Muchas bóvedas se han mantenido sin nervios y aparecen otros que no son necesarios desde el punto de vista estructural, por lo que son claramente ornamentales. Es muy difícil tallar una serie de dovelas, las de las aristas de las bóvedas de crucería, de tal manera que encajen perfectamente. Sería necesario definir las exactamente en las tres direcciones del espacio y, simplemente, carecen de medios para hacerlo. Es más simple tapar la unión, a la manera en que nuestros zócalos actuales disimulan la falta de acuerdo entre la superficie de las paredes y la del suelo, por medio de un nervio cuya talla requiere menos datos.

Ejemplos de nervios trabajando simplemente como

junta u ornamento se encuentran también en un número apreciable de obras románicas.

Además, pueden existir otros condicionamientos que hoy nos son difíciles de entender y que originan formas que se pretenden estructurales, con todas las contradicciones y dificultades que eso supone. La vulnerabilidad de ese tipo de construcción al agua de lluvia debida al uso de morteros de cal de fraguado lento y dificultoso puede justificar algunas precauciones en cubierta. Quizás algunos casos de arbotantes, por ejemplo, deban entenderse como soportes de los desagües, lo que queda explícito en Sta. María del Mar, en la catedral de Tortosa y en los refuerzos de las esquinas de la terraza del claustro en Poblet, aunque ello no signifique que los arbotantes sirvan sólo para este menester, ni que sea el único posible. En el caso de Poblet parece que se construyeron con posterioridad, y es de suponer que debido a la necesidad de desaguar la cubierta, pero no tenemos datos para saber cuántos de ellos se contruyeron sólo debido a ese problema. Esta preocupación por las agresiones de las escorrentías, que es intemporal mientras el sistema sea el mismo, se manifiesta de forma prioritaria en Alberti, sin que sus explicaciones se hayan encajado en un esquema más general que contemple los problemas concretos de ese tipo de obra en fase de construcción.

También es posible que existan una serie de detalles que faciliten el trabajo de colocación y recibido, sin que, por la dificultad que supone por nuestra parte la asunción completa de las circunstancias en las que se realizan las obras, sepamos encajarlos en el esquema de los trabajos. La mayor aportación en ese sentido es la cimbra descrita por Viollet, cimbra que han aceptado unánimemente todos los tratadistas posteriores, sin que a nadie se le haya ocurrido preguntarse cómo se puede sostener sobre ella una bóveda como la de Reims con un peso de más de 1.200 Kgxm<sup>2</sup>, o cómo se puede apoyar sobre unos nervios pensados, casi, para evitarlo.

Por último queda una posibilidad a contemplar y que puede ser el origen de algunas formas de difícil justificación estructural. En muchos casos, y esto sucede en nuestros días con notable frecuencia, cuando no se tienen todas las claves de una determinada manera de construir, o se olvidan las justificaciones de las for-



mas, es muy fácil caer en un mimetismo irracional que sólo tiene en cuenta los aspectos más inmediatos de lo que se pretende imitar. En este orden de cosas, es posible que, sobre soluciones debidas a la capacidad de interpretación de algunos constructores, se desarrollaran formas, sólo formas, parecidas o derivadas, cuya justificación desde el punto de vista estructural es imposible, aunque participen en el equilibrio. Todos hemos sido testigos de proyectos “a la manera” de alguno de los grandes maestros contemporáneos, ejecutados con otros materiales y bajo otros condicionamientos que los que justificaron el trabajo original, eso en una época en la que es posible la comunicación instantánea y en la que el lenguaje técnico y artístico es casi universal. Es la del arquitecto una profesión muy sujeta a las modas estéticas y en la que el resultado visual se suele imponer a otras consideraciones más profundas, y esto ha debido de ser así desde el origen de los tiempos. En el caso de las catedrales la disculpa es total. Sólo se trata en ellas de obtener ese resultado formal, una vez que el espacio interior se evidencia suficiente para su uso.

### 11.5 Abreviatura y consejo final

En todo caso parece claro que el resultado final explica, dentro de los límites de lo posible, el mayor o menor anhelo espiritual, la mayor o menor capacidad de crear belleza de los proyectistas y constructores, y a este fin sacrificaron todas las demás consideraciones.

Es necesario que aceptemos que en muchos casos los elementos constructivos no tienen por qué estar estrictamente justificados por un esquema de estructura eminentemente racional, a la manera en que lo han pretendido algunos autores.

De esa forma, a nuestro criterio, podemos entender mejor tanto los éxitos como los fracasos de los constructores medievales. Tenían un esquema de trabajo muy versátil, pero cuyo alcance nunca conocieron a fondo, por lo que era posible, en el voluntarioso y arriesgado desarrollo de su particular concepto de la arquitectura, acertar brillantemente, no llegar, o pasarse en su uso, aunque la tendencia habitual fuera apurar al límite la esbeltez y la diafanidad de las obras. Bajo

esa óptica debemos ver una gran parte de los detalles que hoy pretendemos estructurales como formas que, simplemente, permiten una mejor ejecución, entendida la expresión en su sentido más amplio, y sin otros condicionamientos.

Hemos visto, además, como aún no hay acuerdo, debido fundamentalmente a la falta de datos, sobre cuál es el proceso proyectual, ni siquiera sobre su soporte físico. Unos autores dicen que se dibujaba mucho, mientras que otros afirman que todo el trabajo era ejecutado sobre el terreno. Y de esa polémica se pasa directamente al esquema estructural sin tener en cuenta el proceso constructivo más que de forma muy marginal, siendo así que es en este campo en el que se deberían presentar los mayores problemas, y que su desarrollo debió influir, quizás más que ningún otro paso posterior al proyecto, y siempre sujeto a la intención de éste, en las consideraciones previas y en el resultado. Pero es importante señalar que esa influencia del proceso constructivo debió influir solo a partir de un determinado punto del desarrollo total de la obra, proyecto y ejecución, y no antes.

Ocurre en este caso al revés de lo que ha sucedido con las teorías que pretenden explicar los esquemas estructurales. El hecho de que se formulen sobre obras que se han mantenido en pie, facilita su enunciado. Se acierte o no con la realidad, la estabilidad probada de lo construido hace verosímil cualquier hipótesis. Con respecto a la construcción, el hecho de que se consiguiera parece que haya provocado, al contrario, una cierta falta de concreción sobre los términos en los que se realizó y en el análisis de los problemas que se plantearon, justificando, en la resolución de esos problemas, algunas decisiones que no caben en el esquema estructural, pero a las que se sigue exigiendo esa ilógica “lógica” constructiva. En todo caso se describen, en una asombrada relación, los inconvenientes que, de acuerdo con nuestros sistemas de trabajo, encontramos en ese desarrollo.

Nos empeñamos en ajustar el conjunto del proceso a nuestra forma de trabajar. Se establece el programa y a partir de él se redacta el proyecto, proyecto cuya viabilidad estructural es verificada por los calculistas, o en todo caso se confía a una comprobación más profunda mediante operaciones numéricas. En la redac-

ción de este proyecto apenas se aceptan superabundancias estructurales justificadas por el desarrollo de las formas, y a cada elemento resistente se le asigna una función estricta, única y casi insoslayable, aunque es posible que se acepte la simulación posterior de esas formas con elementos claramente desligados de la estructura. Después se organiza el proceso de ejecución sobre esas decisiones previas y de acuerdo con unas técnicas constructivas estrictas, en las que no existe ni tan siquiera la libertad de la habilidad manual de los operarios. Así, según nuestra opinión, no es posible que en la Edad Media se construyera nada. Desde la más humilde iglesia prerrománica a la más exuberante catedral gótica, a pesar de la unidad de criterio que debía de presidir el conjunto y en la que reside su grandeza, el proceso constructivo tenía que ser el determinante de la mayor parte de las decisiones sobre la talla, dada la gran cantidad de detalles y de problemas a resolver en cada caso.

El material básico, la piedra, que se puede tallar, pero no se puede moldear como nuestros hormigones, ni es tan versátil como otros materiales habituales en nuestras obras, que se pueden soldar, pegar y conformar de muy distintas maneras y por muy diversas razones, obliga a que cada pieza se defina en cada tajo y sobre unos criterios en los que el recibido, problema inmediato del que debe realizarlo, prime sobre cualquier otra consideración. No es concebible una centralización de las miles de decisiones formales que son necesarias para el progreso de ese tipo de obras.

El proyectista, se llame como se llame en la transposición a nuestros esquemas, obligado por el material básico, la piedra, que está sujeto a las limitaciones que ya hemos expuesto, y no teniendo una idea clara del papel exacto que en el conjunto realiza cada elemento, utiliza, sin conocer su alcance, esa superabundancia estructural que nosotros pretendemos justificar por una lógica estricta, para conseguir las formas que mejor puedan adaptarse a su idea proyectual, y cada operario desarrolla, a partir de aquí y según unos datos básicos muy simples, su trabajo con una profesionalidad en la ejecución que difícilmente entendemos hoy, ya que tampoco es lógico suponer una unidad de criterio en la talla tan estricta como para que todas las decisiones se tomen de acuerdo con los complicados supuestos de nuestros esquemas estructurales. Sería

algo así como pretender en nuestros días que un ferrallista, solo ante una gavilla de redondos, tuviera datos suficientes como para calcular correctamente el armado de una jácena, decidiendo su sección, la resistencia del hormigón, e incluso la forma más ajustada a las intenciones estéticas del conjunto del edificio. Los parámetros a definir en cada caso debían ser mucho más simples y, como ya hemos indicado, una vez fijados, tenía que ser cada tallista quien decidiera como continuar el trabajo, y en ese caso su problema más inmediato, el recibido, primaba sobre cualquier otra consideración.

En todos los tratadistas aparecen interpretaciones en este sentido, aunque sin valorar exactamente la importancia del proceso. Pol Abraham, por ejemplo, dedica muchas páginas a polemizar sobre las posibles ventajas e inconvenientes que desde el punto de vista de la ejecución presentan los nervios ojivales.

Para él, los nervios diagonales son una forma de resolver el trazado y por lo tanto la talla de las aristas: *“Así, pues, si los nervios (de los que la crucería ojival no es más que un caso particular) no han jugado más que un papel estructural ocasional y muy limitado, si no ha tenido más que una utilidad constructiva despreciable, ha sido el medio geométrico cómodo de (trazar) la bóveda despiezada, la bóveda luminosa y de apariencia ligera”*<sup>(6)</sup>.

A la vista de la complejísima talla de algunas piezas, no parece que sea demasiado difícil para los constructores medievales trazar y tallar cualquier forma. La ojiva, además de las utilidades que nosotros le vemos, era, por encima de todo, la forma que mejor expresaba una determinada estética y todas las connotaciones que esa estética suponía. Si sus conceptos estéticos les hubieran dictado otras formas, se las hubieran ingeniado para hacerlas encajar en el esquema general de la planta que proponemos, y hubieran conseguido igual su trazado y su talla. Las bóvedas *“luminosas y de apariencia ligera”* son el concepto prioritario; los nervios, una forma de indudable intencionalidad estética que en algunos casos facilita el proceso de construcción, y después viene todo lo demás. No parece defendible que las progresivas complicaciones que aparecen en los nervios faciliten siempre la construcción. La complican de una manera considerable, lo que no

parece preocupar a los tallistas. Su única justificación es que les parecían las formas que mejor expresaban sus anhelos estéticos, por mucho trabajo que representara su materialización, y por mucho que eso complicara el esquema estructural básico.

No deberíamos perder más tiempo y esfuerzos, de no establecerse irrefutablemente la existencia de algún dato que avalara esa posibilidad, en pretender desentrañar el intríngulis estructural gótico basándonos en nuestros criterios y conocimientos. En todo caso,

sería un valioso ejercicio de aplicación de nuestra capacidad analítica, y la verificación de nuestros conocimientos sobre la estática de las construcciones. Pero para entender los planteamientos y el sistema de trabajo de los constructores medievales, tendríamos que basarnos casi exclusivamente en la interpretación de sus ambiciones proyectuales, en la aprehensión de su capacidad para crear arquitectura, en la valoración del riesgo que asumieron y en el gigantesco esfuerzo material y de imaginación que derrocharon para lograr ese fin.

**NOTAS DEL CAP. 11**

(1) Ournellm Raymond.

(2) Ourwell, Raymond. Op.Cit.

(3) Fray Lorenzo de San Nicolás. Arte y uso de la Arquitectura.

(4) Fray Lorenzo de San Nicolás. Op. Cit.

(5) Otto Vom Sinson. Op. Cit.

(6) Pol Abraham. Op. Cit.



## Bibliografía

- ABRAHAM, POL. *Viollet-le-Duc y el racionalismo medieval*. Vincent, Freal & Cia, Sucesores. París 1934
- ALBERTI, LEON BAUTISTA. *Los Diez Libros de Arquitectura*. Traducido por Francisco Lozano. Alonso Gómez. Madrid. 1582
- ALTISSENT, AGUSTI. *Historia de Poblet*. Imprenta monástica. Poblet 1974.
- AUBERT ET VERRIER. *La arquitectura francesa en la época gótica*. París 1953.
- M. AUBERT. *Nueva Historia Universal del Arte*. Firmin-Didot. París 1932.
- BAILS, BENITO. *De la Arquitectura Civil*. Viuda de Joaquin Ibarra. Madrid 1796.
- BASSEGODA, BUENAVENTURA. *Santa María de la Mar*. Barcelona 1925.
- BASSEGODA MUSTÉ, BUENAVENTURA. *Racionalismo a Ultranza en la Arquitectura Medieval*, artículo incluso en *Algunos ensayos sobre Técnica Edificatoria*. Universidad Politécnica de Barcelona. 1974.
- BASSEGODA NONELL, JUAN. *La Cerámica Popular en la Arquitectura Gótica*. Ediciones de Nuevo Arte Thor. Barcelona 1977.
- BATISSIER, L. DE. *Historia del Arte Monumental en la Antigüedad y la Edad Media*. Furne y cia. París 1860.
- BECHMANN, ROLAND. *Les Racines des Cathédrales*. Payot, París 1981.
- BELIDOR. *La ciencia de los Ingenieros en la dirección de los trabajos de Fortificación y de la Arquitectura Civil*. Claude Jombart, París 1729
- BENAVENT, PEDRO. *Como debo construir*. Bosch, Casa Editorial. Barcelona 1939.
- BENDALA, FERNANDO. *Los arcos de fábrica*. ETSAB. Barcelona.
- BENOIT, F. *La Arquitectura*. El Occidente Medieval. H. Laurens. París 1934.
- BENVENUTO, EDOARDO. *La ciencia de la construcción y su desarrollo histórico*. Sansoni. Florencia 1981.
- BERNARD. P. *Investigaciones sobre la Patria de Villard de Honnecourt*. Trabajos de la Sociedad Académica de Ciencias de San Quintín. 1864.
- BONET CORREA, ANTONIO. *Arte Pre-románico Asturiano*. Ediciones Polígrafa. Barcelona 1967.
- BORSI, FRANCO. *Leon Bautista Alberti. Obra completa*. Electa Editrice. Milán 1980.
- CALZADA I OLIVERAS. *Catedral de Gerona*. Escudo de Oro. Barcelona 1979.
- CAVEDA, JOSE. *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, LUIS. *El Códice de Vitruvio hasta sus Primeras Versiones Impresas*. Instituto de España. Madrid. 1978.
- CHOISY, AUGUSTE. *Historia de la Arquitectura*. Baranger e Hijos. París 1903.
- CURCIO, CARLOS. *Estudio y reflexiones. Sobre estructuras medievales y equilibrio de la Catedral gótica de Reims*. Mac Gaul. Buenos Aires 1968.
- DALY, CESAR. *Revista General de Arquitectura*. Vol 9. París 1851.
- DERAND. P. *Arquitectura de las bóvedas o el arte de los trazados*. Duchesne. París 1755.
- DOMENECH I MUNTANER, LLUIS, Y OTROS. *Segundo Tomo de la Historia General del Arte*. Arquitectura. Montaner y Simón. Barcelona. 1886.
- ERLANDE-BRANDENBURG, ALAIN Y OTROS. *Carné de Villard de Honnecourt*. Ediciones Stock. Paris 1986.
- FEIJOO, BENITO. *Carta escrita por el Ilmo 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?.

- FITCHEN, J. *La construcción de las catedrales góticas*. Claredon. Oxford 1964.
- FORT, COGULL, EUFEMIO. *Monasterio de Santes Creus. Síntesis Histórico Descriptiva*. Barcelona 1976.
- GARCIA BERRUGUILLA, JUAN. "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.
- García Melero, Jose Enrique.  
Las ediciones españolas de "De Arquitectura" de Vitruvio. Publicado en el número 8 de la Revista Fragmentos. Ministerio de Cultura. Madrid 1.986.
- GAZTELU, LUIS. *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes*. Establecimiento tipográfico de Fortanet. Madrid 1896.
- GILBERT, PIERRE. *Mediterráneo Antiguo*. Daimon. Barcelona 1968.
- GILMAN, ROGER. *Las teorías de la arquitectura gótica y el efecto de los bombardeos en Reims y Soissons*. *American Journal of Archeology* número 1, *Organo del Instituto Arqueológico de América*. 1920.
- GRODECKI, LOUIS. *Arquitectura Gótica*. Electa Editrice. Milan 1.978.
- KERISEL, J. *Estructuras antiguas en relación con las condiciones del suelo*. Quinceava "Lectura Rankine" de la Sociedad Geológica Británica. Londres 1975.
- KOSTOF, SPIRO Y OTROS. *El Arquitecto: Historia de una profesión*. Ensayos Cátedra. Madrid 1984.
- KUBACH, H. E. *Arquitectura románica*. Electa Editrice. Milan 1978.
- LASSUS, J.B. *El Álbum de Villard de Honnecourt, Arquitecto del S. XIII*. Imprenta Imperial. París 1858.
- LASTEYRIE, R. DE. *La Arquitectura Religiosa en Francia en la Epoca románica*. Alfonso Picard e hijos. París 1912.
- LLAGUNO Y AMIROLA, EUGENIO. *Noticias de los Arquitectos y arquitectura de España desde su restauración*. Fac. Ediciones Torner. Madrid 1977.
- MALTESSE, CORRADO. *Escritos de Leonardo da Vinci sobre Arquitectura*. En *Scritti Rinascimentali di Architettura*. Ediciones Polifilo. Milán 1978.
- MARGARIT, JUAN Y OTROS. *Una Visita a Sta María del Mar*. Publicado en el número 146 de "Quaderns". COAC. Barcelona 1980.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA. Norma MV-101.
- MULLER, JUAN. *Tratado de Fortificaciones o Arte de Construir Edificios Militares y Civiles*. Traducción de Miguel Sanchez Taramas. Thomas Piferrer. Barcelona 1769.
- NERVI, PIER LUIGI. *Técnica costruttiva e architettura*. *Arqchitettura d'ogi*. Florencia 1955.
- NOUGARET, JEAN. *Languedoc Románico*.
- PALLADIO, ANDRES. *Los cuatro libros de la arquitectura*. Dominico de Franceschi. Venecia 1570.
- PALOL, PEDRO DE. *Arte Hispánico de la época Visigoda*. Ediciones Polígrafa. Barcelona 1968.
- PANOFSKY, ERWIN. *El significado en las Artes Visuales*. Alianza Forma. Madrid, 1979.
- PUIG I CADAVALCH, JOSEP, Y OTROS (1). *La Arquitectura Románica en Cataluña*. Instituto de Estudios Catalanes. Barcelona 1909.
- PUIG I CADAVALCH, JOSEP Y OTROS (2). *Primer tomo de la Historia del Arte, Arquitectura*. Montaner y Simó. Barcelona 1901.
- RAMIREZ GALLARDO, AURELIO. *Supervivencia de una Obra Hidráulica: El Acueducto de Segovia*. Segovia 1975.
- RIEGER, CRISTIANO. *Elementos de toda la Arquitectura Civil*. Traducido por M. Benvente. Joachin Ibarra. Madrid 1763.
- RONDELET, JEAN. *Tratado del Arte de Construir*. Fermín Didot y Hnos. París 1850.
- SAGREDO, DIEGO DE. *Medidas del Romano*. Remon de Petras. Toledo 1526.
- SAN NICOLAS, FRAY LORENZO DE. *Primera parte del Arte y uso de la Arquitectura*. Segunda edición. Madrid 1667.
- SANPAOLESI. *Hipótesis sobre los conocimientos matemáticos, estáticos y mecánicos de Brunelleschi*. *Belle-Arti II*, 1951 pp 25-30 (según Franco Borsi. *Op. Cit.* Pag 308).
- SIERRA CORTES, JOSE LUIS. *Diego de Sagredo y Vitruvio*. Artículo publicado en el número 8 de "Fragmentos". Ministerio de Cultura. Madrid 1986.

- SIMONS, EDISON Y OTROS. *Discurso del Sr. Juan de Herrera aposentador mayor de S. M. sobre la Figura Cúbica*. Editora Nacional. Madrid 1976.
- SIMSON, OTTO VON. *La catedral gótica*. Alianza Forma. Madrid 1980.
- TERZAGHI, KARL. *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Editorial Ateneo. Barcelona 1955.
- TORROJA, EDUARDO. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Inst. Eduardo Torroja de la construcción y del cemento. Madrid 1960.
- VALZANIA, FRANCISCO ANTONIO. *Instituciones de Arquitectura Sancha*. Madrid 1792.
- VASARI, GIORGIO. *Vita di Fillipo Brunelleschi*.
- VENTURI, ROBERT. *Complejidad y contradicción en la Arquitectura*. Gustavo Gili. Barcelona 1972.
- VIGNATTI. *El Arquitecto en la Historia de Occidente*.
- VIOLLET LE DUC. (1) *Divagaciones sobre Arquitectura*. Viuda de A. Morel. París 1872.
- VIOLLET LE DUC. (2) *Diccionario de Arquitectura*. París 1858 - 1868.
- VITRUVIO. (1) *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Traducido por Miguel de Urrea. Juan Gracián. Alcalá de Henares 1582.
- VITRUVIO. (2). *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Traducido por Ortiz Sanz. Imprenta Real. Madrid 1787.
- VITRUVIO. (3). *Los diez Libros de la Arquitectura*. Traducido por Carmen Andreu. Unión de Explosivos Río Tinto. Madrid 1972.
- VITTONI, BERNARDO ANTONIO. "Instruzioni elementari per indirizzo dei giovani allo studio dell'Architettura". Lugano 1760.
- WANDERLEY, GERMANO. *Tratado Práctico de Construcción Civil*. Trad. al frances por A. Bieber. Bernard y cia. París 1896.
- YARZA, JOAQUIN. *Arte y Arquitectura en España 500/1250*. Manuales de arte Cátedra. Madrid 1981.



Antonio Castro es Arquitecto y profesor titular del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC. Obtuvo el Premio Extraordinario de Doctorado con una tesis sobre el sistema constructivo gótico y actualmente 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 sobre la construcción de los estilos arquitectónicos.

Ha publicado una *Historia de la construcción arquitectónica* y forma parte del Comité Científico del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Ha sido asesor del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, y ha proyectado y dirigido diversas restauraciones en edificios históricos.

La falta de datos ciertos y de restos documentales sobre la construcción medieval ha propiciado unas interpretaciones del proceso que en muchos casos se apartan de la lógica interna de la construcción. En esta obra se pretenden delimitar los datos que se poseen hoy sobre el tema y, a partir de ellos, ofrecer una explicación razonada que haga compatibles las limitaciones en que presumiblemente se desarrolló la actividad constructora con la brillantez de sus resultados.