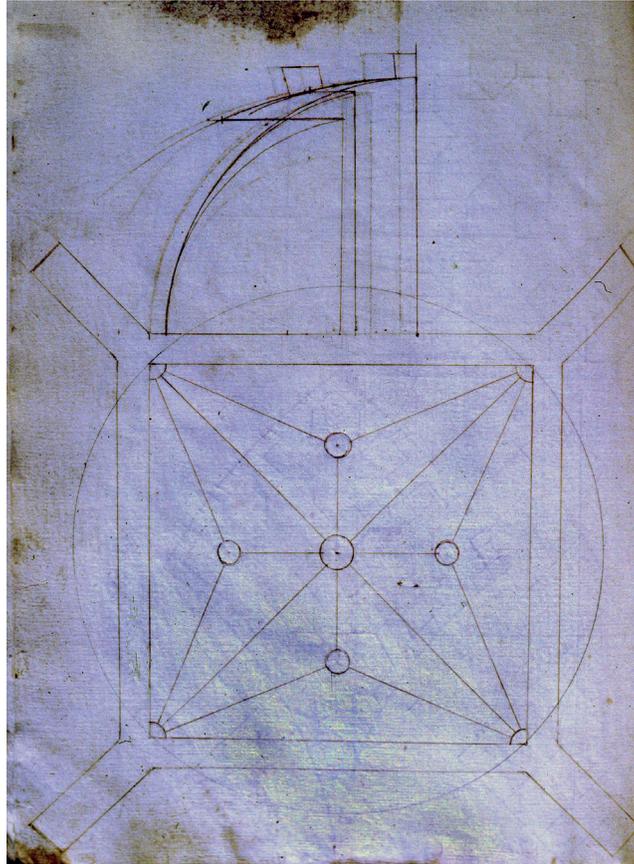


Principios y construcción de las bóvedas de crucería

Enrique Rabasa*



1. Trazo de una bóveda de crucería en el cuaderno de Hernán Ruiz (1558-60)

El conocimiento práctico de los arcanos de la construcción tradicional nos conduce sin duda a una mejor valoración de su dificultad, calidad y maestría. El paso de los trazados recogidos en los tratados de cantería a la realidad puede reservarnos sorpresas en la ejecución que permiten una ulterior reflexión sobre la excelencia en el proceso constructivo de los antiguos maestros de obras. La experiencia de erigir ex novo una bóveda de crucería llevada a cabo por el autor en colaboración con el Centro de los Oficios de León aporta nuevos e interesantes datos al conocimiento de la construcción gótica.

Principles and construction of groined vaults. Practical knowledge of the secrets of traditional building no doubt helps us better understand the difficulties, quality and craftsmanship involved. If we examine the process followed in putting into practice the designs we have found in treatises on stonework, we may be surprised at the execution and appreciate the excellence of old master builders' methods. The experiment of building a groined vault carried out by the author in collaboration with the Centro de los Oficios in León adds interesting new information to our knowledge of Gothic construction.

*Enrique Rabasa es doctor arquitecto y catedrático de la E.T.S.de Arquitectura de Madrid.

Como parte de un proyecto editorial del Centro de los Oficios de León —escuela donde, entre otros, se aprende el de la cantería—, he podido construir una bóveda de crucería común, de terceletes con cinco claves y tres metros de luz, con vistas a mostrar las maneras de hacer y la práctica del sistema gótico¹ La experiencia ha planteado algunos problemas que no habían sido previstos, y ha servido para confirmar algo de lo que sabemos, o suponemos, acerca de la construcción de bóvedas de crucería.

Se tomó como modelo el croquis que aparece en una de las páginas del manuscrito de Hernán Ruiz (1558-60) (fig. 1)². Disponemos de otros dibujos, en tratados o colecciones de trazas, explicativos del trazado de las bóvedas de crucería, ejecutados entre los siglos XVI y XVIII. Casi todos ellos ofrecen una estrella de cuatro puntas sobre planta cuadrada, es decir, un trazado de ojivos o diagonales, ligaduras (nervios que enlazan las claves secundarias con la central) y terceletes (fig. 2)³. El de Philibert De l'Orme (1567) detalla la anchura y canto de los nervios, y lo mismo ocurre en los que aparecen en el libro de Vandelvira (1575-80), en los apuntes del autor desconocido que firma Alonso de Guardia (c. 1600) y en el tratado del maestro cantero mallorquín Joseph Gelabert (1653). Estos tres españoles, junto con el de Hernán Ruiz, aparecen modelados en la fig. 3.

Si bien Hernán Ruiz no ofrece datos sobre los perfiles, los diámetros de las claves permiten una cierta estimación. En el caso de la capilla de cinco claves de Gelabert, el grosor de los miembros, aunque posible, hace pensar en una bóveda más bien pequeña. Probablemente es la intención didáctica del dibujo lo que ha conducido a esas proporciones. Gelabert, por otros detalles que nos desviarían del tema, se confirma como un receptor muy tardío de la tradición medieval, que le llega algo deformada. Sin embargo, el

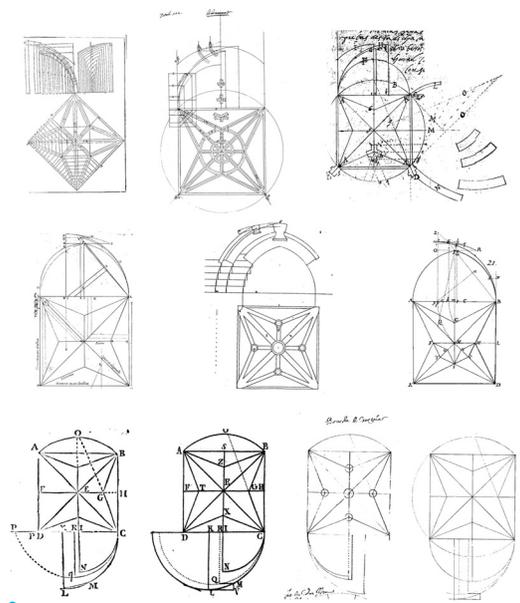
del manuscrito firmado por Alonso de Guardia es un diseño ya del todo inverosímil, pues se ocupa en obtener las plantillas de intradós de los nervios, práctica razonable para las dovelas de una bóveda esférica, pero innecesaria para una crucería⁴; además es evidente que con el grosor de sus arcos hubiera sido preferible renunciar al sistema nervio-plemento y abordar la construcción en sillería. La de Vandelvira se complica con un par de círculos y encuentros de los nervios sin clave, como la de De L'Orme.

Por eso se pensó en tomar como modelo la traza más general y conceptualmente original de Hernán Ruiz, que también era verosímil. Sin embargo, en la realización de nuestra bóveda hemos corregido algo las cotas de las claves secundarias para evitar una ligadura demasiado horizontal. También se ha generalizado el problema de la macla de los nervios en el arranque, disponiéndolos con avances diferentes, y no simplemente equidistantes del rincón, como parece que señala el dibujo de Hernán Ruiz.

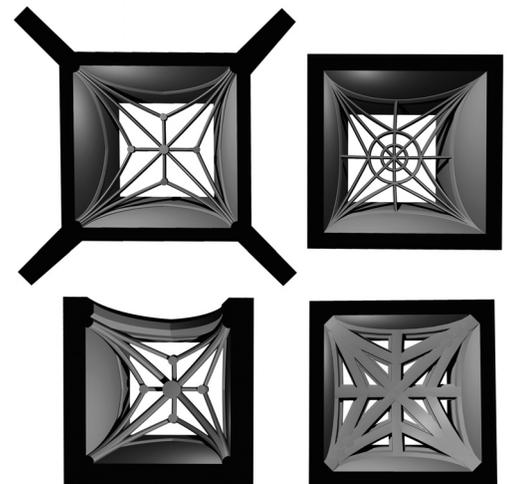
Los principios

Los tratados mencionados coinciden en simplificar la explicación tomando como modelo la estrella de cuatro puntas. Pero las bóvedas nervadas góticas no se limitan a esta bóveda de terceletes simple y sus variantes, sino que, como es evidente, pueden alcanzar una gran complejidad formal. Por otra parte, responden con muy distintas tradiciones a las particularidades nacionales; las bóvedas reticuladas alemanas, las de abanico inglesas, las más clásicas francesas, o la pluralidad de las españolas, ofrecen un panorama muy diverso. Sin embargo, los principios son comunes a todas.

Y al hablar de principios, término muy empleado por los clásicos franceses de la historia de la construcción, por Choisy o



2



3

2. Dibujos que explican el trazado de la bóveda de crucería. En la primera fila, el que aparece en el libro de L'Orme (1575), en el manuscrito de Vandelvira (1575) donde se representan además los otros dos (los tres están recogidos en la copia que se conserva en la Escuela de Arquitectura de Madrid) y en el manuscrito de Alonso de Guardia (ca. 1600). En la segunda fila el que hay en el tratado de Derand (1643), en el manuscrito de Gelabert (1653), y en el libro de Frèzier (1737). En la tercera fila el que publica Millet-Deschalles (1674), copiado por Tosca (1707) y tomado de éste en los manuscritos de Portor y Castro (algo posterior) y Mazarrasa (1750). 3. De izquierda a derecha y de arriba a abajo, modelados de las bóvedas de crucería que aparecen en los manuscritos de Hernán Ruiz, Alonso de Vandelvira, Joseph Gelabert y Alonso de Guardia

Viollet-le-Duc, me refiero, como ellos, a la manera de plantear la acción constructora, el diseño del conjunto y del detalle, en relación con una concepción del espacio y el papel de los trazados lo controlan. En el artículo *Construction* del *Dictionnaire raisonné*⁵, Viollet-le-Duc habla del Principio, o los Principios, con varios significados. Alguno cercano a nuestros usos habituales, como cuando hablamos de la expresión de leyes físicas, cuando establecemos estas leyes como elementos o principios, es decir, comienzo de una reflexión que da lugar a una forma de hacer, o como cuando nos referimos a la cuestión, más moral, de la fidelidad a unos principios.

En muchos lugares de los textos de Choisy y Viollet se podría sustituir el término «principio» por postulado, premisa, causa, fundamento, base, regla, norma; pero el sustituto que se ajusta más suele ser 'idea'. Se trata de una idea o concepción acerca de una posibilidad material. No es, por tanto, la idea que dirige el proyecto por semejanza con algo exterior, la idea de hacer algo como si fuera tal cosa,

o de organizar el conjunto de acuerdo con una forma general, que la habilidad constructiva y la experiencia distribuidora deben saber resolver.

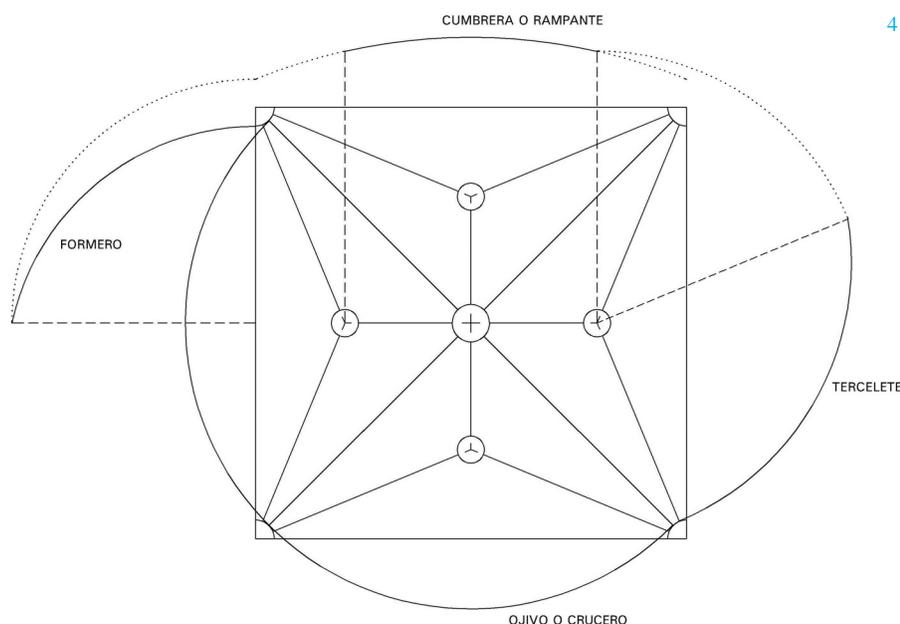
Es, por el contrario, la idea de una configuración factible, que puede ser desarrollada de muchas maneras, que se refiere a la realidad del equilibrio, del modo de fabricar y montar y de la ligazón geométrica que la traza hace posible, y cuya eficacia determinará si es merecedora de ulteriores desarrollos. En la *Histoire de l'architecture* de Choisy brillan de este modo los desarrollos evolutivos de algunos principios, las series de templos griegos o de catedrales góticas. Pero el texto se contrae y se apaga cuando hay que explicar cómo, desde el siglo XVI, la construcción se subordina al deseo de obtener formas concebidas previamente, las esferas, cilindros, conos, de los elementos clásicos y sus penetraciones, que no aparecen tan inmediatamente como resultado de reflexiones acerca de la construcción.

Esta otra manera de abordar el proyecto, la concepción de la forma (clá-

sica) y la resolución técnica de los problemas a que da lugar, ha generado algunos episodios de interés para la historia de la construcción.

Las formas renacentistas se resuelven en Italia con albañilería, pero en Francia y España se obtienen las mismas superficies aparentes como intradós de complejos aparejos de dovelas talladas en piedra. Esto supone un esfuerzo de concepción espacial de las piezas, de los desarrollos de las superficies y de la obtención gráfica de dimensiones para su aplicación al proceso de talla, que culminará cuando, en el siglo XVIII, se decida denominar estos conocimientos y procedimientos con el neologismo estereotomía. Volvamos, sin embargo, a los principios de la bóveda de crucería.

Se trata de un objeto volumétrico, espacial, controlado sin embargo a través de trazados bidimensionales, de arcos de circunferencia sobre planos verticales. La verticalidad de los miembros, incluso de la decoración, y la referencia de estos mismos miembros a la proyección horizontal, a la planta, guían el trazado de



4. Abatimientos de los arcos

5. Planta y sección de una bóveda de crucería en la Estereotomía de la piedra de Antonio Rovira y Rabassa (1899)

las grandes líneas, son sus principios. No hay espacio homogéneo abstracto, como el que estamos acostumbrados a concebir, sino una red de referencias materiales, en la que tiene sentido decir a plomo, en lugar de vertical, y a nivel, en lugar de horizontal, como sucederá hasta fechas muy avanzadas en la literatura propia de las técnicas constructivas. Las reglas de la traza de la bóveda nervada gótica son escasas y elásticas. La proyección horizontal es una red; elevando verticalmente sus nudos —lo que llamamos claves⁶— a las cotas adecuadas, esta red se adapta a la forma volumétrica deseada. En esa elevación espacial, los segmentos que unen los nudos pasan a ser nervios, y estos nervios, en principio, son sólo arcos de circunferencia sobre planos verticales. El objetivo de esa especie de proyección inversa de la planta hacia el espacio puede ser muy diverso. En los casos más simples se trata de situar las claves de manera que la sección longitudinal o transversal de la bóveda —el rampante— adquiera cierta forma más o menos redondeada, o que las cotas relativas de las cumbres más importantes sean razonables. En la segunda mitad del siglo XVI se hace esto con tanta soltura que la alteración del perfil de los nervios se convierte en un juego o un alarde⁷. Finalmente será posible adaptar la retícula a cualquier forma previamente concebida; así se agrupan estrellas para conformar una única bóveda, o bien se adapta la red a una forma clásica. (Esto último es lo que se hizo para, por ejemplo, la bóveda vaída, esférica, sobre planta hexagonal, que ilustra el artículo de Benjamín Ibarra que aparece en este mismo número de Loggia). Siendo los nervios arcos sobre planos verticales, sus encuentros, intersecciones de planos verticales, son ejes verticales.

Las claves se desarrollan, pues, verticalmente —las excepciones confirmarán la regla—. Y verticalmente se corresponde la nervadura con la planta, que aparece materialmente en el proceso, como veremos.

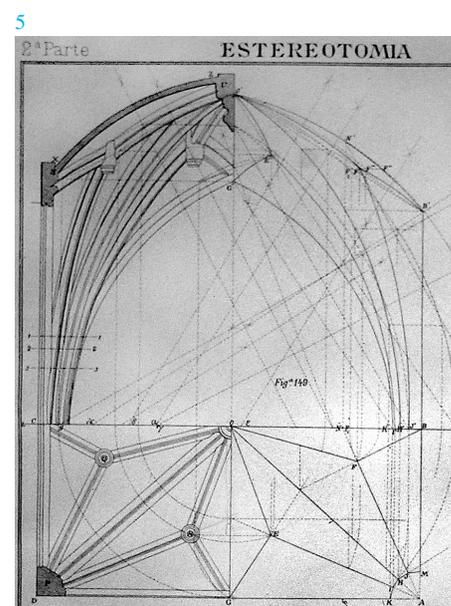
La traza

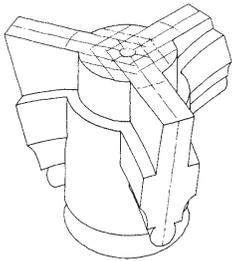
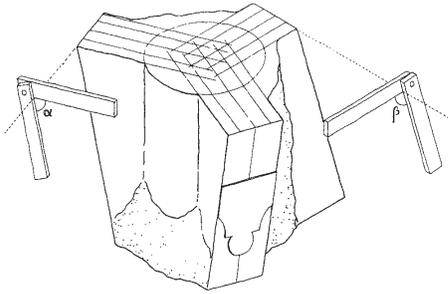
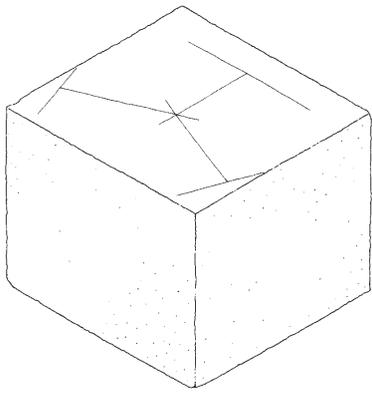
En el sencillo caso que nos planteamos, el trazado se limita a coordinar cuatro clases de arcos. Los ojivos o cruceros son semicirculares, como es habitual. Los cuatro arcos perimetrales o de cabeza —formeros o perpiaños según su situación en la edificación—, son arcos apuntados con la clave más o menos alta. Los terceletes están obligados a salir del arranque verticalmente y llegar hasta la altura de las claves secundarias. Las ligaduras unen estas claves secundarias con la central, llegando hasta ésta horizontalmente. Dejaremos los detalles del trazado y las alternativas y decisiones para la publicación anunciada, pero es evidente que basta con unos conocimientos básicos de geometría plana para cumplir con esta coordinación de arcos sobre planos verticales (fig. 4).

Los trazados que la bóveda requiere son la planta esquemática y las elevaciones de cada uno de los nervios, que no son sino arcos de circunferencia a trazar adecuadamente para enlazar dos puntos dados.

Para conformar las piezas basta con esto. El constructor medieval no sabe hacer, y no necesita, una sección de la bóveda como la que podemos encontrar en un tratado del siglo XIX (fig. 5).

En efecto, los nervios son arcos formados por dovelas, para cuya formalización es suficiente con conocer la curvatura y el perfil o sección. Los problemas formales, que hoy llamaríamos estereotómicos, se concentran en el enjarje y las claves, es decir, en los lugares donde se reúnen e intersecan mutuamente los nervios.





6

- 6. Control de la talla de una piedra del enjarje
 - 7. Proceso de talla de una clave
 - 8. Trazo directa sobre la piedra para la talla de una pieza del enjarje
 - 9. La pieza anterior, terminada
 - 10. Trazo directa sobre la piedra para la talla de una clave
 - 11. Momento de la talla de una clave
- (fotos: Enrique Rabasa)

8



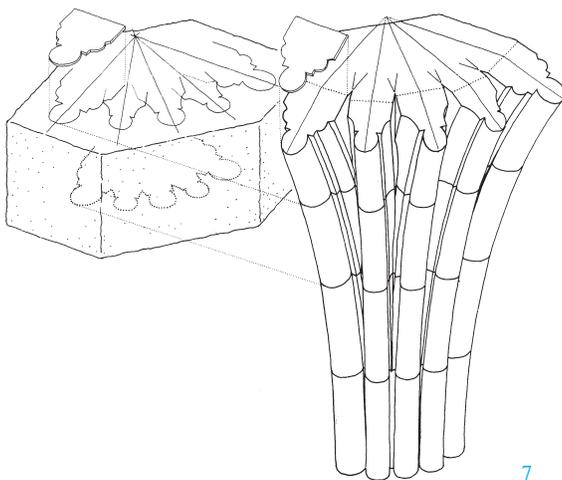
9



10



11



7

Podemos resumir aquí la manera de tallar estas piezas singulares, cuyos detalles ya hemos desarrollado en otros lugares⁸. Las piezas del enjarje, que van separadas por lechos horizontales, se tallan a partir de esas secciones planas superior e inferior, las cuales se marcan sobre la piedra directamente, sin más que conocer la planta, los perfiles de los nervios, y los alejamientos de estos en cada nivel, que se obtienen del trazado de la elevación independiente de cada nervio (fig. 6). Y las piezas de las claves se tallan (fig. 7) a partir de una superficie de operación — así la llamó, ya a mediados del siglo XIX el arqueólogo inglés Willis⁹—, el plano horizontal del trasdós, que contiene los trazados, las direcciones de los nervios en planta; para situar correctamente las acometidas que salen de la clave y enlazan con las dovelas normales de los nervios sólo hay que añadir un dato, la inclinación del nervio cuando llega a la clave, que también se obtendrá evidentemente en los trazados de las elevaciones.

Así pues, el diseño general de la bóveda se reduce a la planta y las cotas de las claves. La planta, la retícula, es relativamente arbitraria —en España la diversidad de dibujos es enorme—, y las alturas de los nudos de esa red también se escoge, hasta cierto punto, a discreción. Si a estas decisiones iniciales añadimos el diseño de los perfiles de los nervios, no quedan más variables generales. La manera en que estos elementos se conjugan en la talla y la cons-

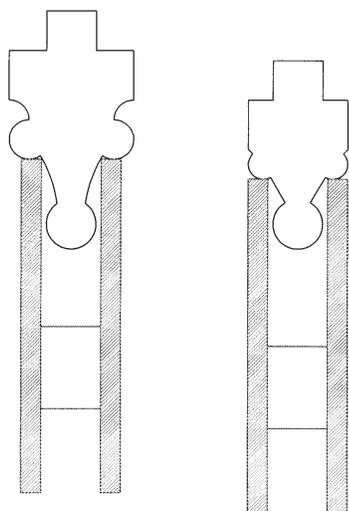
trucción, es tan evidente, que quien haya de levantar ahora una bóveda de este tipo discurrirá por los mismos esquemas que el constructor medieval. El diseño lo es de elementos planos; la posibilidad de emplear los recursos de la geometría descriptiva o de recurrir al modelado infográfico, permitirá prever la apariencia resultante y explicar mejor a los operarios las formas buscadas, pero esto en realidad sólo es útil para nosotros, diseñadores sin experiencia y tallistas que nunca nos hemos enfrentado al problema. Si el maestro cantero del siglo XVI hubiera dispuesto de recursos semejantes, quizá habría emprendido otros modos de construir diferentes, pero en caso de que decidiera seguir haciendo las bóvedas de crucería, aun disponiendo de tales medios no habría cambiado mucho su manera de trabajar.

No se han conservado monteas para el trazado de los nervios, es decir, para las elevaciones simples a las que aludíamos, y muy pocas para las proyecciones horizontales. Probablemente esto sucede porque los trazados se ejecutaban sobre superficies provisionales del aparato que sostuviera las cimbras. Pero hemos visto que sí disponemos de algunos dibujos que reproducen este proceso. En el que aparece en el cuaderno de Hernán Ruiz, los nervios están representados por su curva de intradós. Lo mismo sucede en muchos otros. Sin embargo en el de De L'Orme,

en una tasación que se conserva de las bóvedas de la iglesia parroquial de Priego (Cuenca), en el manuscrito de Gelabert y en algunos dibujos alemanes, aparece todo el canto del nervio, es decir, también la línea de trasdós.

Ocuparse solamente de la línea del intradós tiene sentido, en cuanto esa línea es guía necesaria y suficiente para la talla de las piezas y además es la línea directriz común al arco y su cimbra. En la bóveda de León, sin embargo, habíamos tomado una decisión que ha hecho conveniente trazar también la línea, paralela, del trasdós. Al diseñar los perfiles de los nervios, se dio un canto mayor a los ojivos que a los terceletes y la ligadura (y distinto también en los cuatro de las emboaduras); como consecuencia, había que cuidar que las varias superficies de trasdós de los nervios que llegan a una misma clave, quedarán niveladas entre sí, con objeto permitir un correcto apoyo de la superficie de la plementería.

Prestar atención a esto supone, simplemente, contar con que la cota del intradós del nervio en su llegada a la clave es unos centímetros más alta o más baja; pero no habrá posibilidad alguna de confusión si se dibuja el canto completo del nervio, lo que explica que se siguiera esa costumbre en algunas de las representaciones mencionadas. Cuando hablamos de canto y de trasdós, no consideramos, naturalmente, la caja o espiga añadida que el nervio pueda ofrecer para su empotramiento en la plementería.



12

El detalle

Habiendo mencionado el diseño de los perfiles, convendrá explicar qué criterios hemos seguido para dibujar sus plantillas. Sobre este punto hay poca información, pues no es fácil desde el suelo obtener un levantamiento preciso de esas secciones —y cuando una restauración hace posible la toma de datos, no siempre se aprovecha—. Pero, en general, además de los esquemas que ciñen el nervio a una forma rectangular, abundan los que ofrecen baquetones y golas siguiendo el esquema convexo-cóncavo-convexo; en consecuencia con una quilla central, que permite el apoyo en las cimbras¹⁰, y rollos laterales que, quizá, simplifican la tarea de alzarlo manualmente o con tenazas (fig. 12)¹¹. Además del diseño formal, que siguió este criterio, los perfiles debían estar dimensionados de acuerdo con su función en la bóveda. A este respecto, el único documento escrito que puede dar pistas sobre los usos originales, es el que recoge las palabras de Rodrigo Gil de Hontañón en el manuscrito de Simón García. Se establecen en él los cantos de los nervios, incluso el peso de las claves, según su situación y en función de la luz de la bóveda. Aplicando esas proporciones a la nuestra, de tres metros de luz, obtuvimos cantos tan reducidos que su talla en piedra hubiera resultado muy dificultosa, y si, afinando la labor artesanal, se hubieran realizado, la bóveda habría ofrecido el aspecto de una maqueta, y no de una bóveda de crucería real, como tantas que existen con esas modestas dimensiones. En consecuencia se hizo evidente que las proporciones establecidas por Rodrigo Gil están pensadas para las luces habituales en las grandes naves de los templos —no tanto para las de sus claustros—.

Una vez diseñadas las piezas, se procedió a la talla, efectuada por alumnos del Centro durante varios cursos sucesivos, pues el trabajo había de ser alternado con otras tareas que garantizaran un aprendizaje completo de las técnicas de la cantería. En cualquier caso se trata de una cantidad considerable de horas de talla, una talla cuidadosa de molduras que fue ejecutada de manera perfecta (fig. 13).

Quizá en este detalle, paradójicamente, se aleja más esta bóveda de aquellas a las que quiere imitar. Observando de cerca los nervios de las bóvedas originales, se advierte una cierta tolerancia en la finura del trabajo, comprensible si se tiene la garantía de que nadie podrá realmente acercarse para juzgarlo. Podríamos decir incluso que las imperfecciones aportan una cierta vida a la construcción en piedra tallada¹². Frente a eso, en las bóvedas neogóticas, y en ésta de León, hay una ejecución impecable, una factura perfecta que no deriva simplemente de su juventud o buen estado, y que, aunque es deseable desde el punto de vista del aprendizaje del oficio, las distingue netamente de las generadas por los constructores de la tradición gótica.

La labra de una moldura comienza siempre por una aproximación que sustituye las curvas del perfil por rectas; se empieza tallando una pieza cajeadada, sobre la que, robando y suavizando las aristas, se alcanza el redondeo (fig. 14). Para la comprobación de la labra correcta de las molduras de esta bóveda, especialmente en el enjarje, quizá bastaba con tomar como guía una cercha o regla curvada con la curvatura de la directriz del nervio. Pero es cierto que, siendo estrictos, esta cercha se adaptaría correctamente sólo en un lugar (fig. 15). Si la cercha sigue la curva de intradós diseñada, en teoría



13



15



16



14



17

habrá de ser aplicada sólo en la línea central del perfil del nervio.

Por eso los operarios del Centro de los Oficios han añadido otras referencias, como el trazado de las curvas más profundas con radios diversos, gramiles especiales y contraplantillas que sirven para comprobar la redondez de las molduras (figs. 16 y 17). Como consecuencia su trabajo ha resultado perfecto.

Según el grado de exigencia en este tipo de detalles, puede parecer difícil el control completo de la forma. Decíamos antes que la posibilidad de disponer de una imagen infográfica del resultado a obtener no cambia sustancialmente el esquema de los trazados necesarios para guiar el trabajo. Pero sí es cierto que el tallista que disponga de

un modelado por ordenador se puede ver obligado a atender a detalles que el constructor gótico pasaría por alto. Sin embargo, la concepción geométrica de las líneas generales es, como hemos visto, relativamente sencilla. Mucho más que la que requieren los despieces de la estereotomía clásica que se desarrollará con complejidad creciente hasta el siglo XIX, y que buscará siempre determinar sobre el trazado la precisión de la forma de las piezas. Los dibujos de crucerías que hemos comentado son más bien croquis, que esmatizan la nervadura en algunas líneas, buscando más una guía general que un despiece concreto; la estereotomía, por el contrario, definirá el volumen de cada uno de los sillares.

- 12. Perfiles de los nervios
- 13. Los nervios antes de la colocación
- 14. Pieza del enjarje con el cajeadado previo a la talla de las molduras
- 15. Aplicación de la cercha del nervio
- 16 y 17. Comprobación de la talla de las molduras (fotos: Enrique Rabasa)

18. Página del manuscrito de Simón García que explica el montaje de la bóveda de crucería

De 19 a 23. Montaje de la bóveda (foto: Enrique Rabasa)

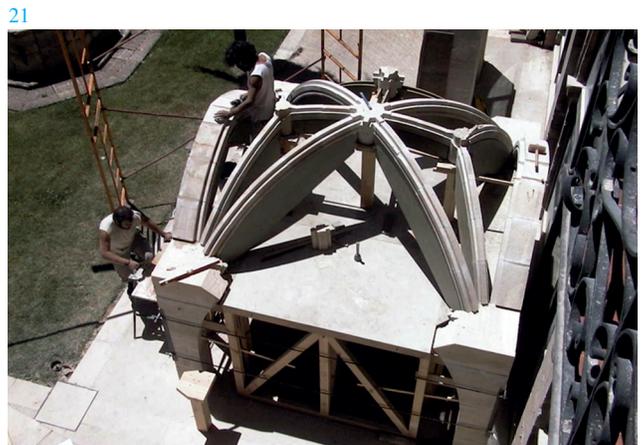
De 24 y 25. La bóveda descimbrada (foto: Enrique Rabasa)



19



20



21

ver las bueltas, que significa la diagonal de la planta c.c.
 y por que allí está el eje, por allí se los van poniendo con sus
 abanqueamientos mas altos, y no se alzarán a asentar los con-
 cretos sobre ellos, se avá otro segundo andamio como S.
 y este tan quejado de fuertes tablones, que en ellos se
 pueda bracar, delinear, y montar, toda la cruceria
 prima, ni menos de lo que se ve en la planta. El otro
 y veniadas todas las clavos en sulugar sobre los tablones
 de jar caer perpendicular, de la buelta a ellas, esto es para
 las que están en los crueros, y diagonales, y para poner
 las macas de las bóvedas se avá así. - una clavada
 de maior al alto que le toca, avá una cruz de arcos
 que alcance desde B. a. c. que es de ser el primer tallo
 de la clavada maior con la buelta de la dia. Genal, y de ser

18



22



24



23



25

El montaje

Para montar la bóveda se siguió de nuevo el escrito atribuido a Rodrigo Gil de Hontañón (fig. 18). Contiene una descripción que dice —y ésta es una de las partes más claras de un texto que, en general, no es sencillo— que ha de establecerse una plataforma horizontal «bien cuajada de tablones», allí donde termina el enjarje y empieza la bóveda propiamente dicha. Sobre ella, añade, se traza la proyección horizontal de la nervadura. Donde ha de ir una clave se sitúa un pie derecho con la altura adecuada, sobre el que se coloca

la pieza, apoyada en una zapata. Entre los pies derechos se montan cerchas para sostener las cimbras de los nervios, y finalmente se rellenan los huecos entre ellos con la plementería.

Así lo hicimos, estableciendo la plataforma sobre una armadura desmontable, que en las bóvedas reales sería un andamiaje que llega hasta el suelo o se apoya en la construcción anterior (fig. 29 y siguientes).

Así pues, también el montaje se concibe con los mismos principios que el diseño y la talla, la primacía de la planta y la correspondencia vertical de los elementos sobre ella. Podemos

decir, resumiendo, que el diseño es la proyección espacial de una retícula en planta; que la talla de enjarjes y claves requiere sólo el conocimiento esquemático de esa planta y algunos arcos sobre planos verticales; y que la colocación pasa por la materialización de la planta y de los elementos que se sitúan a plomo sobre ella.

El sistema es fácil de concebir, elástico y susceptible de variantes. Entre ellas, el trazado de nervios de proyección horizontal curva, que con frecuencia son elementos sustentados (por la plementería) y no sustentantes, como diría Rodrigo Gil.



26



27



28

26, 27 y 28. Bóveda descimbrada
(fotos: Enrique Rabasa)

También podemos encontrar claves cuyo eje no es vertical. En algunos casos se ha querido forzar la forma para atenuar una verticalidad que puede chocar con la inclinación general de la zona. Pero en muchos otros simplemente la clave no es tal, no es una reunión de nervios, sino un ensanchamiento decorativo del nervio. O bien recibe nervaduras curvadas y singulares (también esto ocurre en algunas claves de la bóveda de Teposcolula).

Como excepción y alarde extremos, recordaremos cómo algunas bóvedas en Praga consiguen desobedecer del todo la norma de la verticalidad, ofreciendo nervios retorcidos cuyo perfil gira con el desarrollo longitudinal.

Hay que añadir que, antes de la colocación de la plataforma para voltear nuestra bóveda, se advirtió que los enjarjes, completados con todas sus piezas, eran sólidos con el centro de gravedad muy avanzado, tanto que podrían con facilidad bascular hacia el interior. En una bóveda real el enjarje formaría cuerpo con elementos de la fábrica que impedirían esta caída hacia delante. Recordemos, por otra parte, que sobre esta zona de piedra tallada suele añadirse un relleno de los senos que quedan en el trasdós, con cascotes y mortero¹³.

El modelo de partida había sido, como ya comentamos, un trazado del cuaderno de Hernán Ruíz. En él, además del rastro esquemático de la bóveda y las elevaciones de los nervios, se representaban contrafuertes en las cuatro esquinas, probablemente para recordar el problema del empuje con intención didáctica. En nuestro caso el volumen de piedra necesario para reproducir esos contrafuertes resultaría excesivo, especialmente disponiendo de la fácil alternativa de emplear tirantes perimetrales,

los cuales además pueden mostrar hasta qué punto la bóveda está empujando realmente. Durante el descimbrado no apareció síntoma alguno de ese empuje —no hubo movimientos ni sonidos que delataran una entrada en carga—, y en apariencia los tirantes no quedaron más tensos ni perdieron la ligera curvatura de su propio peso. No es extraño que así sea, si los enjarjes ofrecen una masa considerable en relación con la nervadura y, como hemos visto, tienden además a empujar hacia el interior. Sin embargo, no hemos añadido aún la plementería, que contribuirá al empuje. Hemos dejado este remate para su situación definitiva en algún lugar.

El contrapunto, que hemos mencionado sólo al final, es, sin embargo, un tema muy característico de la construcción gótica. Para Viollet-le-Duc los principios del gótico son esencialmente maneras de experimentar con el equilibrio. En efecto, las catedrales francesas llevan hasta el extremo esta reflexión, desarrollada especialmente en la sección transversal de los templos. Sin embargo el gótico como sistema eficaz y estandarizado de construir las bóvedas, que es esencialmente igual en toda Europa, no se entendería sin la particular concepción de la forma y sus detalles que aquí hemos descrito brevemente, los principios de su geometría y trazado. 

NOTAS

1. La iniciativa de elaborar un texto dedicado a la práctica de la estereotomía partió, hace unos años, del entonces director del Centro, Francisco Azcónegui. En el trabajo de coordinación con los canteros ha sido indispensable la colaboración de Agustín Castellanos, quien transmitía de forma cotidiana mis dibujos y explicaciones y ha hecho las fotografías que aquí vemos. El trabajo de labra

ha sido desarrollado por los alumnos del centro bajo la dirección del monitor Carlos Rodríguez.

2. Pedro NAVASCUÉS, *El Libro de Arquitectura de Hernán Ruiz, El Joven*, Madrid, ETSAM, 1974, y Hernán RUIZ II, Libro de Arquitectura, edición facsímil del manuscrito, Fundación Sevillana de Electricidad, Sevilla, 1998, 2 vols. Ya hemos estudiado este trazado en *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid, Akal, 2000.

3. Philibert de L'ORME, *Le premier tome de l'Architecture*, París, Frédéric Morel, 1567, (Ed. facsímil, París, Léonce Laget, 1988 y de la ed. de 1648 en Bruselas, Pierre Mardaga, 1981). Alonso de VANDELVIRA, *Libro de trazas de cortes de Piedras*, 1575-1580 (copias manuscritas del s. XVII en Ms. 12.719 de la Biblioteca Nacional de Madrid y R.10 de la Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid; facsímil de la segunda en Geneviève BARBE-COQUELIN DE LISTE, *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*, Albacete, Caja de Ahorros, 1977). P. François DERAND, *L'Architecture des voules ou l'art des traits et coupe des voules*, París, Sébastien Cramoisy, 1643. Alonso de GUARDIA, colección de trazas de monteas manuscrita sobre Battista PITTONI, *Imprese de diversi principi, duchi, signori, e d'altri personaggi, et huomini illustri, con alcune stanze sonetti di M. Lodovico Dolce*, Venecia, 1560, (Biblioteca Nacional, Estampas Raras, 4196). François DERAND, *L'Architecture des voules*, París, Sébastien Cramoisy, 1643 (reediciones en 1743, 1755). Joseph GELBERT, *De l'art de Picapedrer*, manuscrito en 1653 (facsímil en Palma de Mallorca, Diputación, 1977). P. Claude Francois MILLIET DE CHALES, *Cursus seu mundus mathematicus, Tractatus XIV «De lapidum sectione»*, Lyon, Anissonm, 1674. TOSCA, P. Thomas Vicente, *Compendio matematico...*, Valencia, Antonio Bordazar, 1707-15 (1721-27, 1757); *Tratado de arquitectura civil, monteas y cantería y relojes*, Valencia, Hermanos Orga, 1794 (facsímil en Valencia, librería París-Valencia, 1992). Juan de PORTOR Y CASTRO, *Cuaderno de arquitectura*, manuscrito de comienzos

del siglo XVIII (Biblioteca Nacional, Ms. 9114). Andrés Julián de MAZARRASA, *Tratado de Arquitectura*, manuscrito 1750-60 (transcripción en Olav MAZARRASA y Fernando FERNÁNDEZ HERRERO, Mazarrasa, maestros canteros y arquitectos de Trasmiera, Santander, C. O. A. de Cantabria, 1988). Amédée-François FREZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voules et autres parties des bâtiments civils et militaires ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture*, Estrasburgo-París, Jean Daniel Doulsseker-L. H. Guerin, 1737-1739 (Ed. facsímil Nogent-le-Roi. L. A. M. E. 1980). Además de éstos, encontraríamos bóvedas de crucería españolas en el manuscrito de Simón García que recoge textos de Rodrigo Gil de Hontañón (*Compendio de arquitectura y simetría de los templos...*, manuscrito 1681, facsímil Valladolid, COAV, 1990), en una tasación de Francisco de Luna (María Luz ROKISKI, «La Cabecera de la Iglesia de Priego (Cuenca): Dibujos y Tasación», Cuenca, nº17, 1980, 27-34), en el manuscrito atribuido a Pedro de Albiz (Ms. 12.686 de la Biblioteca Nacional), y otros en el de Portor. Sobre los trazados en la tratadística puede verse el libro de Javier GÓMEZ MARTÍNEZ, *El gótico español en la edad moderna: bóvedas de crucería*, Valladolid, Univ. de Valladolid, 1998. Gómez Martínez cita a Jean PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française*, París, Picard, 1981, para afirmar que no hay bóvedas de crucería en los tratados franceses; pero Pérouse se equivoca cuando afirma que no hay crucería en el de F. Derand, y no menciona las que aparecen en los de Milliet de Chales y Frezier.

4. E. RABASA, *Forma y construcción en piedra*, 190-192, 186-190.

5. Éugène-E. VIOLLET-LE-DUC, *Dictionnaire raisonné de l'Architecture française du XIIe au XVIe siècle*, París, Bance-Morel, 1854-68. Traducción de la voz «Construction» en *La construcción medieval*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1996.

6. Empleamos esta palabra igualmente para las claves de los arcos y de las bóvedas, probablemente por su semejanza formal, incluso su función en el equilibrio. Sin embargo, como veremos, hay que

notar que mientras la clave de un arco es la última pieza que se coloca, la que concilia las dos ramas, generalmente tallada a la medida de ese último hueco, las claves de las bóvedas de crucería se colocan antes que los nervios.

En cuanto a esto el profesor José Carlos Palacios me ha llamado la atención sobre ciertas bóvedas castellanas que llegan a situar la clave central más baja que las secundarias, contradiciendo el orden habitual de los perfiles acupulados.

7. *Forma y construcción en piedra*, cap. 2.

8. Robert WILLIS, «On the construction of the vaults of the Middle Ages», *Transactions of the RIBA*, vol.1, parte 2, 1842, reimpresso en 1910.

9. Con frecuencia este baquetón central ofrece un aplanamiento en su parte media. Viollet-le-Duc afirma que esta forma, así como la línea negra pintada que a veces hay en su lugar, es un recurso visual que subraya la linealidad. Sin embargo, parece claro que favorecería el apoyo sobre la cimbra —apoyo del que Viollet, llevado de su entusiasmo por la descripción de los nervios como la «cimbra permanente», no se ocupa ni dibuja, quizá porque supondría recordar que hay otra cimbra real que no es permanente—.

10. Hemos apoyado el perfil entre dos tableros paralelos. Hay que decir, sin embargo, que no es probable que fuera éste el sistema en las bóvedas de crucería más primitivas, pues no se disponía con facilidad de tableros. Hemos encontrado después el mismo procedimiento en reconstrucciones de los años sesenta, en Gabriel LÓPEZ COLLADO, *Las ruinas en construcciones antiguas*, Madrid, MOPU, 1976.

12. Sobre este tema ha reflexionado con acierto Miguel SOBRINO GONZÁLEZ, *La piedra como motivo para la arquitectura*, Cuadernos del Instituto Juan de Herrera (número 8-52-01), Madrid, Inst. Juan de Herrera, 2002.

13. En bóvedas de grandes naves, a este efecto se añadirá el empuje de los arbotantes exteriores, que han debido de ser construidos primeramente, para contrarrestar a una bóveda que aún no existe; en consecuencia, se haría necesario apuntalar la luz de la bóveda con un modo de tirante comprimido, si se puede hablar así.