

Las bóvedas de crucería en el manuscrito de Fray Andrés de San Miguel

Enrique Rabasa Díaz
Benjamín Ibarra Sevilla
José Calvo López

Algunas fuentes reflejan el intercambio de conocimientos entre la península ibérica y la América hispánica en la Edad Moderna. En la biblioteca del Colegio de Arquitectos de Madrid se conserva un ejemplar del tratado de fortificación de Cristóbal de Rojas (1598) con unas sorprendentes notas sobre la construcción de molinos. Los manuscritos de Fray Andrés de San Miguel (c. 1630), un maestro nacido en Medina Sidonia que después de muchas vicisitudes entró en la orden carmelita y construyó una obra de importancia en Nueva España, conservados en la biblioteca de la Universidad de Texas en Austin, aportan una información valiosísima sobre estos intercambios (Báez 1969).

Enrique Nuere (1990) ha estudiado con detalle las noticias de los manuscritos de Fray Andrés sobre la labor impropia llamada mudéjar, que en la época se denominaba «carpintería de lo blanco». Pero estos textos tratan muchos otros temas relacionados con la arquitectura, como era habitual, conservando el sentido amplio de la materia, sin contar con el relato de circunstancias personales. Así, no han despertado tanto interés otras porciones de los manuscritos. Especialmente uno de los folios (San Miguel c. 1630, 121v, figura 1), donde aparecen, sin explicación, dos bóvedas de crucería estrelladas, una sencilla y otra de dobles terceletes, que combinan el delineado de algunos detalles con el esquematismo de otros.

Tras ofrecer una idea de la extensión de las bóvedas de crucería en México, revisaremos brevemente las soluciones ofrecidas por la tratadística española y

francesa para este tipo de bóvedas, y analizaremos las características y el trazado de las soluciones de Fray Andrés, añadiendo breves menciones a otros trazados de cantería y geometría presentes en estos textos¹.

BÓVEDAS DE CRUCERÍA EN MÉXICO

Podemos encontrar una buena cantidad de bóvedas de nervadura gótica en los edificios mexicanos. La bóveda nervada gótica mexicana es en la práctica totalidad de terceletes y sobre planta cuadrada, si bien con variaciones, que se manifiestan en nervios combados formando anillos, ligaduras, y cuadrifolios o con ligaduras rectas entre claves. Sugieren las más elaboradas una mayor destreza de los maestros, resultado seguramente de empresas más ambiciosas que buscaban la monumentalidad. Alguna, como en Yanhuatlán y Huejotzingo, tienen doble tercelete, como una de las del manuscrito.

La planta es, como se ha dicho, cuadrada en general. Hay razones para ello. En primer lugar, hay que decir que casi la totalidad de los templos que utilizan bóvedas de crucería en México son de una sola nave.² Esta solución, relativamente simple, es ventajosa en cuanto conduce a una secuencia de tramos cuadrados que forman un módulo repetitivo. Planta sencilla y bóvedas repetidas simplificaron el proceso de construcción. Los muros de la nave y los contrafuertes no requerían de altos niveles de especial-

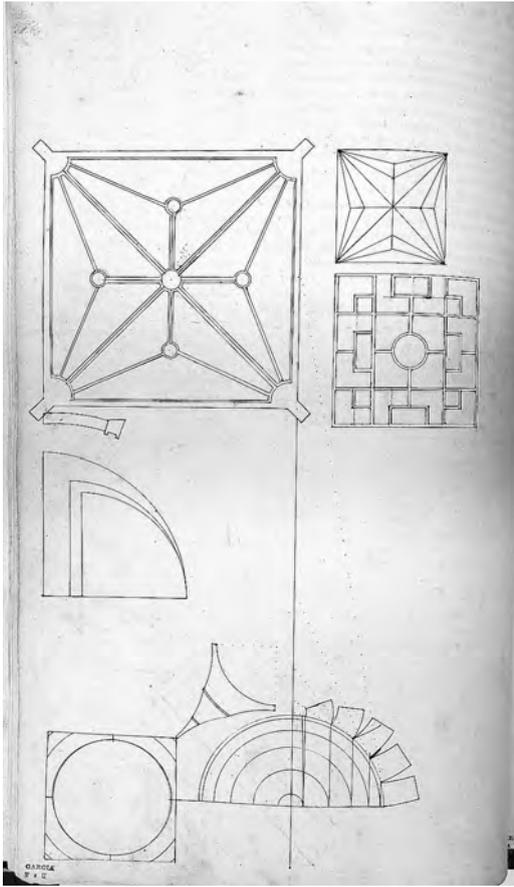


Figura 1
Fol. 121v del manuscrito.

ización, pues simplemente había que levantarlos procurando un espesor correcto y asegurando que quedaran «a plomo». Además, las bóvedas de crucería de planta cuadrada y simétrica ofrecen ventajas en el momento de labrar las piezas, pues los elementos se repiten dentro de una bóveda y en la serie de la nave.

También se emplearon bóvedas de crucería en los claustros de los conventos y en los cruces de los corredores que llevan a las celdas, si bien en estos espacios no muy amplios las soluciones son por lo general sencillas. En los claustros, las bóvedas de las esquinas suelen aparecer más elaboradas, incluyendo terceletes y claves de más trabajo, y en ocasiones solo en las esquinas hay bóvedas de crucería, mien-

tras que en la panda se emplean bóvedas vaídas o de cañón corrido. El diseño y elaboración en los cruces de los corredores varía mucho en forma y elaboración, pudiendo llevar terceletes o solo arcos ojivos, según la escala, posibilidades e importancia de los conventos.

Como en España, las bóvedas de crucería presentan una variante interesante en los sotocoros de las iglesias, donde con frecuencia deben ser muy rebajadas o aplanadas. Su función es crear un entresijo para el coro entre la cubierta y el nivel inferior, quedando en consecuencia poco espacio para la altura de la bóveda. Con diversas soluciones para las nervaduras y arcos formeros, vemos arcos muy rebajados o arcos carpaneles, como en Atotonilco el Grande, Cholula o San Francisco de Puebla.

En la mayor parte de las bóvedas de crucería construidas en México durante el siglo xvi se utilizó piedra caliza para la talla de las piezas de arcos y nervaduras. En consecuencia, la práctica de la cantería en México se llevó a cabo con el mismo rigor atribuido a los edificios europeos. Los canteros indígenas mexicanos fueron capaces de aplicar con refinamiento las avanzadas técnicas de talla de piedras necesarias para construir bóvedas que hasta esa fecha no se habían visto en el continente americano. Las bóvedas mexicanas revelan así una continuidad del periodo gótico tardío producido en España durante los siglos xv y xvi. Cada bóveda presenta una geometría y resolución volumétrica única, lo que indicaría la presencia de muchos maestros, y la complejidad de algunas de ellas deja ver que se trataba de constructores experimentados, con conocimientos de cantería y sistemas abovedados, y no improvisados alarifes con conocimientos básicos.

Siendo la piedra, como hemos dicho, el material más utilizado para las nervaduras, en iglesias como San Francisco de Puebla o Santa María de Atlixco se simplificaron los procesos durante la construcción o se intentó reducir costos cubriendo las naves con bóvedas de mampostería vestidas con nervaduras de yeso. En ninguna hay nervaduras exclusivamente de yeso y por lo general encontramos que las bóvedas del presbiterio, por donde se comenzaba la construcción, son de piedra. Hasta donde sabemos, todas las bóvedas de nervaduras construidas para los sotocoros fueron construidas con piedra.

La tabla siguiente, que es parte de un trabajo elaborado por Benjamín Ibarra en colaboración con la

	ESTADO	ORDEN	FECHA
Acatzingo San Juan Evangelista	Puebla	F	1558-1580
Acolman San Agustín	Estado de México	A	1524-1529 1539-1560
Actopan San Nicolás de Tolentino	Hidalgo	A	1550-1570
Atlixco Santa María de Jesús	Puebla	F	1538-1550 1560-1620
Atotonilco Jesús Nazareno, el grande	Hidalgo	A	1740-1776
Cd. de México Asunción de la Sma. Virgen María	Estado de México	F	1571-1657
Chiapa de Corzo Santo Domingo	Chiapas	D	después de 1550
Cholula S. Gabriel (Ntra. Sra. de los Remedios)	Puebla	F	1549-1552
Coixtlahuaca San Juan Bautista	Oaxaca	D	después de 1550
Cuahtinchan San Juan Bautista	Puebla	F	terminado en 1590
Cuernavaca Asunción	Morelos	F	1529-1574
Cuitzeo Santa María Magdalena	Michoacán	A	después de 1550
Dzidzantún San Antonio de Padua	Yucatán	F	después de 1550
Epazoyucan S. Andrés Apostol	Hidalgo	F	después de 1550
Huaquechula San Martín	Puebla	F	1531-1580
Huejotzingo San Miguel	Puebla	F	1526-1571
Ixmiquilpan S. Miguel Arcángel	Hidalgo	A	1550-1560
Izamal San Antonio de Padua	Yucatán	F	terminado en 1562
Malinalco Divino Salvador	Estado de México	A	1543-1570
Maní San Miguel	Yucatán	F	después de 1550
Mérida San Ildefonso	Yucatán	F	1562-1599
Metztitlan Santos Reyes	Hidalgo	A	1539-1560
Oaxaca Santo Domingo	Oaxaca	D	1551-1608
Oaxtepec Santo Domingo	Morelos	D	después de 1561
Puebla San Francisco	Puebla	F	1535 - 1760
Tecamachalco La Asuncion	Puebla	F	1551-1557
Tepeaca San Fco. de Asís	Puebla	F	después de 1540-1580
Teposcolula San Pedro y San Pablo	Oaxaca	D	
Tepoztlan Virgen de la Natividad	Morelos	D	1530-1540
Tlalmanalco San Luis Obispo	Estado de México	F	terminada en 1533
Tlaxcala San Francisco de Asís	Tlaxcala	F	1537-1540
Tlaxiaco Nuestra Señora de la Asuncion	Oaxaca	D	después de 1558
Tlayacapan San Juan Bautista	Morelos	A	1554-1572
Tochimilco La Asunción de Nuestra Señora	Puebla	F	década de 1560
Totimehuacan San Francisco	Puebla	F	después de 1585
Tula catedral de San José	Hidalgo	F	1550-1554
Tzintzuntzan Santa Ana	Michoacán	F	iniciada en 1570
Yanhuitlan Santo Domingo	Oaxaca	D	después de 1550
Yuriria San Agustín	Guanajuato	A	1550-1559
Yecapixtla San Juan Bautista	Morelos	A	1540
Zempoala Todos los Santos	Hidalgo	F	alrededor de 1570
Valladolid S. Bernardino de Siena	Yucatán	F	

Tabla 1

Listado de lugares en los que se pueden encontrar bóvedas de crucería. (F=franciscana, D=dominica, A=agustina)

Dra. Natalia García de la universidad de Morelos, muestra los cuarenta y cinco lugares donde, hasta el momento de publicar este artículo, se tiene documentado el uso bóvedas de crucería en México.

BÓVEDAS DE TERCELETES EN LAS FUENTES ESPAÑOLAS Y FRANCESAS

La mayoría de los tratados y manuscritos españoles y franceses que incluyen la construcción de este tipo de bóvedas toman como modelo la bóveda en estrella de terceletes, en algunos casos con la adición de ruedas alrededor de la clave principal.³ Esta elección no parece caprichosa. Una bóveda de crucería simple o cuatripartita de planta cuadrada o rectangular, construida sobre cuatro arcos perimetrales, puede controlarse sin más que el replanteo de los nervios en planta; la simetría de la figura garantiza que los dos ojivos o diagonales, que dividen la superficie en cuatro cuarteles, se encontrarán en un punto del espacio, donde se dispone la clave. A partir del siglo XIII se disponen nervios adicionales, conocidos como terceletes, que arrancan del punto común a los nervios periféricos y los ojivos. En cada cuartel, dos de estas costillas se encuentran en una clave secundaria y de ella arranca una ligadura o rampante que la une a la clave principal. La curvatura de terceletes y ligadura debe garantizar que se concurren en un punto del espacio. El control formal de este tipo de bóvedas requiere el empleo de procedimientos geométricos para asegurar ese encuentro. Los autores españoles y franceses exponen con criterio didáctico el caso de la bóveda de terceletes, y probablemente entienden que, si el lector domina este procedimiento, podrá aplicarlo a otros casos de uniones entre nervios.

En cuanto a la disposición en planta, la mayoría de los datos están predeterminados, pues prácticamente todos los autores emplean una planta cuadrada.⁴ Con los nervios ojivos en las diagonales y los terceletes simétricos respecto a los ejes, la clave secundaria y la ligadura se disponen sobre estos ejes. La única variable es el ángulo entre terceletes y nervios perimetrales, del que depende la mayor o menor cercanía de la clave secundaria a la principal. Muchos de los tratados y manuscritos (Albiz c. 1540, 28v, 29v; Gil de Hontañón c. 1550, 25r; Ruiz c. 1555, 46v; Delorme 1567, 107r–108v; Guardia c. 1600, 85bis r) trazan una circunferencia circunscrita a la planta y diri-

gen el tercelete, desde un vértice del perímetro, hacia el encuentro de la circunferencia con un eje.⁵ Como consecuencia, el tercelete es la bisectriz del ángulo formado por el nervio perimetral y el ojivo. El punto de encuentro de dos terceletes, situado sobre el eje de la bóveda, determina la posición en planta de la clave secundaria; desde este punto se traza la ligadura hasta la clave principal. Alonso de Vandelvira (c. 1585, 94r–97r) emplea un método más sencillo, y también frecuente en la práctica, pues simplemente traza el tercelete desde el arranque de los nervios hasta el punto medio de un lado opuesto de la planta; este método acerca la clave secundaria a la principal y puede usarse sin dificultad en otro tipo de plantas, como las rómbicas (Vandelvira c. 1585, 120v, 124r).

La disposición espacial de la bóveda presenta otros problemas. La solución conceptualmente más sencilla, aunque no la primera en aparecer es la que dispone los nervios sobre la superficie de una esfera; todos son, en consecuencia, arcos de circunferencia; los ojivos o diagonales y las ligaduras serán círculos máximos, y los terceletes y arcos perimetrales serán arcos de radio menor (los perimetrales, por tanto, de medio punto). Esta disposición es frecuente en la segunda mitad del siglo XVI, por ejemplo, en los manuscritos de Vandelvira y Guardia (ver también Rabasa 1996, Martín Talaverano 2009).

Se ha discutido si la solución de Rodrigo Gil de Hontañón, incluida o parafraseada en el manuscrito de Simón García corresponde a este esquema o a otro más libre; dado que la ligadura debe encontrarse con una rueda dispuesta alrededor del polo, la disposición esférica parece la más probable (Palacios 2006; Palacios 2009, 89–91; Calvo 2017; para una interpretación diferente, ver Gómez Martínez 1988, 124–125).⁶ Gil de Hontañón explica claramente que ha de disponerse un andamio a la altura de la bóveda, sobre el que se trazará a tamaño natural la planta y una semicircunferencia circunscrita. Esta circunferencia puede emplearse para determinar la dirección de los terceletes, aunque Gil no lo diga explícitamente. Pero además representa el trazado de los arcos ojivos, semicirculares, lo que permitiría determinar la altura de las claves secundarias, que se materializan por medio de puntales. Si la interpretación de Palacios es cierta, además de la curvatura del ojivo, la circunferencia circunscrita determina la de la ligadura. Sin embargo, un esquema tan económico no ofrece la curvatura de los terceletes.

Si los arcos perimetrales no son semicirculares, la solución debe ser distinta. El método de control formal más general, que pueden ejemplificar el manuscrito de Hernán Ruiz y el de Philibert Delorme (figura 2; Rabasa 1996, Rabasa y Calvo 2009, Huerta 2016, López-Mozo y Senent-Dominguez 2017), consiste en construir la planta y trazar en verdadera magnitud una rama de arco perimetral, otra de un ojivo, una ligadura y un tercelete, de forma esquemática, reducidos a una línea y relacionando sus alturas. Si bien Ruiz y Delorme los agrupan con arranques comunes, algunos de los escasos trazados conservados, como el muy tardío de la catedral de Tui (Taín 2012) muestran que los canteros desarticulaban estos esquemas cuando era necesario para adaptarse al espacio disponible. Pero la decisión de agruparlos con arranques comunes permite trazar una línea horizontal que une el extremo inferior de la ligadura y el extremo superior del tercelete, que deben coincidir, pues corresponden a la clave secundaria.

Con frecuencia la ligadura se traza de manera que continúe idealmente hasta el vértice del arco prime-

tral, aunque quedará realmente detenida en la clave secundaria –alguna vez la ligadura se ha ejecutado siguiendo materialmente hasta el perímetro–. En cualquier caso, de adoptarse una curvatura distinta para la ligadura, que deje la clave secundaria más baja que la del arco perimetral, la plementería se levantaría hacia fuera en esa zona. El trazado de la ligadura fija la posición y altura de la clave secundaria, y el tercelete queda determinado: se traza suponiendo que arranca con tangente vertical.⁷ También podría fijarse primeramente la curvatura del tercelete y en función de ella la altura de la clave secundaria y la curvatura de la ligadura.

Además de controlar los radios de curvatura, o los centros de los arcos, el esquema permite determinar la inclinación de los planos de lecho en la unión de los nervios y las claves, para su aplicación mediante la saltarregla, un instrumento típicamente canteril que desempeña el papel de transportador de ángulos.

Las claves secundarias representadas en los trazados parecen seguir las ideas generales expuestas por Robert Willis ([1842] 1910, 24), ya que en muchos ca-

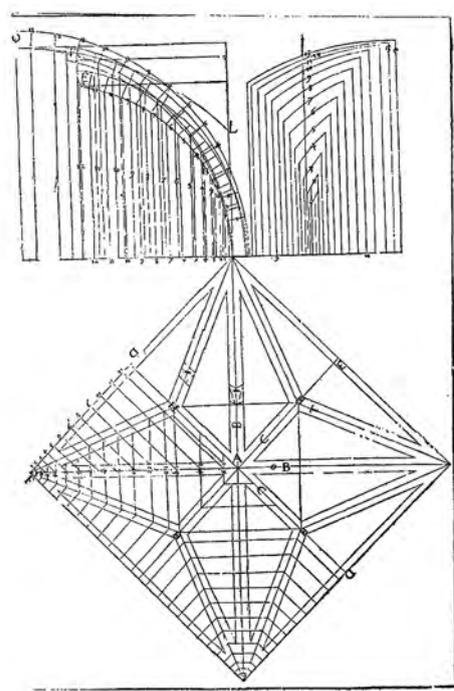
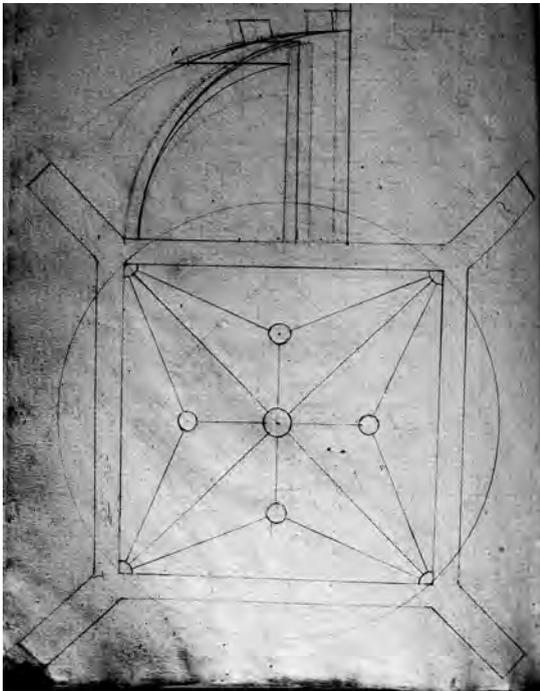


Figura 2
Bóvedas de crucería en el manuscrito de Hernán Ruiz (1550) y *l'Architecture* de Philibert Delorme (1587)

sos aparece materialmente dibujada una «superficie de operación» horizontal en la parte superior, para el control de los lechos y las direcciones de los nervios. Así Hernán Ruiz, Vandelvira (c. 1585, fol. 124v), o Francisco de Luna (ca. 1550). Vandelvira (c.1585, fol. 96v) y Alonso de Guardia, por el contrario, obtienen la plantilla de intradós, como se haría en el caso de las dovelas de una bóveda renacentista (Palacios 1990).

LAS BÓVEDAS DE CRUCERÍA EN EL MANUSCRITO DE FRAY ANDRÉS DE SAN MIGUEL

Aparece una bóveda de crucería en planta (San Miguel c. 1630, 121v), acompañada de las elevaciones de los nervios, como ya hemos visto que es habitual en este tipo de representaciones, que suponemos semejantes a las montañas necesarias para la construcción. El texto no explica el trazado, y la interpretación no es sencilla. Aparecen dibujados unos contrafuertes, lo que también ocurre en el manuscrito de Hernán Ruiz, aunque demasiado pequeños en este caso; estos contrafuertes simplemente nos llaman la atención sobre el hecho de que es necesario considerar el empuje de las bóvedas de crucería. En la planta de la bóveda, los nervios están definidos con su espesor, lo que no sería estrictamente necesario. Es posible advertir alguna línea *en blanco*, es decir, de un trazado inciso previo al dibujo a tinta. También se puede ver la tentativa de situar una clave sobre uno de los arcos ojivos (en la rama superior derecha), a la misma distancia del centro que las cuatro claves secundarias dibujadas.

En la planta, los terceletes están dibujados de manera no muy precisa, pero probablemente siguen el trazado que los dirige hacia el punto de intersección de los ejes con la circunferencia circunscrita al cuadrado de la planta. También es apreciable una circunferencia incisa en blanco que pasa por las cuatro claves y por aquella otra clave que finalmente no se fijó a tinta. Quizá en algún momento se pensara en añadir un nervio circular siguiendo esa circunferencia.

Se pueden ver cuatro arcos, *a*, *b*, *c*, *d* (figura 3) bajo la planta. Ya que la bóveda se compone de arcos perimetrales, nervios terceletes (los que van del arranque a las claves secundarias), rampantes (sobre los ejes) y diagonales u ojivos, se podría pensar en principio que las cuatro elevaciones corresponden a estos cuatro tipos de arco. Sin embargo, no encontra-

mos fácilmente una combinación razonable de esas directrices espaciales para configurar la bóveda. Por otra parte, tratándose de arcos de noventa grados completos, sería necesario suponer que los terceletes acometen a la clave secundaria en dirección horizontal, lo que mecánicamente sería poco aconsejable.

Lo que sí es claro y evidente desde el primer momento es que el arco *d* representa al rampante. En efecto, posee la longitud horizontal que encontramos en planta entre la clave central y la secundaria *A*. Además, esta clave *A* está representada en él con más detalle, ya que presenta la característica superficie de operación en la parte superior, que, como hemos mencionado, corresponde a las observaciones de Robert Willis, y que permite el control formal de la talla de la pieza, a la que llegan los nervios (tres en este caso) verticalmente. Esto no impide que en su parte inferior aparezca una decoración inclinada que

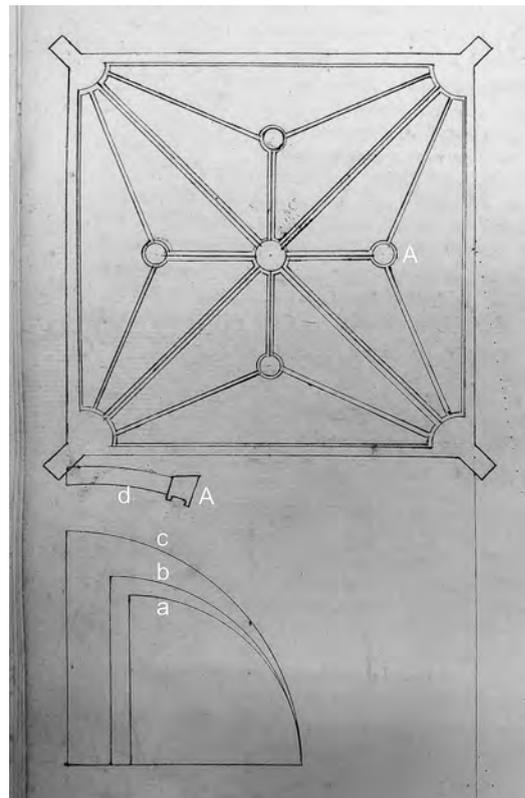


Figura 3
Planta y elevaciones de los nervios de la bóveda de terceletes

acompaña a la curvatura del rampante, lo que también es frecuente. En la planta esta inclinación obligaría, en teoría, a representar la circunferencia de esta decoración como una elipse de ligerísima excentricidad, lo que, naturalmente, es innecesario y se ha obviado en el dibujo.

Este nervio rampante o de ligadura está trazado de manera algo extraña, pues se diría que, en su extremo izquierdo, el que corresponde a la clave central, no es en realidad el punto más alto de su directriz. Es decir, que el centro del arco (el centro de las dos líneas de intradós y extradós) puede estar horizontalmente desplazado y no coincidir en vertical exactamente con la clave central. Sea como fuere, este nervio presenta un desarrollo horizontal r (figura 4.1) igual al que se ofrece en planta, como hemos dicho, y además muestra una diferencia de cotas h entre la clave central y las secundarias.

Pues bien, se puede pensar que los dos arcos menores (a y b de la figura 3) no son realmente elevación de las directrices de los nervios, sino expresión de longitudes tomadas de la planta. En efecto, la longitud en planta del tercelete t coincide exactamente con el radio del arco a (figura 4.2). La medida en planta del rampante, considerado en su extensión total R , es decir, la distancia entre la clave central y las claves de los arcos de embocadura coincide exactamente con el radio del arco b (figura 4.3). Es como si se quisiera expresar que unas medidas que en la planta aparecen en diferentes direcciones deben ser trasladadas a la elevación de los arcos sobre una misma horizontal.

Podemos suponer que la circunferencia de radio H (figura 4.4) se corresponde con el abatimiento del ojivo. Esta circunferencia pasa por los puntos de arranque de los arcos diagonales de manera algo desigual, pues las cuatro esquinas están dibujadas con poca precisión. En cada uno de estos arranques hay dibujado un pequeño cuarto de círculo que representa cómo el nacimiento de la directriz de cada nervio está realmente separado del punto de convergencia de los ejes o vértice ideal del cuadrado; pero el centro de estos arcos, dibujados con descuido, no es exactamente el mismo en los cuatro casos. Sin embargo, como muestra la figura, ajustando este radio H a la disposición del enjarje superior izquierdo, la circunferencia pasa aproximadamente por el mismo lugar en los otros tres. Hemos trasladado este radio H verticalmente a la elevación, en el punto en el que terminaría el desarrollo horizontal del tercelete (figura 4.4).

Si a esta altura H , que es la de la clave central, restamos la diferencia h entre clave central y secundarias, que ya conocíamos, obtendremos la altura de la clave secundaria, es decir, del extremo del tercelete (figura 4.5).

En estas condiciones, el trazado más preciso para la curva directriz del tercelete consistiría en unir el punto inicial y el final, que ya conocemos, y trazar la mediatriz de ese segmento, hasta encontrar a la línea horizontal de base, para que este nervio arranque con tangente horizontal y llegue hasta la clave A . Si lo hacemos así (línea de trazos en la figura 4.6) obtenemos justamente el centro del arco c , que resulta así ser la directriz del tercelete. De esa directriz solo existiría realmente el tramo que llega hasta la clave.

El límite izquierdo de esta figura formada por las elevaciones coincide con el límite izquierdo del cuadrado mayor de la planta. Esta coincidencia puede ser casual, o bien el resultado de copiar otro dibujo anterior.

Ya que la medida exacta del radio del ojivo es, como hemos dicho, difícil de establecer en planta, la circunferencia que hemos llamado c podría corresponder también a este arco. En ese caso, el tercelete habría de ser una circunferencia, no representada, de radio muy ligeramente menor. La diferencia entre ambas sería tan escasa que resultaría inapreciable en la ejecución de las dovelas, incluso de las cimbras. Con frecuencia hemos encontrado bóvedas realmente construidas en las que las curvaturas del ojivo y del tercelete son indistinguibles.

Incluso la misma curvatura se podría haber empleado para el intradós del arco d . Eso explicaría la extraña disposición del centro de este arco, que no se encuentra sobre la vertical de la clave central. En efecto, determinado el ojivo y tomando para el tercelete el mismo radio, resulta una diferencia de cotas entre la clave central y secundaria, y para cumplir con esa diferencia y mantener también para el rampante d la misma curvatura, la circunferencia de radio dado ha de pasar por dos puntos, de lo que resulta la posición del centro.

En cualquier caso, incluso contando con la línea en blanco, el dibujo no es lo complejo que debería ser para contener en sí las operaciones gráficas de las que estamos hablando. Eso confirmaría la idea de que se está copiando de otro trazado, probablemente del mismo autor, si bien la copia no habría sido completa.

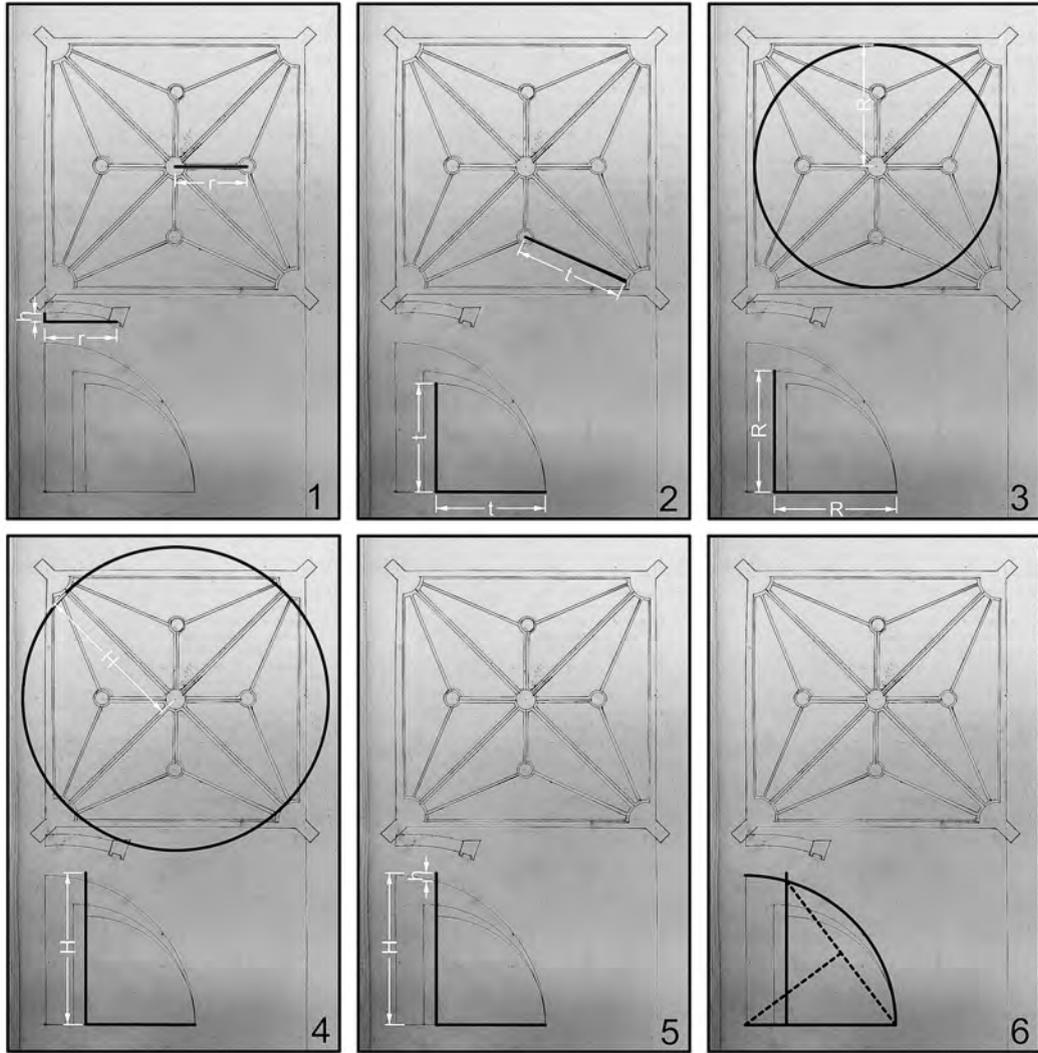


Figura 4
Correspondencia de dimensiones en la bóveda de terceletes

En la misma página que contiene el trazado de la bóveda de crucería que nos ocupa, se puede ver la planta de otra con dobles terceletes, un ensayo de decoración, y esquemas muy correctos que corresponden a una bóveda de media naranja (cuyo eje se hace coincidir con el cuadrado de nuestra crucería) y la resolución de unas pechinas, ambas por hiladas de sillaría.

OTROS TRAZADOS

Fray Andrés también aborda un problema característico de la construcción de la Edad Moderna. En la época gótica, como hemos mencionado, se emplea con frecuencia el arco carpanel, cuyo intradós adopta la forma de un óvalo de tres centros, formado por tres arcos de circunferencia. Esta figura, ofreciendo

solo dos curvaturas, hace la labra de las piezas más fácil que la semielipse. A cambio, presenta una desventaja, pues los trazados de óvalos conocidos en el siglo XVI, tanto los célebres cuatro métodos de Serlio (1545, 19v–20v) como el menos conocido de Vandelvira, no podían adaptarse fácilmente a una figura de dimensiones predeterminadas. Esto exigiría en algún caso tantear los centros, y Ana López Mozo (2011) ha sugerido la posibilidad de que los maestros del Escorial conocieran un trazado de óvalo adaptable a una luz y flecha dadas. Por otra parte, se ha discutido si un pasaje de Serlio que menciona albañiles que construyen óvalos con una cuerda (1545, 13v) se refiere a la llamada elipse de jardinero, es decir, la que se obtiene con un cordel tenso cuyos extremos se fijan a dos puntos, o bien a otro trazado de óvalo de varios centros (Kitao 1974, 71–72, fig. 46; Huerta 2007). En cualquier caso, las referencias a la elipse de jardinero en la segunda edición del tratado de Cattaneo (1567, 158) y en el curioso volumen *Le Gouvernail* de Ambroise Bachot (1598, p. s. n. al final) son claras. Otros muchos autores (Dürer 1525, Ciii v; Ruiz c. 1555, 23v; De l’Orme 1561, 12r–13r) y el propio Serlio (1545, 13v–14r; ver también Vandelvira c. 1585, 18v) ofrecen construcciones basadas en transformaciones de circunferencias, que proporcionan puntos de una elipse, aunque la mayoría propone unir estos puntos tomándolos de tres en tres con el compás.

En este contexto, resulta muy interesante comprobar que, en los folios anteriores a la bóveda de crucería, Fray Andrés muestra que conoce el trazado de la elipse del jardinero –a la que, como era habitual en la época, llama óvalo–, invento injustamente menospreciado, dice, por ser de un albañil de Granada. Propone emplear este método para dibujar perfiles de bóvedas (arcos) rebajados y peraltados. Justamente en el folio marcado 121 (figura 5), aplica este conocimiento al trazado de una bóveda «obal» que debe cubrir una planta rectangular. Parece que se trata de algo así como lo que ahora llamaríamos una vaída elipsoidal, así que debe encontrar una elipse (o, para ser precisos, un «óvalo») trazado con cordel fijo en dos puntos) que se encuentre inscrita en el rectángulo de la planta, es decir, de ejes prefijados; pero también debe enfrentarse al problema de encontrar la ‘elipse del jardinero’ que sea circunscrita al rectángulo –la cual sería ecuador de la superficie completa, o bien su perfil longitudinal, suponiéndola de revoluc-

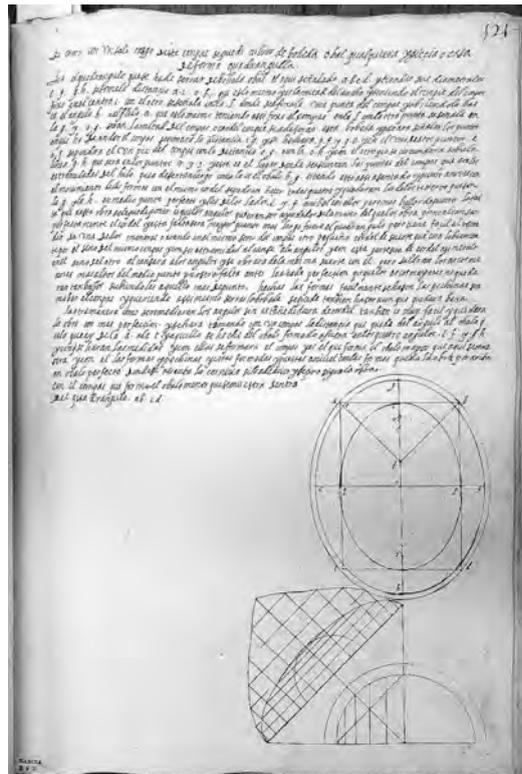


Figura 5
Fol. 121r del manuscrito

ción de eje horizontal–, es decir, quiere encontrar una elipse que sea capaz de pasar por los cuatro vértices de un rectángulo dado. Su resolución ahora no es difícil; aunque habría infinitas, una de ellas sería semejante a la inscrita, y ninguna estrictamente paralela a ella, ya que en pura teoría no existen elipses paralelas. Ante este problema, Fray Andrés elabora soluciones suficientemente aproximadas.⁸

CONCLUSIÓN

Una de las bóvedas de crucería que ofrece el manuscrito de Fray Andrés es solo expresión de la posibilidad de diseñar dobles terceletes. La otra ofrece una reflexión sobre los trazados espaciales necesarios a este tipo de bóvedas, si bien faltan conexiones entre los elementos gráficos. Junto a estos trazados y en el mismo fol. 121v, encontramos una bóveda de media

naranja y un despiece de pechinas muy correctos, aunque de ninguno hay explicación en el texto. En folios anteriores, el interesantísimo dominio del trazado de la que llamamos elipse del jardinero le conduce a un problema que no está en condiciones de resolver idealmente, pero al que consigue dar solución aproximada. Así pues, al menos en esta parte del manuscrito, se muestra un discurso incompleto a causa de la voluntad de Fray Andrés de penetrar cabalmente y desarrollar por reflexión personal la complejidad de los problemas espaciales que la actividad constructiva podía requerir.

NOTAS

1. Sobre las bóvedas de crucería mexicanas puede verse <https://www.elgoticoenmexico.org>, del profesor Ibarra. El trabajo de los profesores Calvo y Rabasa está relacionado con el proyecto BIA 2013-46896-P del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, recogido en TRANS_GOT (<http://transgot.vaultsconstruction.com/>). Agradecemos a la Nettie Lee Benson Latin American Collection y a José Montelongo de la Universidad de Texas en Austin por darnos acceso al manuscrito original.
2. Dentro del limitado número de iglesias cubiertas con bóvedas nervadas en México solamente la iglesia de Yuriria en Guanajuato tiene una planta de cruz.
3. Contrasta con la presencia de complejas bóvedas en red en los manuscritos alemanes.
4. Excepto el manuscrito 12.686 de la Biblioteca Nacional de España (Albiz c. 1540, 28v, 29v) que ofrece dos variantes, cuadrada y rectangular, muy probablemente concebidas como dibujos de ejecución de la iglesia parroquial de Garcinarro (Gómez Martínez 1988, 31–32; García Baño y Calvo 2015).
5. En Milliet Deschalles (1674) y Tosca (1707) se separará de la clave central en tres quintos del semieje, lo que conduce en una dirección similar.
6. Dadas las similitudes de este manuscrito con el atribuido a Albiz, podemos extrapolar la solución a este último.
7. Hernán Ruiz hace esto tanteando para localizar el centro del terceleto, lo que se advierte por las perforaciones de punta de compás que aparecen en el papel del manuscrito (Rabasa 1996). Se trata de una noción empírica pues de lo contrario se hubiera dispuesto desde el primer momento el centro en la línea horizontal que representa el plano de impostas.
8. La primera elipse se obtiene mediante una curiosa relación que resulta ser la raíz cuadrada de dos para el eje

menor (esta sería la relación de los radios en el caso de una circunferencia). La línea no llega a pasar por los vértices del rectángulo, lo que habría ocurrido de haber aumentado en la misma proporción el eje mayor; en lugar de esto, el aumento tiene la misma magnitud, como si se pensara en líneas paralelas. Tras sugerir una corrección a sentimiento («...los ángulos quieren ser ayudados de mano del que los obra por no alcanzar perfectamente el cordel...»), propone dos soluciones. La primera consiste en añadir un cordelillo corredizo al cordel inicial. La segunda, en párrafo nuevo y que parece haber sido añadida tras cierta reflexión, incrementa ligeramente, de nuevo en igual magnitud, las longitudes de los ejes. El resultado de ambas es una línea casi paralela que pasa casi por los puntos indicados.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alviz, Pedro de, attr. c.1545 c. Manuscrito de cantería. MS 12.686. Biblioteca Nacional de España, Madrid.
- Bachot, Ambroise. 1598. *Le gouvernail d'Ambroise Bachot, ... lequel conduira le curieux de géométrie en perspective dedans l'architecture des fortifications, machine de guerre et plusieurs autres particularitez y contenues*. Melun-Paris.
- Báez Macías, Eduardo. 1969. *Obras de Fray Andrés de San Miguel*. Ciudad de México: UNAM.
- Calvo López, José. 2017. The Geometry of the Rib Vault in Early Modern Iberian and French Literature. En *Techniche costruttive nel Mediterraneo: dalla stereotomia ai criteri antisismici*, editado por Marco Rosario Nobile, 27–45. Palermo: Edizioni Caracol.
- Cattaneo, Pietro. 1567. *L'Architettura di Pietro Cataneo senese. A le quale oltre ... primi quattro libri ... sono aggiunti di piu il Quinto, Sesto, Settimo o Ottavo libro ...* s. l.: s. n.
- Dürer, Albrecht. 1525. *Underweysung der messung mit dem zirkel und richtscheyt ...* Nuremberg: s. n.
- García Baño, Ricardo y José Calvo López. 2015. About an Early 16th-century Stonecutting Manuscript in the National Library of Spain and the Origins of Modern Stereotomy. En *5th International Congress on Construction History*, Chicago: Construction History Society of America.
- Gil de Hontañón, Rodrigo. 1560 c. Manuscrito. Incluido en otro manuscrito de Simón García, *Compendio de Arquitectura y simetría de los templos*, 1681. MS 8884. Biblioteca Nacional, Madrid.
- Guardia, Alonso de. 1600 c. Rasguños de arquitectura y cantería. Anotaciones sobre un ejemplar facticio de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principii, duchi, signori ... Libro secondo*, Venezia, 1566 y Battista Pittoni, *Imprese*

- di diversi principii, duchi, signori ...* Venezia, 1568. ER/4196. Biblioteca Nacional, Madrid.
- Huerta Fernández, Santiago. 2007. Oval Domes: History, Geometry and Mechanics. *Nexus Network Journal* 9 (2): 211–248.
- Huerta Fernández, Santiago. 2016. Willis's sources on gothic vault construction. En *Robert Willis. Science, Technology and Architecture in the Nineteenth century*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 297–320.
- Kitao, Timothy. 1974. *Circle and oval in the square of Saint Peter. Bernini's Art of Planning*. New York: New York University Press.
- López Mozo, Ana. 2011. Ovals for Any Given Proportion in Architecture: A Layout Possibly Known in the Sixteenth Century. *Nexus Network Journal* 13 (3): 569–597.
- López-Mozo, Ana y Rosa Senent-Domínguez. 2017. Late Gothic Asymmetrical Diamond Vaults in Spain. *Nexus Network Journal*. 19 (2): 323–343
- L'Orme, Philibert de. 1561. *Nouvelles inventions pour bien bastir a petits frais*. Paris: Federic Morel.
- L'Orme, Philibert de. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Federic Morel.
- Luna, Francisco de. 1542. Tasación de la iglesia parroquial de Priego. Archivo Diocesano de Cuenca. CE 729, Audiencia. Transcrito en Rokiski 1980.
- Martín Talaverano, Rafael y José Carlos Palacios Gonzalo. 2009. La construcción de la bóveda de crucería de Vandelvira. En *Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por Santiago Huerta Fernández, et al., 833–844. Valencia: Instituto Juan de Herrera.
- Milliet-Dechalles, Claude-François, S. I. 1674. *Cursus seu mundus mathematicus*. Lugduni: Officina Anissoniana.
- Nuere, Enrique. 1990. *La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*. Málaga: Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental. Delegación de Málaga.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 1990 (2ª ed. Madrid, Munilla-Llería, 2003). *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*, Madrid, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 2006. The Gothic Ribbed Vault in Rodrigo Gil de Hontañón. En *Second International Congress on Construction History*, editado por Malcolm Dunkeld, et al., 2415–2431. Cambridge: Construction History Society.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 2009. *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*. Madrid: Munilla-Llería.
- Rabasa Díaz, Enrique. 1996. Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI. En *Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por Antonio de las Casas Gómez; Santiago Huerta Fernández y Enrique Rabasa Díaz, 423–434. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Rabasa Díaz, Enrique y José Calvo López. 2009. Gothic and Renaissance Design Strategies in Stonecutting. En *Creating shapes in civil and naval architecture. A cross-disciplinary comparison*, editado por Horst Nowacki y Wolfgang Lefevre, 167–191. Leiden-Boston: Brill.
- Rokiski Lázaro, María Luz. 1980. La cabecera de la iglesia de Priego (Cuenca). Dibujos y tasación. *Cuenca* (174): 27–34.
- Rojas, Cristóbal de. 1598. *Teórica y práctica de fortificación, conforme a las medidas de estos tiempos ...* Madrid: Luis Sánchez.
- Ruiz el Joven, Hernán. 1550 c. Libro de Arquitectura. Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- San Miguel, Fray Andrés de. c. 1630. Manuscrito de arquitectura y construcción. Benson Latin American Collection. University of Texas, Austin.
- Serlio, Sebastiano. 1545. *Il primo [-secondo] libro d'architettura ... Le premier [-second] livre d'architecture*. Paris : Iehan Barbé.
- Taín-Guzmán, Miguel, et al. 2012. Stonecutters' literature and construction practice in Early Modern Gothic : the tracings for a rib vault at the Cathedral of Tui in Galicia. *Construction History* (27): 1–21.
- Tosca, P. Thomas Vicente. 1707–1715. *Compendio matemático, en que se contienen todas las materias más principales de las Ciencias, que tratan de la cantidad...* Valencia: Antonio Bordazar - Vicente Cabrera.
- Vandelvira, Alonso de. 1585 c. Libro de trazas de cortes de piedras. Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Willis, Robert. 1842. On the construction of the vaults of the Middle Ages. *Transactions of the Institute of British Architects* 1: 1–69.

