

Construcción, dibujo y geometría en la transición entre Gótico y Renacimiento*

JOSÉ CALVO LÓPEZ** Y ENRIQUE RABASA DÍAZ***

Resumen

El artículo examina algunos problemas centrales del dibujo de arquitectura en la época bajomedieval y renacentista, teniendo en cuenta tanto los estudios clásicos en este campo como las aportaciones más recientes; intenta ofrecer una visión panorámica pero integrada de varias de estas cuestiones esenciales. En particular, se tratan las conexiones entre la geometría culta y las prácticas canteriles de trazado, la relación entre trazas en papel y monteas sobre soportes rígidos, la aparición de la proyección ortogonal, las diferencias entre las elevaciones medievales y nuestros alzados, los nuevos resultados geométricos que debe suministrar la traza de origen medieval para facilitar la ejecución de los diseños renacentistas, el empleo de algunos procedimientos de trazado de origen renacentista para materializar bóvedas de crucería, invirtiendo el orden cronológico que cabría esperar, y la peculiar síntesis entre ambos mundos que ofrecen las bóvedas por cruceros, es decir, bóvedas de casetones de aspecto clásico materializadas por nervios y plementería.

Palabras clave

Dibujo arquitectónico, Arquitectura gótica, arquitectura renacentista, bóvedas nervadas, bóvedas de casetones, cantería, estenotomía, plantas, alzados.

Abstract

This paper deals with some central problems in Late Mediaeval and Renaissance architectural drawing, taking into account some classical studies in this field, as well as many recent contributions. It endeavors to present a panoramic, yet integrated vision of a number of these crucial issues. In particular, it deals with the connections between learned geometry and stonemasons' tracing methods, the relationship between drawings in paper and tracings on walls and floors, the emergence of orthogonal projection, the different approaches of Late Mediaeval elevations and their modern counterparts, the new geometrical results offered by a tracing system with Mediaeval roots in order to face the requirements of Renaissance construction, the use of Renaissance tracing methods in order to innovate and improve rib vault construction, reversing the chronological succession that could be expected, and the idiosyncratic synthesis offered by 'por cruceros' vaults, that is, classical coffered vaults solved by a network of ribs supporting severies

Key words

Architectural drawing, Gothic architecture, Renaissance, architecture, stonecutting, stereotomy, ribbed vaults, coffered vaults, plans, elevations.

* * * * *

* Este trabajo se inscribe en el Proyecto de Investigación "La construcción de bóvedas tardogóticas españolas en el contexto europeo. Innovación y transferencia de conocimiento" (BIA2013-46896-P) del Plan Nacional I+D+i, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

** Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación de la Universidad Politécnica de Cartagena.

*** Catedrático de la Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Como es sabido, durante el siglo XVI se prepararon en el ámbito ibérico un buen número de textos acerca de los problemas geométricos que plantea la técnica de la cantería. La gran mayoría no llegaron a la imprenta por motivos económicos, como señala Fray Laurencio de San Nicolás,¹ pero precisamente esta circunstancia los dota de un gran interés, pues confiere a muchos de ellos un carácter más cercano a la práctica a pie de obra, como resulta evidente si los comparamos con sus correlatos franceses. En los años ochenta y noventa del pasado siglo, se vertieron opiniones opuestas acerca de estos manuales o cuadernos de cantería. Algunos autores señalaron su carácter empírico y su falta de base matemática explícita, patente en la ausencia de demostraciones, vinculándolos al tradicionalismo técnico, de origen gótico, de los maestros de cantería del período;² por el contrario, otros estudiosos pusieron el acento en su carácter innovador, en el contraste entre las soluciones técnicas renacentistas y las medievales, y en el papel que desempeña en estas transformaciones el conocimiento de la geometría euclidiana.³ Desde entonces, se han dado a conocer varios manuscritos que permanecían inéditos y se ha publicado un número muy significativo de contribuciones sobre esta temática, especialmente en el plano técnico y constructivo. Por tanto, merece la pena volver en estos momentos sobre este debate, partiendo de la base de que progreso técnico y evolución estilística son conceptos diferentes, aunque no independientes.

Para entrar en materia, conviene repasar brevemente algunos debates seculares sobre el dibujo de arquitectura tardogótico. Algunos autores dan por descontado un completo dominio de la geometría euclidiana por los canteros medievales;⁴ otros, más prudentes, suponen que estos cono-

¹ SAN NICOLÁS, FR. L. DE, *Segunda parte del Arte y uso de Arquitectura*, Madrid, s. n., 1663, p. 155.

² MARIAS, F., "El problema del arquitecto en la España del siglo XVI", *Academia*, 48, 1979, pp. 173-216, espec. pp. 197-198; del mismo autor, "El papel del arquitecto en la España del siglo XVI", en Guillaume, J. (ed.), *Les Chantiers de la Renaissance. Actes des colloques tenus a Tours en 1983-1984*, Paris, Picard, 1991, pp. 247-262 y espec. p. 250; el autor ofrece una visión más matizada en "Trazas, trazas, trazas: tipos y funciones del dibujo arquitectónico", en Aramburu-Zabala, M. Á. (dir.) y Gómez Martínez, J. (coord.), *Juan de Herrera y su influencia, Actas del Simposio*, Camargo, 14-17 julio 1992, Santander, Fundación Obra Pía Juan de Herrera, Universidad de Cantabria, 1993, pp. 351-359, espec. p. 352; como muestra de la influencia de estas posiciones de Marias, véase, por ejemplo, LÓPEZ GUZMÁN, R., *Tradicción y clasicismo en la Granada del siglo XVI. Arquitectura civil y Urbanismo*, Granada, Diputación, 1987, p. 37.

³ BARBE-COQUELIN DE LISLE, G., "Introducción", en Vandelvira, A., *Tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira*, Albacete, Caja de Ahorros Provincial, 1977, pp. 1-36, espec. pp. 6, 33-35, donde señala la influencia de De l'Orme en Vandelvira; de la misma autora, "Progresos de la cantería y nivel científico en España en la época de Juan de Herrera", en Aramburu-Zabala, M. Á. (dir.) y Gómez Martínez, J. (coord.), *Juan de Herrera...*, op. cit., pp. 129-136; SANABRIA, S. L., *The evolution and late transformations of the Gothic mensuration system*, Ph. D. dissertation, University of Princeton, 1984, pp. 182-193.

⁴ Por poner un ejemplo extremo, ver GHYKA, M., *Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts*, Paris, Gallimard, 1927 (tr. española, *Estética de las proporciones en la naturaleza y las artes*, Buenos Aires, Poseidón, 1983, pp. 252-253).

cimientos se alcanzaron con la llegada del Renacimiento.⁵ Sin embargo, los datos disponibles apuntan en otro sentido. Es cierto que algunos textos que circulaban entre canteros, como el que se refleja en los manuscritos Regius y Cooke, mencionan con veneración a Euclides, pero la imagen de este personaje se presenta con una aureola mítica, hasta el punto de aparecer como discípulo o colaborador de Abraham.⁶ Por otra parte, cuando un cantero tardogótico como Mathes Roriczer intentó componer una geometría en alemán, no fue más allá de las seis páginas y, lo que es más significativo, incluyó una construcción incorrecta para el pentágono regular [fig. 1], un problema que estaba resuelto de forma impecable en los *Elementos* euclidianos.⁷

Dejando aparte la polémica sobre la mayor o menor importancia de los contactos entre canteros y los escolásticos,⁸ que requeriría mucho más espacio del disponible en estas páginas, es preciso tener en cuenta que las construcciones de la geometría clásica no resuelven la mayoría de los problemas gráficos que deben afrontar los canteros, ya sean medievales o renacentistas. Se olvida en ocasiones que tanto unos como otros utilizaban tres sistemas gráficos diferentes pero interconectados. En términos generales, el dibujo de arquitectura gótico, con funciones de presentación al cliente y muy probablemente de concepción, tiene por soporte el pergamino o el papel. Ahora bien, a la hora de asegurar el control formal de las construcciones se recurre a trazados de cantería a tamaño natural, conocidos como *monteas*; como veremos, los manuales y tratados de cortes de piedra se esfuerzan por mostrar y exponer estos trazados.

Las monteas se ejecutan sobre muros o pavimentos por medio de cuerdas y gramiles, aunque también se usa el *compás de aparejador*, con forma semejante al empleado para dibujar en papel, pero un tamaño

⁵ SANABRIA, S. L., *The evolution and late transformations...*, *op. cit.*, pp. 182-193.

⁶ ANÓNIMO, Ms. "Cooke", ca. 1390-ca. 1410, British Museum, Add. MS. 23198, f. 19 r-21v. Transcripción en Knoop, D. y Jones, G. P., *The Two Earliest Masonic MSS*, Manchester, University Press, 1938. Véase también pp. 30-38 del estudio introductorio de Knoop y Jones en dicho volumen y SHELBY, L. R., "The Geometrical Knowledge of Medieval Master Masons", *Speculum*, 47, 3, 1972, pp. 395-421 y espec. pp. 395-397.

⁷ RORICZER, M., *Geometria Deutsch*, ca. 1490, f. 2. Transcripción y traducción inglesa en SHELBY, LON R., *Gothic Design Technics: The fifteenth-century design booklets of Mathes Roriczer and Hans Schmuttermayer*, Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977; véase también MECKSPECKER, C., "Über die Fünfeckkonstruktion bei Villard de Honnecourt und im späten Mittelalter", *Architectura*, 13, 1, 1983, pp. 31-40, y EUCLIDES, *Elementos*, ca. -300, libro IV, proposición 11.

⁸ PANOFKY, E., "An Explanation of Stornaloco's Formula", *The Art Bulletin*, 27, 1, 1945, pp. 61-64; ACKERMAN, J. S., "Ars sine scientia nihil est. Gothic Theory of Architecture at the Cathedral of Milan", *The Art Bulletin*, 31, 2, 1949, pp. 84-111; PANOFKY, E., *Gothic Architecture and Scholasticism*, Latrobe, Pa., Archabbey Press, 1951; BRANNER, R., "A note on Gothic architects and scholars", *Burlington Magazine*, 99, 656, 1957, pp. 372-375; IBÁÑEZ FERNÁNDEZ, J. y ZARAGOZÁ CATALÁN, A., "Inter se disputando". Debate y proyecto arquitectónico en la Edad Media", en *Obra congrua. 600 aniversario de la consulta de la catedral de Girona*, (en prensa).

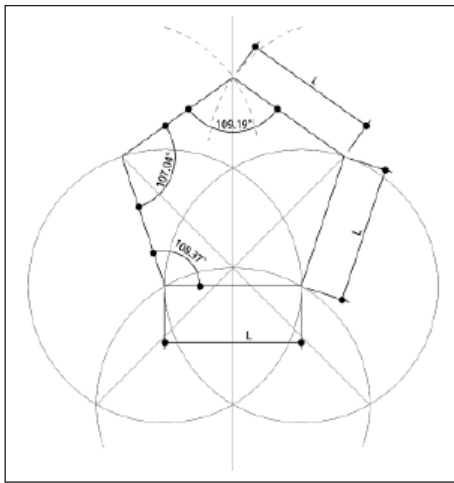


Fig. 1. Construcción del pentágono regular según Mathes Roriczer, *Geometria Deutsch*, ca. 1490. Esquema de los autores.

como los hallados recientemente tras la cajonería de la catedral de Murcia o bajo una tarima de madera en la iglesia conventual de Santa Clara de Santiago [fig. 2].¹⁰

⁹ Véase entre otros BARNES, C. F., JR., "The gothic architectural engravings in the cathedral of Soissons", *Speculum*, 47, 1, 1972, pp. 60-64; FERGUSSON, P. J., "Notes on two engraved cistercian drawings", *Speculum*, 54, 1, 1979, pp. 1-17; HASELBERGER, L., "Die Bauzeichnungen des Apollontempels von Dydimá", *Architectura*, 13, 1, 1983, pp. 13-26; del mismo autor, "The Hadrianic Pantheon-a Working Drawing Discovered", *American Journal of Archaeology*, 98, 2, 1994, p. 327; RUIZ DE LA ROSA, J. A., *Traza y simetría de la arquitectura en la Antigüedad y el Medievo*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 1987; CLAVAL, F., "Les épures de la cathedrale de Clermont-Ferrand", *Bulletin Archéologique du Comité des travaux historiques et scientifiques*, n.s., 20-21, 1988, pp. 184-224; MÜLLER, W., "Le dessin technique a l'époque gothique", en *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*, Strasbourg, Musées de la Ville de Strasbourg, 1989, pp. 237-254; RUIZ DE LA ROSA, J. A. y RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, J. C., "'Capilla redonda en vuelta redonda' (sic): Aplicación de una propuesta teórica renacentista para la catedral de Sevilla", en *IX Congreso Internacional Expresión Gráfica Arquitectónica*, La Coruña, Universidad de A Coruña, 2002, pp. 509-516; TAÍN GUZMÁN, M., "The drawings on stone in Galicia: Types, uses and meanings", en Huerta Fernández, S. (ed.), *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1.887-1.898; del mismo autor, "Fifteen Unedited Engraved Architectural Drawings Uncovered in Northwest Spain", en Dunkeld, M., J. et al., *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*, Cambridge, Construction History Society, 2006, pp. 3.011-3.023; LÓPEZ MOZO, A., "Tres montees escorialenses", *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica (EGA)*, 13, 2008, pp. 190-197; INGLESE, C. y PIZZO, A., *I tracciati di cantiere di epoca romana*, Roma, Gangemi, 2014, y el volumen colectivo editado por los mismos autores, *I Tracciati di cantiere: disegni esecutivi per la trasmissione e diffusione delle conoscenze tecniche*, Roma, Gangemi, 2016.

¹⁰ Para la sacristía de Murcia, CALVO-LÓPEZ, J. et al., "The Tracing for the Sail Vault at the Murcia Cathedral Vestry: Surveying a 16th-Century Full-Scale Working Drawing", *International Journal of Architectural Heritage*, 7, 3, 2013, pp. 275-302; para Santa Clara de Santiago, CALVO-LÓPEZ, J. et al., "The eighteenth-century full-scale tracings in the church of Saint Clare in Santiago de Compostela: execution drawings or design sketches?", *Construction History*, 31, 2016, pp. 81-106.

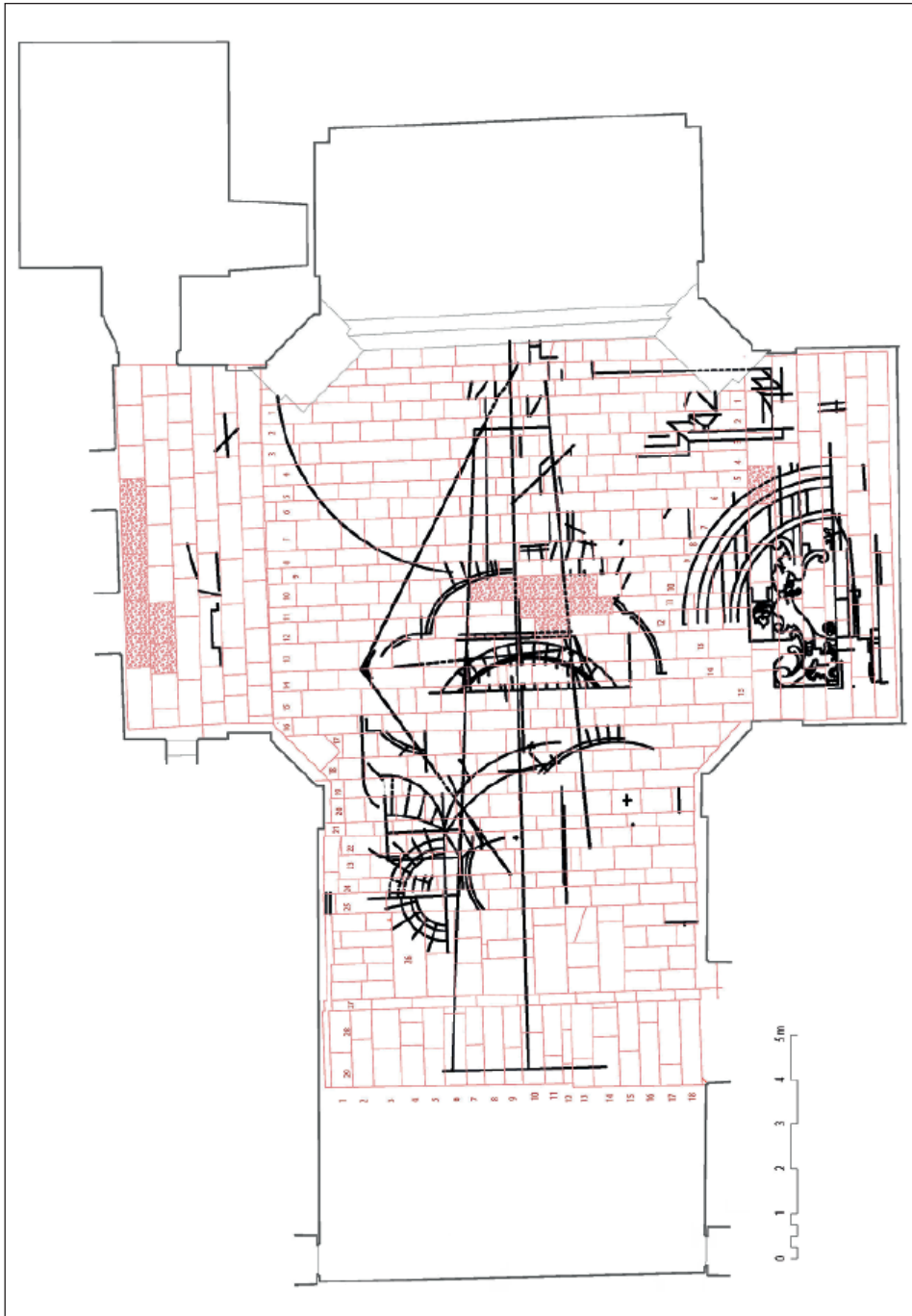


Fig. 2. Trazados de cantería en el pavimento de la iglesia conventual de Santa Clara de Santiago. Simón Rodríguez et al., ca. 1720. Levantamiento de Idoia Camiruaga, José Calvo y Miguel Tain.

Por tanto, no conviene olvidar que los cuadernos y manuales de cantería del quinientos tienen un carácter vicario, subrogado: recogen en papel dibujos pensados para ser realizados en muros y suelos, y al hacerlo reciben algunas de las características de estas monteas. En primer lugar, se trata por lo general de dibujos introspectivos, preparados muchas veces por los mismos artífices que han de llevarlos a la práctica; es decir, no tienen por misión transmitir órdenes a los ejecutores, sino fijar la idea que tiene en mente el maestro.¹¹ A partir del Renacimiento destaca especialmente otra misión, la de determinar la verdadera forma de algunos elementos por operación gráfica, como las caras de intradós, lecho o testa de las dovelas, que no se deducen automáticamente del trazado general, pero esto no les quita un ápice de su condición ensimismada. Este carácter no representativo, unido a las dificultades de la ejecución de estos trazados, justifica una economía extrema. Se comprende fácilmente que trazar a gatas o desde un andamio no es tarea cómoda; por tanto, los canteros evitan por lo general incluir en la montea cualquier línea innecesaria. Como consecuencia, lo que a veces parecen dibujos incompletos incluyen todas las líneas necesarias para construir una pieza, pero sólo las estrictamente necesarias, hasta resultar abstrusos al lego.

Por otra parte, la configuración geométrica de las piezas representadas en la montea se transfería a la piedra que se estaba labrando mediante moldes o plantillas, generalmente de madera, metal, o papel. Las plantillas de madera son rígidas por definición, pero las restantes pueden emplearse de dos formas. En ocasiones se colocaban sobre un plano labrado con ayuda de la regla, que se podía *afondar* posteriormente para obtener una superficie, y en este caso se pueden asimilar conceptualmente a las plantillas rígidas construidas en madera. En otros casos las plantillas de papel, cartón, o estaño se aplicaban sobre una superficie cilíndrica, esférica o de otro tipo, materializando con mayor o menor precisión geométrica la idea de desarrollo de las superficies.¹² En ocasiones, la forma prefigurada

¹¹ Existen excepciones, como la muy detallada montea tardogótica de la parroquial de Szydłowiec, hoy en Polonia, que probablemente tenía la intención de obtener la aprobación del cliente, pues no es fácil explicar de otra manera su laboriosa ejecución. Véase BRYKOWSKA, M., "Quadratur des spätgotischen Gewölbes im Chorraum der Pfarrkirche zu Szydłowiec/Polen", *Architectura*, 2, 22, 1992, pp. 101-108.

¹² DE L'ORME, PH., *Le premier tome de l'Architecture*, Paris, Federic Morel, 1567, f. 54 v-57 r; SHELBY, L. R., "Medieval masons' templates", *Journal of the Society of Architectural Historians*, 30, 1971, pp. 140-154; PALACIOS GONZALO, J. C., *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*, 1990, 2ª ed. 2003, Madrid, Munilla-Lería, espec. pp. 17-20; RABASA DÍAZ, E., "Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI", en Casas Gómez, A., Huerta Fernández, S. y Rabasa Díaz, E., *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1996, pp. 423-434 y espec. 429; RABASA DÍAZ, E., *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid, Akal, 2000, espec. pp. 172-175.

en, u obtenida del trazado se transportaba a la piedra, o se comprobaba el progreso de la ejecución, por medio de otros instrumentos, como la cercha o regla de borde curvo; el baivel, una escuadra con un brazo recto y otro curvo, que puede ser fijo o ajustable; la saltarregla, un transportador de ángulos con forma de compás [fig. 3]; perfiles o contraplantillas, escuadras, etc.¹³

Es cierto que las construcciones de la geometría de Euclides, parten de la condición material del empleo exclusivo de la regla y el compás, pero están por lo general más orientadas a demostrar un aserto que a resolver los problemas que puede encontrar el que dibuja, y aún menos el que traza sobre muros y pavimentos. Tomemos como ejemplo la construcción de rectas paralelas; la solución euclidiana [fig. 4], basada en el empleo de una recta oblicua a la recta dada, es excesivamente laboriosa y proclive a errores en la práctica del dibujo, ya sea a escala reducida o a tamaño natural.¹⁴ Casi todos los tratadistas canteriles comienzan sus esquemas trazando la referencia de una horizontal y una vertical que pueden servir para trasladar esas direcciones con escuadras. Es decir, como es lógico, se emplea la escuadra fija, menos susceptible de errores que la saltarregla ajustable. O bien contemplemos el proceso que propone Euclides para encontrar el punto medio de un segmento, que, lejos de limitarse al trazado de la mediatriz que conocen nuestros escolares, requiere un gran rodeo para convencer al lector de lo correcto del razonamiento.¹⁵

¹³ SHELBY, L. R., "Medieval mason's tools: compass and square", *Technology and Culture*, 6, 2, 1965, pp. 236-248; PALACIOS, J. C., *Trazas y cortes de cantería*, op. cit., pp. 17-20; CALVO LÓPEZ, J., "Entre labra y traza. Instrumentos geométricos para la labra de la piedra de sillería en la Edad Moderna", en *Actas del VI Congreso Nacional de Profesores de Materiales de Construcción de Escuelas de Arquitectura Técnica*, Sevilla, Asociación de Profesores de Materiales de Construcción, 2001, pp. 107-120; CALVO LÓPEZ, J. y ROS SEMPERE, M., "Los instrumentos de los canteros en la transición del gótico al Renacimiento", en Alonso Ruiz, B. (ed.), *La arquitectura tardogótica castellana entre Europa y América*, Madrid, Sílex, 2011, pp. 427-433.

¹⁴ EUCLIDES, *Elementos*, libro I, proposición 31. Dada una recta CB, se ha de trazar por un punto D de esta recta otro segmento de recta DA, que forme un ángulo arbitrario con CB; hecho esto, se debe trazar una tercera recta ZE por el punto A, de forma que el ángulo DAZ que forma la segunda recta con la tercera sea igual al que determinan la primera y la segunda en ADB; en este caso, las rectas CDB y ZAE serán paralelas, por ser iguales los ángulos alternos internos DAZ y ADB. Los ángulos DAZ y ADB se materializarían mediante una saltarregla, es decir, un transportador de ángulos con forma de compás, que presenta cierta variabilidad. Ginés Martínez de Aranda utiliza un método para el trazado de paralelas que puede resultar extraño a nuestros ojos. Al presentar un procedimiento para resolver el arco esviado, traza una línea aparentemente innecesaria, pero explica al lector que se ha de emplear como juzgo para construir una serie de líneas paralelas entre sí y perpendiculares al juzgo [MARTÍNEZ DE ARANDA, G., "Cerramientos y trazas de montea", 1600 ca., pl. 16-17 (facsimilar, J. Mañas y A. Bonet Correa, eds., Madrid, Servicio Histórico del Ejército, CEHOPU, 1986); véase también CALVO LÓPEZ, J., 'Cerramientos y trazas de montea' de Ginés Martínez de Aranda, Tesis doctoral, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 2000, vol. 2, pp. 76-82].

¹⁵ EUCLIDES, *Elementos*, libro I, proposición 10. El procedimiento de Euclides comienza con la construcción sobre el segmento de un triángulo equilátero que lo tiene por lado, para trazar la perpendicular desde el tercer vértice, pasando para ello por la determinación de la bisectriz del ángulo

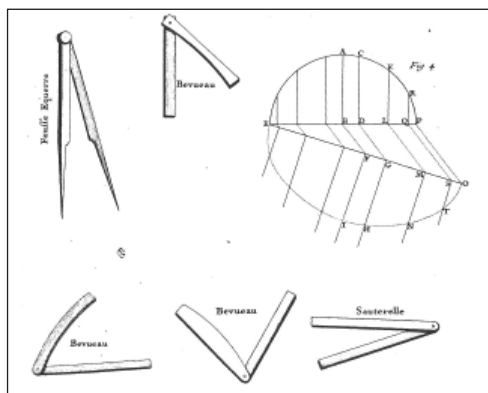


Fig. 3. Baiveles y saltarreglas. Jean-Baptiste de la Rue, *Traité de la coupe des pierres*, 1728.



Fig. 4. Construcción de rectas paralelas. *Euclides*, *Los seis libros primeros de la geometría de Euclides*, traducidos en lengua española por Rodrigo Zamorano, Sevilla, 1576.

Todo esto ha llevado a Shelby y Sanabria a postular que la geometría de los canteros medievales no es ni la geometría euclidiana ni la geometría práctica medieval de eruditos como Hugo de San Víctor, Gundisalvo o Fibonacci, sino una *geometría constructiva*, de carácter operativo y más interesada en los procedimientos que se pueden desarrollar con regla, compás y cuerdas, que en las demostraciones, que por supuesto están ausentes del cuaderno de Villard o los folletos de Roriczer.¹⁶

Es cierto que los tratadistas de arquitectura y cantería del Renacimiento mencionan con frecuencia a Euclides. Philibert de l'Orme cita la traducción de los *Elementos* por François de Candale o las lecciones de Charpentier, La Rameé y Forcadel en la universidad de París; sin embargo su exposición abunda en llamadas a la experiencia, la construcción de maquetas de comprobación (que se designa con el término *contrefaire*, con equivalentes en el castellano *contrahacer* y el catalán *contrafer*) y el entendimiento personal de los procesos por mera repetición e inducción. Alonso de Vandelvira dice que expone varias definiciones y proposiciones

de este vértice (lo que requiere recordar otra proposición anterior). En la construcción habitual se traza simplemente la mediatriz del segmento. La construcción de los *Elementos* requiere, si realmente se siguen sus instrucciones, trazar cinco arcos de compás (fijando la apertura en dos de ellos) y tres segmentos; la habitual dos arcos y un segmento. Véase también RABASA DÍAZ, E., "Traza, descripción, razón. Lenguaje y grafismo en los tratados de corte de piedras", en Rodríguez Ortega, N. y Taín Guzmán, M. (eds.), *Teoría y literatura artística en España: revisión historiográfica y estudios contemporáneos*, Madrid, Academia de San Fernando, 2015, pp. 459-494.

¹⁶ SHELBY, L. R., "Geometrical knowledge...", *op. cit.*, p. 420-421; SANABRIA, S. L., *The evolution and late transformations...*, *op. cit.*, pp. 7-8; VICTOR, S., *Practical Geometry in the High Middle Ages*, Philadelphia, 1979.

euclidianas en la introducción de su manuscrito, aunque realmente se limita a aclarar la equivalencia entre el lenguaje geométrico y el canteril.¹⁷

El uso práctico de las construcciones de la geometría culta en los textos de la cantería es muy limitado, y las demostraciones brillan por su ausencia no sólo en los cuadernos españoles, sino también en el tratado del culto jesuita Derand.¹⁸ Es cierto que todos ellos conocen el método euclidiano para hallar el centro de una circunferencia de la que se conocen tres puntos, que recibe en Philibert la expresiva denominación de *trois points perdus*, pero lo emplean en ocasiones con fines contradictorios con la geometría clásica. En concreto, Vandelvira y Martínez de Aranda lo usan para unir los puntos de una elipse obtenidos por doble afinidad o proyección, tomándolos de tres en tres; es decir, se construye una aproximación a la elipse por medio de una serie de arcos de círculo. Gelabert explica la manera de encontrar la circunferencia que pasa por tres puntos, y también el modo de encontrar el centro de un arco, sin advertir de que se trata conceptualmente de lo mismo.¹⁹

Si en el campo de la geometría plana se hace un uso muy limitado de Euclides, en la geometría del espacio los métodos de los canteros se separan radicalmente de la tradición culta y adoptan conceptos y procedimientos muy innovadores basados en la proyección ortogonal, que a la larga darán lugar a la aparición de la geometría descriptiva y la proyectiva, dos ramas fundamentales del corpus de la geometría moderna. No se suele poner de manifiesto que la geometría euclidiana no emplea el concepto de proyección ortogonal, ausente también a efectos prácticos en el dibujo de arquitectura grecorromana; no podemos entender como evidencia de proyección la representación de objetos que están en el mismo plano, como la conocida montea del frontón del Pantheon en el mausoleo de Augusto.²⁰ Un paso hacia la concepción moderna de la proyección ortogonal moderna será la representación de objetos dispuestos en planos diferentes, como ocurre en los dibujos del cuaderno de Villard

¹⁷ DE L'ORME, PH., *Le premier tome...*, *op. cit.*, f. 116 r; VANDELVIRA, A., *Tratado de arquitectura...*, *op. cit.*, f. 3 v; SERLIO, S., *Il primo libro d'architettura*, Paris, Iehan Barbé, 1545, f. 20; RABASA DÍAZ, E., "Traza, descripción, razón...", *op. cit.*

¹⁸ DERAND, F., S. I., *L'Architecture des voûtes ou l'art des traits et coupe des voûtes...*, Paris, Sébastien Cramoisy, 1643.

¹⁹ DE L'ORME, PH., *Le premier tome...*, *op. cit.*, f. 55 r, 56 v; VANDELVIRA, A., *Tratado de arquitectura...*, *op. cit.*, f. 18 v; MARTÍNEZ DE ARANDA, G., "Cerramientos y trazas...", *op. cit.*, p. 2; GELABERT, J., *De l'art de Picapedrer*, manuscrito 1653, ff. 147 v, 148 r, 148 v, 149 r, (facsimil, Palma de Mallorca, Diputación, 1977); RABASA DÍAZ, E., *El manuscrito de cantería de Joseph Gelabert*, Madrid, Fundación Juanelo Turriano, Colegio de Arquitectos de Islas Baleares, 2011, pp. 404-407.

²⁰ HASELBERGER, L., "The Hadrianic Pantheon...", *op. cit.*; INGLESE, C., "Il tracciato di cantiere dell'Augusteo in Roma: integrazione di metodologie di rilievo", *Disegnare Idee Immagini*, 23, 46, 2013, pp. 64-73.

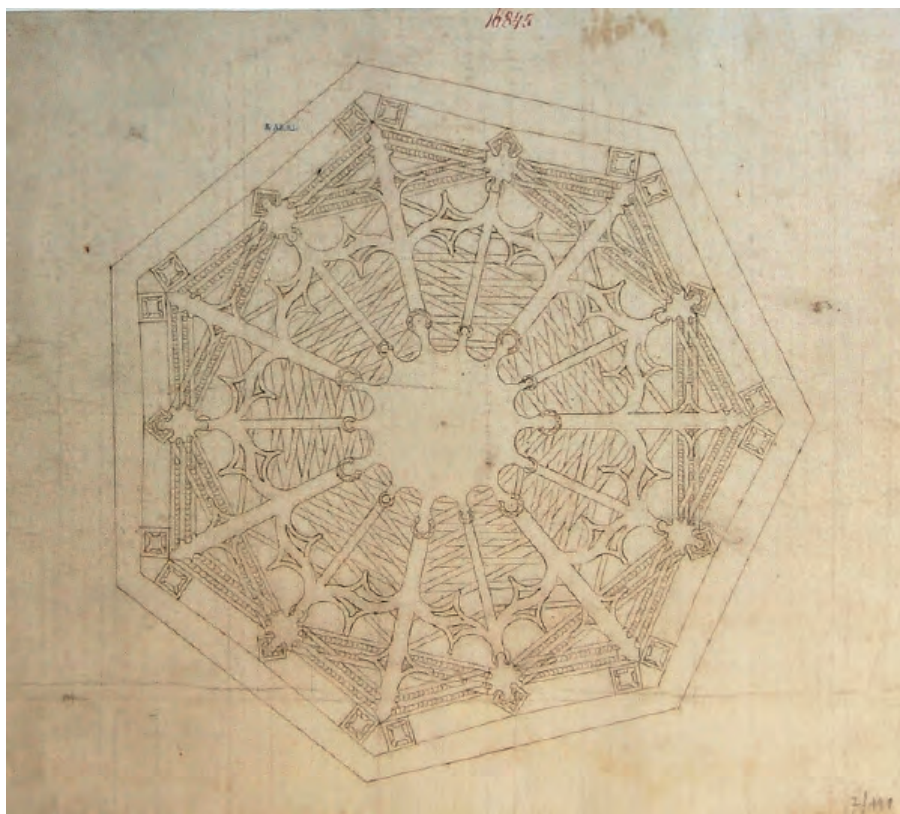


Fig. 5. Planta de la pila bautismal de la catedral de Estrasburgo. Jodok Dotzinger, 1451-1453. Viena, Academia de Bellas Artes, Gabinete de dibujos y estampas, n. 16845.

de Honnecourt cuando muestra los alzados interiores y exteriores de la catedral de Reims.²¹

Pero la representación del escorzo en proyección ortogonal y a la luz de nuestros estándares tardará en aparecer manejada con soltura. Los balbuceos de cualquier actividad humana son torpes; nadie aprende a montar en bicicleta el primer día. Lo importante es que los canteros góticos emplean la proyección ortogonal cuando resuelve sus problemas, y recurren a otros métodos cuando sus necesidades lo precisan. En concreto la proyección de diversos niveles sobre un mismo plano horizontal no parece presentar problemas [fig. 5]. Con la proyección sobre planos verticales no ocurre lo mismo.

²¹ HONNECOURT, V. DE, "Carnet", ca. 1225, Biblioteca Nacional de Francia, MS fr 19093, f. 15 r, 31 v.

El alzado sienés de un campanario [fig. 6], quizá copia del proyecto de Giotto para el campanile de Florencia, muestra un remate octogonal dibujado en correctísima proyección ortogonal;²² de hecho, hace sospechar que se ha empleado en su construcción la doble proyección ortogonal, partiendo de una planta no incluida en el dibujo. Mientras, los alzados de fachadas con elementos oblicuos realizados por constructores admiten licencias, bien por desconocimiento, bien por no entrar en complicaciones. Sanabria señala la incorrección del dibujo de la flecha de la catedral de Estrasburgo de Johann Hultz [fig. 7], hacia 1419.²³ La “correcta” representación de un rosetón integrado en la flecha y dispuesto en un plano inclinado y esviado al mismo tiempo exige unos conocimientos de geometría proyectiva que nadie barruntaba en aquel tiempo. Pero además, una representación en proyección ortogonal según los impecables criterios ilustrados [fig. 8] hubiera sido probablemente inútil a Hultz.

A partir de la sistematización ilustrada de la geometría descriptiva por Monge²⁴ tendemos a pensar en los conceptos de proyección horizontal y vertical como opuestos o simétricos. Pero nada más lejos de la realidad. Todos los planos horizontales son paralelos, pero no ocurre lo mismo con los verticales, que pueden ser oblicuos o perpendiculares entre sí; a la inversa, todas las rectas verticales son paralelas, pero no se puede decir lo mismo de las horizontales. A mayor abundamiento, la dirección vertical se materializa en el hilo de la plomada. Por tanto, el concepto simétrico de “lo horizontal” no es “lo vertical”, sino “lo frontal”; en Francia se llamaba *géométral* exclusivamente a la planta, y más modernamente es relativamente frecuente hablar de proyección frontal más que de proyección vertical.²⁵

Entrando en los dibujos propios de los cortes de piedras, la lentitud del proceso que lleva a las concepciones modernas se hace más evidente. Tomemos el dibujo de una bóveda de crucería [fig. 9] del *Libro de arquitectura* de Hernán Ruiz.²⁶ Frente a la planta, dibujada en correcta proyección ortogonal, lo que ocupa el lugar del alzado puede parecer a nuestros ojos

²² ASCANI, A., “Le dessin d’architecture médiéval en Italie”, en *Les bâtisseurs...*, *op. cit.*, pp. 266-268.

²³ RECHT, R. *et al.*, *Dessins. Cathédrale de Strasbourg*, Strasbourg, Éditions des Musées de Strasbourg, 2015; SANABRIA, S. L., “A Late Gothic Drawing of San Juan de los Reyes in Toledo at the Prado Museum in Madrid”, *Journal of the Society of Architectural Historians*, 51, 2, 1992, pp. 161-174, espec. pp. 168-169.

²⁴ MONGE, G., *Géométrie descriptive, leçons données aux Écoles normales...*, Paris, Baudouin, 1798.

²⁵ Véase, por ejemplo, un manual significativo, el de AUBERT, J., *Cours de dessin d’architecture a partir de la Géométrie Descriptive...*, Paris, Éditions de la Vilette, 2 ed., 1982, p. 14.

²⁶ RUIZ EL JOVEN, H., “Libro de Arquitectura”, 1550 *ca.*, f. 46 v, [facsimil, Jiménez Martín, A., *et al.* (eds.), Sevilla, Fundación Sevillana de Electricidad, 1988]; RABASA, E., “Técnicas góticas y renacentistas...”, *op. cit.*, pp. 427-429.



Fig. 6. Alzado de un campanario; probablemente proyecto para el campanario de la catedral de Siena, ca. 1340.

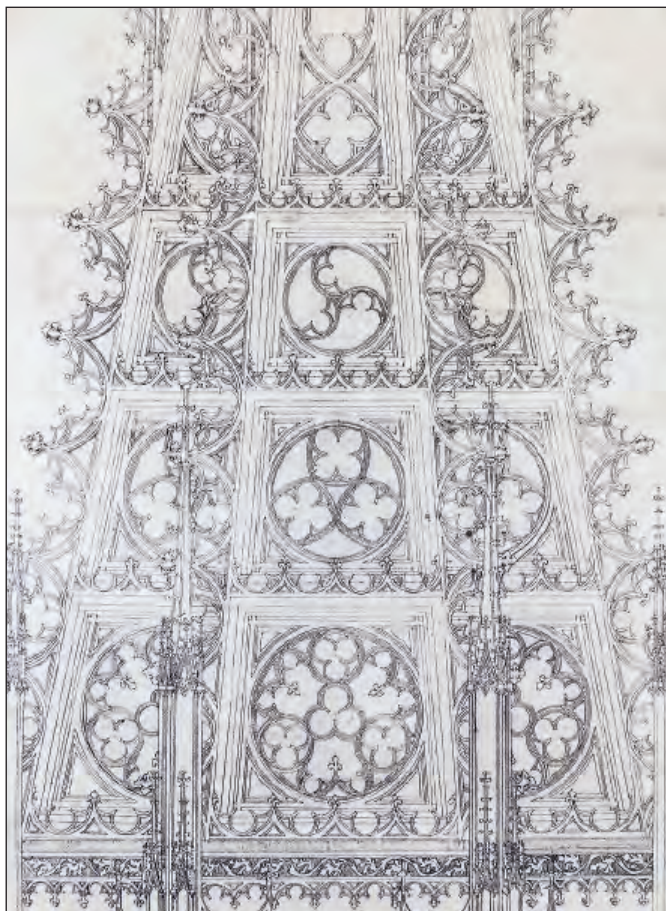


Fig. 7. Flecha de la catedral de Estrasburgo. Dibujo de Johann Hültz, ca. 1419, hoy perdido. Copia s. XIX, Musée de l'Oeuvre Notre-Dame, Estrasburgo.

como una mezcla desarticulada de formeros, ojivos, terceletes y ligaduras llevados a un mismo plano, de manera que todos y cada uno muestran en verdadera forma la directriz del nervio, pues no se representan sus grosores. Por supuesto, es necesario asegurar mediante líneas horizontales que los elementos que se han de encontrar en una clave están al mismo nivel. La proyección ortogonal moderna mostraría en escorzo los nervios oblicuos, como los ojivos y terceletes, pero eso resulta inútil para su control formal: con una sección correcta y sombreada como la que dibujaría Rondelet quizá tuviéramos ilusión de presencia real, pero seguiría siendo más útil trazar además cada uno de los arcos en posición frontal.

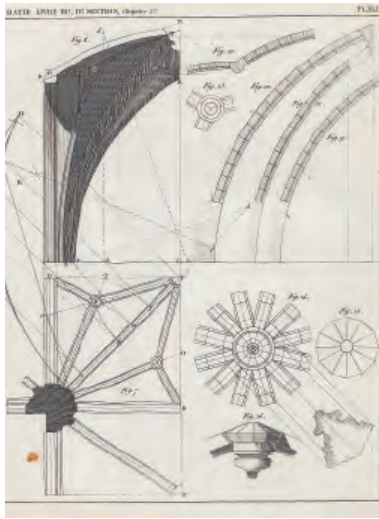


Fig. 8. Alzado sombreado de una bóveda de crucería. Jean-Baptiste Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, 1828.

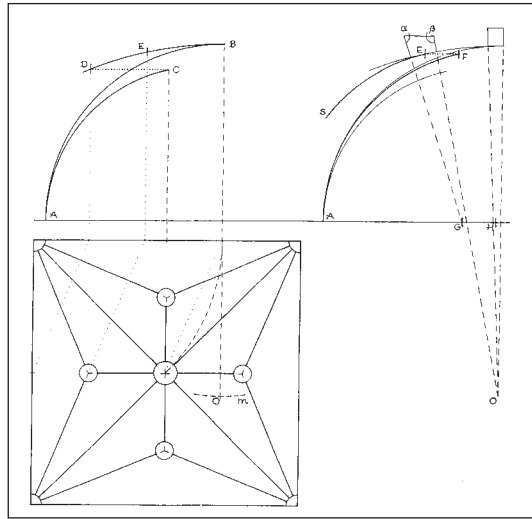


Fig. 9. Planta y determinación de la curvatura de los nervios de una bóveda estrellada. Hernán Ruiz, *Libro de arquitectura*, ca. 1550. Dibujo de Enrique Rabasa.

Esta forma de abordar el problema de la bóveda de crucería llegaría a ser canónica en el ámbito ibérico y francés; de hecho, la solución de Ruiz se mantiene en lo esencial en los tratados de estereotomía franceses hasta llegar a la época de Frézier, en los albores de la Ilustración.²⁷

Aunque el concepto permanecerá, la disposición de las elevaciones de los nervios en los dibujos de Ruiz y los tratadistas franceses presenta variantes. Philibert de l'Orme ofrece girada la planta de la bóveda para disponerla como el diamante de la baraja francesa, lo que puede indicar una voluntad de correlacionar planta y alzado de los ojivos, pero lo cierto es que dibuja las elevaciones sin atender a tal correspondencia. En algunos manuscritos de la Corona de Aragón, como el cuaderno jacetano de los hermanos Tornés, es el centro de los ojivos lo que se correlaciona, como

²⁷ DERAND, F., *L'Architecture des voûtes...*, op. cit., p. 392-395; MILLIET-DECHALLES, C.-F., *Cursus seu mundus mathematicus*, Lugduni, Officina Anissoniana, 1674, p. 680; FRÉZIER, A.-F., *La théorie et la pratique de la coupe des pierres... ou traité de stéréotomie*, Strasbourg-Paris, Jean Daniel Doulsseker-L. H. Guerin, 1737-1739, III, pp. 23-39, lámina 71. Véase también ROUSTEAU, H., "A. F. Frézier, ou le regard d'un ingénieur du XVIIIe siècle sur le gothique", *Cahiers de recherches médiévales et humanistes*, 2, 1996, pp. 119-125; RABASA DÍAZ, E. et al. "Trazado de bóvedas en las fuentes primarias del tardogótico", en Huerta, S. y López Ulloa, F. (eds.), *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2015, pp. 1.399-1.408; CALVO-LÓPEZ, J., "The Geometry of the Rib Vault in Early Modern Iberian and French Literature", en Nobile, M. R. (ed.), *Techniche costruttive nel mediterraneo. Della stereotomia ai criteri antisismici*, Palermo, Edizioni Caracol, (en prensa).

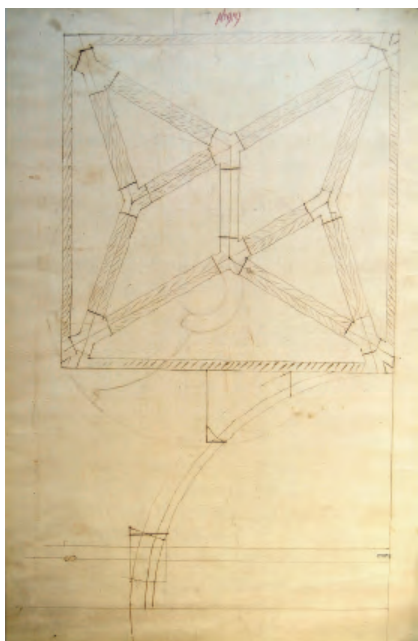


Fig. 10. Planta de una bóveda estrellada asimétrica con determinación de la curvatura de los nervios. Viena, Academia de Bellas Artes, Gabinete de dibujos y estampas, n. 16919.

si se hubiera hecho girar en torno al eje vertical que pasa por la clave principal. Y en uno de los raros trazados de cantería para bóvedas de crucería conservados, el de las bóvedas de la sacristía de la catedral de Tui, ya del siglo XVIII, los ojivos, terceletes y formeros se representan independientemente. Todo esto nos lleva a pensar que las representaciones de Ruiz, De l'Orme o los hermanos Tornés no recogen hasta el último detalle la práctica a pie de obra, sino que intentan ordenar las elevaciones con voluntad didáctica, mientras que los maestros de Tui simplemente trazaron las directrices de los arcos donde les permitió el escaso espacio disponible. En cualquier caso, nos encontramos ante una variedad de disposiciones gráficas, pero todas tienen en común la representación de las directrices de los nervios en verdadera forma, sin preocupación por ofrecer una proyección vertical.²⁸

Esto resulta evidente en los cuadernos tardogóticos alemanes, que a primera vista ofrecen soluciones más complejas [fig. 10]. Por una parte, resulta frecuente la representación del grosor de los nervios, como también ocurre en el tratado de De l'Orme y en los manuscritos de la corona de Aragón, pero el elemento central del sistema de control formal es la directriz de cada arco, a la que se ha dado el nombre de *Prinzipalbogen*. El término se emplea en singular, porque la complejidad de las *Netzgewölbe* germánicas hace incómodo representar en un trazado a tamaño natural todos y cada uno de los nervios diferentes de cada bóveda. Por el contrario, es frecuente emplear un arco único para toda una serie de nervios, que en ocasiones representan un itinerario que arranca del enjarje y llega hasta la clave más alta. Podemos imaginar que los diversos nervios que forman el itinerario, por ejemplo un tercelete y una ligadura, que

²⁸ DE L'ORME, PH., *Le premier tome...*, *op. cit.*, ff. 107 r-108 v; JUAN GARCÍA, N., *Trazas y diseños: el manuscrito de la familia Tornés, su aportación al arte de la Edad Moderna y su vinculación con la tratadística arquitectónica*, Sariñena, Nalvay, 2013; TAÍN-GUZMÁN, M., "Stonecutters' literature...", *op. cit.*, espec. p. 2.

se disponen en el espacio en distintos planos verticales, se despliegan en el trazado para ir al plano del pavimento o la pared como si fueran un biombo japonés, en una ilustrativa metáfora de Jos Tomlow.²⁹ Al fin y al cabo, lo que tenemos en Hernán Ruiz o en Philibert de l'Orme, en los cuadernos aragoneses o en los alemanes, son, no sistemas, pero sí recursos gráficos suficientes, que parten de la proyección ortogonal en planta, pero que son muy diferentes de la proyección frontal que se convierte en canónica a partir de la Ilustración.

Puede resultar desconcertante comprobar que Alonso de Vandelvira emplea una estrategia gráfica semejante para la representación de escaleras claustrales [fig. 11]. Estas escaleras de varios tramos coordinados entre sí recogen desde el punto de vista constructivo una larga tradición mediterránea, que arranca de la escalera de la Reina en el palacio de los reyes de Mallorca de Perpiñán y tiene algunos de sus puntos más brillantes en el gótico valenciano. A primera vista, las escaleras de Vandelvira parecen estar representadas en una impecable proyección ortogonal; pero si las comparamos con la representación del mismo tipo en Fray Laurencio de San Nicolás [fig. 12], comprenderemos que la claridad meridiana de los dibujos de Vandelvira esconde un recurso heterodoxo. Todas las rampas se representan lateralmente, como si se tratara de una escalera de dos tramos, cuando la planta indica claramente que no es así; de acuerdo con nuestras convenciones, en los tramos que se dirigen perpendicularmente al espectador el dibujo no debería mostrar el perfil de la zanca, sino únicamente una sucesión de escalones. Dicho de otro modo, Alonso de Vandelvira ha desplegado los tramos de la escalera, como hace con los nervios de la bóveda de crucería, para aclarar las coordinaciones entre ellos y mostrar la verdadera forma de sus líneas relevantes.³⁰

En contraste con todo esto, la introducción del Renacimiento en el ámbito ibérico hizo necesaria la puesta a punto, en pocas décadas, de métodos novedosos para la materialización del vocabulario formal clásico en piedra de cantería. Ante este reto, ni los maestros constructores autóctonos de formación medieval ni los artistas figurativos formados en el medio itálico contaban con precedentes claros por los que guiarse. Como se ha señalado en infinidad de ocasiones, en Italia central la piedra se emplea en almohadillados, columnas o portadas, pero las bóvedas se ejecutan casi siempre en ladrillo. Por el contrario, en España y Francia

²⁹ SANABRIA, S. L., *The evolution and late transformations...*, *op. cit.*, p. 94-105; TOMLOW, J., "On Late-Gothic Vault Geometry", en Nowacki, H. y Lefèvre, W. (eds.), *Creating Shapes in Civil and Naval Architecture. A Cross-Disciplinary Comparison*, Leiden-Boston, Brill, 2009, pp. 193-219, espec. pp. 194-199.

³⁰ VANDELVIRA, A., *Tratado de arquitectura...*, *op. cit.*, ff. 56 v-60 v; SAN NICOLÁS, FR. L. DE, *Arte y uso de Arquitectura*, Madrid, 1639, f. 119 r.

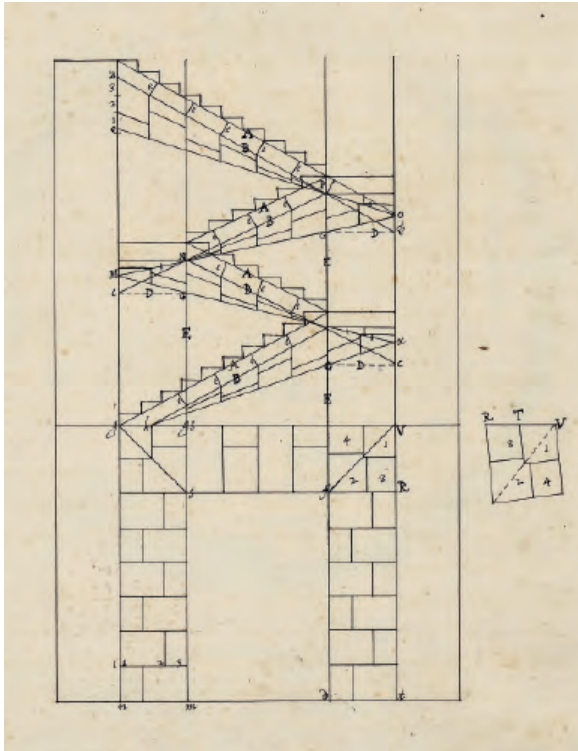


Fig. 11. Escalera aduicida a regla. Alonso de Vandelvira, Libro de trazas de cortes de piedras, ca. 1585. Copia de Felipe Lázaro de Goiti, 1646. Madrid, Biblioteca Nacional de España, Ms. 12.719.

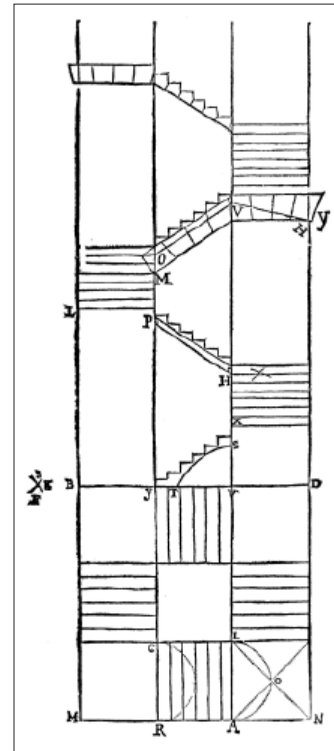


Fig. 12. Escalera de zancas rectas. Fray Laurencio de San Nicolás, Arte y uso de arquitectura, 1639.

la piedra de cantería era portadora de un valor simbólico, aristocrático, al que los comitentes no estaban dispuestos a renunciar.

Ahora bien, la ejecución de bóvedas renacentistas en piedra de cantería, materializadas mediante piezas enterizas, plantea problemas muy diferentes a la construcción gótica basada en una red de nervios y una plementería. La dovela del nervio gótico se puede tallar partiendo de un bloque al que se da forma de cuña mediante la saltarregla o el baivel; a continuación, se coloca la plantilla de lecho en las dos caras de la cuña y se labran las molduras de la dovela controlando su trazado con cerchas que pasan de una cara de lecho a la otra.³¹ Plantilla de su perfil y curvatura de su directriz es lo único que el cantero necesita. Por el contrario, la labra de las piezas más complejas de una bóveda renacentista, como

³¹ RABASA DÍAZ, E., *Guía práctica de la estereotomía de la piedra*, León, Editorial de los Oficios, 2007, pp. 106-107.

puede ser la dovela de una bóveda de naranja, requiere otros instrumentos de control formal. Como se ha expuesto en muchas ocasiones, los tratados distinguen entre dos estrategias de labra bien diferentes, la talla por robos o por escuadría y la labra directa o por plantillas.³² No es tan frecuente señalar que la distinción es fundamentalmente didáctica, y que existen procedimientos que mezclan las dos estrategias.

Como todo tiene precedentes y la talla de la piedra es una disciplina aplicada sobre una realidad material con limitaciones y exigencias, las dos estrategias se relacionan con la técnica gótica. En el caso de la talla de las claves de las bóvedas de crucería, desde Robert Willis se admite que una superficie horizontal situada en la parte superior del bloque sirve para contener referencias y definir espacialmente el volumen que se desarrolla en el bloque que limita, donde también desempeñan un papel esencial las plantillas de lecho. Las piedras del enjarje se obtienen a partir de trazados dispuestos en los lechos previamente tallados. Así pues, hay algunos puntos comunes con el procedimiento de escuadría.³³

También se suele contraponer la red lineal gótica con la concepción volumétrica renacentista,³⁴ pero esta afirmación debe ser matizada, pues al fin y al cabo, el control formal de la superficie renacentista se lleva a cabo necesariamente mediante una red de juntas, que más adelante darán lugar a los conceptos de generatriz y directriz, esenciales en la representación de superficies en la geometría descriptiva.

Ahora bien, existe otra diferencia sutil pero profunda entre los métodos góticos y los renacentistas. La plantilla de lecho del nervio gótico es un dato del problema, pues el maestro la puede elegir a su criterio; por el contrario, las plantillas de intradós y de lecho de las bóvedas renacentistas son el resultado de una serie de factores, como la forma general de la bóveda y el despiece elegido.³⁵ Por tanto, en general no se pueden tomar directamente de una representación de la bóveda en proyección ortográfica. La plantilla ha de representar el perímetro de la cara de intradós o de lecho de la dovela, que por lo común se encuentra

³² DERAND, F., *L'Architecture des voutes...*, *op. cit.*, pp. 3, 5; FRÉZIER, A.-F., *La théorie et la pratique...*, *op. cit.*, II, pp. 12-16; PALACIOS, J. C., *Trazas y cortes de cantería...*, *op. cit.*, pp. 18, 20.

³³ WILLIS, R., "On the construction of the Vaults of the Middle Ages", *Transactions of the RIBA*, 1842, vol. I, part 2 (reimpreso en Londres, RIBA, 1910); RABASA, E., *Forma y construcción en piedra...*, *op. cit.*, p. 158; CALVO LÓPEZ, J., "Orthographic projection and true size in Spanish stonemasonry manuscripts", en Huerta Fernández, S. (ed.), *Proceedings of the First...*, *op. cit.*, pp. 461-471.

³⁴ CHOISY, A., *Histoire de l'architecture*, Paris, Gauthier-Villars, 1899, vol. 2, 704 entiende que el Renacimiento invierte el problema, estableciendo superficies y encontrando sus líneas de intersección; LÓPEZ MOZO, A. *et al.*, "La línea en el control material de la forma", en Huerta Fernández, S. *et al.*, *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2011, pp. 743-754.

³⁵ CALVO LÓPEZ, J., "Los instrumentos de los canteros...", *op. cit.*, p. 425.

idealmente en planos inclinados, oblicuos o ambas cosas a la vez, y por tanto no aparece inmediatamente en verdadera magnitud ni en planta ni en alzado. Lo anterior se aplica a arcos, capialzados o trompas; en el caso de las bóvedas, es frecuente que las superficies no sean planas y las plantillas no sean rígidas, lo que exige abordar el problema de su desarrollo. Todo esto llevó a los maestros renacentistas a poner a punto, en el plazo de unas pocas décadas, todo un arsenal de métodos geométricos para la construcción de estas plantillas, movimientos que ahora interpretamos como giros y abatimientos de planos, y la aplicación a la cantería de los desarrollos de superficies cónicas, que posteriormente pasaron a formar parte de los métodos de la geometría descriptiva.

Los préstamos de la tradición medieval en la cantería renacentista a los que nos hemos referido son los que probablemente llevaron a algunos autores a postular en los años ochenta y noventa del pasado siglo la visión de este saber como retardatario, estático y meramente artesanal. Pero lo curioso del caso es que algunas de las técnicas ideadas para la ejecución de piezas clásicas como la bóveda de naranja, las plantillas obtenidas por desarrollo de conos, se reutilizan por Alonso de Vandelvira y Alonso de Guardia para el control formal de las bóvedas de crucería de rampante redondo.³⁶ Todo esto indica la velocidad de la progresión técnica, mayor aún que la evolución estilística, pues algunos métodos renacentistas se aplican a las bóvedas góticas ya en el siglo XVI.

Otro campo donde se encuentran las soluciones góticas y renacentistas es el de la construcción de bóvedas de casetones netamente clásicas materializadas mediante una retícula de nervios sobre la que apoya una plementería [fig. 13], conocidas como bóvedas por cruceros.³⁷ Nos

³⁶ VANDELVIRA, A., *Tratado de arquitectura...*, *op. cit.*, ff. 60 v-61 v, 94 v-97; GUARDIA, A., "Rasguños de arquitectura y cantería", *ca.* 1600, f. 69 v, 85bis r, (Madrid, Biblioteca Nacional de España, ER/4196. Se trata de una serie de dibujos y textos en las páginas libres, y en ocasiones sobre las impresas, de un ejemplar facticio de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principi, duchi, signori... Libro secondo*, Venezia, 1566 y *Imprese di diversi principi, duchi, signori...*, Venezia, 1568, del mismo autor). Véase también RABASA DÍAZ, E., "Técnicas góticas y renacentistas...", *op. cit.*, y CALVO LÓPEZ, J., "Los rasguños de Alonso de Guardia y la práctica de la cantería española en la Edad Moderna", en Rodríguez Ortega, N. y Taín Guzmán, M. (eds.), *Teoría y literatura artística...*, *op. cit.*, pp. 411-457.

³⁷ VANDELVIRA, A., *Tratado de arquitectura...*, *op. cit.*, ff. 97 v-102 r, 103 v, 104 v-105 r, 106 v-107 r, 125 r-v; GUARDIA, A., "Rasguños...", *op. cit.*, f. 89 v. Véase también BRAVO GUERRERO, S. C., "Bóvedas cuadradas por cruceros en España y México", en Huerta Fernández, S. et al., *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2009, pp. 235-242; BRAVO GUERRERO, S. C. y PALACIOS GONZALO, J. C., "Crossing Trellis Vaults in Spain and Mexico", en *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, Cottbus, Brandenburg Technical University, 2009, pp. 235-243; BRAVO GUERRERO, S. C., "Bóvedas por cruceros. Clasificación geométrica", en Huerta Fernández, S. et al., *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2011, pp. 161-167; PALACIOS, J. C. y BRAVO GUERRERO, S. C., "Diseño y construcción de las bóvedas por cruceros en España durante el siglo XVI", *Informes de la Construcción*, 65, Extra-2, 2013, pp. 81-94.

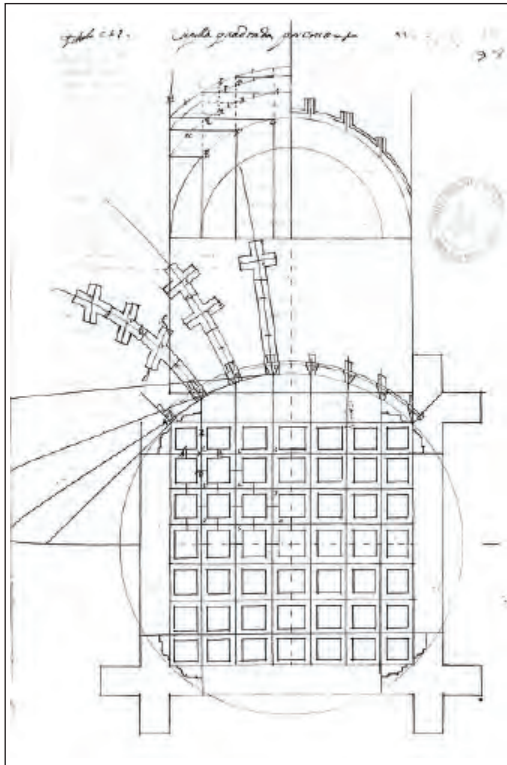


Fig. 13. Capilla cuadrada por cruceros. Alonso de Vandelvira, Libro de trazas de cortes de piedras, ca. 1580. Ejemplar de fecha indeterminada. Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, R-10.

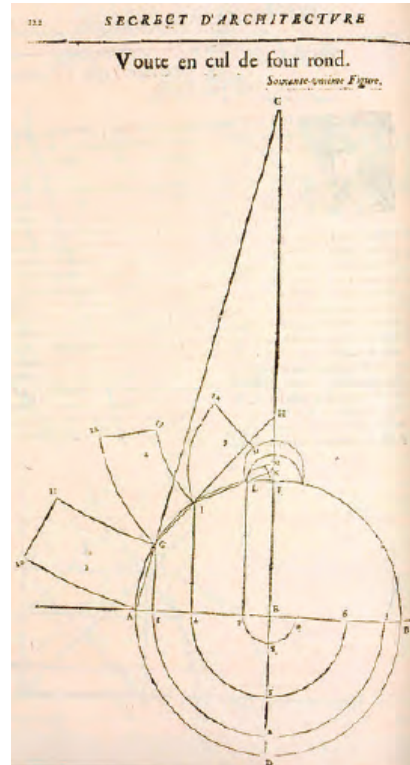


Fig. 14. Bóveda de naranja. Mathurin Jousse, Le secret d'architecture, 1642.

encontramos en teoría ante una solución constructiva gótica para un modelo formal clásico; ahora bien, conviene analizar en detalle el método propuesto para estas bóvedas por Vandelvira y Guardia, que presenta diferencias notables con el empleado por Hernán Ruiz y el resto de la tradística para las bóvedas de crucería. Cada nudo de la red deriva de una dovela como las ordinarias en la cantería renacentista, aunque restando de ella lo necesario para dejar las “crucetas”, es decir, dos cortos tramos pertenecientes a dos nervios, uno transversal y otro longitudinal o radial, que se cruzan en el nodo. Por tanto, no basta con labrar una dovela con ayuda de cerchas, sino que es preciso controlar el ángulo que forman los dos tramos que se encuentran en cada cruceta. Este problema se resuelve por medio de triangulaciones, un método empleado sistemáticamente en el temprano manuscrito Ms. 12.686 de la Biblioteca Nacional, vinculado al ámbito de Francisco de Luna, el suegro de Alonso de Vandelvira, con

la finalidad de resolver trompas, capialzados y arcos oblicuos.³⁸ Al mismo tiempo, en cuanto derivan de dovelas para superficies esféricas, también se aplican a estas bóvedas los desarrollos de conos introducidos, según muestran los indicios de que disponemos hasta ahora, para resolver bóvedas de naranja.

Por todo lo anterior, las bóvedas por cruceros nos proporcionan un resumen, un epítome de las relaciones entre concepción arquitectónica y técnica constructiva en la España del quinientos. Los maestros del período, especialmente de la segunda mitad, son plenamente conscientes de la distinción entre el sistema arquitectónico tardogótico y el lenguaje clásico; como es bien sabido, Alonso de Vandelvira señala que la bóveda de naranja [fig. 14] es *principio y dechado de todas las capillas romanas*,³⁹ y por tanto están advertidos de las dificultades que plantea la construcción de bóvedas por piezas enterizas. Precisamente por eso, no están dispuestos a renunciar al acervo de conocimientos de geometría constructiva acumulados por la construcción gótica. Pero esto no implica un estancamiento o una posición retardataria, sino todo lo contrario. Con una actitud pragmática, responden al desafío planteado por la introducción del Renacimiento combinando el concepto de nervios y plementería de la tradición gótica con el modelo clásico de la bóveda de casetones, y resuelven el diseño resultante empleando el recurso medieval de la plantilla, que pasa a ser flexible, técnicas de triangulación probablemente tomadas de la agrimensura, y el procedimiento del desarrollo de conos que muestra puntos de contacto con la cartografía. Es decir, como enunciábamos al principio de este escrito, las soluciones técnicas y la evolución estilística se mueven en planos diferentes, pero interconectados.

³⁸ANÓNIMO, "Manuscrito de cantería", 1545 ca., Madrid, Biblioteca Nacional de España, Ms. 12.686. Véase al respecto GARCÍA BAÑO, R. y CALVO LÓPEZ, J., "Los recursos gráficos en el manuscrito de cantería atribuido a Pedro de Albiz (BNE Ms 12686)", en *XI Congreso Internacional de Expresión Gráfica aplicada a la Edificación*, Valencia, APEGA, 2012; de los mismos autores, "About an Early 16th-century Stonecutting Manuscript in the National Library of Spain and the Origins of Modern Stereotomy", en *Proceedings of the 5th International Congress on Construction History*, Chicago, Construction History Society of America, 2015; GARCÍA BAÑO, R. y NATIVIDAD VIVÓ, P., "Autorías en el manuscrito de cantería atribuido a Pedro de Albiz (Biblioteca Nacional de España, Mss/12686)", en Rodríguez Ortega, N. y Taín Guzmán, M. (eds.), *Teoría y literatura artística...*, op. cit., pp. 513-536.

³⁹ VANDELVIRA, A., *Tratado de arquitectura...*, op. cit., f. 60 v.