

DE LA PRÁCTICA CONSTRUCTIVA A LOS TEXTOS DE CANTERÍA: LOS PASOS ABOVEDADOS EN LA CABECERA DE LA CATEDRAL DE GRANADA

FROM CONSTRUCTIVE PRACTICE TO MASONRY LITERATURE: THE VAULTED PASSAGES IN THE PRESBITERY OF THE GRANADA CATHEDRAL

Macarena Salcedo Galera, José Calvo López

doi: 10.4995/ega.2018.9808

Los estudios sobre la catedral de Granada destacan con frecuencia la diáfana apertura del presbiterio a la girola mediante siete pasos abovedados. Desde el punto de vista constructivo, estos elementos presentan rasgos de interés, como el abocinamiento, el contraste entre la testa plana que da a la girola y la embocadura cóncava que mira a la capilla mayor, así como la asimetría de las piezas extremas de la serie, motivada por la compleja articulación entre naves, girola y capilla mayor. Además, estas

bóvedas están entre las primeras piezas ejecutadas en España mediante la técnica de construcción "por cruceros" basada en una red de nervios sobre la que apoya una plementería. El presente trabajo presenta un levantamiento detallado de estas bóvedas, un análisis de sus características geométricas y estereotómicas, y un comentario sobre los ecos difusos de estas piezas en la literatura posterior.

PALABRAS CLAVE: GEOMETRÍA. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO. ESTEREOTOMÍA

Studies about the Cathedral of Granada frequently emphasize the diaphanous opening of the presbytery to the ambulatory through seven vaulted passages. From the constructive point of view, these elements present interesting features, such as the splaying, the contrast between the planar arch in the ambulatory and the concave side in the main chapel, and the asymmetry of the extreme passages, caused by the complex articulation between nave, ambulatory and presbytery. In addition, these vaults are among the first pieces executed in Spain using the construction technique called "bóvedas por cruceros", which is based on a network of ribs that supports severies. This study presents a detailed survey of these vaults, an analysis of their geometric and stereotomic characteristics, and a commentary on the diffuse influence of these pieces in later literature.

KEYWORDS: GEOMETRY. ARCHITECTURAL SURVEYING. STEREOTOMY



Los pasos abovedados en la cabecera de la Catedral de Granada

Rosenthal (1961) postuló en su momento que la planta y la organización espacial de la catedral de Granada derivan de la basílica del Santo Sepulcro en Jerusalén, y en particular de la Anástasis, la rotunda dispuesta alrededor de la tumba. Esta analogía queda subrayada por amplia apertura del presbiterio a la girola, asegurada por siete pasos abovedados o “túneles”, en la terminología de Rosenthal, ejecutados durante la maestría de Diego de Siloé y que pueden datarse entre 1534 y 1541. La configuración espacial centralizada de la cabecera da lugar a una disposición radial de los pasos, pero también es cierto que el santuario concéntrico se articula con la nave longitudinal, lo que da una especial relevancia y complejidad formal a estas bóvedas, que trasciende su papel de meros elementos de transición, especialmente en los extremos de la serie; todo esto nos llevará a matizar el carácter radial de estos últimos, como veremos (Fig. 1).

En concreto, los cinco pasos centrales se disponen con una testa menor cóncava, mirando a la capilla mayor, y otra mayor plana y de medio punto, correspondiente a la girola; las jambas son concurrentes pero simétricas, como corresponde a la organización radial de la cabecera (Fig. 2). La disposición de los dos elementos extremos es aún más compleja, pues el presbiterio presenta una disposición ultrasemicircular, por lo que las testas interiores de estos dos últimos tramos no siguen el eje de la catedral; por el contrario, las embocaduras externas se alinean con

los primeros tramos de la nave. Como consecuencia, ni las testas ni impostas de estas dos últimas bóvedas guardan entre sí relación alguna de paralelismo, perpendicularidad o simetría y, por supuesto, las embocaduras interiores son también cóncavas (Fig. 3).

Otro rasgo de gran interés de estos pasos es su construcción “por cruceros” (Vandelvira c. 1585). Varios autores han subrayado su carácter clásico (Rosenthal 1961). Por el contrario, apenas se ha señalado hasta el momento que se construyen mediante una red de nervios sobre la que apoya una plementería. De hecho, no existe en general continuidad entre las juntas de las nervaduras y los plafones, si bien este rasgo es difícil de apreciar en estos momentos debido a la pátina que recubre las bóvedas, y sólo se puede comprobar en algunos puntos concretos, lo que nos ha impedido reflejarlo en el levantamiento. Los primeros ejemplos de esta interesante solución constructiva, basada en la resolución de piezas de impecable diseño gótico mediante la técnica gótica de nervios y plementería, se dan en el valle del Loira, en la escalera del castillo de Blois, las cuatro salas dispuestas en cruz que confluyen en la escalera doble de Chambord o en los claustros de San Martín de Tours, de la década de 1510. Sin embargo, la técnica llega muy pronto a España, con ejemplos como las bóvedas rebajadas del Ayuntamiento de Sevilla, del decenio siguiente; algo posteriores son las que nos ocupan y las del crucero y presbiterio de San Jerónimo de Granada, ejecutadas también bajo la maestría de Diego de Siloé (Fig. 4).

The vaulted passages in the presbytery of the Granada Cathedral

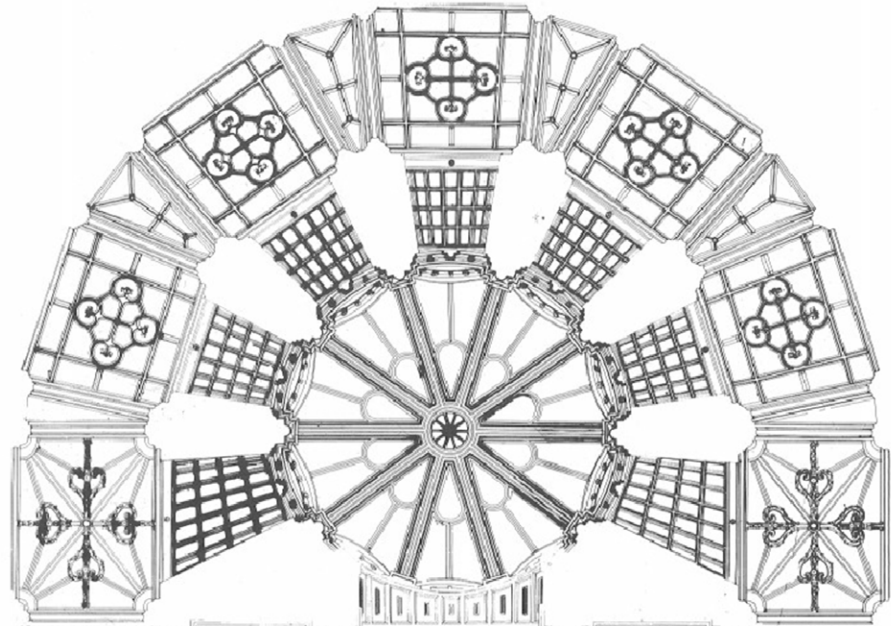
From Rosenthal's (1961) point of view, the spatial organization of the cathedral of Granada derives from the tomb of the Basilica of the Holy Sepulchre in Jerusalem, particularly the Anastasis, the ambulatory around the tomb. This analogy is underlined by the wide opening of the presbytery to the ambulatory, stressed by seven vaulted passages or “tunnels”, according to Rosenthal, executed during the mastery of Diego de Siloé, and which can be dated between 1534 and 1541. The centralized spatial configuration of the east end of the church generates radial passages, but the concentric presbytery also is articulated with the main nave. This spatial organization creates a formal complexity in these vaults, becoming more than mere transition elements especially at the extremes of the series. All this will lead us to qualify the radial nature of those, as we shall see (Fig. 1).

Specifically, the five central passages have a smaller concave face, facing the sanctuary, and a larger flat and semicircular face, corresponding to the ambulatory. The springers are oblique, although symmetrical, as corresponds to the radial organization of the east end of the church (Fig. 2). The two extreme passages are even more complex, since the presbytery has an ultrasemicircular plan. Therefore, the inner faces of these last two passages do not follow the axis of the cathedral. On the contrary, these spaces are aligned with the naves. As a consequence, neither the faces nor the springers of these last two vaults present any relation of parallelism, perpendicularity or symmetry between them and, of course, the inner faces are also concave (Fig. 3)

Other interesting features of these passages are their “bóvedas por cruceros” (Vandelvira c. 1585). Some authors have underscored their classical character (Rosenthal 1961). However, they are built by network of ribs supporting severies. In fact, there is, in general, no continuity between the joints of the ribs and the ceilings, although this feature is difficult to appreciate at the moment due to the rendering that covers the vaults. These joints are at present visible only in some particular sections. This has prevented us from including



them in our survey. The first examples of this interesting constructive solution, based on the Gothic concept of the rib vault, were built around 1510 in the Loire valley, in the well-known Blois staircase, the four crossing rooms which converge in the double staircase of Chambord, or in the cloisters of San Martin de Tours. However, this technique arrived quickly in Spain, with examples such as the surbased vaults of the city hall of Seville, built in the following decade. The vaults in Granada cathedral, as well as the vault of the presbytery and the crossing of San Jerónimo in Granada, were built later, and were both executed by Diego de Siloé (Fig. 4).



1

Surveying and geometric discussion

In order to analyze the geometric layout of these vaults, we have used cross-image photogrammetry. The photographs have been processed by PhotoModeler Scanner, which has reported a maximum error of 0.008 meters. The obtained point cloud has been later treated with Autocad and Rhinoceros to elaborate a rigorous, not ideal, graphical representation of the geometry of the vaults. We have taken 16 photographs, obtaining 712 points which represent the surfaces of the analyzed pieces. The vaults of the five central passages are formed by a grid of 10 longitudinal ribs and 5 transverse ribs, which are executed with a conical intrados surface, a solution that will be udeslater on the splayed arches included in stonecutting manuscripts. The external faces are semicircular arches contained in a vertical plane that corresponds to one side of the ambulatory. The other face, with a smaller radius, is an arch on a concave wall or "en torre cavada" which corresponds to the cylindrical wall of the central part of the presbytery. The transversal ribs, that is, the ones that are parallel to the external face, are circular arches, whereas the longitudinal ones are radial ribs that converge in a single point, saving the natural constructive tolerances. The result is a conical surface that generates a warped arch in a concave wall, although the complexity of this solution is avoided by dividing the piece of Granada into two elements. On the one hand, a vault solved "por cruceros". On the other hand, an arch



2



3



1. Planta de bóvedas de la cabecera de la catedral de Granada. Antonio Almagro Gorbea, *La conservación del Patrimonio Catedralicio*, 1993
2. Bóveda de uno de los pasajes centrales de la cabecera de la catedral de Granada
3. Bóveda de uno de los pasajes extremos de la cabecera de la catedral de Granada

1. Vaults in the head of the Granada Cathedral. Plan by Antonio Almagro Gorbea, *La conservación del Patrimonio Catedralicio*, 1993
2. Vault of a central passage in the Granada Cathedral
3. Vault of an extreme passage in the Granada Cathedral

Levantamiento y configuración geométrica

Para analizar la disposición geométrica de estas bóvedas, se han realizado levantamientos mediante fotogrametría de imágenes cruzadas. Las fotografías se han procesado mediante PhotoModeler Scanner, que ha informado de un error máximo de 0,008 metros. La nube de puntos obtenida ha sido tratada posteriormente con Autocad y Rhinoceros para elaborar una representación gráfica rigurosa, no ideal, de la geometría de las bóvedas. Se han tomado 16 fotografías, obteniendo 712 puntos que representan las superficies de las bóvedas objeto de análisis. Las bóvedas de los cinco pasajes centrales están configuradas por una retícula de 10 nervios longitudinales por 5 nervios transversales, que se ejecutan con una superficie de intradós cónica, como después ocurrirá en los arcos abocinados expuestos en los manuscritos de cantería. Una las testas es un arco de medio punto contenido en un plano vertical que corresponde con uno de los lados del semidecágono del deambulatorio, mientras que la otra testa, de radio menor, es un arco abierto en una superficie cóncava o “en torre cavada” que corresponde con el paramento cilíndrico de la rotonda central de la cabecera. Los cruceros transversales, es decir, los paralelos a las testas, son arcos de circunferencia, mientras que los longitudinales son nervios radiales que convergen en el mismo punto, salvando las naturales tolerancias constructivas. Nos encontramos por tanto ante una superficie cónica que genera en principio un arco abocinado en torre cavada, si bien la complejidad de esta solución se evita dividiendo la pieza granadina en dos elementos:

una bóveda abocinada resuelta “por cruceros” y un arco en torre cavada materializado por piezas enterizas que resuelve la testa que mira a la capilla mayor (Fig 5).

Los pasajes situados en los extremos del deambulatorio presentan igualmente por una retícula de 10 por 5 nervios, pero poseen una configuración geométrica distinta, como hemos visto más arriba, puesto que al mismo tiempo que siguen la disposición radial de la cabecera, se alinean con las naves longitudinales. Como ocurre en los pasos centrales, se ejecutan con una testa plana (alineada con las naves laterales) y otra en torre cavada (correspondiente al paramento cilíndrico de la rotonda). Además, el papel que desempeñan estas bóvedas como punto de articulación de naves laterales y centrales, presbiterio y deambulatorio, obliga a resolverlas con piezas asimétricas en las que, como hemos visto, tanto las testas como las impostas son oblicuas entre sí. La testa menor se materializa como un arco de medio punto proyectado sobre la superficie cilíndrica del paramento del presbiterio, mientras que el resto de cruceros transversales, así como la testa mayor se ejecutan como arcos rebajados, para adaptarse a la luz de la testa exterior, más ancha que en los pasos centrales a consecuencia del esviaje, mientras que la altura de la clave es la misma que en los otros cinco túneles.

Llegados a este punto, podemos preguntarnos si las testas exteriores son ovales o elípticas. No es fácil contestar a esta cuestión; el levantamiento indica que los puntos clave, los extremos de los cruceros, se aproximan notablemente a los puntos de una semielipse correspondiente a la luz y flecha dadas,

in a concave wall built by whole pieces that solves the face in the main chapel side (Fig 5).

The passages at the ends of the ambulatory present also a 10 x 5 rib grid, but they have a different geometric configuration. As we have seen above, at the same time that they follow the radial nature of the head, they are aligned with the naves. As in the central passages, they are executed with a flat face (aligned with the aisles) and another one in a concave wall (corresponding to the cylindrical face of the presbitero). In addition, the role of these vaults as articulation between nave, aisles, presbitero and ambulatory, leads to a solution with asymmetrical pieces in which, as we have seen, both faces and springers are oblique to each other. The smaller face is built as a semicircular arch projected onto the cylindrical surface of the presbitero. The rest of transversal ribs, as well as the larger face, are executed as surbased arches, in order to adapt to the span of the outer face. As a result of the oblique nature of these last passages, the outer face is wider than the one in the central passages, while the height of the keystone is the same as in the other five tunnels.

At this point, we can ask ourselves whether the outer faces are oval or elliptical. This is not an easy question. The survey indicates that the key points are remarkably close to the points of a semi-ellipse corresponding to the given span and height, although there are ovals with equivalent axes that approximates closely an ellipse (Fig. 6). On the other hand, Spanish masonry manuscripts of the 16th century do not mention the term “ellipse”. However, they present different constructions in order to compute the intersections of the generatrices of cylinders or cones with vertical planes (Vandelvira v. 1585, Martínez de Aranda v. 1600). These constructions provide points of an ellipse, although the authors recommend joining the points by hand or taking them in groups of three with the compass. As for the ovals, none of the solutions explained in these manuscripts (Ruiz v. 1550; Vandelvira v. 1585) fit the proportions of the external face, which are 5:4, although López Mozo (2011) suggests that maybe the masters at El Escorial knew a construction that could be adapted to different proportions.

However, it should also be noted that in these extreme passages the width and height do not increase proportionally from the inner to outer face. The increase in width is greater due



4

to obliquity. Therefore, after starting with a semicircular arch in the inner face, a series of ellipses or ovals are used, gradually increasing their eccentricity as they progress towards the outer face. All this makes the construction of these curves by points the most plausible hypothesis, since the layouts “por cruceros” included in the manuscript of Alonso de Guardia (c. 1600) and Alonso de Vandelvira (c. 1580) obtain the templates of ribs through laborious constructions by points. Therefore, we will refer to these curves from now on with the term “semiellipse”, although it must be taken into account that this denomination is based on a hypothesis which is not easy to verify. Other consequence of these geometrical constraints is the warping of the intrados surface of the extreme passages. By contrast, the vaults can be assimilated to a revolution cone, allowing execution tolerances. In fact, the survey shows that the ribs of the extreme vaults in the radial direction are non-converging straight lines. This is to be expected, since these ribs have to pass through a semicircle in the inner face and an ellipse in the outer side. In summary, we find an exceptionally complex geometric piece, since it is formed by radial non-convergent ribs that pass through a semicircle and a semi-ellipse, while the

pero es cierto que existen óvalos que se acercan muy estrechamente a la elipse de semiejes equivalentes (Fig 6). Por otra parte, si bien los manuscritos españoles de canteoría de mediados y finales del siglo XVI no mencionan el término ni el concepto de elipse, sí es cierto que presentan diversas construcciones que determinan las intersecciones de generatrices de cilindros o, más raramente, conos, con planos verticales (Vandelvira c. 1585; Martínez de Aranda c. 1600). Estas construcciones suministran puntos de una elipse, si bien los autores recomiendan unir los puntos a sentimiento o tomándolos de tres en tres con el compás. En cuanto a los óvalos, ninguno de los presentados en estos manuscritos (Ruiz c. 1550; Vandelvira c. 1585) se ajusta a las proporciones de la testa exterior, que son de 5:4, si bien López Mozo (2011) plantea la posibilidad de que los maestros del Escorial

conocieran una traza adaptable a distintas proporciones.

Ahora bien, también hay que tener en cuenta que en estos pasos extremos la anchura y la altura no aumentan proporcionalmente desde la testa interior a la exterior, sino que el aumento de la anchura es mayor debido al esviaje. Por tanto, se pasa de una traza en arco de medio punto en la testa interior a una serie de elipses u óvalos que van incrementando progresivamente su excentricidad conforme progresan hacia la testa exterior. Todo esto hace que la construcción de estas curvas por puntos sea la hipótesis más plausible, puesto que las trazas “por cruceros” incluidas en el manuscrito de Alonso de Guardia (c. 1600) y sobre todo, el de Alonso de Vandelvira (c. 1580) trazan las plantillas de la red de nervios mediante laboriosas construcciones por puntos. Por tanto, nos referiremos a estas curvas de ahora en



4. Cabecera de San Jerónimo en Granada (Diego de Siloé, 1528)
 5. Levantamiento de la bóveda de uno de los pasajes centrales de la cabecera

4. Church of San Jerónimo in Granada (Diego de Siloé, 1528)
 5. Survey of a central vaulted passage in the cathedral of Granada

adelante con el término “semielipse” si bien debe tenerse en cuenta que esta denominación se basa en una hipótesis que es hoy por hoy de imposible comprobación, y que es improbable que Siloé y sus colaboradores conocieran el término.

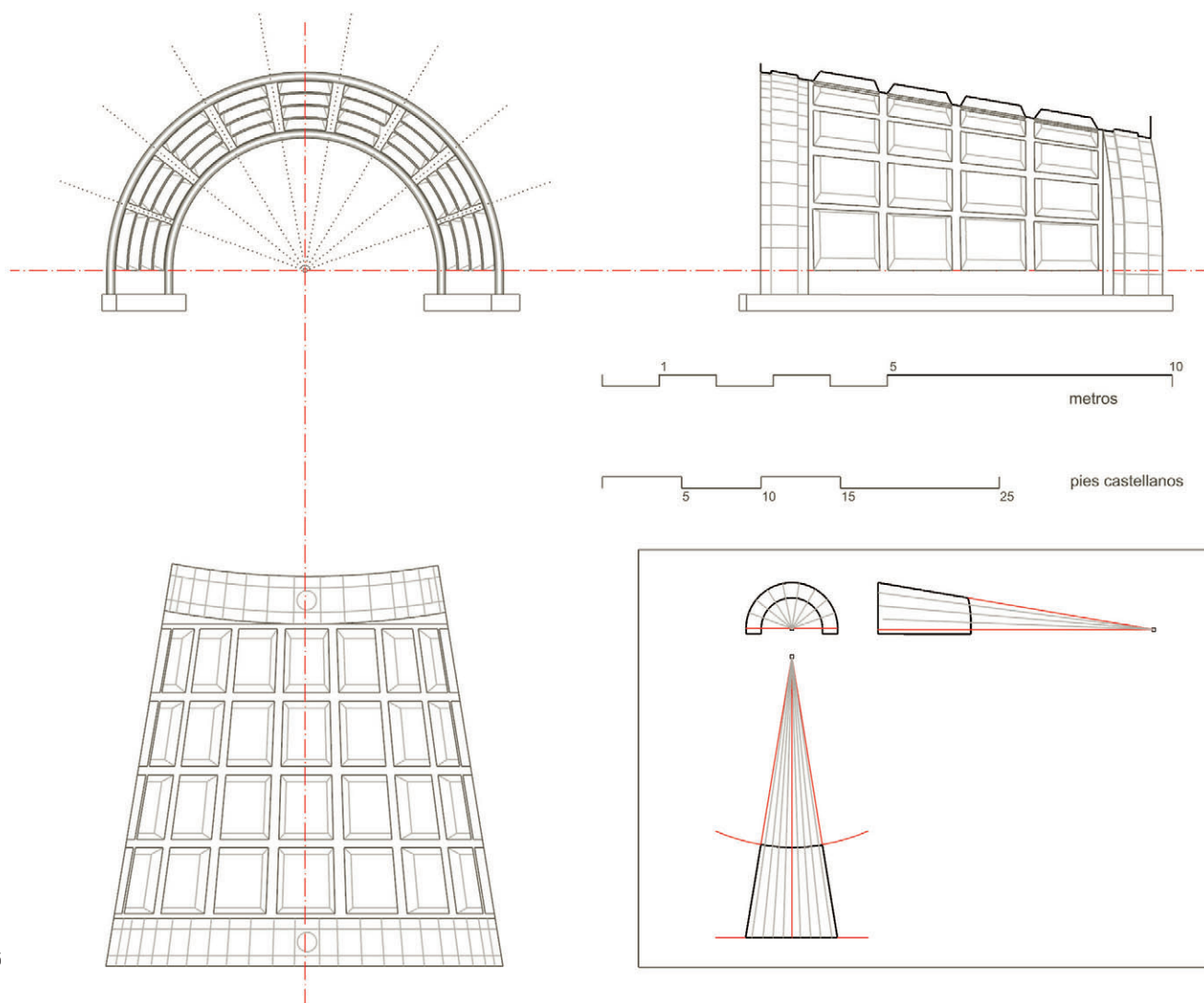
Otra consecuencia de estos condicionantes geométricos es el alabeo de la superficie de intradós de los pasos extremos, o más precisamente de la que pasa por las caras de los cruceros, en contraste con la de las bóvedas centrales, que se puede asimilar a un cono de revolución, siempre a salvo de las naturales to-

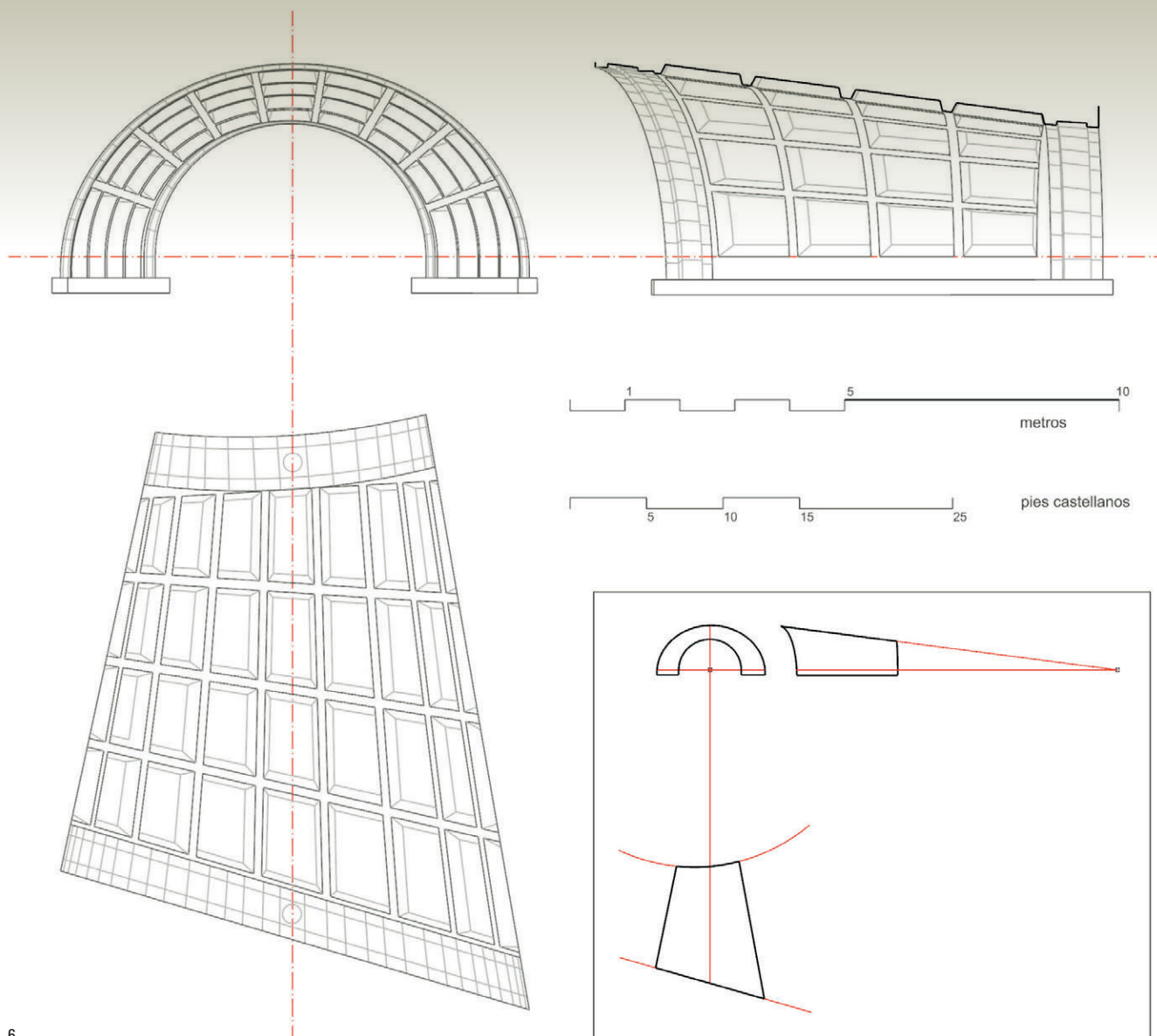
lerancias. En efecto, el levantamiento permite comprobar que los cruceros en dirección radial son rectas no convergentes, cosa que era de esperar, pues han de pasar por una curva alabeada próxima a una semicircunferencia en la testa interior y una elipse fruto de varios condicionantes en la exterior. En resumen, nos encontramos con una pieza de geometría excepcionalmente compleja, pues se estructura a partir de unos cruceros en dirección radial que pasan por un semicírculo y una semielipse y que no resultan convergentes, mientras que los cruce-

transversal ribs semi-ellipses with different proportions set in non-parallel planes (Fig 7).

The arches in curved walls and the absence of “por cruceros” conical vaults in masonry literature

As far as we know, no written work deals with the complex solutions adopted in these passages. The earliest Spanish stonecutting manuscripts, such as that of Hernán Ruíz, Rodrigo Gil de Hontañón and the manuscript 12686 of the National Library, are contemporary of these passages. Among later texts, none of them contains the complete solution, but it is possible to find partial solutions in the





6

manuscripts of Alonso de Vandelvira and Ginés Martínez de Aranda, among others.

As we have seen, in practice the accumulation of difficulties present in these pieces (splaying, concave face, construction by a network of ribs and, in the extreme pieces, the obliquity) is approached by dividing each piece into two sections. The inner one meets the concave face by integral voussoirs, while the outer is executed with a network of ribs. However, both the inner and outer parts must tackle the splayed nature of the openings and, in the extreme passages, their obliquity.

Well, in masonry texts we cannot find the complete system, with the assembly of the arch by integral parts and the grid crossing vault. But we find solutions of one of these elements, the arch in a concave wall. In particular, Alonso de Vandelvira presents an "arco en torre cavado y Redondo", that is, an arch with concave and convex faces, and an "arco en torre cavado y redondo en viaje", which adds obliquity to

ros transversales son semielipses de proporciones distintas dispuestas en planos no paralelos (Fig 7).

Los arcos en paramentos curvos y la ausencia de bóvedas cónicas por cruceros en la literatura de la cantería

No conocemos obras escritas que prefiguren la compleja solución adoptada, pues los primeros manuscritos españoles que se ocupan de estas cuestiones, como el de Hernán Ruiz, el de Rodrigo Gil de Hontañón y el manuscrito 12686 de la Biblioteca Nacional son coetáneos de estos pasajes. Entre los

textos posteriores, ninguno recoge literalmente la solución adoptada, pero es posible encontrar ecos parciales en los manuscritos de Alonso de Vandelvira y Ginés Martínez de Aranda, entre otros.

Como hemos visto, en la práctica la acumulación de dificultades de estas piezas (abocinamiento, testa cóncava, construcción por cruceros y, en los pasos extremos, esviaje) se aborda dividiendo cada pieza en dos secciones. La interior resuelve la testa cóncava mediante piezas enterizas, mientras que la exterior se materializa mediante cruceros; ahora bien, tanto la sección interior como la exterior deben afrontar el abocinamiento y, en las piezas terminales, el esviaje.

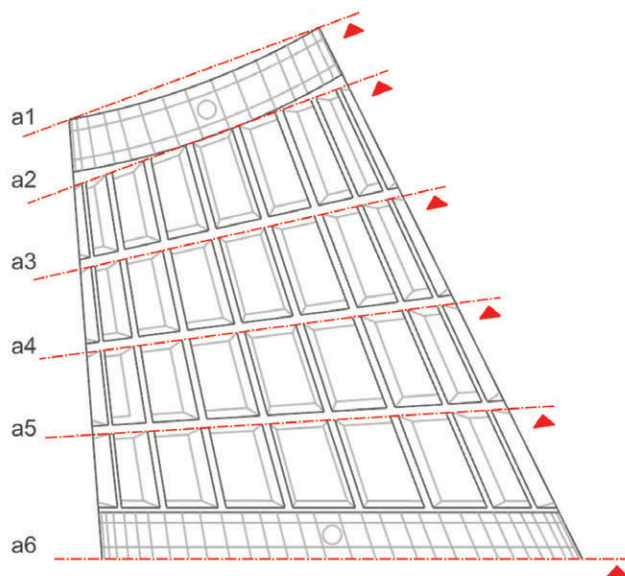
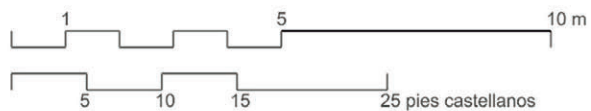
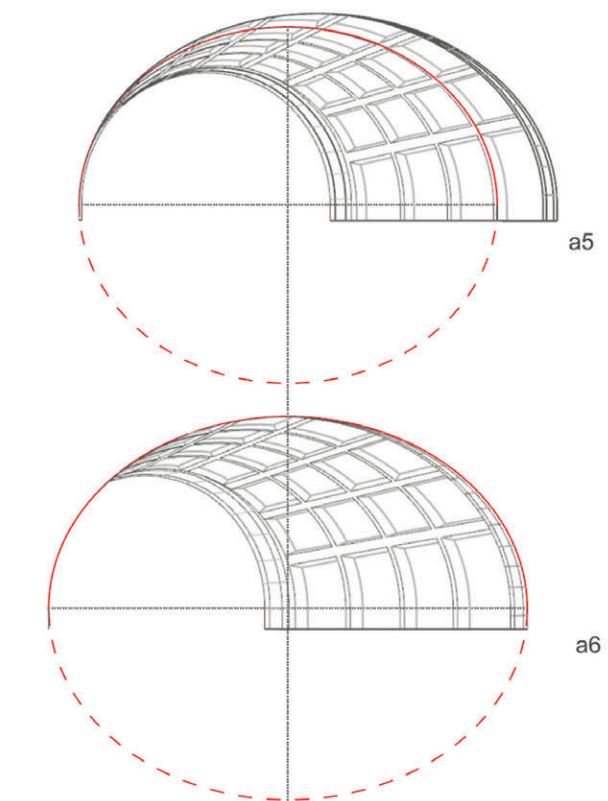
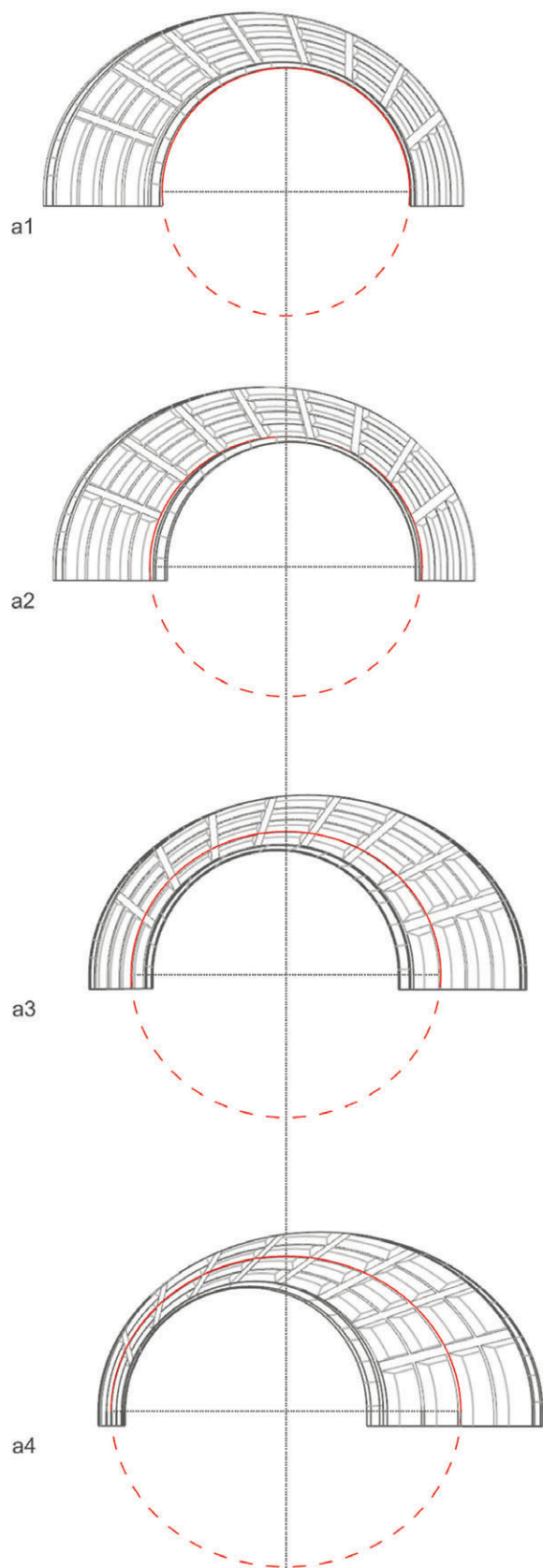


6. Levantamiento de la bóveda de uno de los pasajes extremos de la cabecera

7. Análisis de los cruceros transversales o "semielipses" de los pasos extremos

6. Surveying of an extreme vaulted passage in the cathedral

7. Analysis of transversal ribs or "semi-ellipses" in the extreme passages





8. Arco en torre cavada y redondo en viaje. Vandelvira, *Libro de trazas de corte de piedras*, f. 22v.

9. Arco abocinado en torre cavada. Martínez de Aranda, *Cerramientos y trazas de montea*, pl. 104

10. Arco en torre cavada abocinado en viaje por cara y por testa. Ginés Martínez de Aranda, *Cerramientos y trazas de montea*, pl. 106

8. "Arco en torre cavada y redondo en viaje". Vandelvira, *Libro de trazas de corte de piedras*, f. 22v.

9. "Arco abocinado en torre cavada". Martínez de Aranda, *Cerramientos y trazas de montea*, pl. 104

10. "Arco en torre cavada abocinado en viaje por cara y por testa". Ginés Martínez de Aranda, *Cerramientos y trazas de montea*, pl. 106

the equation (Fig. 8). Now, the obliquity of this last piece is quite different from that of the Granadian passages, since Vandelvira presents parallel springers. However, the piece is not symmetrical because the common axis of the cylinder wall intersects with the symmetry axis of the springer and, in plan, the center of the curves of the faces is not on the axis of the springers. Closer to the pieces of Granada are the solutions of Martínez de Aranda, who includes nine arches in curved, symmetrical, and skewed walls. Then he offers three splayed arches, one symmetrical and two skewed ones, and later on, five splayed arches in cylindrical walls. Among the latter, we have an "Arco abocinado en torre cavada" (Fig. 9) and a "Arco en torre cavada abocinado en viaje por cara y por testa" (Fig. 10), which coincide almost literally with Granada solutions, although in Aranda the concave face is the wider one. Aranda's solutions are complex and inaccurate, as it tries to solve by templates of a non-developable surface, since the intrados joints are neither parallel nor convergent. The presence of this catalog of curved, splayed arches and arches in curved walls in Aranda's text may be related to a detail revealed by Alicia Cámara (2015): the city of Cadiz offered the place of master mason to Aranda, probably in competition with Alonso de Vandelvira. Finally, Aranda went to Santiago de Compostela and Vandelvira was appointed to the position. In this context, it is not unreasonable to conceive the text of Aranda as some kind of résumé, a sample of its stereotomic knowledge. This would justify the presentation of a catalog of constructive solutions that, if they were combined, would allow the construction of the vaulted passages.

On the contrary, we do not find in any of the Spanish or French texts splayed ribbed vaults, but this absence may be due to fortuitous circumstances. First, in the only known copy of Aranda manuscript, preserved in the Institute of Culture and Military History in Madrid, the last two parts of the text, dedicated to trumpet squinches, vaults, chapels and octagonal vaults, are missing. It is not easy to say if the author had included in these lost parts some vaults "por cruceros", as Alonso de Vandelvira. The later copy of Vandelvira's manuscript by Felipe Lázaro de Goiti omitted them, perhaps because this kind of vaults was not used in 17th century. In any case, the earliest copy

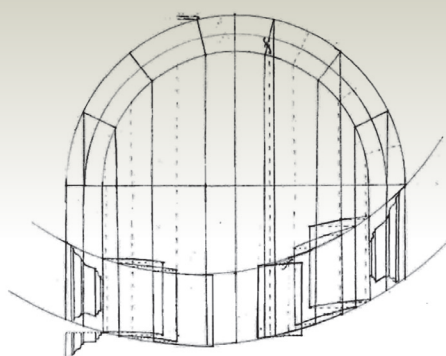
Pues bien, en los textos de la cantería no encontramos en ningún caso el sistema completo, con el ensamblaje del arco por piezas enterizas y la bóveda por cruceros, pero sí uno de sus elementos constitutivos, el arco abierto en un paramento cóncavo. En concreto, Alonso de Vandelvira presenta un "arco en torre cavada", otro arco con una testa cóncava y otra convexa y un "arco en torre cavada y redondo en viaje" (Fig. 8). Ahora bien, el esviaje de esta última pieza es bien diferente al de los pasos granadinos, pues en Vandelvira las jambas son paralelas, si bien la pieza no es simétrica porque el eje común de los cilindros de los paramentos se cruza con el eje equidistante de las jambas y, visto en planta, el centro de las curvas de las testas no está sobre el eje de las jambas. Más próximas a las piezas granadinas son las soluciones de Martínez de Aranda, que plantea nada menos que nueve arcos en paramentos curvos, simétricos y esviados; a continuación, ofrece tres arcos abocinados, uno simétrico y dos esviados, y más adelante, cinco que combinan el abocinamiento con las testas cilíndricas. Entre estos últimos tenemos un "Arco abocinado en torre cavada" (Fig. 9) y un "Arco en torre cavada abocinado en viaje por cara y por testa" (Fig. 10), que coinciden casi literalmente con las soluciones granadinas, si bien en Aranda la testa cóncava es la de mayor luz, al contrario de lo que ocurre en Granada. Las soluciones de Aranda son complejas e inexactas, pues intenta resolver por medio de plantillas una superficie no desarrollable, dado que las juntas de intradós se cruzan en el espacio, y por tanto no son ni paralelas ni convergentes. La presencia de este amplísimo catálogo de arcos

esviados, abocinados y abiertos en muros curvos en el texto de Aranda puede tener relación con un detalle dado a conocer recientemente por Alicia Cámara (2015): la ciudad de Cádiz ofreció la plaza de maestro mayor a Martínez de Aranda, probablemente en cierta competencia con Alonso de Vandelvira; finalmente, ante la marcha de Aranda a Santiago de Compostela, nombraría maestro a Vandelvira. En este contexto, no es descabellado concebir el texto de Aranda como lo que ahora llamaríamos una memoria de oposición, una muestra de su saber estereotómico, lo que justificaría la inclusión de todo un catálogo de tipos constructivos que combinados, permitirían la construcción de los pasos granadinos, que en su momento debieron verse como un "tour de force" estereotómico.

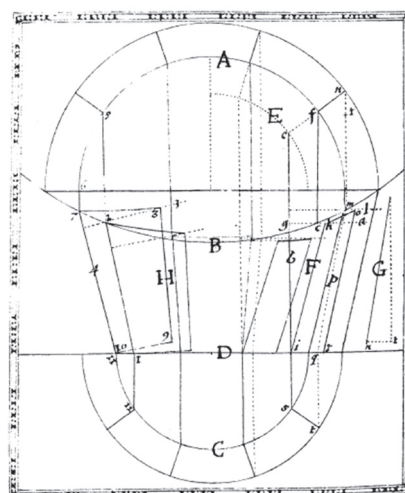
Por el contrario, no encontramos en ninguno de los textos españoles o franceses bóvedas por cruceros abocinadas, pero esta ausencia puede deberse a circunstancias fortuitas. En primer lugar, en la única copia conocida del manuscrito de Aranda, conservada en el Instituto de Cultura e Historia Militar, faltan las dos últimas partes del texto, dedicadas a pechinas, bóvedas, capillas y ochavos. No es fácil decir si el autor hubiera incluido en estas partes perdidas algunas bóvedas por cruceros, como hizo Alonso de Vandelvira, pues la copia tardía de este manuscrito por Felipe Lázaro de Goiti las omitió, quizá porque habían caído en desuso en el siglo XVII. En cualquier caso, no encontramos tampoco bóvedas cónicas por cruceros en el manuscrito de Alonso de Vandelvira, que no incluye arcos abocinados, aunque sí trompas y troneras, dos familias de piezas con intradós cónico. Es



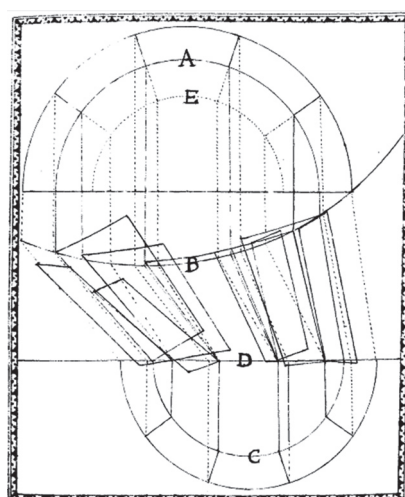
fácil comprender que ni unas ni otras propician la construcción por cruceros, en parte por su reducido tamaño, y también porque el encuentro de los nervios en el vértice de la trompa sería de una dificultad extrema; resolverlo mediante un trompillon, una solución que Vandelvira no expone, resultaría antinatural, como también lo sería una tronera nervada, pues los plementos soportarían los nervios en la parte inferior. Pero en cualquier caso, la sorprendente acumulación de arcos esviados y en paramentos curvos y piezas de intradós cónico en Martínez de Aranda y, en menor medida, en Alonso de Vandelvira, puede deberse a la influencia de los pasos granadinos. ■



8



9



10

of Alonso de Vandelvira's manuscript does not include conical ribbed vaults nor splayed arches, although there are trumpet squinches and conical openings. It is easy to understand that neither of them can be materialized easily by a ribbed vault, partly because of their small size, and also because solving the union of the ribs in the vertex of the piece would be extremely difficult. To solve it by means of a single piece, a solution that Vandelvira does not contemplate, would lead to a strange result; besides a conical ribbed opening would also be quite unnatural, since in the lower part the severies would support the ribs. But in any case, the surprising accumulation of skewed arches, curved walls and conical intrados pieces in Aranda and in Vandelvira, may be explained by the Granada passages. ■

Referencias

- CALVO LÓPEZ, J. 1999. «Cerramientos y trazas de montea» de Ginés Martínez de Aranda. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- CÁMARA, A. 2015. Cantería e ingeniería del Renacimiento en el puente de Zuazo en Cádiz. *Lexicon. Storia e architettura in Sicilia e nel Mediterraneo*, no. 20, pp. 7-20.
- GUARDIA, A. de. [c. 1600]. "Manuscrito de arquitectura y cantería". Madrid, Biblioteca Nacional de España. Anotaciones sobre una copia de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principi, duchi, signori...*, ER/4196.
- LÓPEZ MOZO, A. 2011. Ovals for Any Given Proportion in Architecture: A Layout Possibly Known in the Sixteenth Century. *Nexus Network Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 569-597.
- MARTÍNEZ DE ARANDA, G. [c. 1600] 1986. *Cerramientos y trazas de montea*. Madrid: Ed. facsímil, CEHOPU.
- ROSENTHAL, E.E. 1961. *The Cathedral of Granada*. Princeton: Princeton University Press.
- RUIZ EL JOVEN, H. [c. 1550] 1998. *Libro de Arquitectura*. Madrid: Ed. Facsímil, Sevillana de Electricidad
- VANDELVIRA, A. de. C. [1585] 1977. *Libro de trazas de cortes de piedras*. Madrid: Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. (Ed. De Geneviève Barbé Coquelin de Lisle, *Tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Albacete: Caja Provincial de Ahorros, 1977).

References

- CALVO LÓPEZ, J. 1999. «Cerramientos y trazas de montea» de Ginés Martínez de Aranda. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- CÁMARA, A. 2015. Cantería e ingeniería del Renacimiento en el puente de Zuazo en Cádiz. *Lexicon. Storia e architettura in Sicilia e nel Mediterraneo*, no. 20, pp. 7-20.
- GUARDIA, A. de. [c. 1600]. "Manuscrito de arquitectura y cantería". Madrid, Biblioteca Nacional de España. Anotaciones sobre una copia de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principi, duchi, signori...*, ER/4196.
- LÓPEZ MOZO, A. 2011. Ovals for Any Given Proportion in Architecture: A Layout Possibly Known in the Sixteenth Century. *Nexus Network Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 569-597.
- MARTÍNEZ DE ARANDA, G. [c. 1600] 1986. *Cerramientos y trazas de montea*. Madrid: Ed. facsímil, CEHOPU.
- ROSENTHAL, E.E. 1961. *The Cathedral of Granada*. Princeton: Princeton University Press.
- RUIZ EL JOVEN, H. [c. 1550] 1998. *Libro de Arquitectura*. Madrid: Ed. Facsímil, Sevillana de Electricidad
- VANDELVIRA, A. de. C. [1585] 1977. *Libro de trazas de cortes de piedras*. Madrid: Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. (Ed. De Geneviève Barbé Coquelin de Lisle, *Tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Albacete: Caja Provincial de Ahorros, 1977).

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación "Arquitectura renacentista y construcción pétreo" (19361/PI/14) de la Fundación Séneca – Agencia Regional de Ciencia y Tecnología en el marco del PCTIRM 2011–2014, y ha sido financiado gracias al programa PMPDI-UPCT 2015. Los autores desean expresar su gratitud a D. Antonio Muñoz Osorio, secretario de Patrimonio Cultural de la Archidiócesis de Granada, por las facilidades ofrecidas para realizar el trabajo.

Acknowledgment

This study is part of the Research Project "Arquitectura renacentista y construcción pétreo" (19361/PI/14) of Fundación Séneca – Agencia Regional de Ciencia y Tecnología in the frame of PCTIRM 2011–2014, and has been promoted by the PMPDI-UPCT 2015 program. The authors want to express their gratitude to D. Antonio Muñoz Osorio, Cultural Heritage Secretary of the Archdiocese of Granada, for the facilities offered to carry out the work.