

LA BÓVEDA ANULAR DEL PALACIO DE CARLOS V EN GRANADA. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS GEOMÉTRICO Y CONSTRUCTIVO

THE RING VAULT IN THE PALACE OF CHARLES V IN GRANADA. SURVEY AND GEOMETRIC ANALYSIS

Macarena Salcedo Galera, José Calvo López

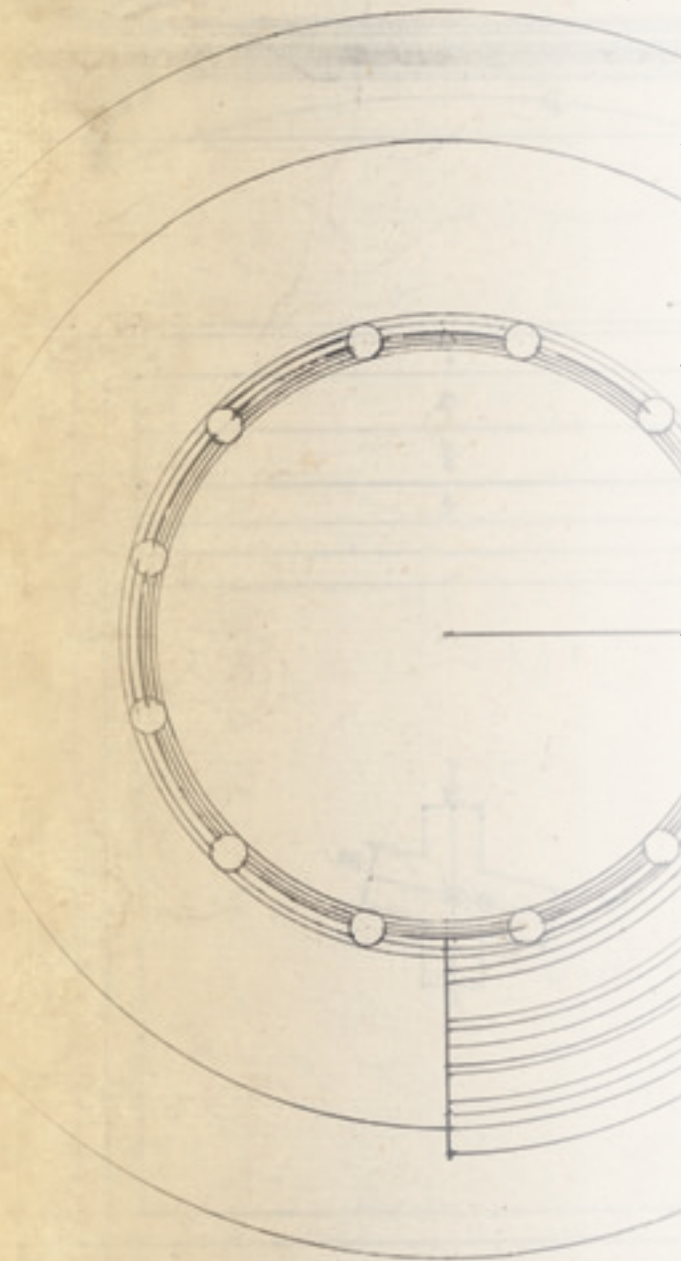
doi: 10.4995/ega.2016.6303

A lo largo del siglo XVI se construyeron en España una serie de bóvedas singulares de intradós tórico. La mayor y más conocida es la bóveda anular situada en el patio del Palacio del Emperador Carlos V en Granada, junto a la Alhambra. Esta excepcional pieza de cantería dispone sus hiladas en torno a un eje vertical, al contrario de lo que ocurre en otras piezas contemporáneas, como lo son las bóvedas tóricas murcianas representadas por su ejemplo más notable, la bóveda que cubre la capilla funeraria de Gil Rodríguez de Junterón en la Catedral de Murcia. Con el objeto de ahondar en el conocimiento geométrico y estereotómico de esta singular construcción, los autores han recurrido al levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría de imágenes cruzadas, obteniendo así una representación gráfica rigurosa que aporta nuevos datos a lo que hasta ahora se ha escrito sobre ella.

PALABRAS CLAVE: GEOMETRÍA. ESTEREOTOMÍA. BÓVEDA TÓRICA. LEVANTAMIENTO. GRANADA

During the 16th century, several peculiar torus vaults were built in Spain. The larger and better-known is the ring vault located in the courtyard of the Palace of Emperor Charles V in Granada, next to Alhambra. The courses of this exceptional masonry piece turn around a vertical axis, in contrast with other contemporary pieces, such as a number of torus vaults around Murcia, in particular the vault over the inner space of the funerary chapel of Gil Rodríguez de Junterón in Murcia Cathedral. In order to analyse the geometric and constructive traits of this particular construction, the authors have carried out a survey using convergent multi-image photogrammetry. As a result, an accurate graphic representation has been obtained, providing new data about this well known piece.

KEYWORDS: GEOMETRY. STEREOTOMY. TORUS VAULT. SURVEYING. GRANADA





1. Bóveda de la capilla funeraria de Gil Rodríguez de Junterón en la catedral de Murcia

1. Vault of the funerary chapel of Gil Rodríguez de Junterón in Murcia Cathedral



1

Bóvedas tóricas renacentistas en el sur de España

La bóveda tórica se define como una superficie de revolución generada por la rotación de una sección cónica, normalmente una circunferencia, alrededor de un eje coplanario con la curva, con el que no se intersecta. Existen dos familias de secciones fundamentales para su definición. De un lado los meridianos, representados por las secciones de planos que pasan por el eje, que se corresponden con las distintas posiciones de la circunferencia generatriz. Por otra parte los paralelos, que vendrán dados por las

secciones de planos perpendiculares al eje representados por los círculos correspondientes a la trayectoria de un punto de la curva generatriz.

Durante el siglo XVI se construyeron varias bóvedas de intradós tórico en el sur de España, en especial en el entorno de Murcia. De hecho, la de eje horizontal llegó a recibir el nombre de “Bóveda de Murcia” por Alonso de Vandelvira, sin duda porque el ejemplo más notable lo encontramos en la bóveda que cubre el espacio interior de la capilla funeraria de Gil Rodríguez de Junterón en la catedral de Murcia (Fig. 1) (Calvo 2005; Alonso 2013). Sin embargo, en Granada se construye

Renaissance torus vaults in the South of Spain

Torus vaults are defined as a revolution surface generated by the rotation of a conic section, usually a circle, around an axis lying on the plane of the curve, which does not intersect the circle. There are two kinds of basic sections that define it. On the one hand, meridians, which are represented by sections by planes passing through the axis, and correspond with different positions of the generating circle. On the other hand, parallels, which are given by sections by planes that are orthogonal to the axis, and represented by the trajectories of the points of the generating circle.

Several torus vaults were built in southern Spain during the 16th century, mainly around Murcia. In fact, the horizontal-axis torus vault was called *Bóveda de Murcia* by Alonso de Vandelvira, probably



because the main example is clearly the vault that covers the inner room of the funerary chapel of Gil Rodríguez de Junteron in Murcia Cathedral (Fig. 1) (Calvo 2005; Alonso 2013). However, one of the most representative torus vaults was built in Granada. In contrast with the Murcia example, it features a vertical axis. We are discussing about the ring vault that covers the gallery in the courtyard of the Palace of Charles V in Granada, designed by Pedro Machuca and executed by his son Luis Machuca around 1562 (Fig. 2). Vandelvira does not give the same importance to this piece as the Murcia vault in his studies about torus vaults; however it is explicitly mentioned when dealing with vaulted spiral staircases or *Vis de Saint-Gilles*: “This layout is also useful when building a vault about a round courtyard, as done in the royal castle in the Alhambra in Granada”, which affirms its role as a model (Vandelvira, ff. 53 r, 69 v, 111 r). By contrast, the manuscript of Alonso de Guardia includes two drawings of a vertical-axis torus vault, both without text or captions (Fig. 3) (Guardia, c. 1600 (note 6), f. 68v). At first sight these schemes remind the *Vis de Saint-Gilles* due to the small inner radius of the torus. However, on close inspection, one of the layouts includes templates obtained by developing inscribed cones inside the vault. This method cannot be applied to the *Vis de Saint-Gilles* as its bed joints are cylindrical spirals, but it can be applied to the *Bóveda de Murcia*, as indeed Vandelvira does. Therefore Guardia’s schemes may correspond to a ring vault with horizontal springings designed to cover a staircase. Thus, while Vandelvira offers just one solution using the squaring method, Guardia also presents as an alternative carving process by templates based on the cone-development method.

The Palace of Charles V

In addition to the participation of Machuca, documents testify the participation of other agents in the design of the palace, such as Luis de Vega. Even the possibility of a project from the environment of Giulio Romano has been considered. The results of this process are three plans from 15th century preserved in the Library of the Royal Palace of Madrid and the National Historical Archive, which pose complex authorship and dating problems, which cannot be discussed here (Gómez-Moreno 1892, Rosenthal 1988, Tafuri 1988, Rodríguez 2001, Líndez & Rodríguez 2015). In 1533 the construction of the Palace started, and moved forward considerably until the death of Machuca in



2



3

otra de las bóvedas más significativas de esta tipología que, al contrario de lo que ocurre en el ejemplar murciano, presenta el eje vertical. Hablamos de la bóveda anular que cubre la galería del patio del Palacio de Carlos V en la capital granadina, concebida por Pedro Machuca y ejecutada por su hijo, Luis Machuca, en torno a 1562 (Fig. 2). En sus análisis sobre bóvedas tóricas, Vandelvira no otorga a esta pieza la misma relevancia que a la bóveda murciana; sin embargo sí que es mencionada explícitamente al tratar del arquetipo de

las escaleras de caracol abovedadas o “Vía de San Gil”: “Sirve también esta traza para hacer una bóveda alrededor de un patio redondo como está puesto por obra en la alcázar real del Alhambra de Granada”, lo que deja constancia de su papel como modelo (Vandelvira, ff. 53 r, 69 v, 111 r).

Por otro lado, el manuscrito de Alonso de Guardia incluye dos dibujos sin texto de una bóveda tórica de eje vertical, como el anillo granadino, que recuerda a la planta de una “Vía de San Gil” al ser muy reducido el radio interior del toro (Fig. 3) (Guardia, c. 1600 (nota 6), f. 68v). Sin embargo, uno de los dibujos incluye plantillas obtenidas por el método de desarrollo de conos inscritos en el interior de la bóveda, lo cual no puede aplicarse a la “Vía de San Gil” puesto que sus juntas de lecho son hélices cilíndricas, pero sí a la “Bóveda de Murcia”, como de hecho hace Vandelvira. Es posible, pues, que los dibujos de Guardia correspondan a una bóveda anular de imposta horizontal destinada a resolver la cubrición de una escalera. Por tanto, mientras Vandelvira ofrece únicamente una solución de la pieza “por robos” o por escuadría, Guardia presenta además como alternativa la labra por plantillas basadas en desarrollo de conos.



- 2. Bóveda del patio del Palacio de Carlos V en Granada
- 3. Bóveda tórica de eje vertical. Alonso de Guardia 1600 c.
- 4. Galería porticada del patio del Palacio de Carlos V en Granada
- 5. Planta del Palacio atribuida a Luis de Vega en 1528. Archivo Histórico Nacional de Madrid

- 2. Vault of the courtyard inside the Palace of Charles V in Granada
- 3. Vertical-axis torus vault. Alonso de Guardia 1600 c.
- 4. Gallery inside the courtyard of the Palace of Charles V in Granada
- 5. Plan of the Palace attributed to Luis de Vega in 1528. National Historical Archive of Madrid

El Palacio de Carlos V

Además de la participación de los Machuca, se ha documentado la participación en el diseño del palacio de otros agentes como Luis de Vega, o incluso se ha planteado la posibilidad de un proyecto procedente del entorno de Giulio Romano. Fruto de ese proceso son tres planos quinientistas conservados en la Biblioteca del Palacio Real de Madrid y en el Archivo Histórico Nacional, que plantean complejos problemas de autoría y datación que no es posible discutir aquí (Gómez-Moreno 1892, Rosenthal 1988, Tafuri 1988, Rodríguez 2001, Líndez y Rodríguez 2015). En 1533 se iniciaron los trabajos de construcción del palacio, que avanzaron notablemente hasta la muerte de Machuca en 1550. Le sucedió su hijo Luis, que siguió las trazas y modelo de su padre llevando a cabo, entre otras cosas, la construcción del pórtico circular interior del patio (Fig. 4), entre los años 1557 y 1568, mientras que la construcción de la bóveda data de 1562 a 1567, fecha en que

se labra la piedra destinada a su construcción e identificada en los registros como *dovelas para la bóveda*. (Rosenthal 1988, p. 122).

Un dato significativo es la polémica suscitada en torno a la construcción de la galería porticada. El plano del Archivo Histórico Nacional representa en este punto pilastras con semicolumnas adosadas (Fig. 5). Sin embargo, en 1539 se cambiaron las pilastras del modelo de bulto del palacio por una columnata exenta que soporta un dintel curvo. Además de quedar reflejado en los planos anteriormente mencionados, también se refiere a este cambio Juan de Maeda en un informe sobre el palacio, fechado en 1576, donde advierte de su preocupación ante la extrema delgadez del muro circular perimetral y la dificultad de construir una bóveda en el piso superior, por lo que traslada sus temores al entorno de la corte, y aconseja que se consulte a Andrés de Vandelvira o Rodrigo Gil de Hontañón (Rosenthal 1988, p. 31-32, 123, 304; Rodríguez 2001).

1550. He was replaced by his son Luis, who followed the traces and the model of his father. He carried out, among other things, the construction of the gallery inside the circular courtyard (Fig. 4) between 1557 and 1568. In particular, the stone used in the vault was being carved between 1562 and 1567, as attested by documents that mention voussoirs, columns and centering for the ring vault (Rosenthal 1985, p. 117).

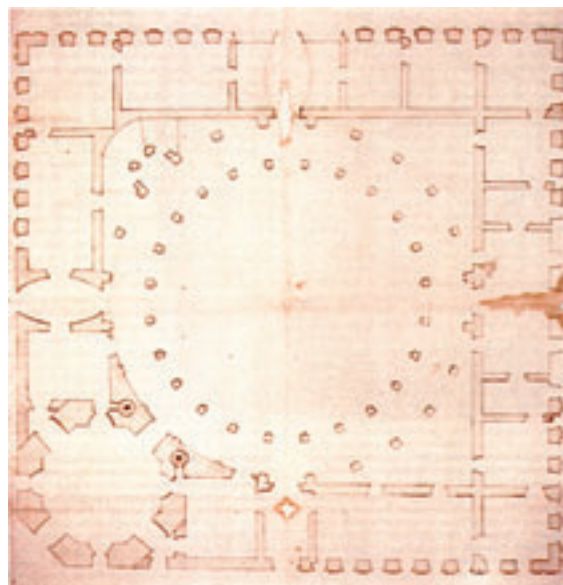
A significant fact is the controversy surrounding the construction of the gallery. The plan of the National Historical Archive represents at this point pilasters with half-columns attached (Fig. 5). However, in 1539 the pilasters of palace model were changed by a free colonnade supporting a curved lintel. Besides, Juan de Maeda mentions this change in a report of the Palace in 1576. He shows his concern about the extreme thinness of the perimeter circular wall and the difficulty of building a vault on the top floor, advising the King's counsellors to consult Andrés de Vandelvira or Rodrigo Gil de Hontañón (Rosenthal 1985, p. 30-31, 118, 291-292; Rodríguez 2001).

Survey of the ring vault

In order to intensify the geometric and constructive knowledge of the vault, we have carried out an accurate architectural survey by convergent multi-image photogrammetry. Through its application we can determine the coordinates of the points that appear in two or more pictures. Therefore, as we can



4



5



locate specific points, this system is a particularly useful tool for analyzing masonry pieces. It easily allows to determine the joints between voussoirs and thus, the geometry and the quartering of intrados (Fig. 6). The pictures have been processed by PhotoModeler Scanner, which has determined a 0.012m error, less than the average thickness of joints between voussoirs, which is 2cm. The resulting cloud of points has been managed then by CAD software like Autocad and Rhinoceros in order to develop an accurate graphic representation, not ideal, of the vault geometry. This is, the vault has been represented with the typical imperfections caused by the construction itself, tolerances and deformations. Thirty-two pictures have been taken, obtaining a cloud with 1834 points which represents the complete intrados surface. Besides, a quadrant of the vault has been analysed in greater detail (Fig. 7).

The results of the survey show without doubt that the springings of the vault are presented as concentric circles designed with great precision. The springing with larger diameter rests on the perimeter wall, and the smaller one on the gallery made up of 32 columns. Almost all the authors who have discussed about the vault consider that the spring that rests on the colonnade is higher than the other, and have defined its profile as a surbased arch, oval or even elliptical (Gómez-Moreno 1892, Rosental 1985, Alonso y Calvo 2013). However, so far no one has published a metric survey that contrasts and clarifies these claims. Thanks to photogrammetry we observe that, indeed, the vault springers are at different heights, resulting therefore a vault with apparently asymmetric profile hardly attributable to any known geometric figures.

The results of the survey show that the curve lintel that links the columns of the gallery saves the height difference between the two springings of the vault, so that the gap between them described above is compensated. In other words, the springing on the wall is at the same level as the lower side of the colonnade lintel. On the other hand we can see in the section that the height and thickness of this lintel are the same as the first row in the wall side. This makes us see it from another point of view and consider this first course as a transition between wall and vault, taking into account that curvature changes suddenly at this point. When analysing the section of the vault over this point we clearly obtain a circle arch whose center is in the middle of the gallery between the

Levantamiento de la bóveda anular

Para profundizar en el conocimiento geométrico y constructivo de la bóveda hemos llevado a cabo un levantamiento arquitectónico preciso mediante fotogrametría de imágenes cruzadas. Mediante su aplicación se pueden determinar las coordenadas de los puntos que aparezcan en dos o más fotografías, por lo que al localizar puntos concretos, este sistema supone una herramienta especialmente útil para el análisis de piezas de cantería, permitiendo determinar con facilidad y detenimiento las juntas entre dovelas y, de este modo, conocer la geometría y el despiece del intradós (Fig. 6). Las fotografías se han procesado mediante PhotoModeler Scanner, que ha informado de un error máximo de 0.012 metros, menor que el grosor medio de las juntas entre dovelas que es de 2cm. La nube de puntos obtenida ha sido tratada posteriormente con programas CAD como Autocad y Rhinoceros para llegar a la elaboración de una representación gráfica rigurosa, no ideal, de la geometría de la bóveda. Es decir, la bóveda se representa con sus imperfecciones causadas por la propia construcción, tolerancias y deformaciones. Se han tomado 32 fotografías, obteniendo una nube de 1834 puntos que representan la totalidad de su superficie de intradós; mientras que sólo un sector de la bóveda, el cuarto suroeste, ha sido analizado en detalle (Fig. 7).

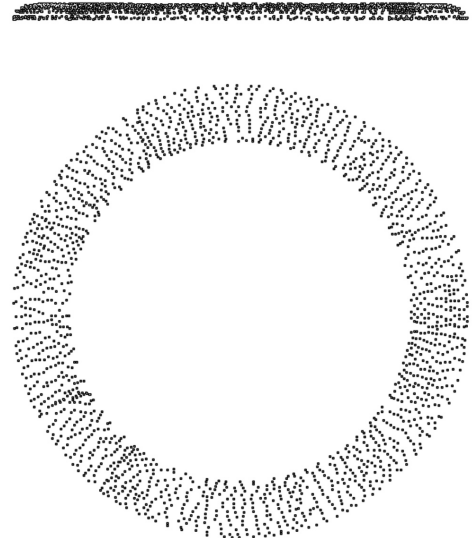
Los resultados del levantamiento no dejan duda de que las impostas de la bóveda se presentan como circunferencias concéntricas replanteadas con gran precisión, apoyando sobre el muro perimetral la de mayor diámetro, y sobre la galería formada

6. Proyecciones de la nube de puntos obtenida con PhotoModeler Scanner

7. Cuarto suroeste de la bóveda anular del patio. Planta y sección

6. Projections of the point cloud obtained with PhotoModeler Scanner

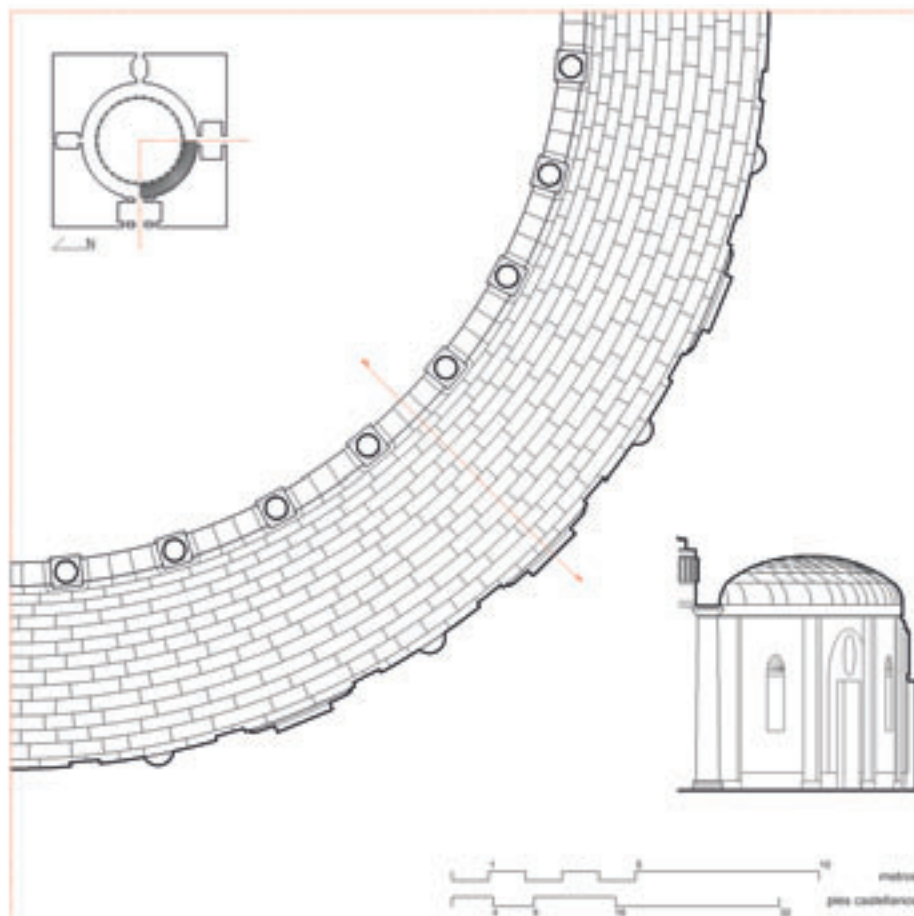
7. Southwest quadrant of the ring vault in the courtyard. Plan and section



6

por 32 columnas la más pequeña. La práctica totalidad de los autores que han tratado la bóveda señalan que la imposta que apoya en la columnata queda a mayor altura que la otra, y han calificado su perfil como carpnel, oval, o incluso elíptico. (Gómez-Moreno 1892, Rosental 1985, Alonso y Calvo 2013). Sin embargo, hasta el momento no se había publicado un levantamiento métrico que permitiera contrastar y precisar estas afirmaciones. Gracias a la fotogrametría observamos que, efectivamente, los arranques de la bóveda se producen a diferente altura, dando lugar, pues, a una bóveda con perfil aparentemente asimétrico y difícil de atribuir directamente a cualquiera de las figuras geométricas conocidas para este tipo de bóvedas.

Los resultados del levantamientos indican que el dintel curvo que une la columnata salva la diferencia de cota



7

entre ambos arranques de la bóveda, de manera que equilibra el desnivel entre las impostas anteriormente descrito. O lo que es lo mismo, el arranque de la bóveda por el lado del muro está a la misma cota que la cara inferior del dintel de la columnata. Por otro lado observamos que, en sección, la cota y espesor de dicho dintel coincide en altura con la primera hilada de la bóveda en el lado del muro, lo cual nos lleva a observar la bóveda desde otro punto de vista, considerando esta primera hilada como un tramo de transición entre muro y bóveda si tenemos en cuenta, además, que en este punto se produce un cambio de curvatura importante. Si analizamos la sección a partir de esta cota obtenemos sin lugar a dudas un arco de circunferencia cuyo centro viene a ser equidistante de ambas impostas de la bóveda, situándose aproximadamente en el eje de simetría de la sección.

Geometría y métrica de la bóveda

Nos encontramos, por tanto, ante una bóveda de intradós tórico cuya curva generatriz viene dada por un arco de circunferencia a excepción de la hilada de arranque de la imposta exterior, donde se produce un notable cambio en la curvatura del arco, lo que permite que las secciones de la bóveda arranquen del muro perimetral con tangente vertical. La diferencia de cotas en los arranques de la bóveda se resuelve mediante la incorporación a ésta del dintel curvo de la columnata, aunque no presenta simetría con la primera hilada de la bóveda en el lado del muro (Fig. 8).

Si profundizamos algo más en la cuestión observamos que ambos arcos de circunferencia, el que da la sección de la bóveda y el que define la primera hilada sobre el muro, son tangentes

two sides of the vault, approximately in the axis of symmetry of the section.

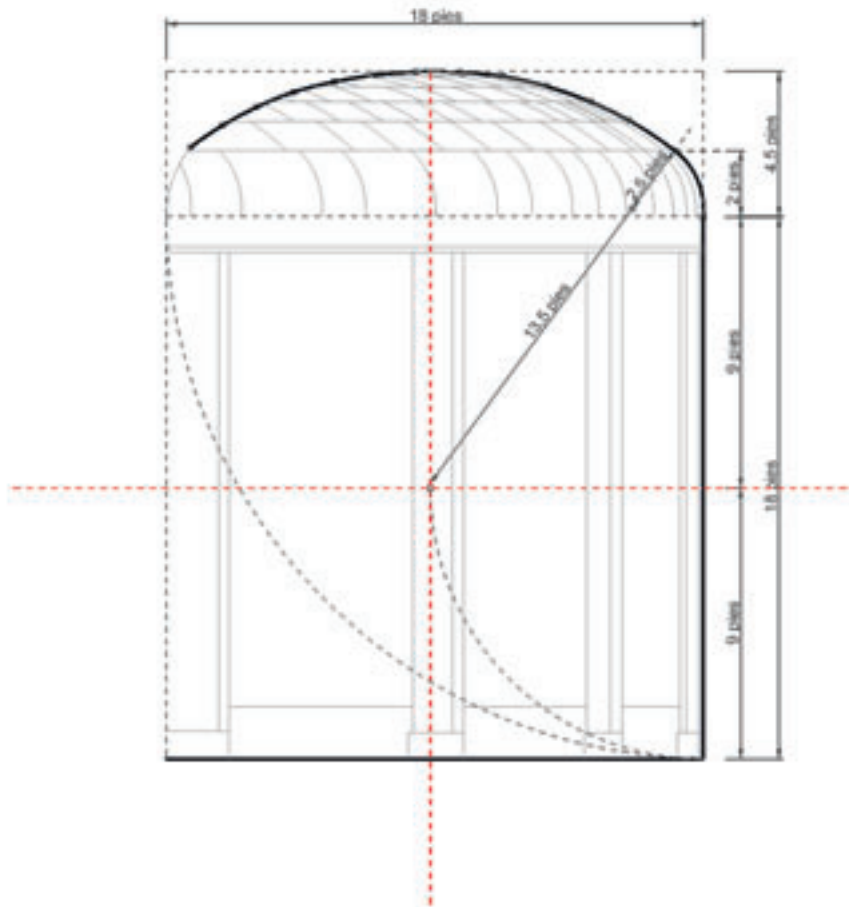
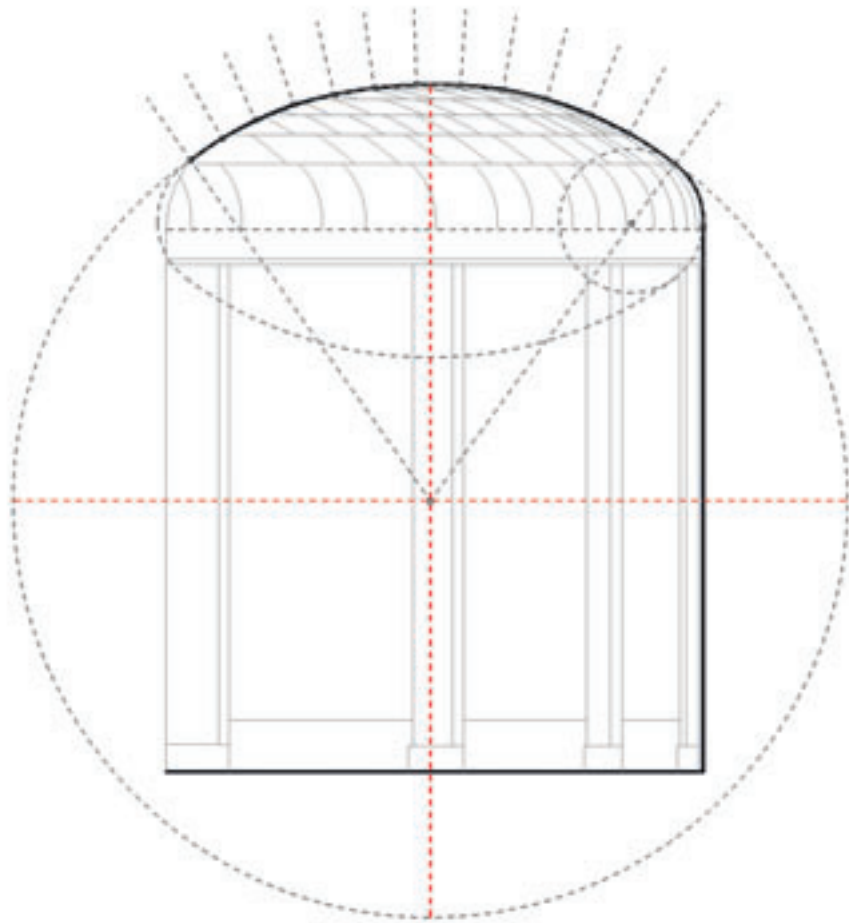
Geometry and metric of the vault

Therefore we have a torus vault whose generating curve is defined by a circle arch, except for the first course on the wall, where there is an important change of the arch curvature. This allows the section of the vault to start at the springing with a vertical tangent. The difference of height between the two springings is solved by considering the curve lintel part of the vault, although it is not symmetrical with the first row on the wall side (Fig. 8).

If we go deeper into the question we can see that both arcs, the one of the vault section and the one of the first row on the wall, are tangent in the transition point between them so that both arch centers and the tangency point are aligned on a straight line. This matches with the definition of three-center-oval (Fig. 8). In this case, since the springs of the vault are placed at different levels, the Granada masters used an oval with two centers. The geometry of this figure is similar to the classic three-center-oval, however the arc in the colonnade side is lacking. It is worthwhile to remark that this was not the first time that an oval-profile was used in the Palace, since it had been executed in the section of the crypt (Salcedo & Calvo 2015).

All these features do not seem casual, especially when doing the metric analysis of the vault section. The width of the vault, that is, the distance between its springs is 5,03 m or 18 castilian feet, which equals the height of the abutment of the vault, that is, four times the height of the vault with respect to its springs, 4,5 feet. The transitional first course between the wall and the vault is 2 feet height. The radii of the arcs used in the profile of the vault approximates 13,5 and 2,5 castilian feet, so that the center of the central arch of the vault is in the geometric center of the section. The measure 13.5 feet may seem strange at first sight, however it is equivalent to 18 handspans, and corresponds to three quarters of the width of the vault, or three times his sagitta (Fig. 8).

All this facts, that is, the accuracy in its measurements, the proportion system employed and the geometrically controlled profile, seem to respond to a carefully designed plan to prevent possible structural failure due to the thrust of the vault on the weak colonnade, which is less stable than the pilasters. This way the vault discharges most of his load on the wall and partly releases the other support of the vault. At this point it is important to



en el punto de transición entre ellas de manera que sus centros quedan alineados por una recta con el punto de tangencia, lo cual se corresponde con el óvalo de tres centros (Fig. 8). En este caso, puesto que, como sabemos, los arranques de la bóveda se producen a distinta altura, la figura que se presenta es un óvalo de dos centros, con un trazado similar al clásico óvalo de tres centros en el que una de las ramas de radio menor no se materializa, en este caso, en el lado del arco adintelado de la galería. Merece la pena señalar que ya se habían utilizado en el Palacio bóvedas de sección oval, en concreto en la cripta de la capilla (Salcedo y Calvo 2015)

Estos rasgos no parecen casuales, especialmente si analizamos la métrica en la sección de la bóveda. El ancho de la bóveda, es decir, la distancia entre sus impostas mide 5,03 metros o 18 pies castellanos, lo cual coincide con la altura del arranque inferior de la bóveda; y además es cuatro veces la altura de la bóveda con respecto a su arranque, 4,5 pies. La primera hilada de transición entre muro y bóveda tiene 2 pies de altura. Los radios de los arcos que dan forma al perfil de la bóveda parecen haber sido trazados con 13,5 y 2,5 pies castellanos, de manera que el centro del arco central de la bóveda queda situado en el centro geométrico de la sección. La medida de 13,5 pies puede parecer extraña a primera vista, pero equivale a 18 palmos, y corresponde a tres cuartas partes del ancho de la bóveda, o tres veces el su flecha (Fig. 8).

Todo ello, es decir, la precisión en sus medidas, el sistema de proporciones empleado, así como su perfil aparentemente irregular pero tan geoméricamente estudiado parecen responder a un plan diseñado minu-



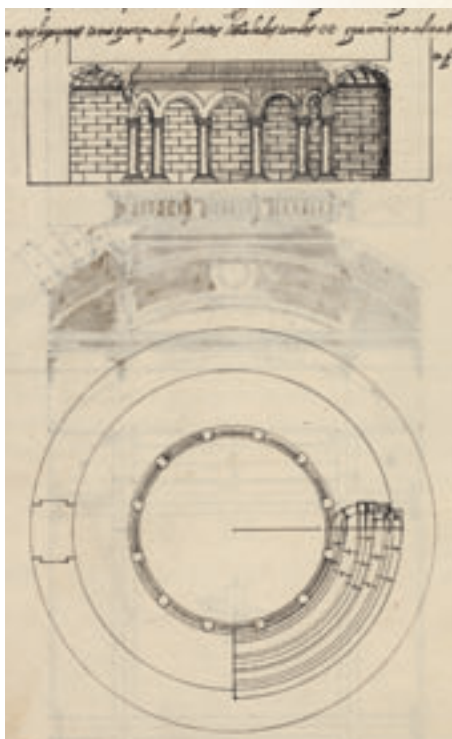
8. Geometría y métrica de la sección de la galería y la bóveda del patio

9. Patio redondo con columnas. Alonso de Vandelvira 1585 c.

ciosamente para prevenir los posibles fallos de la estructura ante los empujes de la bóveda sobre una columnata tan ligera, presumiblemente menos resistente que la solución propuesta de pilastras en lugar de las columnas, y arcos en lugar del entablamento plano. De esta manera, la bóveda descarga la mayor parte de sus empujes al muro, liberando en parte el otro apoyo de la bóveda. En este punto es importante destacar que tanto el autor del plano del Archivo Histórico Nacional como Juan de Maeda consideraban discutible la solución de columna y dintel, y por el contrario, preferían los arcos sobre pilastras, si bien Maeda la aceptaba a condición de cubrir el piso superior con armaduras de madera. Significativamente, Alonso de Vandelvira representa en su manuscrito la bóveda del piso bajo dispuesta sobre arcos que apoyan en columnas (Fig. 9); es decir, combina la solución del plano del Archivo y la finalmente construida. ■

Referencias

- ALONSO RODRÍGUEZ, M. A. et al. 2013. La bóveda de la Capilla de la Virgen del Alcázar en San Patricio de Lorca. Experimentación geométrica en la arquitectura renacentista del sur de España. *EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22: 122-131. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- CALVO LÓPEZ, J. et al. 2005. *Cantería renacentista en la catedral de Murcia*. Murcia: Colegio de Arquitectos.
- GÓMEZ-MORENO Y GONZÁLEZ, M. 1892. *Guía de Granada*. Granada: Indalecio Ventura, Granada.
- GUARDIA, A. de. 1600 c. *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.
- LÍNDEZ, B.; RODRÍGUEZ, M. 2015. La bóveda anular del Palacio de Carlos V en Granada. Hipótesis constructiva. *Informes de la Construcción*, 540. Vol 67. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción - Eduardo Torroja, CSIC.



9

- RODRÍGUEZ RUIZ, D. 2001. Las Trazas del Palacio de Carlos V en la Alhambra de Granada. En *Las trazas de Juan de Herrera y sus seguidores*, 417-448. Madrid: Patrimonio Nacional-Fundación Marcelino Botín.
- ROSENTHAL, E. E. 1988. *El Palacio de Carlos V en Granada*. Madrid: Alianza Editorial.
- SALCEDO GALERA, M.; CALVO LÓPEZ, J. 2015. ‘Los primeros lunetos en cantería de los tiempos modernos’: sobre la bóveda de la cripta del Palacio de Carlos V en Granada. En: *Actas del IX Congreso Nacional y I Congreso Internacional Iberoamericano de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, III: 1551-1560.
- TAFURI, M. 1988. El palacio de Carlos V en Granada: Arquitectura “a lo romano” e iconografía imperial. *Cuadernos de la Alhambra*, 24: 77-108. Granada: Patronato de la Alhambra y el Generalife.
- VANDELVIRA, A. de. 1585 c. *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. La estancia en Granada para la toma de datos ha sido financiada por el programa PMPDI-UPCT 2015. Los autores desean expresar su gratitud al Patronato de la Alhambra y Generalife por las facilidades ofrecidas para realizar el trabajo y a Miguel Ángel Alonso por sus comentarios y sugerencias.

8. Geometry and metric of the gallery and the vault section

9. Round courtyard with columns. Alonso de Vandelvira 1585 c.

highlight that both the author of the plan of the National Historical Archive of Madrid and Juan de Maeda did not trust entirely the lintel and colonnade solution, and by contrast, preferred arches on pilasters. However, Juan de Maeda considered that the lintel solution was acceptable if the top floor was covered with wooden frame. Significantly, Alonso de Vandelvira in his manuscript represents the vault of the ground floor resting on arches supported by columns (Fig. 9). This is, he combines the solution of the plan in the Archive and the one which was finally built. ■

References

- ALONSO RODRÍGUEZ, M. A. et al. 2013. The vault of the Chapel of Our Lady of the Alcázar in the Church of Saint Patrick in Lorca. Geometrical experimentation in Spanish Renaissance Architecture. *EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22: 122-131. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- CALVO LÓPEZ, J. et al. 2005. *Cantería renacentista en la catedral de Murcia*. Murcia: Colegio de Arquitectos.
- GÓMEZ-MORENO Y GONZÁLEZ, M. 1892. *Guía de Granada*. Granada: Indalecio Ventura, Granada.
- GUARDIA, A. de. 1600 c. *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.
- LÍNDEZ, B.; RODRÍGUEZ, M. 2015. La bóveda anular del Palacio de Carlos V en Granada. Hipótesis constructiva. *Informes de la Construcción*, 540. Vol 67. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción - Eduardo Torroja, CSIC.
- RODRÍGUEZ RUIZ, D. 2001. Las Trazas del Palacio de Carlos V en la Alhambra de Granada. In: *Las trazas de Juan de Herrera y sus seguidores*, 417-448. Madrid: Patrimonio Nacional-Fundación Marcelino Botín.
- ROSENTHAL, E. E. 1985. *The Palace of Charles V in Granada*. Princeton: Princeton University Press.
- SALCEDO GALERA, M.; CALVO LÓPEZ, J. 2015. ‘Los primeros lunetos en cantería de los tiempos modernos’: sobre la bóveda de la cripta del Palacio de Carlos V en Granada. n: *Actas del IX Congreso Nacional y I Congreso Internacional Iberoamericano de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, III: 1551-1560.
- TAFURI, M. 1987. Il palazzo di Carlo V a Granada: architettura ‘a lo romano’ e iconografia imperiale. *Ricerche di Storia dell’Arte*, 32: 4-26. Roma: Carocci Editore.
- VANDELVIRA, A. de. 1585 c. *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).

Acknowledgments

This work is part of the Research Project “Arquitectura renacentista y construcción pétreo” (19361/PI/14) of Fundación Séneca – Agencia Regional de Ciencia y Tecnología. The staying in Granada for data collection has been funded by the program PMPDI-UPCT 2015. The authors want to express their gratitude to Patronato de la Alhambra y Generalife for the facilities offered to carry out the work. Thanks to Miguel Ángel Alonso for his comments and advice.