

# Estereotomía de vaídas por hiladas cuadradas

La cubrición del tercer cuerpo del campanario de la iglesia del Salvador de Caravaca de la Cruz

Pau Natividad Vivó; José Calvo López  
Universidad Politécnica de Cartagena

Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación  
Avenida Paseo de Alfonso XIII, N° 52, 30203 Cartagena (Murcia)  
E-mail: pau.natividad@upct.es; jose.calvo@upct.es

**Resumen.** La estereotomía es la disciplina que analiza los problemas geométricos planteados por la división de sólidos. Encuentra una de sus aplicaciones más interesantes en el estudio del patrimonio arquitectónico y, en concreto, en la construcción en piedra de cantería. En el presente artículo se plantea estudiar la estereotomía de una bóveda vaída por hiladas cuadradas, tomando como ejemplo una construcción real: la cubrición del tercer cuerpo del campanario de la iglesia del Salvador de Caravaca de la Cruz. Para ello se realiza un levantamiento fotogramétrico 3D y se analiza mediante programas CAD por comparación con los tratados y manuscritos de cantería españoles.

## 1 Introducción

Una *bóveda vaída* se genera al cortar una superficie semiesférica por los cuatro planos verticales de un cuadrado o rectángulo inscrito en su base. En otras palabras, su geometría es resultado de la adaptación de la media naranja a una planta cuadrada, rectangular o poligonal en general. La intersección entre dichos planos y la semiesfera da lugar a unos arcos de circunferencia entre los que se localizan unos triángulos esféricos, denominados *pechinas*, sobre los que gravita el casquete superior (Fig. 1).

El despiece (división en dovelas) de una vaída se puede plantear por hiladas circulares, de forma similar a como se haría en una bóveda semiesférica convencional (Fig. 1a). Sin embargo, históricamente también se ha recurrido a otra notable disposición, motivada probablemente por su mejor adaptación a la forma de la planta cuadrada: el despiece por hiladas cuadradas (Fig. 1b).

El presente artículo estudia la *estereotomía* de una bóveda vaída por hiladas cuadradas tomando como ejemplo una construcción real. La estereotomía es la disciplina que analiza los problemas geométricos planteados por la división de sólidos. Encuentra una de sus aplicaciones más interesantes en el estudio del patrimonio arquitectónico y, en concreto, en la construcción en piedra de cantería.

La bóveda objeto de análisis es la que cubre el tercer cuerpo del campanario de la iglesia del Salvador de Caravaca de la Cruz (Fig. 2). La construcción de esta iglesia comenzó entre 1537 y 1538, y se prolongó durante varios siglos en diferentes fases. El tercer cuerpo, de los cuatro que componen el campanario, se ejecutó a principios del siglo XVII bajo el diseño y dirección de los maestros canteros Damián Pla y Martín de Barainza [1].

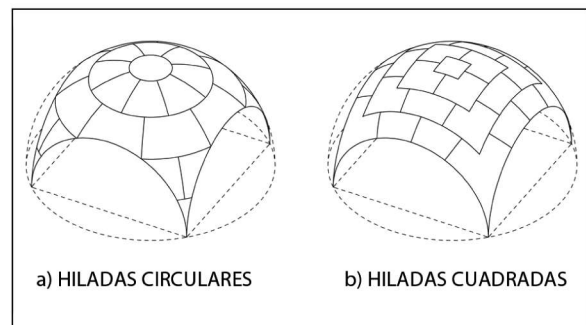


Fig. 1. Esquema de una bóveda vaída

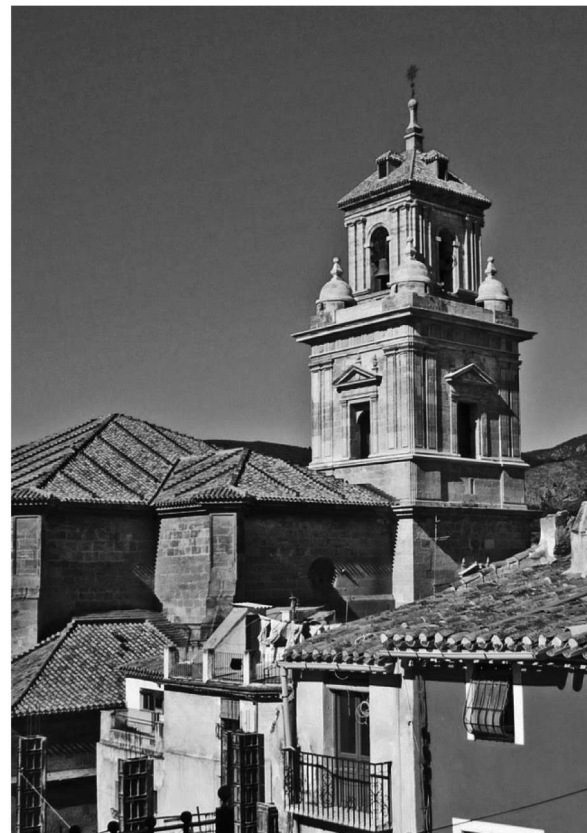


Fig. 2. El campanario de la iglesia del Salvador

## 2 Levantamiento fotogramétrico 3D

La primera tarea realizada es el levantamiento de la bóveda, operación que en sí misma tiene carácter de investigación [2] y cuya finalidad es generar una documentación gráfica rigurosa. Se ha empleado el sistema conocido como *fotogrametría multimagen* [3]. Mediante su aplicación, a partir de un conjunto de fotografías convergentes obtenidas con una cámara digital de alta resolución calibrada y empleando un programa informático especializado, se pueden determinar las coordenadas de los puntos que aparezcan en dos o más fotografías (Fig. 3). De este modo es posible obtener un modelo 3D del intradós de la bóveda.

Este sistema resulta ser una herramienta muy eficaz para investigar las piezas de cantería, pues permite determinar con cierta facilidad las juntas entre dovelas y de esta manera conocer la forma y despiece del intradós, aspectos básicos para abordar el estudio estereotómico.

El presente levantamiento se ha realizado empleando 6 fotografías convergentes obtenidas con una cámara digital Canon EOS 450D y objetivo EF-S 18-55 IS. Se han restituído un total de 130 puntos, que unidos convenientemente con líneas muestran un modelo alámbrico 3D del intradós (Fig. 4). El máximo error cometido en la determinación de las coordenadas de los puntos es de 1 cm. Siendo que dichos puntos representan las intersecciones entre juntas y éstas suelen tener un espesor medio de entre 1,5 y 2 cm, se puede afirmar que la desviación es despreciable a efectos prácticos.

A partir del modelo 3D se han obtenido diferentes vistas y perspectivas, algunas de las cuales se presentan en la Fig. 5. Intervenciones recientes han eliminado las hiladas superiores de la bóveda, por lo que ésta no se ha podido levantar en su totalidad. Sin embargo, este hueco permite observar la disposición y orientación de las juntas, cuestión que tiene cierto interés desde un punto de vista constructivo.

## 3 Estereotomía de la bóveda vaída

### 3.1 Geometría

Se ha comprobado sobre el levantamiento, mediante programas CAD, que todos los vértices de las dovelas del intradós se aproximan con bastante exactitud a una superficie esférica. Se observa, además, que la bóveda vista en planta se ajusta al perímetro de un rectángulo inscrito en una circunferencia (Fig. 5). Estas cuestiones permiten afirmar que la bóveda es del tipo vaída.

Los lechos, o juntas entre hiladas, se representan en planta como rectángulos equidistantes y en las secciones como arcos de circunferencia (Fig. 5). Esta disposición de los lechos permite clasificar la bóveda como vaída por hiladas cuadradas.

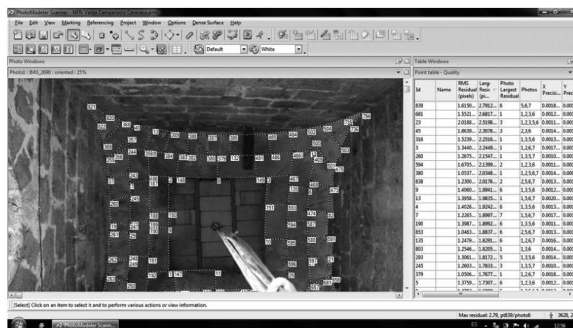


Fig. 3. Identificación de puntos en una fotografía convergente

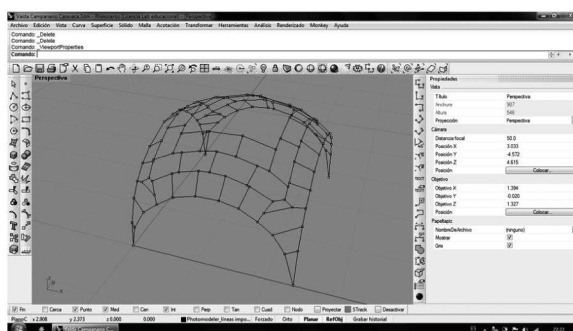


Fig. 4. Levantamiento fotogramétrico 3D

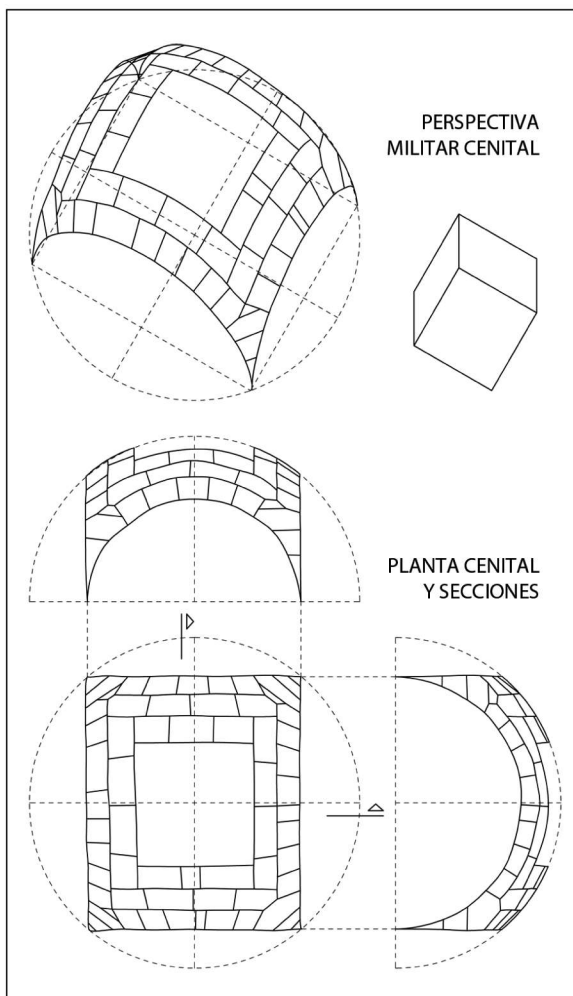


Fig. 5. Perspectiva militar central, planta central y secciones del intradós

El despiezo por hiladas cuadradas genera, en realidad, hiladas que son circulares y verticales, cuyos lechos vienen definidos según superficies cónicas de eje horizontal. En cada hilada las dovelas se separan por juntas determinadas por planos convergentes al centro de la superficie esférica. Estos planos cortan al intradós según arcos de circunferencia, que vistos en planta se proyectan como arcos de elipses y vistos en sección como rectas convergentes al centro (Fig. 5).

### 3.2 Estereotomía

Son conocidos dos procedimientos diferentes para obtener las plantillas y herramientas necesarias en la labra de piezas de cantería: el método *directo* y el método *por robos* [4]. Los tratados y manuscritos de cantería españoles, como por ejemplo el de Guardia [5] o Vandelvira [6], muestran trazados para bóvedas esféricas según el método directo, que ofrece la ventaja de ahorrar material frente al otro sistema.

El método directo tiene por objetivo obtener la plantilla de intradós de las dovelas, a partir de la cual se delimita la concavidad del intradós y se labran el resto de caras. En el proceso de obtención de dicha plantilla se realiza una ingeniosa operación geométrica que consiste en asemejar la superficie esférica a una serie de troncos de cono (tantos como hiladas estén previstas). De esta manera se transforma el intradós en una superficie desarrollable y susceptible de dibujarse sobre un plano, de donde se puede obtener la plantilla [7].

En bóvedas esféricas despiezadas según hiladas circulares horizontales, los conos serán de eje vertical. Si por el contrario el despiezo es por hiladas cuadradas, las hiladas resultan circulares y verticales, y los conos tendrán que ser de eje horizontal [8], tal y como muestra Vandelvira en su *Capilla perlongada por hiladas cuadradas* (Fig. 6). Las trazas propuestas por este autor coinciden en bastantes detalles con el despiezo que presenta el modelo 3D de la vaída del campanario, por lo que es bastante probable que las dovelas de esta bóveda hubieran sido labradas siguiendo el esquema propuesto por Vandelvira.

## 4 Conclusiones

Se ha realizado un levantamiento fotogramétrico 3D de la cubrición del tercer cuerpo del campanario de la iglesia del Salvador de Caravaca de la Cruz. Se ha comprobado mediante programas CAD que se trata de una superficie esférica delimitada en planta por un rectángulo o, lo que es lo mismo, una bóveda vaída. El modelo 3D presenta un despiezo de la bóveda que coincide en bastantes detalles con la exposición que Vandelvira hace de su *Capilla perlongada por hiladas cuadradas*. Por tanto, es bastante probable que la traza y labra de las dovelas de dicha bóveda se realizaran mediante el método directo, obteniendo las plantillas de intradós por desarrollo de conos de ejes horizontales.

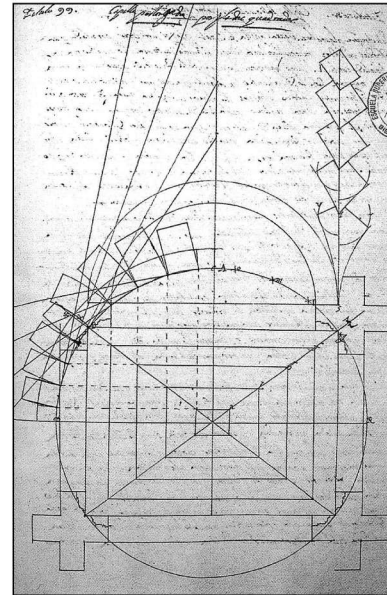


Fig. 6. Capilla perlongada por hiladas cuadradas

## Referencias

- [1] I. Pozo. *La iglesia parroquial del Salvador, Caravaca (Murcia)*, en Murgetana, revista de la Real Academia Alfonso X el Sabio. Murcia: 2002, número 106, pp. 37-67.
- [2] A. Almagro. *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada, 2004.
- [3] M.Á. Alonso, J. Calvo. *Sobre el levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multimagen*, en Actas del XIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Valencia: 2010, pp. 35-40.
- [4] E. Rabasa. *Guía práctica de la estereotomía de la piedra*. León: Centro de los oficios, 2007.
- [5] Alonso de Guardia (c.1600). *Manuscrito de arquitectura y cantería*. Biblioteca Nacional de Madrid. (Anotaciones sobre una copia de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principi, duchi, signori...*, Libro II, Venecia, 1566).
- [6] Alonso de Vandelvira (c.1580). *Libro de traças de cortes de piedras*. Copias manuscritas en la Biblioteca Nacional de Madrid y en la Biblioteca de la ETS de Arquitectura de Madrid.
- [7] J. Calvo, M.Á. Alonso. *Bóvedas renacentistas de intradós esférico y tórico en el antiguo obispado de Cartagena*, en Actas de las XVI Jornadas de Patrimonio Histórico. Intervenciones en el patrimonio arquitectónico, arqueológico y etnográfico de la Región de Murcia. Murcia, Consejería de Cultura, 2005.
- [8] J.C. Palacios. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*. Madrid: Munilla-Leria, 2003.