

# Levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multimagen aplicada a las Torres de Cuarte

Pau Natividad Vivó, José Calvo López  
 Universidad Politécnica de Cartagena  
 Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación  
 Avenida Paseo de Alfonso XIII, Nº 52, 30203 Cartagena (Murcia)  
 E-mail: pau.natividad@upct.es; jose.calvo@upct.es

**Resumen.** *Las Torres de Cuarte son uno de los principales testimonios de la ciudad amurallada de Valencia en la época medieval. El espacio central de las mismas está cubierto por una bóveda de arista esviada, en la que se abandonan las soluciones lineales de nervaduras y plementería típicas del gótico para emplear únicamente piezas enterizas. Se plantea obtener la forma y geometría de esta bóveda, realizando para ello un levantamiento arquitectónico de la misma, dovela a dovela, mediante fotogrametría multimagen, obteniendo de esta manera un modelo tridimensional.*

## 1 Sobre las Torres de Cuarte

Las Torres de Cuarte son uno de los principales testimonios de la ciudad amurallada de Valencia en la época medieval. Su construcción, que comenzó en 1441 y prosiguió hasta 1460, estuvo a cargo de los maestros valencianos de cantería Francesc Baldomar, Pere Compte y Pere Bonfill. De estilo gótico militar, están construidas en mampostería de cal y canto mediante el sistema de encajonadas, mientras que los ángulos, arcos, y el cuerpo superior se ejecutaron en sillería (Fig. 1).

La estancia central de las torres, justo encima del arco de acceso, está cubierta por una bóveda de arista esviada, en la que se abandonan las soluciones lineales de nervaduras y plementería típicas de la época para emplear únicamente piezas enterizas (Fig. 2). Esta cubrición resulta de un interés excepcional desde el punto de vista de la Historia de la Construcción, pues constituye un paso intermedio entre la cantería gótica y la estereotomía renacentista: si bien la bóveda plantea una serie de nuevos problemas geométrico-constructivos, los maestros canteros los afrontarán el reto desde su completo dominio de la tradición gótica.

## 2 El levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multimagen

Se plantea obtener la forma y geometría de la bóveda central de las Torres de Cuarte. Para ello se realizará un levantamiento arquitectónico del intradós de la misma, dovela a dovela, mediante aplicación de la fotogrametría multimagen, obteniendo así un modelo tridimensional.

### 2.1 El levantamiento arquitectónico

El *levantamiento arquitectónico* puede definirse, básicamente, como el conjunto de tareas realizadas para obtener documentos gráficos que representen un

objeto arquitectónico, partiendo de los datos que aportan sus propias fábricas. Si bien esto es cierto, actualmente el concepto trasciende ampliamente este significado.

Una definición actual más completa sería: «Con el término levantamiento se entiende el conjunto de investigaciones y operaciones orientadas a determinar las características significativas –bajo los aspectos morfológico, dimensional, figurativo y tecnológico– de un organismo edificado o de un conjunto urbano, a evaluarlo y a investigarlo, con el propósito de construir un modelo tridimensional simplificado, a través del cual se pueda analizar la obra, facilitando así la interpretación de sus fases de transformación y de los diversos aspectos referidos a los temas más representativos». (Almagro et al. 1999 y 2000).



Figura 1. Vista frontal de las Torres de Cuarte, parte de la muralla medieval de la ciudad de Valencia.





Figura 2. Bóveda de arista esviada en la tribuna central de las Torres de Cuarte. Como puede apreciarse, está ejecutada únicamente con piezas enterizas.

## 2.2 La fotogrametría multimagen

En general puede definirse como fotogrametría arquitectónica todo aquel sistema empleado para obtener levantamientos basándose en imágenes fotográficas. La idea consiste en considerar que una fotografía es, en esencia, una perspectiva cónica generada a partir de la forma del objeto, del punto de vista y del plano de cuadro; si recorremos el camino a la inversa podríamos deducir la forma del objeto a partir de la perspectiva cónica, es decir, a partir de la fotografía correspondiente.

Un sistema concreto de fotogrametría arquitectónica empleado frecuentemente en la actualidad es la fotogrametría multimagen. Mediante esta técnica, a partir de un conjunto de fotos convergentes obtenidas con cámara digital de alta resolución calibrada, y empleando un programa informático especializado, se dan coordenadas a aquellos puntos que aparecen como mínimo en dos fotografías. De esta manera, y punto a punto, se va obteniendo un modelo tridimensional del objeto arquitectónico.

La ventaja de la fotogrametría multimagen frente a otros sistemas de levantamiento reside en que el trabajo de campo se reduce considerablemente, pues se limita únicamente a la obtención de un conjunto de fotografías cruzadas, estratégicamente tomadas, de manera que abarquen por completo el objeto arquitectónico a levantar. Las fotografías han tener buenos solapamientos y puntos claros de identificar; en este sentido se debe evitar, en la medida de lo posible, realizar fotografías con zonas ocultas, pues todo aquello que no aparezca fotografiado no podrá ser levantado.

La calibración de la cámara, que debe hacerse previamente a la toma fotográfica, permite al programa informático conocer las deformaciones que el objetivo introduce en las fotografías, garantizando así una exactitud métrica aceptable. Los parámetros a tener en cuenta por su influencia en la distorsión de las imágenes son: la geometría del objetivo, la

longitud focal, el enfoque. Estos parámetros se fijarán en el momento de la calibración y deben permanecer constantes durante la toma posterior de fotografías. En un objetivo convencional la distancia focal real varía en función del enfoque, y puesto que en la mayoría de las cámaras solo se puede fijar la focal en sus extremos, lo habitual será calibrar los objetivos en la focal máxima o mínima, pues son las posiciones repetibles.

El levantamiento obtenido mediante fotogrametría multimagen es un levantamiento discontinuo, es decir, punto a punto. Se marcan puntos discretos del modelo en las fotografías, y éstos son restituidos mediante el programa informático. Por lo tanto, cuanto mayor sea el número de fotografías donde un punto se marque, mayor será la precisión obtenida en la restitución tridimensional del punto. El resultado es una nube de puntos, que convenientemente trabajados en cualquier programa de modelado nos permitirán obtener el levantamiento definitivo. Será necesario, para completar el trabajo, tomar una medida y determinar la vertical para poder escalar y orientar, respectivamente, el modelo tridimensional construido. Adicionalmente se pueden tomar más medidas que servirán para verificar la bondad métrica del trabajo realizado (Jiménez y Pinto 2003).

## 3 Aplicación de la fotogrametría multimagen a las Torres de Cuarte

En este trabajo se ha empleado el siguiente material: una cámara fotográfica digital Canon EOS 450D, con objetivo EF-S 18-55 IS; un ordenador con procesador INTEL Core Duo a 2,20 GHz y memoria de 4,00 GB; y el programa informático Photomodeler 6.0.

Como ya se ha indicado anteriormente, se propone obtener la forma y geometría de la bóveda central de las Torres de Cuarte. Al tratarse de una construcción de piezas de cantería, la fotogrametría multimagen resulta ser una herramienta muy eficiente, pues permite determinar con facilidad las juntas entre sillares y de esta manera conocer su forma y despiece (Alonso 2002; Calvo 2007, entre otros).

Se han empleado, en el proceso de levantamiento, un total de 18 fotografías convergentes que abarcaban la totalidad del intradós de la bóveda. Sobre estas fotos, y mediante el programa informático Photomodeler, se han ido marcando puntos en los vértices de cada una de las piezas de cantería (Fig.3). De esta manera se ha obtenido no sólo la geometría que define la bóveda en sus aristas y encuentros con los paramentos verticales, sino también las diferentes juntas de lecho entre las hiladas, así como las juntas verticales que definen el despiece entre sillares de una misma hilada. El programa informa que el mayor error cometido en la obtención de un punto es de 0,0104 metros. Tratándose de un levantamiento de vértices de piezas de cantería y las correspondientes juntas, y siendo que el espesor medio de estas juntas suele ser



de 2 cm aproximadamente, se puede afirmar que el error es, a efectos prácticos, totalmente despreciable.

Una vez obtenida la nube de puntos (Fig. 4), se unen éstos mediante líneas según convenga (Fig. 5) de manera que se obtiene así un levantamiento donde las curvas reales quedan reflejadas como poligonales. Puesto que carecemos de información de lo que ocurre entre los puntos, lo estrictamente correcto es unirlos mediante líneas, al menos en un estado inicial del levantamiento. Como última cuestión, indicar que este levantamiento permitirá, en el futuro, investigar y formular hipótesis acerca de la forma, geometría y construcción de la bóveda.

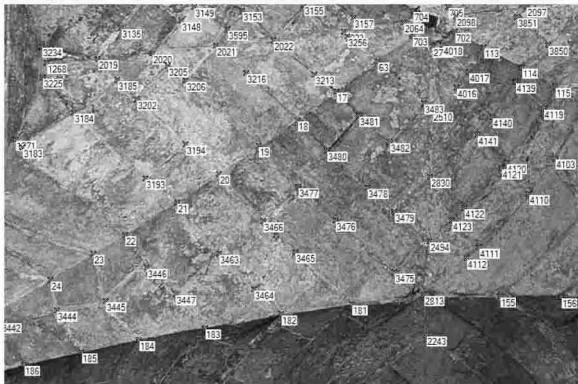


Figura 3. Imagen fotográfica con los puntos marcados que serán restituídos.



Figura 4. Nube de puntos tridimensionales.

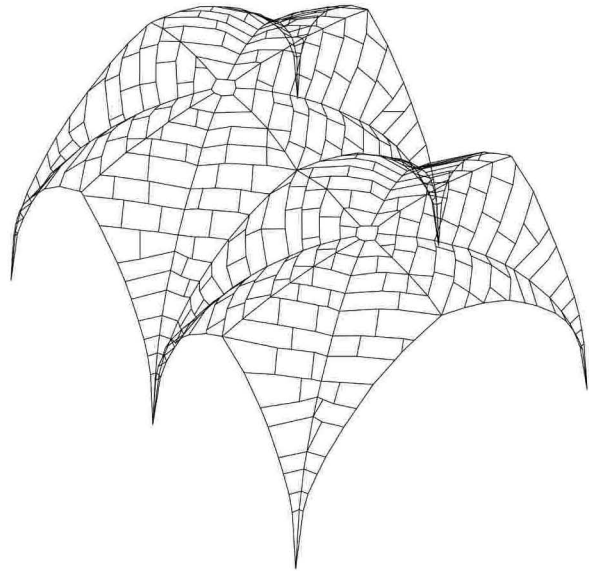


Figura 5. Perspectiva cenital de la bóveda, construida tridimensionalmente a partir de la nube de puntos.

## Referencias

- [1] A. Almagro et al., *Declaración sobre el levantamiento arquitectónico, Carta del Rilievo*. Nápoles 1999, Roma 2000.
- [2] A. Jiménez Martín y F. Pinto Puerto, *Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y futuro*, Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ISBN: 84-472-0814-1 (2003).
- [3] M.A. Alonso Rodríguez, A. López Mozo, M. Farjas Abadía & F. Ayora Baena, "Levantamiento de la cúpula de la Basílica del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial. Aplicación experimental de Estación Total de lectura directa". *Topografía y Cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, pp. 19-33, vol. 19, nº 110. ISSN: 0212-9280 (2002).
- [4] J. Calvo López, "Piezas singulares de cantería en la ingeniería y arquitectura militar de Cartagena en el siglo XVIII". *Actas del V Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, pp. 167-176, vol. 1. ISBN: 978-84-7790-446-5 (2007).