

Fotogrametría de bajo coste para la modelización de edificios históricos

José Luis Pérez García, Antonio T. Mozas Calvache, Francisco Javier Cardenal Escarcena
y Andrés López Arenas

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Grupo de Investigación Sistemas
Fotogramétricos y Topométricos. Universidad de Jaén. España

Resumen

En los últimos tiempos las metodologías y herramientas utilizadas para el estudio y la documentación del patrimonio histórico han sufrido un importante avance al disponer de un mayor abanico de posibilidades para abordar estas tareas. Sin embargo, algunas de estas nuevas posibilidades, tales como las estaciones fotogramétricas digitales o el sistema láser escáner, si bien facilitan y mejoran de manera importante los trabajos y productos obtenidos, tienen un coste bastante elevado, que en muchos casos no permiten su utilización. En este trabajo se presentan diferentes técnicas fotogramétricas de bajo coste, que permiten obtener productos con precisiones aceptables y muy interesantes para el estudio, la documentación y modelización de documentos históricos.

Palabras Clave: FOTOGAMETRÍA, MODELIZACIÓN, PATRIMONIO, RECTIFICACIÓN.

Abstract

In recent times the methodologies and tools used for study and documentation of cultural heritage has undergone remarkable progress, we have a wide range of possibilities to tackle these tasks. However, some of these new possibilities, such as digital photogrammetric stations or laser scanner system facilitate and significantly improve the work and obtained products but it has fairly high costs, which in many cases not allow its use. This paper shows different techniques of low cost photogrammetry to obtain very interesting products with an acceptable accuracy for the study, documentation and modeling of historical documents.

Key words: PHOTOGRAMMETRY, MODELING, HERITAGE, RECTIFICATION

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas fotogramétricas permiten obtener representaciones fidedignas de la realidad, con carácter métrico y con una reducción importante de subjetividad, por lo que constituyen una herramienta muy útil e interesante en los trabajos de documentación patrimonial para la realización de proyectos arqueológicos y arquitectónicos de diferente índole (proyectos de rehabilitación o restauración, estudios estratigráficos de paramentos, etc.). La aplicación de técnicas fotogramétricas con estaciones digitales y de nuevas tecnologías como el láser escáner terrestre, están siendo utilizadas cada vez con más normalidad en trabajos de este tipo. Así, MAÑANA et al. (2008), GUIDI et al. (2008) o EL-HAKIM et al. (2008) utilizan la tecnología laser escáner en trabajos de documentación patrimonial. De la misma manera, y a modo de ejemplo podemos encontrar otros autores y trabajos, tales como CÁMARA y LATORRE (2003) y ALMAGRO (2008), donde se utilizan estaciones fotogramétricas y los diferentes productos derivados de su uso para llevar a cabo estudios en el ámbito de la documentación patrimonial.

Debido a esta inercia, las nuevas metodologías de bajo coste presentan en la actualidad un importante auge en el estudio de edificios históricos. Este auge se debe en parte a una significativa mejora de rendimiento y reducción de costes con respecto a otras tecnologías más tradicionales o más innovadoras y

novedosas. El desarrollo de técnicas de bajo coste ha venido como consecuencia del avance actual de la tecnología y de la disminución de los precios de instrumental, ya que éstas técnicas se basan en la utilización de cámaras digitales convencionales, estaciones topográficas con medida directa de distancias sobre el objeto y aplicaciones informáticas de desarrollo propio con bajo coste computacional.

2. NECESIDADES Y PRODUCTOS.

Los diferentes productos que se pueden plantear con estas técnicas están dirigidos a necesidades concretas surgidas en los diferentes trabajos relacionados con el estudio y mantenimiento de los edificios históricos (documentación, restauración, estudios estratigráficos, modelización, etc.)

Necesidades bidimensionales.

Una necesidad básica con las que nos podemos encontrar en este tipo de trabajos, es la de representar a una escala determinada los diferentes paramentos planos que constituyen un edificio, de una manera global y continua pero con detalle suficiente para llevar a cabo el estudio planteado. Desde este punto de vista, un producto muy interesante para llevar a cabo

dicha representación, es el mosaico de imágenes rectificadas u ortorrectificadas, ya que nos permitiría representar de manera métrica y a una resolución determinada la realidad del paramento estudiado con un significativo grado de objetividad en contraposición con los tradicionales dibujos y planos obtenidos por un operador, normalmente experto, mediante la interpretación y generalización de la realidad. A su vez, facilita la realización de estudios evolutivos que puedan utilizarse para analizar el resultado de una intervención. En esta línea, también se puede plantear esta necesidad de representación 2D para superficies no necesariamente planas, que obligarían a utilizar proyecciones sobre un plano u otra superficie (LEROY 2006). Este producto podrá ser la base para llevar a cabo otras representaciones posteriores, ya realizadas por profesionales específicos del área de estudio (restaurador, arqueólogo, etc.). Además podrá ser utilizado como “textura real” para una futura modelización virtual de dicho lienzo o paramento.

Como se comentó con anterioridad, una de las técnicas fotogramétricas más simple está basada en la rectificación de fotografías mediante una transformación proyectiva. Este proceso consiste en la corrección de la fotografía realizada, o parte de ella, de la distorsión provocada por la perspectiva cónica fotográfica. Esta rectificación permite pasar de un plano existente en la realidad a un plano proyectado por el proceso fotográfico y viceversa, relacionando las coordenadas existentes con sus coordenadas fotográficas correspondientes. Entre las ventajas de utilización de esta técnica destaca, además de su coste, su posible aplicación sin necesidad de conocimiento previo de la geometría interna de la cámara (focal, formato, etc.), y de la orientación de la misma en el momento de la captura, lo que permite trabajar con cámaras convencionales de óptica no fija. Por otro lado, presenta la limitación de la necesidad de dividir el objeto de estudio en elementos estructurales más o menos planos.

Necesidades tridimensionales.

Por otro lado, según ALVAREZ et al. (2003) el estudio histórico o arquitectónico de un edificio se concibe como un elemento único y tridimensional, por lo tanto, el modelo grafico que lo represente cumplirá estas dos características: unicidad y tridimensionalidad, frente a las representaciones como conjuntos de alzados independientes entre sí y con los cuales es difícil relacionar las diferentes partes de un mismo edificio. La forma más simple de representación es mediante la realización de un modelo volumétrico consistente en la extracción de las líneas definitorias más importantes del edificio.

A partir de esta representación tridimensional se podrían obtener otros productos derivados como perfiles o secciones, vistas perspectivas, modelizaciones virtuales, etc. Este producto más global también se puede obtener con estas técnicas. Para conseguir este modelo se ha de obtener la estructura del edificio mediante técnicas topográficas y/o fotogramétricas y añadirle la información radiométrica obtenida, por lo que existe la necesidad de relacionar correctamente las representaciones bidimensionales independientes con la estructura global tridimensional, permitiendo pasar del sistema de referencia general al sistema de referencia particular y viceversa.

En este trabajo se presenta una descripción de estas técnicas fotogramétricas de bajo coste, analizando la metodología de trabajo. Para ello, se muestran diferentes resultados obtenidos en varios proyectos de restauración y documentación patrimonial de edificios históricos.

3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La metodología de trabajo planteada para la modelización de edificios históricos mediante técnicas topográficas y fotogramétricas de bajo coste, contempla distintas fases distribuidas en el tiempo y dependientes unas de otras. Inicialmente, se ha de llevar a cabo una planificación general del proyecto, contemplándose para ello, tanto los trabajos topográficos como fotogramétricos que van a ser necesarios. En esta fase, la compleja geometría que habitualmente presentan los edificios históricos hace necesaria la correcta planificación de las redes topográficas de apoyo. Las cuales deberán permitir la obtención de suficientes puntos para definir la estructura básica de lienzos, paredes, bóvedas, etc., medir los puntos de control necesarios para orientar y proyectar las fotografías y definir un sistema de referencia común y estable para todo el proyecto. En cuanto a la planificación de los trabajos fotogramétricos, se deberán analizar el número y situación de las tomas fotográficas teniendo en cuenta aspectos como el formato, resolución de la cámara y escala de trabajo, las características del objetivo y sus distorsiones, la ubicación y orientación de los lienzos para determinar el horario más adecuado para la realización de las tomas, la presencia de obstáculos y zonas ocultas intentando garantizar una cobertura completa, etc. Tras la fase inicial, se realiza la materialización, observación, cálculo y compensación de las redes topográficas planteadas. Una vez definida la red topográfica base, se puede llevar a cabo la toma, verificación y obtención de las distintas fotografías necesarias para cubrir todo el objeto. En esta fase se han de tener en cuenta dos condicionantes muy importantes y que pueden entrar en conflicto: la necesidad de una cobertura completa y redundante del objeto de estudio y la necesidad de minimizar el número de fotografías necesarias para aumentar el rendimiento del trabajo, por lo que se deberá buscar un equilibrio entre ambos.

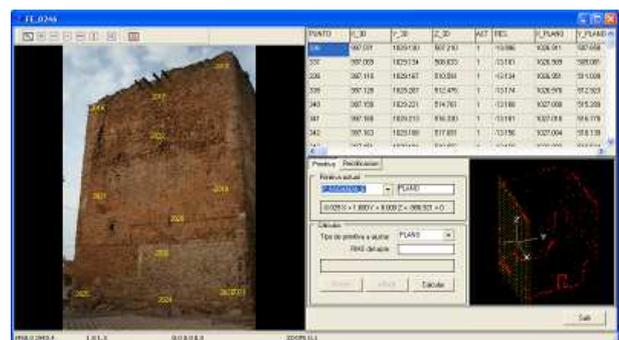


Figura 1. Software para rectificación proyectiva

La rectificación de una fotografía requiere, al menos 4 puntos con coordenadas conocidas. Para minimizar el número de puntos a medir y mejorar los resultados de la proyección, se deben situar estos puntos en los extremos de las fotografías, y en zonas de solape de fotografías consecutivas, de forma que un mismo punto pueda servir para las dos fotografías solapadas.

La obtención de las imágenes rectificadas y del consiguiente mosaico contempla la obtención previa del plano correspondiente al lienzo mediante un ajuste mínimo cuadrático de los puntos que lo definen, la obtención de las coordenadas proyectadas de los puntos, la medida de los puntos en las

fotografías, la rectificación proyectiva de cada una de las imágenes (Figura 1) y la obtención del mosaico de imágenes que definen cada lienzo (Figura 2).



Figura 2. Fortaleza de la Mota: Obtención del mosaico de imágenes que definen un lienzo. Ejemplo de eliminación de arbolado mediante el uso de fotografías desde diferentes puntos de vista

Como se comentó con anterioridad, existen casos donde el lienzo sometido a estudio no se puede adaptar a una superficie plana. Es muy habitual la presencia de estructuras cilíndricas o cónicas donde esta técnica de rectificación no sería efectiva. En estos casos se deberá recurrir a otro tipo de proyecciones (figura 3).

Una vez obtenidos los mosaicos de imágenes rectificadas se pueden llevar a cabo todos los estudios y representaciones derivadas cuyo documento base sea este tipo de productos. En esta línea estarían los estudios estratigráficos (figura 5), vectorización de estructuras de interés para la restauración y conservación (figura 4), etc.

Paralelamente, se puede proceder a la extracción de la estructura externa e interna del edificio (Figura 6), mediante la fusión de técnicas topográficas y fotogramétricas. La estructura funcionará como un armazón en la que descansa las diferentes superficies existentes (malla triangular) dando lugar a una malla tridimensional del edificio (MOZAS y PÉREZ 2008).

En cada una de las superficies se podrán insertar las imágenes rectificadas disponibles en su ubicación real, lo que genera un modelo tridimensional y virtual del edificio, en el que los mosaicos de imágenes rectificadas son utilizados a modo de textura de los distintos lienzos. Una gran ventaja de los modelos tridimensionales obtenidos con esta metodología es que utilizan texturas reales, por lo que cualquier tipo de visualización virtual del mismo es percibida de manera mucho más realista (Figura 7).



Figura 3. Fuente de la Magdalena (Jaén): Obtención del mosaico de imágenes proyectadas sobre un cilindro. Fotogramas originales. Desarrollo cilíndrico individual y obtención del mosaico.

Del modelo obtenido puede extraerse todo tipo de representaciones como secciones, proyecciones, cortes, vistas, planos, alzados, digitalización de elementos, etc., dependiendo del producto requerido.

4. CONCLUSIONES

Las técnicas fotogramétricas presentadas en este trabajo basan su rentabilidad en la combinación de instrumental más económico y modelos sencillos como la rectificación proyectiva de imágenes que minimiza el apoyo topográfico y posibilita el uso de cámaras convencionales de óptica variable sin la necesidad de llevar a cabo una orientación externa de las imágenes. Además esta transformación nos permite transferir información del espacio proyectado (2d) al espacio objeto (3d) en ambos sentidos. La principal restricción de la rectificación proyectiva es la necesidad de que el objeto sea lo más plano posible, por lo que la hace muy

interesante en el caso de edificios históricos, donde estos paramentos suelen abundar.

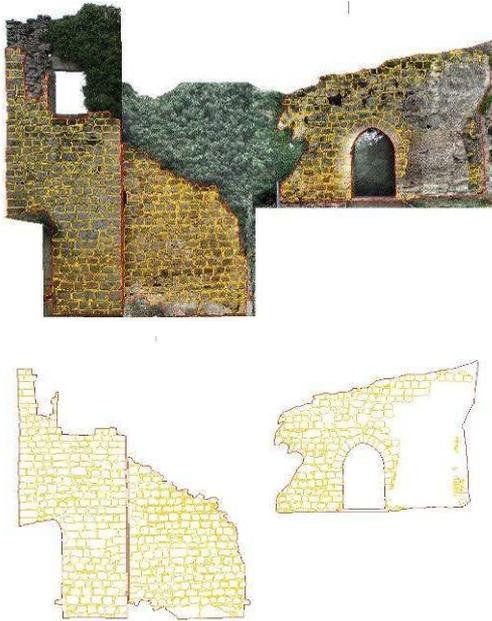


Figura 4. Fortalezta de la Mota: Digitalización sobre mosaico de imágenes rectificadas. Ortofotomapa y Vectorial.

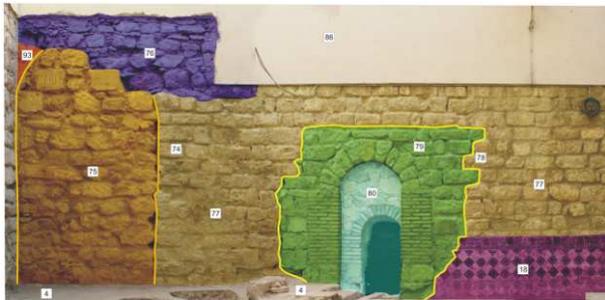


Figura 5. Fuente de la Magdalena. Análisis estratigráfico (mosaico lienzo este).

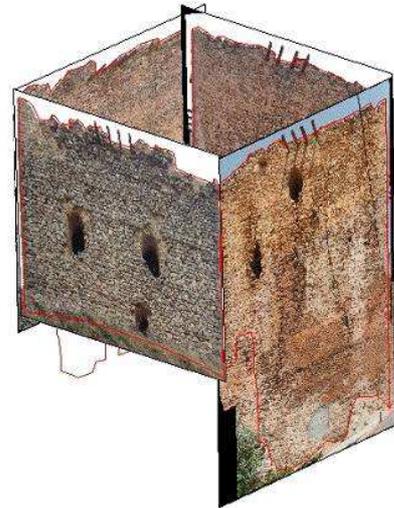
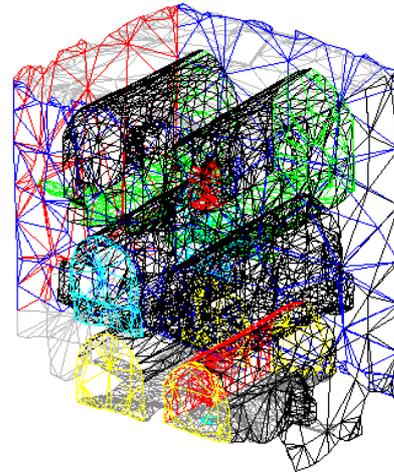


Figura 6. Torre del Homenaje (Torres de Albánchez): Estructura tridimensional del edificio. Transformación de productos del sistema local 2d al sistema global 3d.

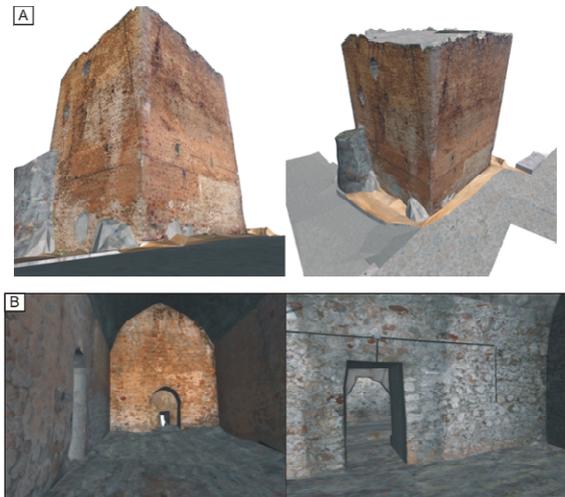


Figura 7. Vistas modelizadas del exterior (A) e interiores (B) de la Torre del Homenaje. Torres de Albánchez (Jaén).

En el caso de tratar con edificios con estructuras más complejas, se hace necesario utilizar otro tipo de proyecciones como la ortoproyección sobre un plano o los desarrollos de superficies de revolución. En este caso si es necesario disponer de una representación previa de la superficie y de la orientación externa de las diferentes fotografías que se desean proyectar o desarrollar.

La obtención de un modelo virtual de los edificios con texturas fotográficas reales es un producto que aporta unas enormes posibilidades para cualquier profesional que pueda requerir representaciones de todo o una parte del mismo. Este producto, al poseer un carácter métrico, puede ser utilizado tanto para documentación patrimonial, como musealización virtual, para proyectos arquitectónicos de rehabilitación o restauración, estudios arqueológicos de paramentos, etc.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto IFOTEL (TIN-2009-09939) del Ministerio de Ciencia e Innovación y ha sido cofinanciado a través de fondos FEDER y del Grupo de Investigación TEP-213 (PAI Junta de Andalucía).

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO, Antonio (2008). La puerta califal del castillo de Gormaz. En *Arqueología de la Arquitectura*, nº 5, pp. 55-77.
- ALVAREZ GONZALEZ, Irantzu, et al. (2003): “Diferentes propuestas para la representación geométrica de edificios históricos”, en *Arqueología de la Arquitectura*, nº 2, pp. 9-12.
- CÁMARA, Leandro y LATORRE, Pablo (2003). El modelo Analítico Tridimensional obtenido por fotogrametría. Descomposición, manipulación y aplicaciones en el campo de la restauración arquitectónica. En *Arqueología de la Arquitectura*, nº 2, pp. 87-96.
- EL-HAKIM, Sabry. et al. (2008): “Using Terrestrial Laser Scanning and Digital Images for 3D Modelling of the Erechtheion, Acropolis of Athens”, proyecto “Development of Geographic Information Systems at the Acropolis of Athens“
- Web: http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/fabio/DMACH08_acropolis.pdf
- GUIDI, Gabriele et al. (2008): “3D Modeling of Large and Complex Site Using Multi-sensor Integration and Multi-resolution Data” Roman Forum in Pompeii, Italy, en *The 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST 2008*. Web: http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/fabio/vast08_pompei.pdf
- LEROY, Thomas. (2006): “Le sauvetage des églises de Voskopoja (Albanie). La documentation métrique des fresques pour leur sauvegarde et leur restauration”, en *XYZ*, nº 109, pp. 29-34.
- MAÑANA-BORRAZAS, Patricia et al. (2008): Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Constructivo: Su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela), en *Arqueología de la Arquitectura*, nº5, pp. 15-32.
- MOZAS CALVACHE, Antonio y PEREZ GARCIA, Jose Luis (2008). “Estudio Fotogramétrico de la Torre del Homenaje de Torres de Albánchez. Jaén”, en *Mapping*, nº 124, pp. 6-10.