

Combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste: el levantamiento tridimensional de la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria)

Combination of low cost terrestrial and aerial photogrammetry: three-dimensional survey of the church of San Miguel in Ágreda (Soria)

Zaira Peinado Checa, Angélica Fernández Morales, Luis Agustín Hernández

Área de Expresión Gráfica Arquitectónica, Universidad de Zaragoza. España

Resumen

Una de las metodologías más usadas hoy en día para el levantamiento arquitectónico, es la fotogrametría. La combinación de la fotogrametría terrestre con la aérea de baja altura es el procedimiento idóneo para la obtención de la documentación geométrica global de cualquier edificio ya que recoge la información de puntos ocultos o inaccesibles. El UAV o drone es el dispositivo que actualmente más se usa para la captura de fotografías aéreas. En el presente artículo se ha utilizado el ejemplo de la Iglesia de San Miguel de Ágreda para establecer una metodología en la captura de datos y posterior tratamiento para la obtención del modelo tridimensional texturizado.

Palabras Clave: FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE Y AÉREA, LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO ARQUITECTÓNICO, UAV, DRONE.

Abstract

Nowadays, one of the most used methods for the architectural survey is photogrammetry. The combination of terrestrial and aerial photogrammetry of low altitude is the ideal method for obtaining global geometric documentation of any building, as it collects information about concealed or inaccessible points. The UAV or drone is the device currently most used to capture aerial photographs. We used the example of the Church of San Miguel in Agreda to establish a methodology for data collection and the process for obtaining a textured three-dimensional model.

Key words: TERRESTRIAL AND AERIAL PHOTOGRAMMETRY, ARCHITECTURAL SURVEY, UAV, DRONE.

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez son más los estudios de arquitectura o arqueología que se suman a la realización de levantamientos y documentaciones geométricas arquitectónicas y arqueológicas mediante la fotogrametría. La fotogrametría no es una

técnica de reciente creación, tiene al menos un siglo de trayectoria y ha evolucionado y reducido sus costes según han ido avanzando las tecnologías de la información y el desarrollo de la fotografía. En el campo de la documentación geométrica del patrimonio se contemplan dos tecnologías de aplicación, la fotogrametría y el

láser scanner. Son dos técnicas que van de la mano, y cada una se usa en casos determinados y a su vez pueden ser complementarias una de otra. Nos dan la posibilidad de adquirir una extraordinaria cantidad de datos y dimensiones, cuya densidad viene condicionada por la densidad del escáner o por la resolución del sensor de la cámara, que en realidad, dependen de la distancia a la que estén tomados los objetos.

La aplicación 3D puede ser usada tanto en pequeños elementos, objetos y hallazgos, como para el contexto de una excavación o edificación, o más extensivamente, para el paisaje y territorio.

Tanto la fotogrametría como el láser escáner terrestre tienen una limitación en cuanto a alcance. En el caso de realizar un levantamiento de un elemento que se encuentra visible a una cierta distancia, se obtienen buenos resultados, pero cuando se trata de la obtención de datos de zonas inaccesibles, como las cubiertas de un edificio o unas ruinas arqueológicas, se requiere la colocación de la cámara fotográfica, de manera que enfoque a un plano paralelo al horizontal y que a su vez, esté elevado. O en el caso del láser escáner, situarlo sobreelevado de la zona a capturar. Es aquí donde interviene la fotogrametría aérea de baja altura mediante el uso de UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), comúnmente llamado *drone*. Los UAVs se entienden como *vehículos motorizados aéreos deshabitados y reutilizables*, define van Blyenburgh (1999). Cada día está más extendido el empleo de la fotografía aérea en cualquier ámbito, como el agrícola, agrónomo, arqueológico, arquitectónico, militar, en los reportajes videográficos de cualquier actividad, publicitarios, en la detección de incendios y rescates de montaña, etc, mediante el uso de cámaras digitales o térmicas.

La fotogrametría aérea tampoco es algo actual, se inició en el siglo XIX cuando Giacomo Boni utilizó un globo aerostático para la documentación del patrimonio cultural de Roma, quería obtener fotografías aéreas del

Foro Romano (GARCÍA, 2012). Otros métodos se han utilizado para conseguir este tipo de fotografías aéreas, con elementos estáticos, como escaleras, andamios, jabalinas, o bien móviles aéreos, cometas, globos y dirigibles, cuya dificultad estriba en su acertado control (VERHOEVEN et al., 2008).

Un UAV es una aeronave que puede tener diversas formas, tamaños y características según el uso, distinguiéndose principalmente dos variaciones: los de ala fija y los rotatorios (cuadricópteros con cuatro rotores o hexacópteros con seis rotores). Vuelan sin tripulación a bordo, y están controlados mediante una ubicación remota, también disponen de sistema GPS, de estabilización y de unidades de navegación que permiten vuelos precisos y programados, garantizando, por un lado, el solape suficiente de la imagen y, por otro lado, permite al usuario calcular el pre-vuelo exacto (EISENBEIß, 2009). Especialmente se encuentran los que tienen el despegue y aterrizaje de forma manual y el vuelo autónomo. Se pueden adquirir en el mercado perfectamente acabados o para su fabricación por piezas. Actualmente, se pueden volar sin ningún permiso de aviación.

Cada drone varía en tamaño y peso, y la duración del vuelo oscila de las horas a los minutos, según usen gasolina o baterías. El tamaño del aparato influye en el peso que puede soportar, es decir, el tipo de cámara de fotográfica que puede sustentar. Ciertamente, cuanto mejor sea la cámara fotográfica, mejores resultados fotogramétricos se obtendrán. Cuanto más avanzado tecnológicamente sea del drone, más se incrementará su coste de mercado pero el tiempo de vuelo será mayor.

Antes de comenzar un trabajo fotogramétrico aéreo es necesario realizar un estudio de los requerimientos que son necesarios para poder adoptar una metodología –aparato aéreo- u otra, es conveniente tener en cuenta que no hay que invertir más dinero en comprar un *drone*, cuando por otros medios se pueden obtener los mismos resultados.

1.1. Objetivos del estudio

El objeto de estudio de este artículo es la documentación gráfica arquitectónica de un edificio eclesiástico de la villa de Ágreda (Soria) compuesto por varios volúmenes donde se combina la adquisición de datos mediante fotogrametría terrestre y fotogrametría aérea de bajo coste.

El reto enfrentado, fue el de fotografiar las cubiertas de la iglesia, ya que eran el punto inaccesible. Dado el bajo presupuesto con el que se contaba, se decidió adquirir un cuadricoptero de bajo coste, finalizado, comúnmente llamado “de llave en mano” y de un material muy resistente. Finalizado porque no se dispone de los conocimientos para fabricar uno y de material resistente para que pudiera soportar golpes e imprevistos hasta que se consiguiese adquirir la destreza necesaria para el manejo de vuelo.

Como el objetivo no era el de digitalizar grandes áreas, sino la cubierta de una iglesia, se optó por un drone cuyo manejo fuera manual, y de esa forma no encarecer todavía más su coste, ya que las grandes áreas requieren vuelo programado y una duración de vuelo mayor.

A continuación se va a exponer una metodología de trabajo tanto de la captura de datos, como del tratamiento de la información, tratando de definir unos criterios y principios básicos extrapolables al levantamiento de otros edificios de similares características y condiciones de volumen.

El edificio objeto de estudio es la Iglesia de San Miguel, Ágreda (Soria). De estilo gótico del siglo XV-XVI con una sóla nave y torre románica del siglo XII (Fig. 1). Tiene unas proporciones de 50m de largo por 25m de ancho y 24m de altura de la torre.



Figura 1. Imagen aérea de la Iglesia de San Miguel, Ágreda (Soria)

2. METODOLOGÍA

El trabajo está estructurado en dos fases: la captura de datos fiable del exterior en el estado actual de la edificación y el posterior trabajo de procesado de datos en gabinete.

La captura de datos terrestre, se realizó con una cámara digital Profesional “Nikon D3200” y un objetivo de 18-105mm de 24,2 megapíxeles de resolución con trípode. Para la aérea se usó el cuadricóptero de “Phantom” de DJI con la cámara “GoPro Hero 3” Silver edition (Fig. 2). Este dron tiene una velocidad máxima de 10m/s, con baterías de LiPo, una duración de vuelo aproximada de 15 minutos y una altura de vuelo de 1000 m que es la distancia máxima de comunicación con el mando. Dispone de giróscopos, sistema GPS y vuelta a casa.



Figura 2. Cuadricóptero de Phantom

El primer paso de la captura de datos es la planificación de la toma fotográfica. Por un lado, la terrestre se ha realizado de una vez, fotografiando el edificio a unos 15 pasos de distancia del edificio, con una longitud focal de 18mm, y unos pares frontales distanciados un paso y medio o dos, como resultado de multiplicar la distancia al edificio por 0,10-0,15, y de esta forma intentar evitar en la medida de lo posible los pares verticales asegurando un solape del 60% entre una fotografía y la otra (Fig. 3). Las características de la cámara son: diafragma a F/11 y sensibilidad ISO 100, enfoque automático en la primera fotografía y modo manual en el resto, usando el mismo enfoque en todas las fotografías (AGUSTÍN, FERNÁNDEZ y PEINADO, 2014). Por último, la velocidad se ha variado en función de la luz y

del histograma, aplicando el derecho de la gráfica, que es la zona del histograma donde se obtienen las mejores texturas (CUELI, 2011).

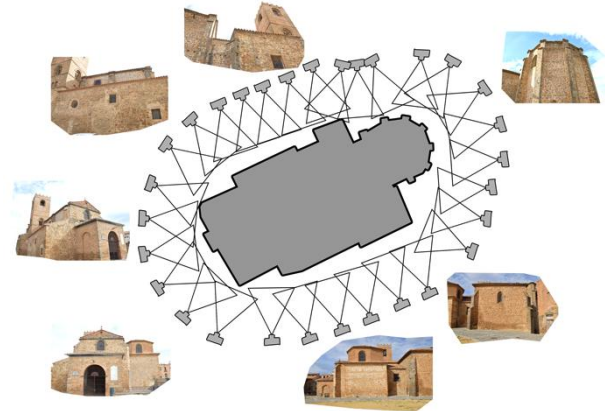


Figura 3. Planificación de la toma fotográfica terrestre

Acompañando a la toma fotográfica terrestre, se realizó la captura de las coordenadas de una serie de puntos de control sobre la fachada con una estación total para que el modelo digital tuviera las dimensiones reales.

El primer problema que apareció fue que, a diferencia de la fotogrametría terrestre, la fotogrametría aérea se realizó con una cámara donde las opciones vienen ya definidas. Esta cámara cuenta con una calidad de 10Mpixels y con respecto a otras versiones, ha mejorado en la nitidez, cuenta con un gran angular de reducida distorsión y balance de blancos automático. Tiene la opción de hacer ráfagas cada 3/1 seg, 5/1 seg, 10/1 seg y 10/2 seg. Además dispone de wifi por lo que se puede seguir el vuelo desde un iPad o dispositivo móvil en tiempo real, por medio de una aplicación propia.

Se pensó que sería un reto poder obtener unos buenos resultados de la suma del levantamiento fotogramétrico de una cámara profesional con otra de calidad media.

Antes de la realización del vuelo, hay que hacer una pequeña planificación. Esto es, la comprobación del tiempo atmosférico y de la velocidad del aire. El día ideal sería aquel que estuviera un poco nublado para que la iluminación fuera uniforme, sin sombras y que

no hubiera rachas de aire, o en su defecto, con una velocidad del aire no mayor a 6m/s.

El vuelo se realizó de forma manual, previa calibración del dron para la adquisición de GPS, con una altura que no sobrepasó los 50m y sin georreferenciación del vuelo -la georreferenciación es la utilización de puntos de control en el terreno. Se usa cuando se van a levantar grandes extensiones de terreno. En nuestro caso, solo necesitábamos fotografiar las cubiertas de un edificio y tomando los puntos de control de la fachada, nos bastaba para referenciar la cubierta- (Fig. 4).



Figura 4. Toma de fotografía aérea

Existen una serie de problemas con estos vuelos, uno de ellos es que en cualquier momento se puede quedar sin batería o se puede producir un cortocircuito por cualquier causa y caer a plomo, incluso que tenga problemas de estabilidad por el viento, caer sobre otra propiedad o punto inaccesible y hacer difícil su recuperación. El peor de los problemas, es que falle el aparato, se pierda el control y no se averigüe cuál ha sido la causa.

Una vez realizada la captura de datos, el siguiente paso es el tratamiento de la información en gabinete.

El programa utilizado para la restitución fotogramétrica fue "Photoscan" de Agisoft. Es un programa de fácil manejo, rápido y una herramienta muy potente. Tiene una gran velocidad de cálculo, y corrige automáticamente los errores de las deformaciones fotográficas y

distorsiones del objetivo. Tiene la ventaja de que la cámara fotográfica no necesita una calibración previa, por lo que nos brinda la posibilidad de usar cualquier cámara.

Su entorno de trabajo es sencillo y permite crear grupos de trabajo. En concreto se estructuró en dos, uno para las fotografías tomadas a pie y otro para las aéreas. El trabajo para la obtención del modelo digital consta de tres fases: la orientación automática de los pares estereoscópicos para la generación de la nube de puntos, la creación de la malla y la aplicación de la textura.

Se han utilizado un total de 500 fotografías, creándose sus respectivas máscaras sobre el edificio para dejar fuera coches y contenedores que se encontraban adosados a uno de los laterales de la iglesia. La densidad de las nubes de puntos obtenidas de las fachadas oscila en 1.000.000 puntos, y 300.000 puntos de las cubiertas, considándose una densidad baja pero excelente para este tipo de trabajo porque abarca la información suficiente para generar una buena nube de puntos con un rendimiento óptimo del ordenador (Fig. 5). Densidades muy altas se podrían considerar alrededor de los 15 millones de puntos con el consecuente encarecimiento del rendimiento.

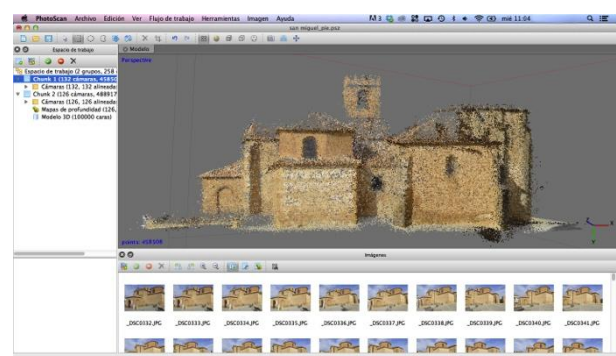


Figura 5. Nube de puntos de la fachada

Previo a la generación de la malla, conviene realizar una gestión y discretización de la nube de puntos reduciendo el ruido y eliminando puntos no válidos para evitar efectos indeseados en la posterior creación de la malla.

Las dos mallas se han generado por la triangulación de la nube de puntos y cuentan con 120.000 y 100.000 triángulos respectivamente, con un mapa de textura aplicado de dimensión 4096x8192 para conseguir unos resultados más finos y detallados en las ortofotos. La textura se introduce por medio de una orientación y rectificación de cada fotografía adaptada al modelo desde su punto de vista. El resultado final es un modelo tridimensional texturizado y cuenta con una resolución de 0,01m/píxel (Fig. 6).



Figura 6. Modelo tridimensional texturizado

El escalado del modelo y la unión de las dos mallas se ha desarrollado con el programa de modelado tridimensional “Rhinoceros”. Este programa permite el manejo de NURBS y mallas. Se importa el modelo con extensión *.obj para que reconozca la textura y en él, se pueden recortar, unir mallas y escalar y orientar objetos. Con dos de todos los puntos de control tomados con la estación total, se ha escalado el modelo, y el resto de puntos, han ayudado a comprobar la precisión. El error de precisión en este modelo oscila entre 5-7cm.

3. RESULTADOS

El resultado es un modelo tridimensional que contiene el registro integral de la información gráfica y que recoge la información física del estado actual del edificio permitiendo saber cuál era su situación, forma y estructura en un preciso momento.

Con levantamiento arquitectónico a través de la fotogrametría, se facilita la lectura del edificio y la comprensión de sus dimensiones y proporciones, se puede conocer su posición en el espacio y su relación con el entorno, además de detectar anomalías estructurales y conocer los materiales de construcción.

Del modelo digital se han extraído los alzados ortográficos y la planta de cubiertas del estado actual de la iglesia para el conocimiento de su estado de conservación (Fig. 7 y 8).



Figura 7. Alzados ortográficos

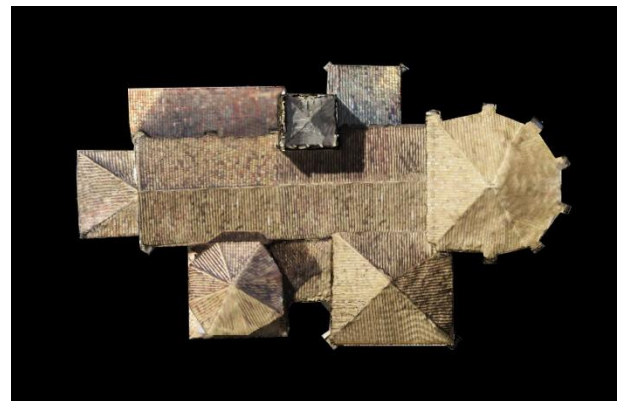


Figura 8. Planta de cubiertas

4. CONCLUSIONES

Bien es sabido que el levantamiento en sí puede y debe considerarse como un método de investigación pues sus resultados nos ofrecen siempre un mejor conocimiento de nuestro patrimonio. La documentación gráfica se basa en una buena interpretación y clara comprensión

del bien de interés cultural en sí mismo, y de sus características esenciales, complejas y su relación con el contexto. Para ello son necesarias un conjunto de operaciones y medidas que permitan documentar el bien, conocer sus características dimensionales y métricas (ALMAGRO, 2004). De ahí que del levantamiento se obtenga un conocimiento técnico, preciso y fiable del estado actual, morfológicamente y dimensionalmente, un modelo tridimensional a través del cual se pueda analizar la obra, hacer una lectura histórica, compositiva y constructiva del edificio.

En este caso de estudio se ha optado por la fotogrametría terrestre y aérea, cuya combinación se hace necesaria para el levantamiento arquitectónico de cualquier edificación sea cual sea el fin.

Conseguir el levantamiento global del edificio a bajo coste ha sido nuestro objetivo y para ello hemos sido conscientes de que el uso del drone requiere tiempo de vuelo y tomárselo como algo profesional. Saber desde el primer momento que el *drone* no es el objetivo del proceso, pero si uno de los medios para la ayuda en la obtención de la complejidad de los datos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Área de Expresión Gráfica de la Universidad de Zaragoza el apoyo y recursos para la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTÍN HERNÁNDEZ, L.; FERNÁNDEZ MORALES, A.; PEINADO CHECA, Z. (2014): “Documentación gráfica para la obtención de indicadores de sostenibilidad en la rehabilitación de la vivienda social y la regeneración urbana”, en *Actas del I Congreso Internacional de Vivienda Colectiva Sostenible*, Barcelona, 25-27 de Febrero, 2014.

ALMAGRO, A. (2004): *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Universidad.

CUELI, J. T. (2011): *Fotogrametría práctica. Tutorial Photomodeler*, 1º Ed. España: Tantin.

EISENBEIß, H. (2009): *UAV Photogrammetry*. Tesis Doctoral. ETH ZURICH.

GARCÍA BARRANCO, M. E. (2012): “Prof. Giacomo Boni, Il rilievo altimetrico del Foro Romano (1899)”, *Roma Archeologia*, Collana ArcheologicaMente; 3. Arbor Sapientiae Editore: Roma.

NEX, F., REMONDINO, F. (2013): “UAV for 3D mapping applications: a review”, *Applied Geomatics*, pp. 1-15.

VAN BLYENBURGH, P. (1999): *UAVs: and Overview*, Air & Space Europe, I, 5/6, pp. 43-47.

VERHOEVEN, G., LOENDERS, J., VERMEULEN, F., DOCTER, R. (2008): “Helikite Aerial Photography or HAP – A Versatile Means of Unmanned, Radio Controlled Low Altitude Aerial Archaeology”, en: *Journal of Archaeological Science*, pp. 125-138.

Páginas Webs

Gopro Hero 3: <http://es.gopro.com/products>

Phantom, DJI: <http://www.dji.com/product/phantom/>

PhotoScan, Agisoft: <http://www.agisoft.ru/products/photoscan/>

Rhinoceros 5: <http://www.rhino3d.com/>