

MODELADO 3D MEDIANTE INTEGRACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA CON UAV Y MMT PARA LA DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DE BIC

Martínez-Peña, Marina^{1*}; Herrero-Tejedor, Tomás Ramón²;
Velasco-Gómez, Jesús¹; López-Cuervo, Serafín¹; García-Uriarte, Óscar

1) Departamento Ingeniería Topográfica y Cartografía, UPM

2) Departamento Ingeniería Agroforestal, UPM

*marina.martinez@upm.es

RESUMEN

Las nuevas tecnologías aplicadas al área de la Ingeniería Geomática abren nuevos campos para la obtención de documentación geométrica de Bienes de Interés Cultural (BIC) de una manera rápida y al mismo tiempo precisa.

La Fotogrametría digital con imágenes desde UAV (Unmanned Aerial Vehicle) permite la modelización del BIC con alto nivel de detalle. Las técnicas de visión artificial del software de procesado facilitan la obtención de datos geoespaciales 3D de alta resolución y precisión centimétrica, a partir de las técnicas lidar e imagen del mobile mapping terrestre (MMT) podemos generar productos cartográficos. La integración de todas estas técnicas permite obtener una completa documentación del objeto de estudio. En el caso del BIC de las Bodegas de Atauta (Soria) la captura de información se realizó con UAV de ala fija con cámara RGB, y un sistema de MMT portátil lo cual ha permitido completar la toma de datos en superficie con la realización de levantamiento *indoor*.

PALABRAS CLAVE: Geomática, BIC, UAV, mobile-mapping, lidar, Fotogrametría.

1. INTRODUCCIÓN

El valle de Atauta (San Esteban de Gormaz, Soria) se encuentra en la cabecera de la zona vinícola con la denominación Ribera de Duero, a una altitud entre 950 y 1000 m, cuenta con cinco siglos de historia vitivinícola, y atesora un increíble barrio de bodegas y lagares subterráneos, algunos con más de cinco metros de profundidad. El conjunto de 141 bodegas, 15 lagares y 9 lagaretas, que se encuentran agrupadas a las afueras del pueblo en una extensión de unas 3 ha constituyen un conjunto arquitectónico de gran valor etnográfico [1].



Figura 1. Paraje y Bodegas de ‘El Plantío’, Atauta (Soria); Bien de Interés Cultural (BIC) con la categoría de Conjunto Etnológico.

Los habitantes de Atauta y sus responsables políticos han trabajado los últimos años para conseguir la denominación de esta zona como Bien de Interés Cultural (BIC). Según resolución de 16 de febrero de 2016, de la Dirección General de Patrimonio Cultural de Castilla y León, de la Consejería de Cultura y Turismo, se incoó expediente para la declaración del conjunto de Bodegas de «El Plantío» en Atauta, municipio de San Esteban de Gormaz (Soria), como bien de interés cultural con la categoría de conjunto etnológico¹.

En dicha resolución se señala que este conjunto de bodegas “constituye una relevante muestra de patrimonio cultural asociado a los sistemas productivos del vino, entendido como un espacio o paisaje cultural transformado por la acción humana representativo de un pasado y de unas formas de vida, digno de ser conservado y transmitido a generaciones futuras”.

Las ciencias y tecnologías geomáticas: Geodesia, Topografía, Fotogrametría, Teledetección, Sistema de Información Geográfica, han estado estrechamente vinculadas a la documentación geométrica del patrimonio y, en este caso, todas ellas se pueden integrar permitiendo, por un

¹ Tendrá la consideración de Conjunto Etnológico “el paraje o territorio transformado por la acción humana, así como los conjuntos de inmuebles, agrupados o dispersos, e instalaciones vinculados a formas de vida tradicional”.

lado, el estudio de las bodegas “El Plantío” a diferentes niveles de resolución y, de otro lado, para obtener productos cartográficos de alta resolución y precisión, incluyendo la posibilidad de crear un BIM (Building Information Model) de patrimonio.

El trabajo se desarrolla en la línea de investigación sobre documentación geométrica del patrimonio con técnicas geomáticas, del grupo Geovisualización, Espacios Singulares y Patrimonio ([GESyP](#)) [2] [3]; en colaboración con las empresas BIGM Civil Engineers, Topcon Positioning y Leica Geosystems que han aportado instrumentación y desarrollos informáticos.

2. RESULTADOS DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

En el mes de julio de 2016 se realizó una campaña de captura de datos con diferentes sensores geomáticos en el Barrio de Bodegas “El Plantío”, que complementa la anterior campaña realizada en 2014:

- Sensor de imagen RGB y NIR a bordo de vehículo aéreo no tripulado de ala fija
- Sensores *Mobile-Mapping* terrestre
- Láser escáner terrestre
- Receptores GNSS
- Sondas *Voumetric Water Content (VWC)* y *Ground Penetrating Rádar (GPR)*

A continuación, se presentan los resultados del vuelo con UAV junto con la captura de mobile-mapping terrestre (MMT) para la generación de un modelo digital de terreno preciso.

El tratamiento de los datos capturados por el UAV se ha llevado a cabo con los programas *Agisoft PhotoScan* y *Pix4D* que, mediante técnicas fotogramétricas de visión artificial (*computer visión*) con procesado multi-imagen, obtienen varios conjuntos de datos espaciales en pocos pasos representados en la figura 2, aunque con un consumo de tiempo muy elevado respecto al tiempo empleado en campo, en función del número de imágenes y las características de los equipos de trabajo. Ambos programas se aplican con éxito para el modelado tridimensional.

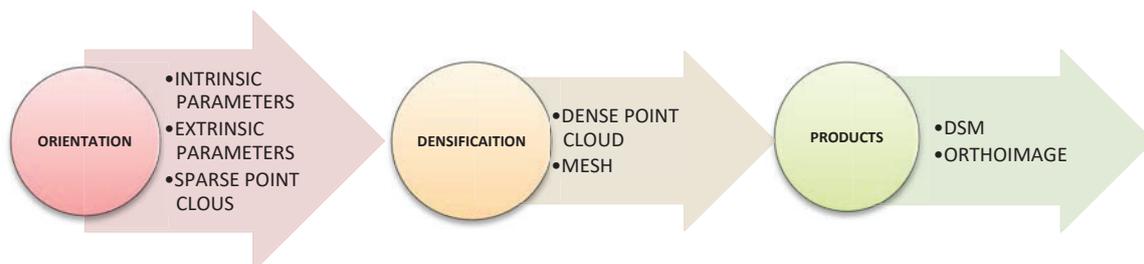


Figura 2. Flujo de trabajo automático

La georreferenciación de las imágenes fotográficas, de 16 Mp y con un GSD de 2.16 cm, se verificó mediante puntos de control dentro de tolerancia (2GSD en XY y 3GSD en Z).



Figura 3. Nube de puntos densa (correlación imágenes UAV)

Por otro lado, el sistema mobile-mapping terrestre ha permitido la captura de una nube de puntos lidar. El sistema integrado en una mochila, se transporta a lo largo de las bodegas subterráneas y se toman las nubes de puntos lidar junto con fotografías que proporcionan los valores RGB a los puntos tomados. El sistema se complementa con un segundo sistema inercial que ayuda a la tecnología SLAM (*Simultaneous Localisation and Mapping*) en la integración de las nubes de puntos tomadas a lo largo de la trayectoria y con ello confecciona una nube única de toda la bodega.

Este tipo de nubes de puntos con color RGB u otros sensores que se pueden instalar, se integra en sistemas BIM con las que se caracteriza y explota la información tomada y encontrada durante los paseos virtuales mediante el software asociado.



Figura 4. Acceso exterior (UAV) e interior de una bodega (MMT)

Con la metodología propuesta se consigue por tanto integrar la información producida por UAVs junto con otra capturada con Láser Escáner o sistema MMT en una única nube de puntos.

3. EQUIPO INVESTIGADOR

Datos de los miembros del equipo de investigación.

Nombre: Marina Martínez Peña
Centro: ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSITGC-UPM)
Departamento: Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía
Categoría: PTEU. GESYP

Nombre: Tomás Ramón Herrero Tejedor
Centro: ETSI Agronómica, Alimentaria y Biosistemas (ETSIAAB-UPM)
Departamento: Departamento Ingeniería Agroforestal
Categoría: PTU. Coordinador GESYP

Nombre: Jesús Velasco Gómez
Centro: ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSITGC-UPM)
Departamento: Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía
Categoría: PTU. GESYP

Nombre: Serafín López-Cuervo Medina
Centro: ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSITGC-UPM)
Departamento: Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía
Categoría: Contratado doctor. GESYP

Nombre: Óscar García Uriarte
Centro: Colaborador externo
Departamento: GESYP

4. REFERENCIAS

- [1] M. A. Conejo Martín, T. R. Herrero Tejedor y A. Ezquerro Canalejo, *Propuesta metodológica para el estudio de Sistemas Topográficos aplicados a la representación gráfica de bodegas subterráneas tradicionales*, Madrid, 2014.
- [2] T. Herrero, E. Pérez-Martín, M. Conejo-Martín, J. López-Herrera, A. Ezquerro-Canalejo y J. Velasco, «Assessment of underground wine cellars using geographic information technologies,» *Survey Review*, vol. 47, nº 342, pp. Pages 202-210, 2015.
- [3] M. Conejo-Martín, T. Herrero-Tejedor, J. Lapazaran, E. Pérez-Martín, J. Otero, J. Prieto y J. Velasco, «Characterization of Cavities Using the GPR, LIDAR and GNSS Techniques,» *Pure and Applied Geophysics*, p. pp 3123–3137, 2015.



Congreso INGEGRAF Gijón 26, 27 de junio de 2017

NUEVOS MODELOS DE INVESTIGACIÓN Y COLABORACIÓN EN INGENIERÍA GRÁFICA

MODELADO 3D MEDIANTE INTEGRACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA CON UAV Y MMT PARA LA DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DE BIC

Martínez-Peña, Marina¹; Herrero-Tejedor, Tomás Ramón²; Velasco-Gómez, Jesús¹; López-Cuervo, Serafín¹; García-Urriarte, Óscar UPM: 1) Departamento Ingeniería Topográfica y Cartografía. 2) Departamento Ingeniería Agroforestal.

Resumen

Las nuevas tecnologías aplicadas al área de la Ingeniería Geométrica abren nuevos campos para la obtención de documentación geométrica de Bienes de Interés Cultural (BIC) de una manera rápida y al mismo tiempo precisa. La Fotogrametría digital con imágenes desde UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) permite la modelización del BIC con alto nivel de detalle. Las técnicas de visión artificial del software de procesamiento facilitan la obtención de datos geospaciales 3D de alta resolución y precisión centimétrica, a partir de las técnicas Lidar e imagen del *mobile mapping terrestre* (MMT) podemos generar productos cartográficos. La integración de todas estas técnicas permite obtener una completa documentación del objeto de estudio. En el caso de BIC de las Bodegas de Abata (Soria) la captura de información se realizó con UAV de ala fija con cámara RGB, y un sistema de MMT portátil lo cual ha permitido completar la toma de datos en superficie con la realización de levantamiento indoor.



Figura 1. Pozos y Bodegas de 'El Plentío' Abata (Soria); Bien de Interés Cultural (BIC) con la categoría de Conjunto Etnológico

Introducción

El valle de Abata (San Esteban de Gormaz, Soria) se encuentra en la cabecera de la zona vinícola con la denominación Ribera de Duero a una altitud entre 650 y 1000 m, cuenta con cinco siglos de historia vitivinícola y atesora un inabarcable barrio de bodegas y lagares subterráneos algunos con más de cinco metros de profundidad. El conjunto de 141 bodegas, 15 lagares y 9 lagaretas, que se encuentran agrupadas a las afueras del pueblo en una extensión de unas 3 ha constituyen un conjunto arqueológico de gran valor etnográfico [1]. El trabajo se desarrolla en la línea de investigación sobre documentación geométrica del patrimonio con técnicas geomáticas del grupo Geovisualización, Espacios Singulares y Patrimonio (IGESyP) [2] [3], en colaboración con las empresas Topcon Positioning y Leica Geosystems que han aportado la instrumentación y BGM Civil Engineers que ha colaborado con el Geoportál BigMonitor, una herramienta de análisis visual, gestión y explotación de información de diversas fuentes de datos.



Figura 2. Visualización fotorealista del pozo de 'El Plentío', malla texturada

Métodos

Se han realizado, en 2014 y 2016, tres campañas de captura de datos en la zona afectada por el BIC con los siguientes sensores:

- Sensor de imagen RGB y NIR a bordo de vehículo aéreo no tripulado de ala fija
- Sensores Mobile-Mapping terrestre:
- Escáner láser terrestre
- Receptores GNSS
- Sondas Volumetric Water Content (VWC) y Ground Penetrating Radar (GPR)

Remondino [4] describe el modelado tridimensional (3D) de un objeto real como "un proceso que comienza en la adquisición de datos y termina con un modelo virtual 3D visible interactivamente en un ordenador", estructurando los datos originales (nube de puntos) y creando una superficie poligónica a fin de construir la representación realista o fotorealista (con información de imágenes) de la escena modelada.

La captura de datos para la reconstrucción geométrica del terreno se ha realizado con UAV, para la documentación de algunas de las bodegas subterráneas y otras edificaciones se optó por MMT y láser escáner terrestre.

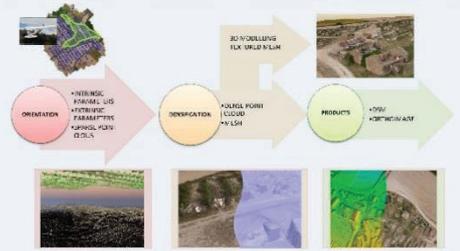


Figura 3. Proceso fotogramétrico de los datos de imagen desde UAV para el modelado y la obtención de productos cartográficos

El sistema mobile-mapping terrestre ha permitido la captura de una nube de puntos lidar, tanto en superficie como en interiores de varias bodegas subterráneas, un palomar y una lagareta. El sistema integrado en una mochila sincroniza la captura lidar, mediante dos periféricos, con captura de imagen 360°, con cinco cámaras. El sistema GNSS-IMU de posición y orientación se complementa con un seguro sistema inercial que ayuda a la tecnología SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) en la integración de las nubes de puntos tomadas a lo largo de la trayectoria y con ello confecciona una nube única de toda la bodega. Se consiguen unas precisiones absolutas sobre los 5 cm.



Figura 4. Captura de datos con Mobile Mapping Terrestrial, integración de nubes de puntos y perfil de bodegas subterráneas



La nube de puntos densa generada a partir de las imágenes obtenidas con UAV tiene una resolución uniforme de 0.2 pts/cm², mientras que la de los puntos capturados por el lidar MMT depende de la distancia al sistema de registro, variando entre 2 pts/cm² hasta 1 m de distancia y 20 pts/m² a más de 20 m de distancia. No obstante se ha comprobado como en los objetos verticales (muros, paredes, etc.) existe una indistinción de la superficie debido al ruido del escáner que lleva el sistema MMT. Este ruido presenta un espectro de 5 a 8 cm a una distancia de 2 m.

Nube de puntos	UAV (correlación)	MMT (lidar)
Resolución	0.2 puntos / cm ²	a 1 m: 20 puntos / cm ² a 20 m: 20 puntos / m ²
Ruido	2 a 4 cm	5 a 8 cm
Precisión	Con GCP: < 3 cm (XV2)	Baselines de RTK < 500 m: 3 cm a 1 m

Resultados y conclusiones

En la figura 5, se muestra la comparativa realizada con CloudCompare, donde se ha comprobado la referenciación los datos obtenidos con las dos metodologías: la nube de puntos lidar (MMT) y la creada a partir de los datos correlados en imagen (UAV). El 90% de los puntos presentan diferencias de posición absolutas por debajo de 0,1 m, lo que facilita la integración de estos datos en un modelo completo de objeto. Las discrepancias en más de 0,5 m corresponden básicamente a puntos de vegetación ya que ambos capturas se realizaron con un mes de diferencia.

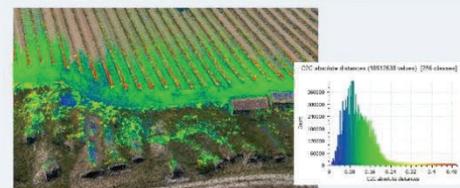


Figura 6. Comparativa de una muestra de nubes de puntos MMT-UAV

[1] M. A. Conejo Martín, T. R. Herrero Tejedor y A. Ezquerro Canalejo, «Propuesta metodológica para el estudio de Sistemas Topográficos aplicados a la reconstrucción gráfica de bodegas subterráneas tradicionales», Madrid, 2014.
 [2] T. Herrero, E. Pérez-Martín, M. Conejo-Martín, J. López-Herrera, A. Ezquerro-Canalejo y J. Velasco, «Assessment of underground wine cellars using geographic information technologies», Survey Review, vol. 47, n.º 342, pp. Páginas 202-210, 2015.
 [3] M. Conejo-Martín, T. Herrero-Tejedor, J. Lapazaran, E. Pérez-Martín, J. Díez, J. Piñero y J. Velasco, «Characterization of Caves Using the CPR, LIDAR and GNSS Techniques», Pure and Applied Geophysics, p. pp 3123-3137, 2015.
 [4] F. Remondino, S. El-Hakim, «Image-based 3D modelling: a review», The Photogrammetric Record 21(115): 269-291, 2006.