

## DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL MAUSOLEO ROMANO DE FABARA

Beatriz GIMENO FRONTERA

Estudiante de Grado en Historia del Arte de la UNED

Primer Premio del IX Concurso de Investigación

“MEMORIAL MANUEL CARRIÓN ALIAGA”

*“The map is not the territory,  
and the name is not the thing named”*  
Gregory Bateson (1979)

### INTRODUCCIÓN

En la comarca del Bajo Aragón nos encontramos con una de las muestras de arquitectura funeraria romana mejor conservadas de España. Se trata del Mausoleo de L. Aemilio Lupo, también conocido en la zona como Casa de Moros — como ocurre con la mayor parte de la arquitectura pre-medieval, que tradicional y erróneamente se ha asociado a la época musulmana—. Se ubica en la margen izquierda del río Matarraña, a tan solo un kilómetro de la población de Fabara.

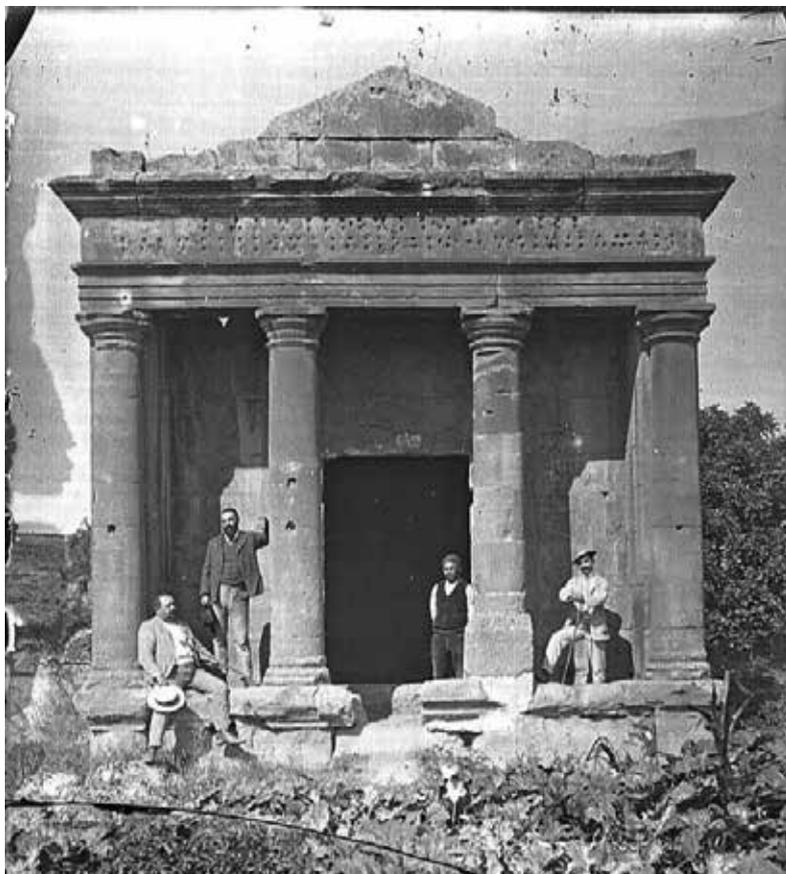


Figura 1: Ortofoto de localización del Mausoleo Romano de Fabara.

Como consecuencia de una economía basada en la agricultura, principalmente de cereal, durante los siglos I y II d.C, la región estaba poblada de familias romanas con grandes riquezas que vivían en *villae* en el campo. Estas familias podían

costearse templos funerarios como los encontrados en Caspe o Chiprana. Como consecuencia, la región tiene una alta densidad de restos Romanos rurales en diversas áreas arqueológicas.

El Mausoleo Romano de Fabara fue registrado como BIC (Bien Interés Cultural) en 1931, pero la Real Academia de la Historia fue informada de su existencia en 1874. Previamente se había utilizado de almacén y refugio de labradores, vagabundos y bandidos. En el siglo XVIII era conocido por el clero y en el XIX, Evaristo Cólera, clérigo de Fabara, realizó dibujos e informes, logrando que se reparara una de las columnas que se encontraba gravemente dañada. En 1942 fue donado a la Administración Pública. Del Anexo II del BOA número 40 de 04/04/2003 en la orden del 10 de marzo de 2003, del Departamento de Cultura y Turismo, por la que se completa la declaración originaria de Bien de Interés Cultural del denominado «Mausoleo Romano», situado en Fabara (Zaragoza), conforme a la Disposición Transitoria Primera de la Ley 3/1999, de 10 de marzo, de Patrimonio Cultural Aragonés se extraen las coordenadas del Mausoleo y de su entorno.



*Figura 2: Grupo del Boletín de Historia y Geografía del Bajo Aragón visitando del Mausoleo en 1904.  
(De izda a dcha: A. Vidiella, L. Pérez Temprado, unknown, M. Pallarés.  
Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).*

Para su puesta en valor, estudio y difusión se plantea un proyecto de documentación geométrica mediante tecnología de Scanner 3D y fotogrametría, apoyado en la topografía y georreferenciación, generando una base de datos precisa y fidedigna. Debido a que no requieren contacto físico, cabe destacar, que este tipo de tecnologías son totalmente inocuas y no invasivas a los objetos documentados.

Se trata de un sistema de documentación que combina distintas herramientas para obtener información multimedia detallada y accesible a través de software libre. Las infografías que se desarrollan a partir de nubes de puntos y modelos 3D de arquitectura y arqueología permiten presentar los datos, tanto a técnicos como a no expertos en la materia. De este modo se genera gran cantidad de información que se puede traducir en: plantas, secciones, alzados, ortofotos, modelos, visualizaciones web, estructuras de comparación, análisis de patologías e incluso impresión 3D.



Figura 3: Nadar élevant la Photographie à la hauteur de l'Art Honoré Daumier. France, 1862.  
Litografía 10 3/4 x 8 5/8 in. Graphic Arts Council Curatorial Discretionary Fund.

## EL MAUSOLEO

Pertenece al tipo sepulcro-templo, debido a que formalmente imita a los templos romanos. El Mausoleo se data en finales del siglo II o en el siglo III d.C, pero no existen elementos arqueológicos que permitan su datación segura, por lo que se tuvo que acudir a criterios artísticos y constructivos. Por un lado, fue a partir del siglo I d.C cuando se empezaron a construir mausoleos de este tipo en el Imperio Romano. Por otro lado, la mezcla de órdenes en el edificio —elementos sustentan-

tes de orden toscano y los sustentados de orden jónico— son una novedad de la época Antoniana (siglo II d.C).

Hoy en día, se ha realizado una pequeña musealización. El área ha sido vallada y cerrada con llave, la cual puede ser tomada prestada en el pueblo. En la entrada, un pequeño porche porticado cubre con un tejado a dos aguas diversos pedazos y objetos que fueron encontrados en las excavaciones, incluida la tumba. Existe un recorrido accesible que lleva hasta el Mausoleo. El interior de la construcción se limpió y se colocó una estructura metálica en el suelo. En las escaleras se situó una pequeña barandilla para evitar caídas. No existe iluminación ni equipos eléctricos en el interior. Junto al área existen otros restos arqueológicos que no fueron integrados en la musealización.



Figura 4: Fotografía del acceso al recinto. (Febrero 2014)

El Mausoleo Romano de Fabara se alinea con los ejes cardinales y tiene su fachada principal y acceso orientados hacia el Este. Es de planta rectangular de 7,40 por 6,06 metros. La fachada principal se compone por un pórtico de cuatro columnas de orden toscano, con un intercolumnio central de 1,30 metros y los laterales de 1,12 metros. Las columnas laterales se unen a los muros laterales. Un entablamento jónico que apoya sobre las mismas recorre todo el Mausoleo. Se intuye que originalmente se cubría con una cubierta a dos aguas, que hoy en día ha desaparecido, dejando a la vista la bóveda interior.

Del frontón se conserva el tímpano, donde aún se puede leer el nombre del difunto (*tria nomina*): *LA(E)MILI LUPI* (Lucio Emilio Lupi). En el friso, aunque han desaparecido las piezas de bronce, por los agujeros que han dejado las mismas, los arqueólogos han podido estudiar el significado de las inscripciones: *AN XIII L(ucius) AEM(ilius) PRISCUS PATER ET DOM(itia) SEVERA MAT(er) F(ecerunt)*.

Conformado por muros de 0,54 metros de espesor se dispone un estrecho *pro-naos* tras la fachada principal. Al interior se accede a través de una puerta adintelada que tiene una luz de 1,70 metros. Unos resaltes en la parte externa sirven de apoyo a los goznes de los batientes de la puerta.

El interior se compone de dos cuerpos: uno donde se realizaban los sacrificios y libaciones en honor del fallecido (la *cella*) y en la planta inferior, el *conditorium*, el espacio que albergaba los restos del difunto. El primero, la *cella*, se cubre con bóveda de cañón y el suelo se compone de cantos rodados con argamasa sobre la que se dispone una superficie pulimentada. A través de una escalera se accede al *conditorium*, un espacio subterráneo que también se cubre mediante bóveda de cañón. Existe un arco escarzano que apoya sobre una fila de sillares decorados de los muros laterales.

Los laterales se cierran con muros macizos decorados con pilastras y frisos con relieves. El grosor de los muros no es homogéneo: los laterales de la *cella* tienen un espesor de 0,88 metros y el posterior, el muro Oeste, de 0,62 metros. Cada fachada tiene un relieve diferente en el friso: el alzado norte se decora con guirnaldas y columnillas, el Sur con guirnaldas y águilas y el friso Oeste con motivos florales.



Figura 5: Fotografía del Mausoleo en el momento de la documentación geométrica. (Febrero 2014)

## LAS HERRAMIENTAS

### 1. Sistema *Laser Scanner 3D* -Diferencia de fase

El *Laser Scanner* es un dispositivo que obtiene información de puntos del entorno sin hacer contacto directo con ellos. Emite un haz de luz que se refleja en el entorno y se registra en el colector. Estos aparatos después de recoger los datos reconstruyen la forma y apariencia extrapolando la información. La técnica de diferencia de fase compara las ondas emitidas, con diferentes longitudes de onda, para determinar la distancia a la que se encuentra cada punto.



Figura 6: Fotografía del Laser Scanner en el Mausoleo Romano de Fabara. (Febrero 2014)

El modelo utilizado es *Leica HDS6100*. Es un *Laser Scanner* de diferencia de fase de alta velocidad con sensor de doble eje. El haz de luz se refleja por un espejo sobre una plataforma rotatoria. Puede ser manejado con los botones y la pantalla integrados o con el ordenador y tiene un rango de visión de  $360^\circ$  en el eje horizontal y de  $310^\circ$  en el vertical. Puede definir hasta 508.000 puntos por segundo.

## 2. Topografía realizada

El GPS es un sistema de satélites que proporcionan la ubicación geoespacial autónoma con cobertura global. Los receptores son capaces de determinar su posición: longitud, latitud y altitud utilizando la tecnología de radio. La confianza en los resultados y alta precisión de las medidas son la base del trabajo a través de satélites. Cuanto mejor sea la señal recibida y cuántos más satélites detecte, mejor funcionará y mejores serán los resultados obtenidos.

El modelo utilizado es un *Leica Viva GS14*. Se trata de un receptor GNSS compacto con comunicaciones móviles integradas y modem UHF. Utiliza *LeicaSmartCheck* (procesamiento de datos RTK para garantizar resultados correctos) y *LeicaSmartTrack* (para obtener una mejor calidad de los datos medidos). Esta tecnología tiene un motor avanzado de medida que evita interferencias. El receptor es capaz de localizar hasta 60 satélites al mismo tiempo en 2 frecuencias.



Figura 7: Fotografía del receptor GNSS en el Mausoleo Romano de Fabara. (Febrero 2014)

Para comprender correctamente el Patrimonio arquitectónico, es importante entender el lugar y el entorno en el que fue construido.

Los mapas, planimetrías y ortofotos generales se pueden obtener de las bases de datos públicas como el SITAR o el SigPac para tomar como referencia, pero su calidad y definición son a nivel territorial.



Figura 8: Fotografía de un marcador (hito-feno) en el Mausoleo Romano de Fabara para la obtención de puntos georreferenciados. (Febrero 2014)

### 3. Registro de fotografía aérea de baja altura

A través de la fotogrametría se genera un modelo 3D, de donde se obtiene una ortofoto (JPGE, TIFF) a escala (número de píxeles por milímetro) y en coordenadas (las coordenadas geográficas de la esquina superior izquierda). Una ortofoto es una imagen que se obtiene a partir de un conjunto de fotografías corregidas digitalmente para representar una proyección ortogonal sin perspectiva y con un ajuste radiométrico. La resolución depende de la distancia a la que se toman las fotografías y las lentes utilizadas. Los software de fotogrametría evalúan también la precisión del modelo en términos de pixel y metro. Producen un informe con la densidad de imágenes y mapas de elevación. Generando un archivo KMZ (*Ziped Keynote Markup Language*) la ortofoto que se genera a partir del modelo 3D, se puede visualizar en Google Earth. Para localizar el modelo, se disponen marcadores (hito fenos) en el entorno. Con el receptor GNSS los puntos se georreferencian a un sistema de coordenadas: ETRS89 UTM T30 y ETRS89 UTM T31. ETRS89 (*European Terrestrial Referenca System 1989*). Se trata de un marco de referencia geodético cartesiano usado en mapas

en Europa. UTM (*Universal Transverse Mercator*) es un sistema de coordenadas proyectadas que divide la Tierra en zonas para reducir la distorsión. Fabara se encuentra en UTM T31, pero oficialmente utiliza las coordenadas de Aragón: UTM T30.

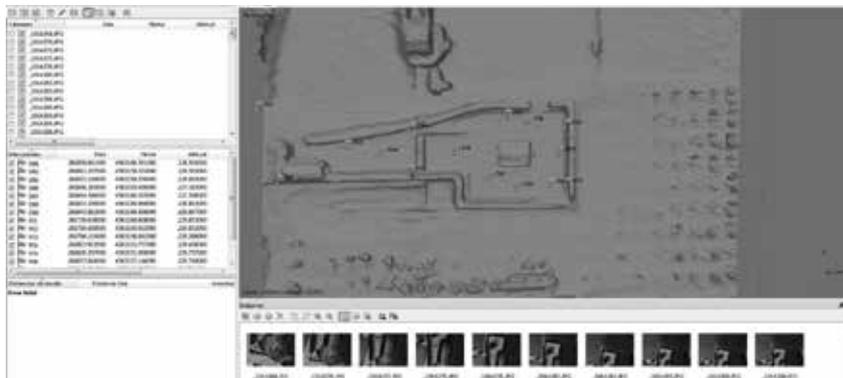


Figura 9: Proceso de generación del modelo 3D mediante fotogrametría. (2014)

## LA METODOLOGÍA

Una nube de puntos es un conjunto de puntos en el espacio (en un sistema de coordenadas) que contiene información (coordenadas, color, iluminancia, etc.) de cada punto. Se pueden crear mediante fotogrametría o con Scanner 3D. Con esas técnicas, una gran cantidad de puntos de la superficie del objeto son medidos con un método semi-automático y preciso (en comparación con sistemas tradicionales de medida).

Distintas nubes de puntos se pueden unir a través de puntos comunes o dianas de referencia (fenos o dianas blanco-negro). Gracias a ello, escaneados desde distintos puntos de vista se pueden unir y crear una única nube para el objeto.

Por un lado, las nubes se pueden utilizar directamente para obtener medidas o ser compartidas a través de un visor panorámico en archivo web, como por ejemplo a través de Leica TruView. Por otro lado, se pueden transformar en superficies, mesh, NURBs o modelos CAD.

Existen muchas maneras de transformar la nube de puntos en un modelo 3D. Algunos software crean una red de triángulos tomando como vértices los puntos. Otras, se basan en *voxel* (volumen+pixel), esto es, basados en una cuadrícula regular en el espacio 3D.

Combinando las nubes de puntos o modelos con fotografías, se les aplica una textura para generar archivos multimedia e imágenes más realistas. De los modelos 3D se pueden obtener plantas, secciones y alzados, además de información volumétrica, axonometrías e imágenes panorámicas y vistas realistas. El objeto digitalizado se puede reproducir también: mecanizando o imprimiendo 3D se puede obtener una reconstrucción física y a escala.

La fotogrametría es una técnica basada en fotografías a partir de las cuales se obtienen nubes de puntos y modelos 3D. Utilizando imágenes superpuestas los software las alinean y reconstruyen modelos texturizados precisos. Para escalarlos y georreferenciarlos es necesario utilizar puntos conocidos como en el Scanner 3D, que pueden ser puntos comunes entre imágenes o dianas de referencia.

En estos métodos y técnicas es importante, no solo la definición geométrica del objeto, sino también los datos procesados. Los *metadatos* (data about data) dan información sobre la manera en que se tomaron y transformaron los datos para que los futuros usuarios puedan entender la calidad, precisión e información de los sistemas.

Para facilitar la divulgación y difusión, se genera una visita virtual, mediante imágenes panorámicas, a la que se accede a través de software libre (.html). Se puede diseñar la interfaz y herramientas de apoyo (menú de inicio, menú de ayuda y menú de información).

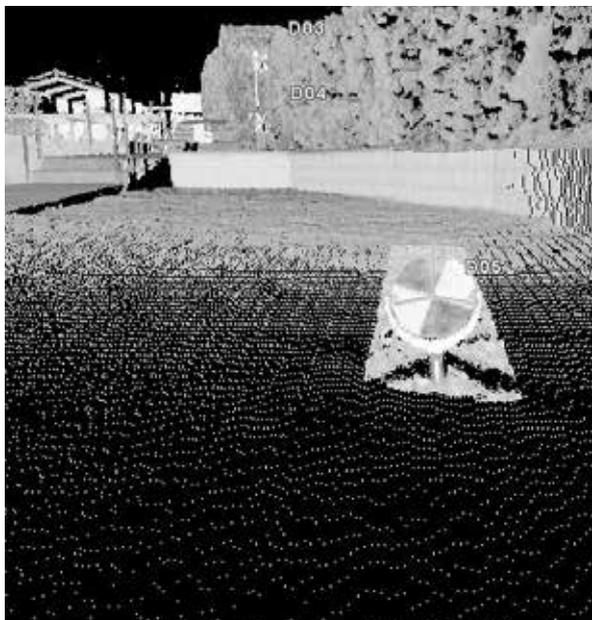


Figura 10: Ejemplo de diana para la unión de nubes de puntos. (2014)



Figura 11: Fotografía del momento de toma de datos in situ. (2014)

## LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Por un lado se generan, a partir del modelo 3D texturizado ortofotos, tanto del entorno como de cada una de las fachadas. Se desarrollan también modelos de detalle de cada uno de los frisos con una resolución superior. (Anexo: Fichas 1, 2, 3, 4, 5)

Por otro lado, con la nube de puntos se crea una visita virtual de alta precisión que permite recorrer tanto el exterior como el interior del mausoleo. Esta nube permite apreciar las imperfecciones, daños y patologías de los paramentos. Además, se genera un archivo .htm que se puede ejecutar mediante un navegador web con la herramienta gratuita *Leica TruView* y permite recorrer el Mausoleo y su entorno. De esta misma nube se pueden obtener vistas y planimetrías. A partir de la misma se genera un modelo 3D a partir del cual se pueden obtener infinidad de vistas, vídeos explicativos, cortes, transparencias, etc. (Anexo: Fichas 6, 7, 8, 9, 10)

Por último, se ha desarrollado una visita virtual a través de fotografías panorámicas con una interfaz personalizada. (Anexo: Fichas 11, 12, 13)

## CONCLUSIONES

La Arquitectura y la Arqueología se definen en 4 dimensiones: tiempo y espacio (x,y,z). Cuando se documentan es importante la representación en sí misma y el registro de la metodología utilizada.

La documentación gráfica tiene como objetivo la definición, comunicación y difusión. Pero la información obtenida siempre contiene algo de subjetividad: los datos se interpretan, tanto en sentido volumétrico como la estatigrafía, composición, características físicas. La documentación geométrica de precisión se utiliza por investigadores para analizar, estudiar e interpretar el Patrimonio Histórico y Cultural. También se puede usar para verificar y comprobar periódicamente el estado en el que se encuentra el objeto.

Además, los modelos obtenidos se pueden transformar en archivos multimedia para fomentar la divulgación al público en general. Se utilizan software libre y de uso común para dejar al alcance de cualquier interesado el objeto documentado.

## BIBLIOGRAFÍA

- BELTRÁN, A. De Arqueología Aragones-I, Heraldo de Aragón, Zaragoza 1978.
- BELTRÁN, F., et al, Roma en la cuenca media del Ebro: La romanización en Aragón, Caja de Ahorros de la Inmaculada, Zaragoza, 2000
- BELTRÁN, F., Las inscripciones del Mausoleo de Fabara (Zaragoza). Caesaraugusta. 1998, no 74, p. 253-264.
- LOSTAL, J., Arqueología del Aragón Romano. Zaragoza: Institución Fernando el Católico, 1980.
- MARÍN, C., Estudio previo del deterioro de edificios histórico-artísticos de la comarca de Caspe. Cuadernos de Estudios Caspolinos. 1993, no XIX, p. 305-351
- MELGUIZO, S., Guía del Mausoleo de Fabara, Editorial Prames y Diputación General de Aragón, Zaragoza 2005.
- Ley 16/1985 de 25 de junio de Patrimonio Histórico Español.
- Anexo II, BOA Número 40 de 04/04/2003, en la orden del 10 de marzo de 2003, del Departamento de Cultura y Turismo.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Ortofoto de localización del Mausoleo Romano de Fabara.

Fuente: SiGPAC

**Figura 2.** Grupo del Boletín de Historia y Geografía del Bajo Aragón visitando del Mausoleo en 1904. (De izda a dcha: A. Vidiella, L. Pérez Temprado, unknown, M. Pallarés.

Fuente: Archivo del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

**Figura 3.** Nadar élevant la Photographie à la hauteur de l' Art Honoré Daumier. France, 1862. Litografía 10 3/4 x 8 5/8 in.

Fuente: Graphic Arts Council Curatorial Discretionary Fund.

**Figura 4.** Fotografía del acceso al recinto. (Febrero 2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.** Fotografía del Mausoleo en el momento de la documentación geométrica. (Febrero 2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.** Fotografía del Laser Scanner en el Mausoleo Romano de Fabara. (Febrero 2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 7.** Fotografía del receptor GNSS en el Mausoleo Romano de Fabara. (Febrero 2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 8.** Fotografía de un marcador (hito-feno) en el Mausoleo Romano de Fabara para la obtención de puntos georreferenciados. (Febrero 2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 9.** Proceso de generación del modelo 3D mediante fotogrametría. (2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 10.** Ejemplo de diana para la unión de nubes de puntos. (2014)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 11.** Fotografía del momento de toma de datos in situ. (2014)

Fuente: Elaboración propia

## ÍNDICE DE FICHAS

**Ficha 1.** Ortofoto de emplazamiento

**Ficha 2.**

a) Densidad de fotografías utilizadas para la elaboración de la ortofoto

b) Altimetría de los puntos de la ortofoto

**Ficha 3.**

a) Ortofoto del alzado Este

b) Ortofoto del alzado Sur

**Ficha 4.**

a) Ortofoto del alzado Oeste

b) Ortofoto del alzado Norte

**Ficha 5.**

a) Ortofoto del tímpano y friso Este

b) Ortofoto del friso Sur

c) Ortofoto del friso Oeste

d) Ortofoto del friso Norte

**Ficha 6.** Vistas de la nube de puntos

**Ficha 7.** Vistas de la nube de puntos

**Ficha 8.** Vistas y cortes del modelo 3D utilizadas para generar un vídeo explicativo de su estructura

**Ficha 9.** Cortes realizados al modelo 3D para la obtención de secciones exportables a formato CAD

**Ficha 10.** El modelo 3D

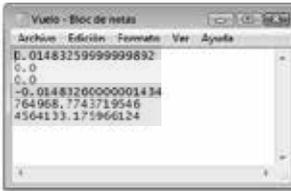
**Ficha 11.** Imágenes panorámicas para la elaboración de una visita virtual por el mausoleo y su entorno

**Ficha 12.**

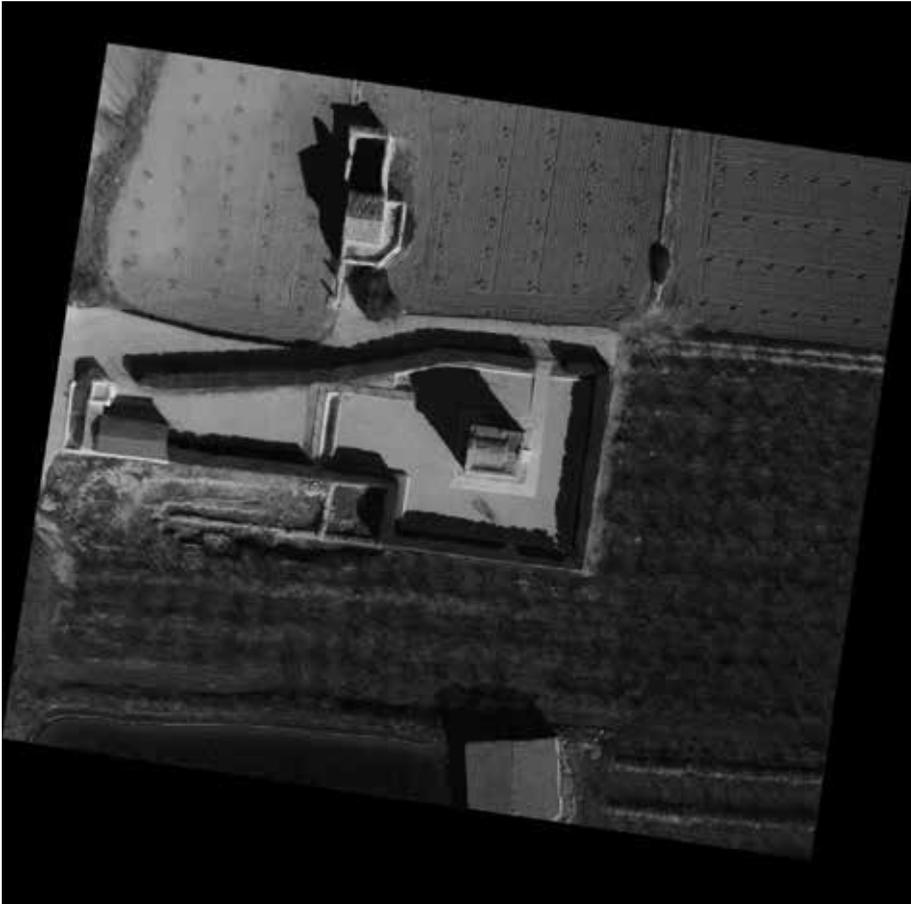
- a) Pantalla de inicio de la visita virtual
- b) Ejemplo de una de las vistas de la visita virtual

**Ficha 13.**

- a) Diseño del menú de ayuda de la visita virtual
- b) Diseño del info-point de la visita virtual

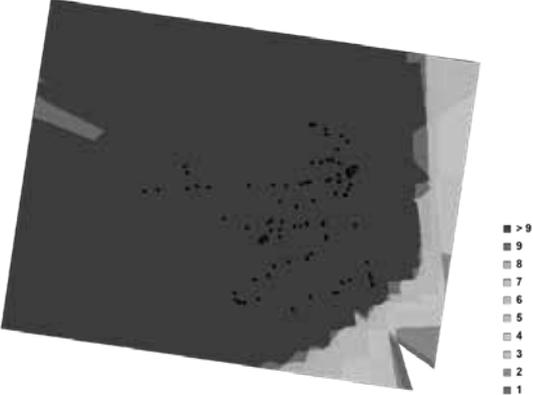


Px Tamaño de Pixel en X  
Parámetro de rotación (A)  
Parámetro de rotación (B)  
Py Tamaño de Pixel en Y  
Cx Coordenada en el eje X de la esquina superior izquierda  
Cy Coordenada en el eje X de la esquina superior izquierda



Ortofóto de emplazamiento.

\* El tamaño de pixel se refiere al tamaño original de la ortofoto. En este caso, la imagen se encuentra escalada para encajar en este formato, por lo que el tamaño de pixel indicado no se corresponde con la misma.



Densidad de fotografías utilizadas para la elaboración de la ortofoto



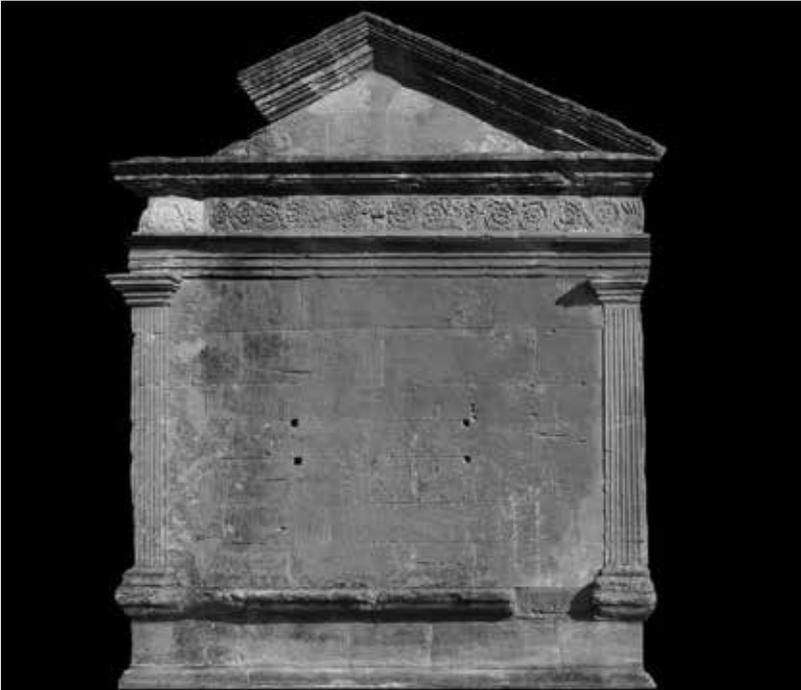
Altimetría de los puntos de la ortofoto



Ortofoto de alzado Este



Ortofoto de alzado Sur



Ortofoto de alzado Oeste



Ortofoto de alzado Norte



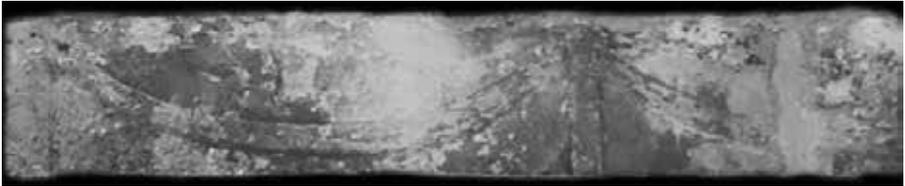
Ortofoto del tímpano y friso Este



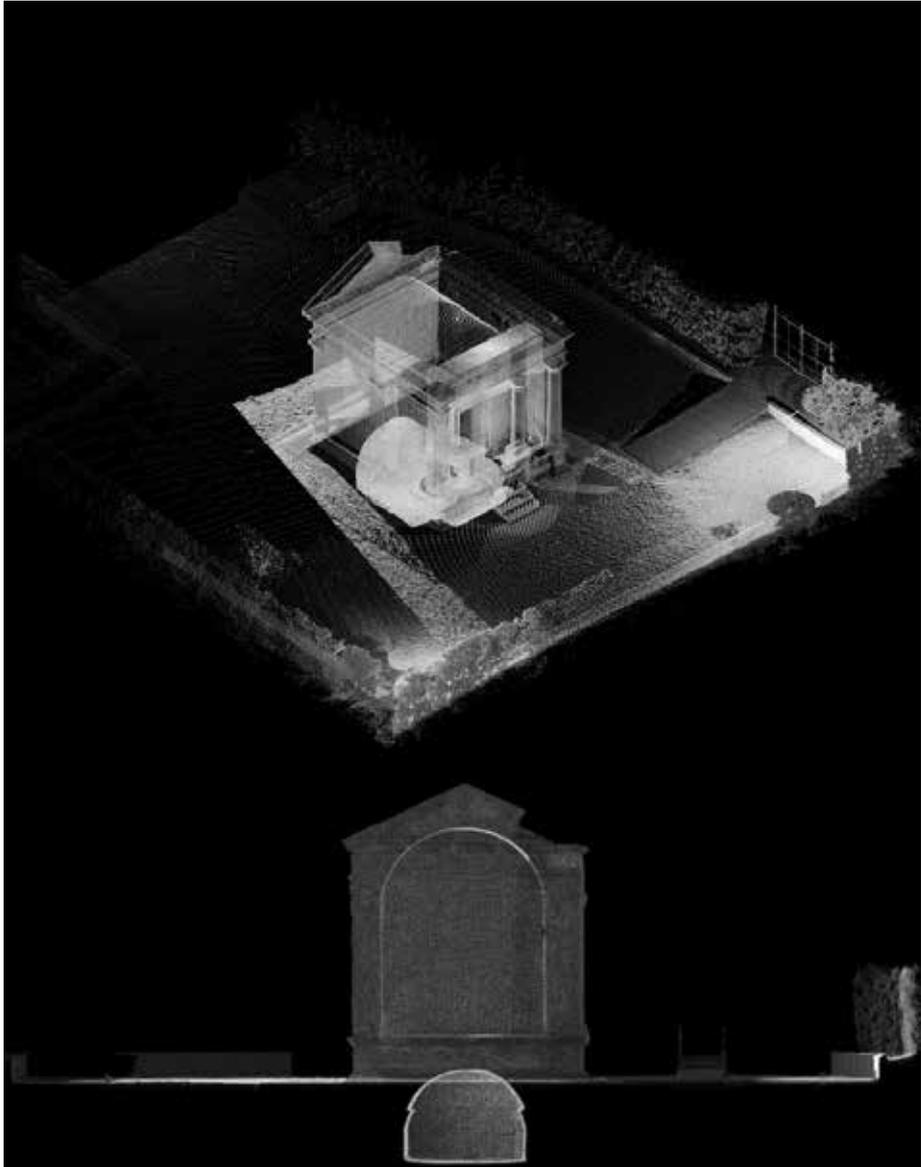
Ortofoto del tímpano y friso Sur



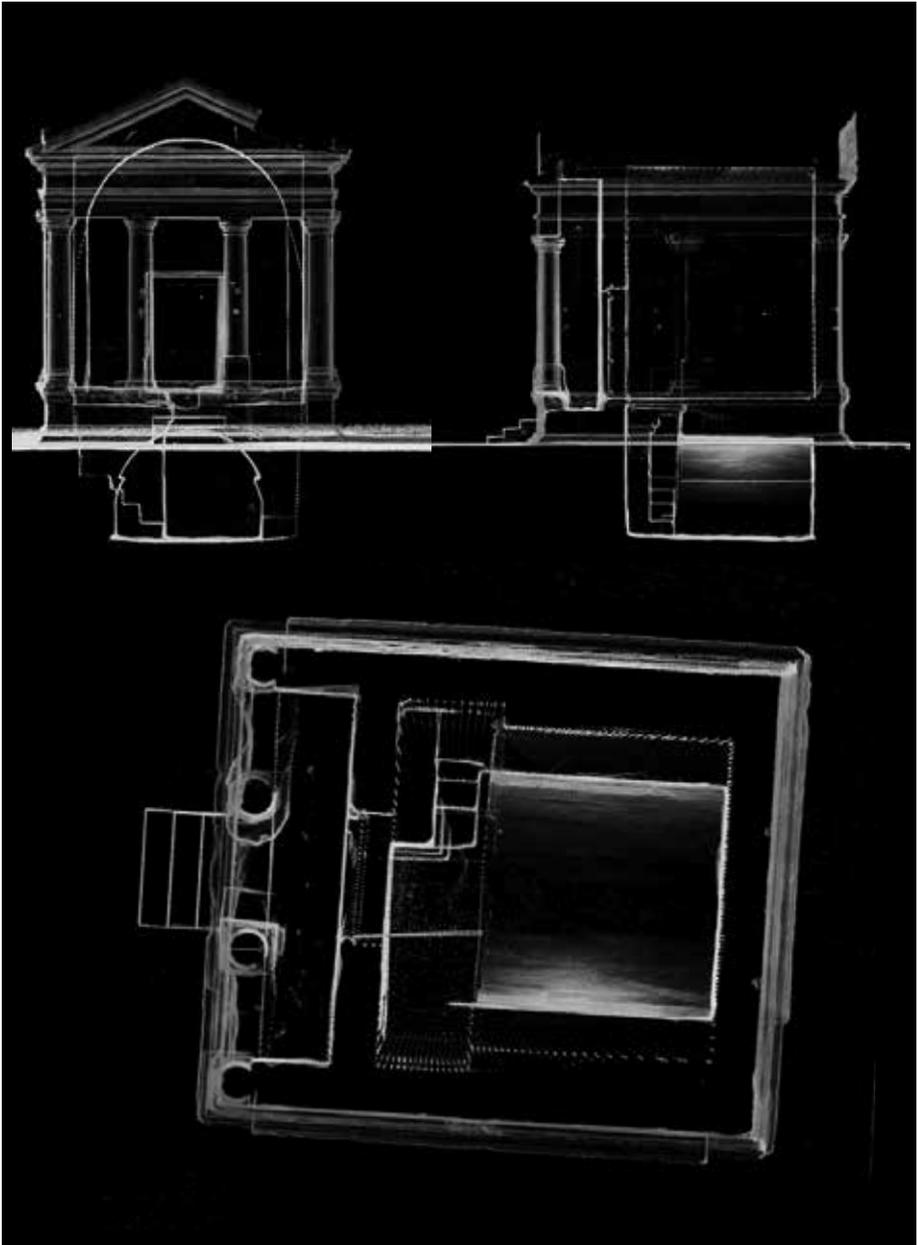
Ortofoto del tímpano y friso Oeste



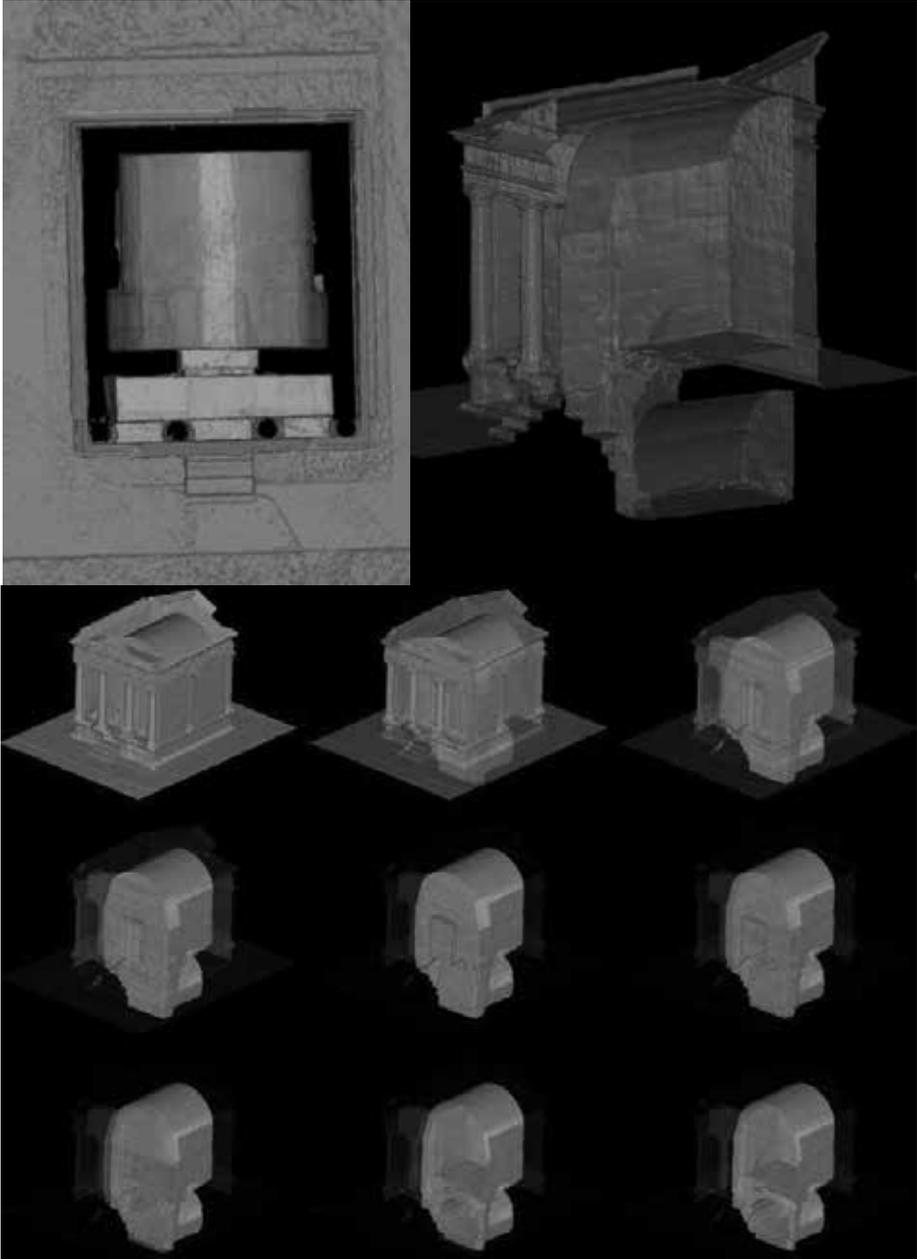
Ortofoto del tímpano y friso Norte



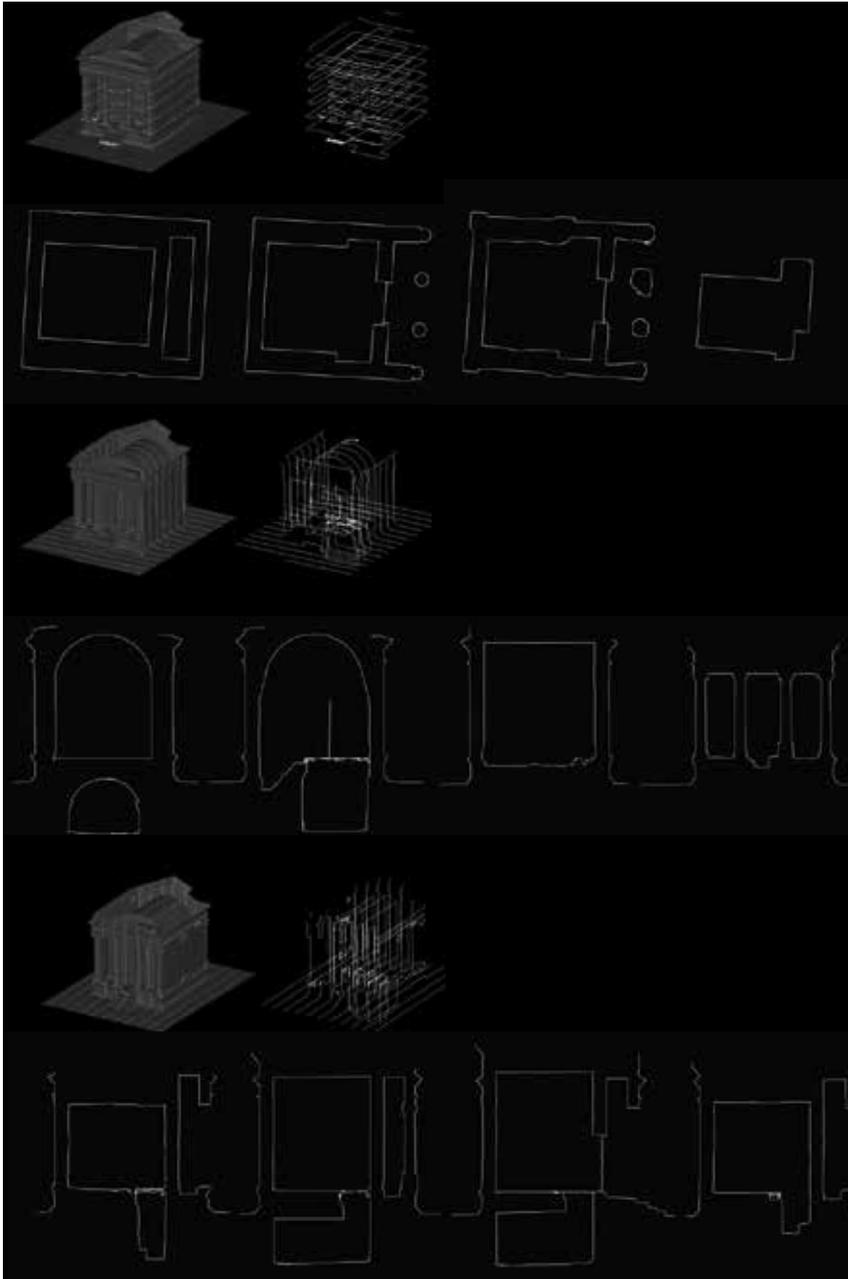
Vistas de la nube de puntos



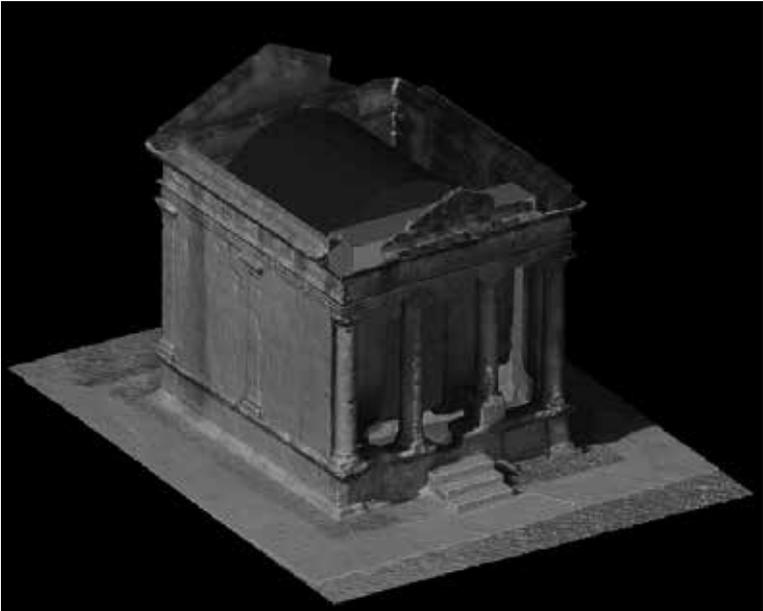
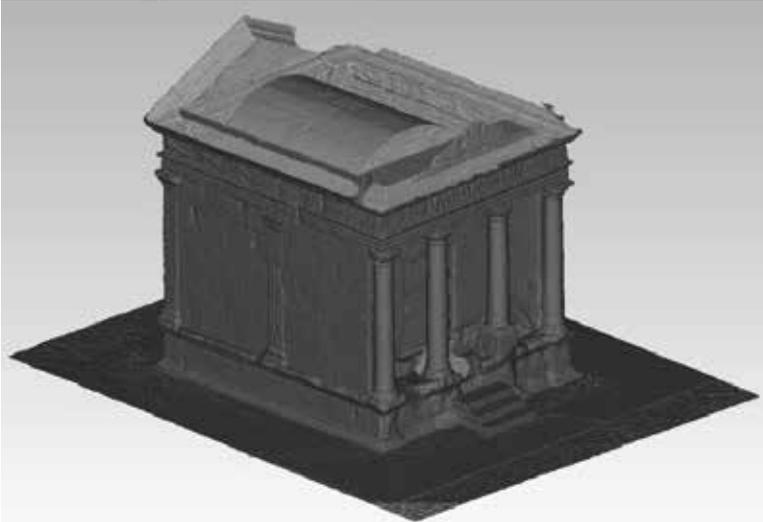
Vistas de la nube de puntos



Vistas y cortes del modelo 3D utilizadas para generar un vídeo explicativo de su estructura



Cortes realizados al modelo 3D para la obtención de secciones exportables a formato CAD.



El modelo 3D



Imágenes panorámicas para la elaboración de una visita virtual por el mausoleo y su entorno



Pantalla de inicio de la visita virtual



Ejemplo de una de las vistas de la visita virtual



Diseño del menú de ayuda de la visita virtual



Diseño del info-point de la visita virtual