



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV/EHU)



UPV EHU

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios  
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).

Tfno: +34 945 013222 / 013264

e-mail: [ldgp@ehu.es](mailto:ldgp@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>

# ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

ARCHIVE OF THE LABORATORY FOR THE GEOMETRIC  
DOCUMENTATION OF HERITAGE

Sección de memorias / Reports section

# 38-1


Información general / General information		
ELEMENTO:	Z_Sádaba_Mausoleo	:ELEMENT
TITULO:	Documentación geométrica del mausoleo romano de «La Sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)	:TITLE
FECHA:	enero 2015 / January 2015	:DATE
NUMERO:	LDGP_mem_038-1	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

<b>Resumen</b>	
TITULO:	Documentación geométrica del mausoleo romano de «La Sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)
DESCRIPCION GEOMÉTRICA:	Se conoce como la «Sinagoga» de Sádaba a las ruinas de un pequeño edificio con planta en forma de cruz de 12 por 14 metros, cuyos restos alcanzan una altura máxima de 4 metros, que se encuentra localizado al sureste del casco urbano del municipio de Sádaba (Zaragoza), junto al Canal de las Bardenas. A pesar de esta denominación, en la actualidad se considera que se trata de un mausoleo de época romana.
DOCUMENTACION:	La documentación realizada incluye una red de coordenadas absolutas obtenidas por técnicas GNSS y un volumétrico por topografía clásica. Asimismo se ha generado un modelo 3D mallado con texturas fotográficas a partir de fotografías.
TECNICAS:	topografía, GNSS, fotogrametría
PRODUCTOS:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos tridimensional mallado con texturas fotográficas.</li> <li>• Planos en planta y secciones.</li> <li>• Ortoimágenes.</li> <li>• Anáglifos.</li> </ul>
DESCRIPTORES NATURALES:	patrimonio, mausoleo
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesouro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ]) Patrimonio Cultural, Bien Cultural, Reconocimiento Topográfico, Fotogrametría

<b>Abstract</b>	
TITLE:	Geometric documentation of the roman mausoleum so-called "the Synagogue" of Sádaba (Spain)
GEOMETRIC DESCRIPTION:	The so-called "Synagogue" in Sadaba is actually the ruins of a small roman mausoleum with the shape of a cross of 12 by 14 metres and 4 metres high. Located at the municipality of Sadaba in Zaragoza (Spain) near the Canal of the Bardenas.
DOCUMENTATION:	The geometric documentation includes a reference network observed by means of GNSS technologies and computed in absolute coordinates, a wireframe model generated by total station and a three-dimensional model (meshes with photographic textures) obtained by photogrammetry.
METHODOLOGIES:	surveying, GNSS, photogrammetry
PRODUCTS:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D model (meshed with photographic textures).</li> <li>• Plans and cross-sections.</li> <li>• Orthoimages.</li> <li>• Anaglyphs.</li> </ul>
NATURAL KEYWORDS:	heritage, mausoleum
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ]) Cultural Heritage, Cultural Property, Surveying, Photogrammetry

Localización / Placement		
ELEMENTO PATRIMONIAL:	Mausoleo de la Sinagoga (Sádaba)	:HERITAGE ELEMENT
MUNICIPIO:	Sádaba, Zaragoza, España/Spain (Getty TGN: 7007610)	:MUNICIPALITY
COORDENADAS:	EPSG:4326 WGS84/LatLong 42.2755,-1.2593	:COORDINATES

Equipo de trabajo / Staff		
EQUIPO:	Chiara Maria D'ANNA Pablo PÉREZ VIDIELLA Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA Jerónimo SÁNCHEZ VELASCO José Manuel VALLE MELÓN	:STAFF

Derechos / Rights		
DERECHOS:	<p>Está permitido citar y extraer el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada (respecto a la consideración de "no comercial" ver el apartado "otros derechos"). / <b>Permission is granted to quote and take excerpts from this text, provided that the source of such material is fully acknowledged (for the "non commercial" label see below in "others rights").</b></p> 	:RIGHTS
OTROS:	<p>Esta memoria de actuación corresponde a un trabajo encargado por una institución o empresa que retiene los derechos de explotación de la información aquí contenida y a quienes habrán de dirigirse todos aquellos interesados en ampliar la información aquí contenida, recabar datos adicionales o hacer uso comercial de los datos expuestos. / <b>This report gives an overview of a commissioned work; therefore, their use for commercial purposes may be an infringement of the promoters rights. You are asked to contact the promoters in case you need either further information or to obtain commercial rights.</b></p>	:OTHERS

Renuncia de responsabilidad / Disclaimer		
DESCARGO:	<p>El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario.</p> <p>La publicación se ha realizado conforme a los fines docentes y de investigación del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio del Patrimonio de la UPV/EHU y en función de los derechos que corresponden al Laboratorio como autor del contenido. El Laboratorio se compromete a retirar del acceso público tanto este documento como cualquier otro material relacionado en el caso de que los promotores consideren que menoscaban sus derechos de explotación. /</p> <p><b>The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.</b></p> <p><b>The aim of this publication is to fulfill the academic goals and research expected from the Laboratory for the Geometric Documentation of Heritage (UPV/EHU) concerning its scientific outcomes. Nevertheless, the Laboratory is bound to the respect of promoters' commercial rights and will take away the contents which are considered against these rights.</b></p>	:DISCLAIMER

**Reutilización / Re-use**

REUTILIZACION:	<p>Los siguientes términos corresponden al Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público, para el ámbito del sector público estatal.</p> <p>"Son de aplicación las siguientes condiciones generales para la reutilización de los documentos sometidos a ellas:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Está prohibido desnaturalizar el sentido de la información.</li><li>2. Debe citarse la fuente de los documentos objeto de la reutilización. Esta cita podrá realizarse de la siguiente manera: "Origen de los datos: [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate]".</li><li>3. Debe mencionarse la fecha de la última actualización de los documentos objeto de la reutilización, siempre cuando estuviera incluida en el documento original.</li><li>4. No se podrá indicar, insinuar o sugerir que la [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate] titular de la información reutilizada participa, patrocina o apoya la reutilización que se lleve a cabo con ella.</li><li>5. Deben conservarse, no alterarse ni suprimirse los metadatos sobre la fecha de actualización y las condiciones de reutilización aplicables incluidos, en su caso, en el documento puesto a disposición para su reutilización."</li></ol> <p style="text-align: center;">/</p> <p>The following terms come from the Royal Decree 1495/2011, of 24th October 2011, whereby the Law 37/2007, of November 16, on the re-use of public sector information, is developed for the public state sector.</p> <p>"The following general terms shall apply to all re-usable document availability methods:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. The information must not be distorted.</li><li>2. The original source of re-usable documents must be cited.</li><li>3. The date of the latest update of re-usable documents must be indicated when it appears in the original document.</li><li>4. It must not be mentioned or suggested that the public sector agencies, bodies or entities are involved in, sponsor or support the re-use of information being made.</li><li>5. Metadata indicating the latest update and the applicable terms of re-use included in re-usable documents made available by public agencies or bodies must not be deleted or altered."</li></ol>	:RE-USE
----------------	--	---------



Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	<a href="http://hdl.handle.net/10810/14963">http://hdl.handle.net/10810/14963</a>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ldgp_mem038-1_Sadaba_Mausoleo.pdf</b>: este documento (incluye la memoria y los planos) / <b>this document (report and plans included)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_fot_mausoleo???.jpeg</b>: 5 fotografías de documentación / <b>5 pictures for documentation purposes</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_modelo3D.ply</b>: Modelo 3D mallado con texturas fotográficas en formato “ply” (20.000.000 de caras) / <b>3D meshed model with photographic textures in “ply” format (20000000 of meshes)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_modelo3D_reducido1.ply</b>: Modelo 3D mallado con texturas fotográficas en formato “ply” (5.000.000 de caras) / <b>3D meshed model with photographic textures in “ply” format (5000000 of meshes)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_modelo3D_reducido2.ply</b>: Modelo 3D mallado con texturas fotográficas en formato “ply” (2.500.000 de caras) / <b>3D meshed model with photographic textures in “ply” format (2500000 of meshes)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_modelo3D_reducido.pdf</b>: Modelo 3D mallado con texturas fotográficas en formato “pdf” (reducido a 2.500.000 caras) / <b>3D meshed model with photographic textures in “pdf” format (reduced – 2500000 meshes)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_modelo3D.kmz</b>: Modelo 3D mallado con texturas fotográficas en formato “kmz” (reducido a 10.000 caras) / <b>3D meshed model with photographic textures in “kmz” format (reduced – 10000 meshes)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_RealidadAumentada.zip</b>: Aplicación de realidad aumentada “apk” para Android e imagen que sirve como marcador (formato JPEG) / <b>Application for Augmented Reality “apk” for Android and picture which serves as the market (JPEG)</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_imagen_anaglifo???.jpeg</b>: 14 anáglifos rojo-cian obtenidos del modelo 3D / <b>14 anaglyph red-cyan obtained from the 3D model</b>.</li> <li>• <b>LDGP_SAD2014_fmet22_?????.jpeg</b>: 684 fotografías métricas (formato JPEG) / <b>684 metric photographs (JPEG format)</b>.</li> </ul>	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU) –LDGP-. <i>Documentación geométrica del mausoleo romano de «La Sinagoga» (Sádaba, Zaragoza). 2015</i>	:CITATION

## Comentarios / Feedback

NOTA:	<p>Este documento forma parte del contenido generado en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio de la UPV/EHU y ha sido publicado con fines docentes y/o de investigación, atendiendo a los objetivos del Laboratorio. Es muy importante para nosotros conocer la utilidad del material suministrado a los usuarios finales así como las posibilidades de mejora en el servicio que podemos realizar; por lo tanto, agradecemos cualquier comentario o sugerencia que nos quiera hacer llegar, para lo cual, ponemos a su disposición nuestra dirección de correo electrónico <a href="mailto:ldgp@ehu.es">ldgp@ehu.es</a> /</p> <p>This document is part of the content generated by the Laboratory for Geometrical Documentation of Heritage (UPV/EHU). It was published for teaching purposes and research, in relation with the goals of the Laboratory. Feedback about the real utility of this information is most important for us, therefore, we appreciate any comment or suggestion for improvements (please, do refer to the following e-mail address: <a href="mailto:ldgp@ehu.es">ldgp@ehu.es</a>).</p>	:NOTE
-------	--	-------

# Documentación geométrica del mausoleo romano de «La Sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)

Vitoria-Gasteiz, enero de 2015



## Equipo:

Chiara Maria D'Anna

Pablo Pérez Vidiella

Álvaro Rodríguez Miranda

Jerónimo Sánchez Velasco

José Manuel Valle Melón



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**

Grupo de Investigación en Patrimonio Construido - GPAC (UPV-EHU)

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios

C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (Álava).

Tfno: +34 945 013222 / 013264

e-mail: [ldgp@ehu.es](mailto:ldgp@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>



## **ÍNDICE**

1.- INTRODUCCIÓN.....	3
2.- OBJETIVOS.....	4
3.- LOCALIZACIÓN.....	5
4.- DESARROLLO DE LOS TRABAJOS .....	6
4.1.- Esquema de trabajo .....	6
4.2.- Trabajos de campo.....	7
4.2.1.- Establecimiento de la red de referencia .....	7
4.2.2.- Volumétrico y apoyo .....	8
4.2.3.- Registro fotogramétrico.....	10
4.3.- Trabajos de gabinete.....	12
4.3.1.- Cálculo de los datos de posicionamiento por Satélite GNSS .....	12
4.3.2.- Dibujo de los datos obtenidos por topografía correspondientes al apoyo fotogramétrico y al modelo volumétrico .....	17
4.3.3.- Clasificación de las fotografías.....	18
4.3.4.- Modelado 3D.....	21
4.3.5.- Productos derivados del modelo 3D.....	28
4.3.6.- Reconstrucción virtual .....	35
4.3.7.- Realidad Aumentada.....	37
4.3.8.- Archivo de la información.....	39
5.- INFORMACIÓN SUMINISTRADA.....	41
ANEXOS .....	43
Anexo I: Instrumental empleado.....	44
Anexo II: Reseñas de la red GNSS.....	48
Anexo III: Coordenadas de la red topográfica.....	50
Anexo IV: Reseñas de las estaciones de la red topográfica .....	60
Anexo V: Estudio histórico previo del edificio “la sinagoga” de Sádaba.....	69
PLANOS.....	86

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Se conoce como la «Sinagoga» de Sádaba a las ruinas de un pequeño edificio con planta en forma de cruz de 12 por 14 metros, cuyos restos alcanzan una altura máxima de 4 metros, que se encuentra localizado al sureste del casco urbano del municipio de Sádaba (Zaragoza), junto al Canal de las Bardenas. A pesar de esta denominación, en la actualidad se considera que se trata de un mausoleo de época romana.

El estado de degradación en el que se encuentra el edificio aconseja su documentación histórica y geométrica detallada con el fin de preservar y difundir, al menos la información sobre el estado actual y algunas de las claves constructivas que permanecen ocultas. Con este fin, y a instancias del Ayuntamiento de Sádaba, se formó un equipo multidisciplinar formado por los arqueólogos Jerónimo Sánchez y Chiara D'Anna, junto a Álvaro Rodríguez, Pablo Pérez y José Manuel Valle como personal del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio de la Universidad del País Vasco UPV/EHU.

A comienzos del mes de abril de 2013 se realizó una visita al mausoleo y al vecino yacimiento de los Bañales (Uncastillo) en compañía de D. Francisco Javier Andreu Pintado y del alcalde de la localidad D. Miguel Ángel Pérez Iguaz.



Fig. 1.- Visita previa al monumento.

Después de realizar un análisis de las necesidades de documentación transmitidas por los responsables del monumento, así como de las circunstancias en las que se encuentra el bien patrimonial, se redactó un anteproyecto en el que se definieron tanto la metodología de registro propuesta para la intervención como los resultados previstos en forma de salidas cartográficas, formatos de difusión, etc. Aceptado dicho anteproyecto por el Ayuntamiento de Sádaba, se procedió a la toma de los datos en campo en la última semana de septiembre de 2013. Los datos capturados fueron procesados, indexados, catalogados y elaborados para obtener los resultados que se exponen en la presente memoria.

## **2.- OBJETIVOS**

El presente trabajo pretende atender una doble necesidad: por un lado, habida cuenta del proceso de degradación progresiva del edificio, registrar exhaustivamente el estado del mausoleo de tal forma que, en el futuro, los restos actualmente visibles puedan seguir siendo estudiados; por otro lado, generar una serie de representaciones gráficas que ayuden al entendimiento del edificio así como a la realización de trabajos complementarios tales como excavaciones arqueológicas, estudios históricos, apoyo a las obras de acondicionamiento o restauración, labores de difusión, etc.

En concreto las acciones a desarrollar y los productos a obtener son:

- a) Establecimiento de una red topográfica de referencia materializada en el terreno. Esta red estará formada por un conjunto de señales (estacas, clavos, etc.) dotadas de coordenadas absolutas en el sistema oficial, de tal forma que, a partir de ellas, los trabajos topográficos y arqueológicos que se realicen en el área queden referidos a este sistema y, por consiguiente, se integren directamente en la cartografía oficial tanto de la Comunidad Autónoma (por ejemplo, en el SITAR del Gobierno de Aragón) como nacional y que, por consiguiente, sea accesible desde cualquier visualizador cartográfico.
- b) Registro fotogramétrico mediante la obtención de colecciones de fotografías con cámara calibrada. El registro incluye la señalización, medición y reseña de los puntos de apoyo necesarios para los posteriores procesos de tratamiento de las imágenes.
- c) Modelado tridimensional del mausoleo y su entorno, tanto alámbrico como de superficies con sus correspondientes texturas fotográficas.



- d) Colección de planos de planta, alzados, secciones, ortofotografías, desarrollos, etc.
- e) Reproducción física mediante impresión 3D a escala del Mausoleo.
- f) Estudio previo del potencial histórico y arqueológico del edificio.

### **3.- LOCALIZACIÓN**

La Sinagoga se encuentra rodeada de cultivos de cereal, a ella se accede por un camino que partiendo del casco urbano de Sádaba en la salida de la carretera que conduce a Layana y Uncastillo discurre paralelo al canal de las Bardenas por su margen derecha.

Las coordenadas UTM-ETRS89 (huso 30) en las que se localiza el mausoleo son X=643.537, Y=4.681.834 (longitud: 1º 15' 33,6" O; latitud: 42º 16' 31,8" N).

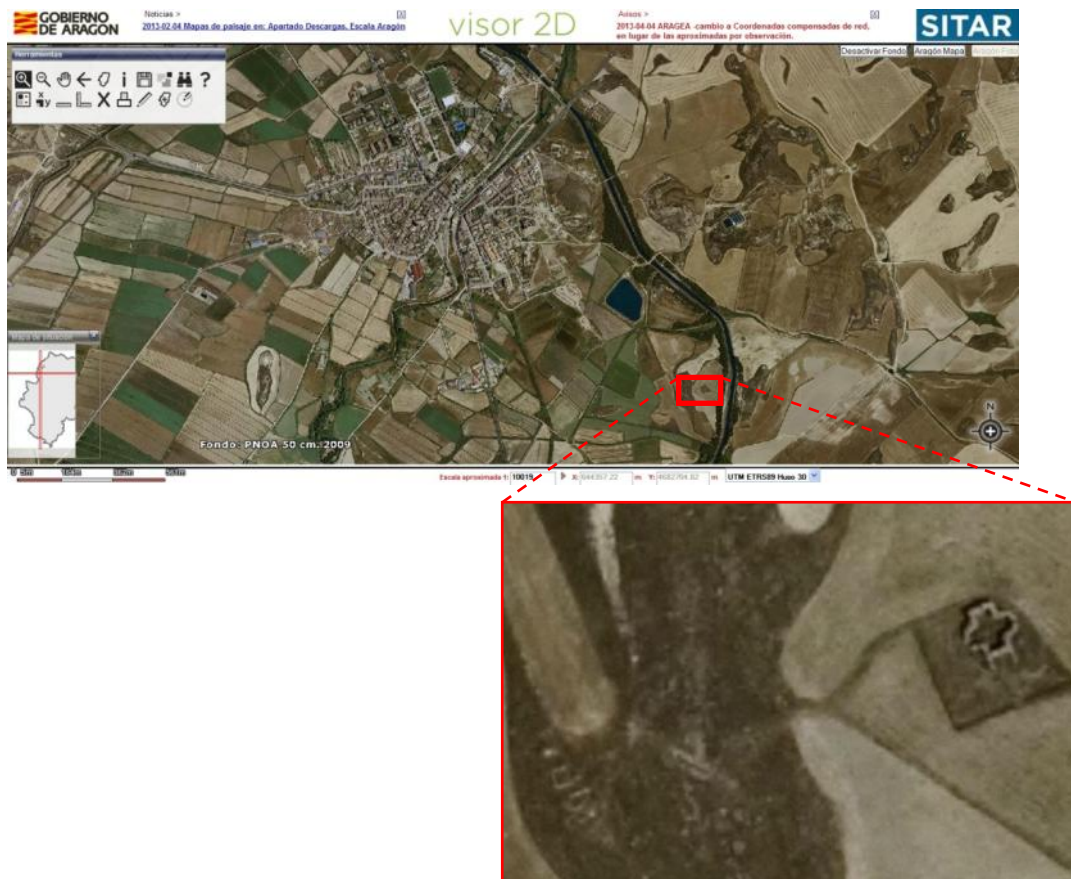
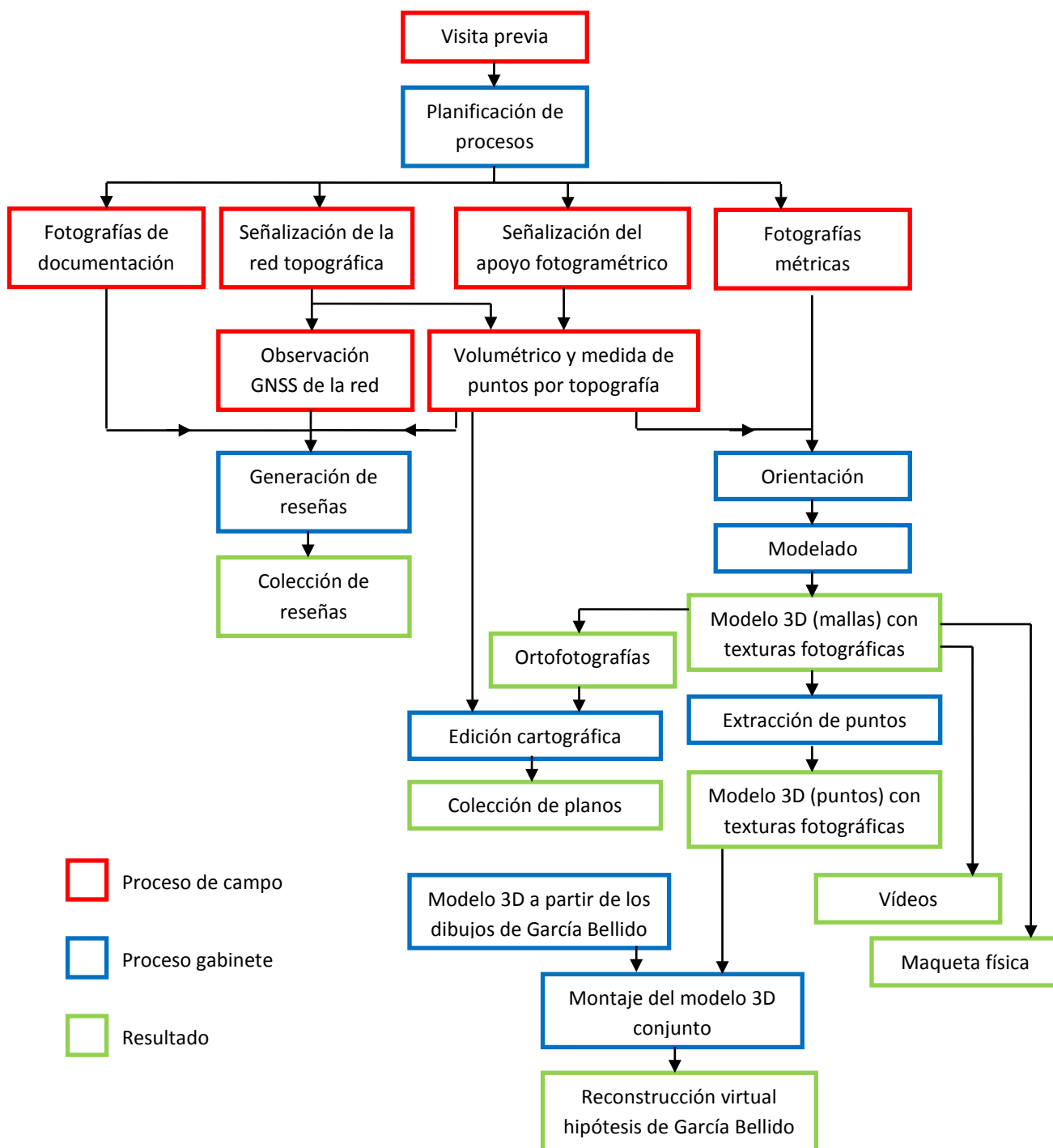


Fig. 2.- Localización del mausoleo respecto al núcleo urbano de Sádaba. Fuente: SITAR - Sistema de Información Territorial de Aragón <http://sitar.aragon.es/>

#### 4.- DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

##### 4.1.- Esquema de trabajo

El esquema que se presenta a continuación refleja las diferentes fases de realización del proyecto, indicando en rojo las correspondientes a trabajos de campo, en azul los trabajos de gabinete y en verde los resultados obtenidos.





## **4.2.- Trabajos de campo**

### **4.2.1.- Establecimiento de la red de referencia**

La red topográfica de referencia consiste en un conjunto de señales a las que se les asignan coordenadas en el sistema seleccionado para el proyecto y desde las cuales se realizarán las medidas al resto de puntos y líneas que definen la geometría del elemento a representar.

Para el caso del mausoleo, se estableció una red de estaciones en el entorno y en el interior del edificio, desde las cuales se divisan todos los elementos de interés. Asimismo se situaron otras dos estaciones en las proximidades de los restos de una posible villa que se aprecian a unos 80 metros al oeste del mausoleo, de forma que si, en el futuro, se interviniese en dicha la zona ya se disponga de referencias topográficas. Las reseñas de estas señales se presentan en el Anexo IV.



Fig. 3.- En primer plano se puede ver una de las estacas (sobre la que apoya una carpeta) utilizadas para marcar las bases de la red topográfica.

Con el fin de disponer de coordenadas en el sistema absoluto con precisión centimétrica, se procedió a observar las bases que encuadran el edificio utilizando técnicas de posicionamiento por satélite GNSS<sup>1</sup>. Dicha observación se ha realizado mediante estacionamientos estáticos de 20 a 30 minutos en la estaciones de la red E2,

---

<sup>1</sup> GNSS – Sistema Global de Navegación por Satélite. Se basa en las señales recibidas por los satélites de la red GPS, mantenida por el Departamento de Defensa del Gobierno de los EEUU y su homólogo de la Federación Rusa denominado GLONASS.

E3, E4, E5, E8 y E9 (véase el esquema de la red en el mencionado Anexo IV). El equipo utilizado fue un receptor *Topcon HiperPro* (cuyas características técnicas se adjuntan en el Anexo I) montado sobre un jalón de 2 metros de altura y sujeto durante el periodo de observación mediante un trípode.



Fig. 4.- Observación GNSS en una de las estaciones de la red.

#### 4.2.2.- Volumétrico y apoyo

La red de estaciones mencionada en el apartado anterior se completó con la implantación de un conjunto de clavos de acero inoxidable<sup>2</sup> que se insertaron en las paredes del mausoleo. Asimismo, sobre los mismos muros se situaron dianas numeradas, estas dianas tienen un tamaño de 4x4 centímetros y servirían para dar coordenadas al modelo tridimensional que se generará, así como para controlar la precisión de los productos obtenidos.

Tanto los clavos como las dianas se observaron mediante métodos topográficos, al mismo tiempo que se obtenía el modelo volumétrico general del edificio. El certificado de calibración del equipo topográfico utilizado (estación total) se presenta en el Anexo I. Por otro lado, la distribución de los clavos y de las dianas utilizadas para el apoyo, así como sus coordenadas, se pueden consultar en el Anexo III.

---

<sup>2</sup> Clavos de 2,5 cm de longitud con cabeza circular plana de 5 mm de diámetro y una cruz grabada que define el centro de dicha cabeza con precisión.





Fig. 5.- Colocación de las dianas en los alzados del edificio.



Fig. 6.- Medida del volumétrico y de los puntos de apoyo mediante estación total.

La precisión relativa de estas coordenadas (bases, clavos y dianas para el apoyo) es inferior al centímetro según se deduce de la metodología de captura utilizada (radiación directa sin prisma a puntos en las paredes o con prisma a las bases materializadas sobre el terreno). Este valor de incertidumbre se comprueba mediante puntos comunes que se han capturado desde varias estaciones obteniendo en todos los casos diferencias de unos pocos milímetros.

#### 4.2.3.- Registro fotogramétrico

Durante los trabajos de campo se han obtenido unos 30 Gigabytes de información correspondiente a fotografías. Además de las imágenes de documentación de procesos y las que permiten reflejar los detalles arquitectónicos más relevantes, el grueso de las imágenes corresponde a la colección fotogramétrica obtenida con una cámara fotográfica calibrada (cuyo certificado se presenta en el Anexo I).

Respecto a las fotografías métricas, se han realizado tres series diferentes con el fin de cubrir la totalidad del edificio desde un variado número de puntos de vista:

- a) Fotografías exteriores tomadas sobre el terreno.
- b) Fotografías del interior tomadas sobre el terreno.
- c) Fotografías de todo el conjunto obtenidas desde una grúa.



Fig. 7.- Toma de fotografías sobre el terreno.





Fig. 8.- Toma de fotografías desde la grúa.



Fig. 9.- Ejemplo de imagen capturada desde la grúa.

### **4.3.- Trabajos de gabinete**

#### **4.3.1.- Cálculo de los datos de posicionamiento por Satélite GNSS**

Para la realización del cálculo de las coordenadas absolutas de las bases establecidas en el área de trabajo se procesaron las observaciones conjuntamente con datos procedentes de estaciones de referencia cuyas coordenadas eran previamente conocidas. Existen varias redes de estaciones de referencia, las principales están mantenidas por organismos cartográficos como el Instituto Geográfico Nacional o las secciones de cartografía de las diferentes comunidades autónomas.

Para nuestro ámbito de estudio, se decidió utilizar la Red de Geodesia Activa de Aragón (ARAGEA). Comprobando la distribución de las estaciones, se seleccionaron para el cálculo las dos más cercanas que corresponden a «Ejea» y «Borja».

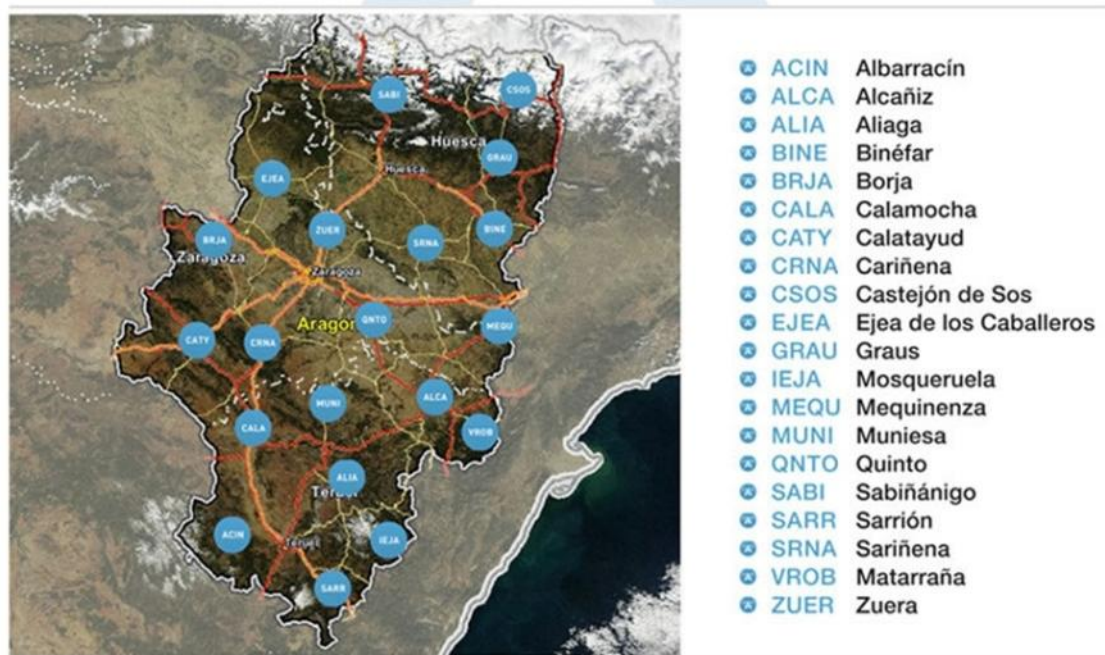


Fig. 10.- Red de estaciones de referencia de ARAGEA (<http://sitar.aragon.es/aragea.htm> acceso en septiembre de 2013).

A partir de esta web, se descargaron los datos de ambas estaciones de referencias para la ventana de observación correspondiente a la observación GNSS realizada el día 28 de septiembre.



Fig. 11.- Generación del fichero con las observaciones de la base de referencia.

Inicialmente y dada la proximidad del área de trabajo al límite provincial se pensó en incluir también alguna estación de referencia de la Comunidad Foral de Navarra. En concreto, analizando la red de dicha comunidad, se seleccionaron los datos de la antena situada en la localidad de «Carcastillo».

### 1. Seleccione una estación

Para acceder a la descarga de ficheros de datos de una estación:

- Pulsar en el mapa sobre la estación.
- Seleccionar la estación en el desplegable y pulsar el botón "mostrar información".

Carcastillo (CARC)

Mostrar información

### 2. Seleccione el tipo de fichero

**Carcastillo (CARC)**

**Coordenadas Geodésicas ETRS89:**

- Longitud: 1° 26' 26.91601" W
- Latitud: 42° 22' 41.33905" N
- Altura elipsoidal: 420.401

► [Ver ficha de la estación](#)

Fichero con información para cada segundo

Fichero con información para cada 30 segundos

Continuar

Fig. 12.- Descarga de observaciones de la base de referencia de Carcastillo (<http://www.navarra.es/AppsExt/RGAN/ficheros.aspx#est> acceso en septiembre de 2013).

Los datos se procesaron con el programa Topcon Tools (v.7.3) y se comenzó importando tanto las observaciones de campo como las de las bases de referencia. Durante este proceso hubo problemas con los datos de Navarra que causaban que el programa utilizado generase un error (por incompatibilidad del formato utilizado). Ante esta situación se decidió proseguir con los cálculos utilizando sólo la información proporcionada por la red de Aragón. Las reseñas de las estaciones de referencia finalmente utilizadas se presentan en el Anexo II.

Una vez cargadas las observaciones en el programa de cálculo, se obtuvo una situación como la que se presenta en la figura siguiente, en la que se visualizan tanto la posición de las estaciones de referencia como las de los puntos observados, así como los periodos de observación en todas ellas.

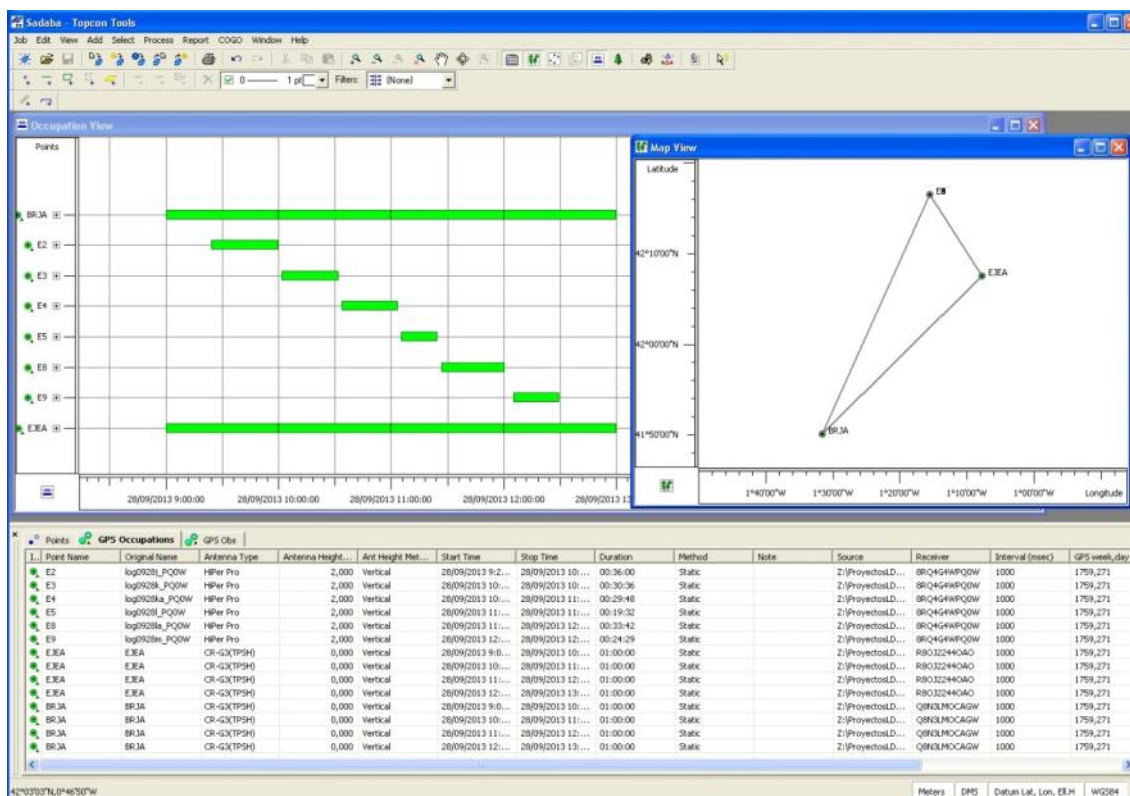


Fig. 13.- Ocupaciones de las estaciones. Los puntos E2, E3, E4, E5, E8 y E9 corresponden a las medidas en campo, las estaciones de referencia (Ejea y Borja) disponen de datos para todo el periodo de captura.

En primer lugar, se procedió con el cálculo de los vectores que se generan entre los puntos que poseen periodos de observación comunes. El programa marca con un punto verde los vectores que ha conseguido determinar con precisión y en rojo los que son poco precisos (se descartarán para cálculos futuros). Como puede apreciarse, desde la estación de Borja, que es la que se encuentra más alejada, aparecen marcados como imprecisos los vectores a los puntos E5 y E9, lo que está relacionado con el hecho de que son los que disponen de menores periodos de observación (por



debajo de los 25 minutos, mientras que los demás están en el entorno de la media hora); por el contrario, la estación de Ejea, al encontrarse más cercana, ha podido calcular correctamente todos los vectores con los periodos de observación utilizados. Dado a que es precisamente la base de Ejea la que se utiliza como referencia principal se prosigue con el proceso de cálculo de las coordenadas absolutas de las estaciones.

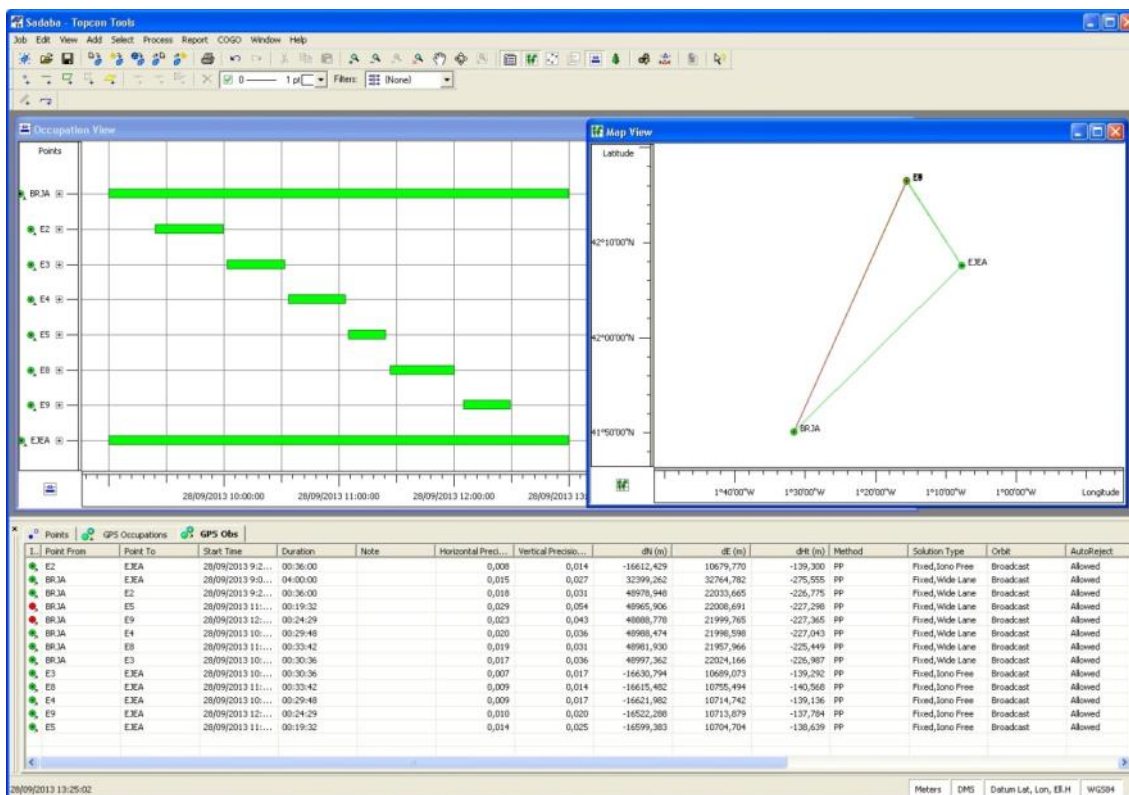


Fig. 14.- Precisión de los vectores entre los puntos con ventanas de observación comunes.

Las precisiones obtenidas, calculas a partir de las desviaciones estándar son las esperables para la metodología empleada, es decir cercana al centímetro para las direcciones horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste) y los dos centímetros y medio para la altura. En concreto, los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1.- Errores medios cuadráticos de las coordenadas absolutas de las estaciones calculadas mediante técnicas de posicionamiento GNSS

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
E2	0,006	0,005	0,013
E3	0,005	0,005	0,015
E4	0,006	0,005	0,015
E5	0,010	0,007	0,023
E8	0,007	0,004	0,013
E9	0,008	0,005	0,019

Las coordenadas obtenidas en el cálculo se presentan en longitud-latitud y alturas elipsoidales, seguidamente se utiliza la aplicación PAG (*Programa de Aplicaciones Geodésicas*) elaborada por el Instituto Geográfico Nacional para obtener coordenadas UTM-ETRS89 y las correspondientes alturas sobre el nivel del mar (ortométricas).

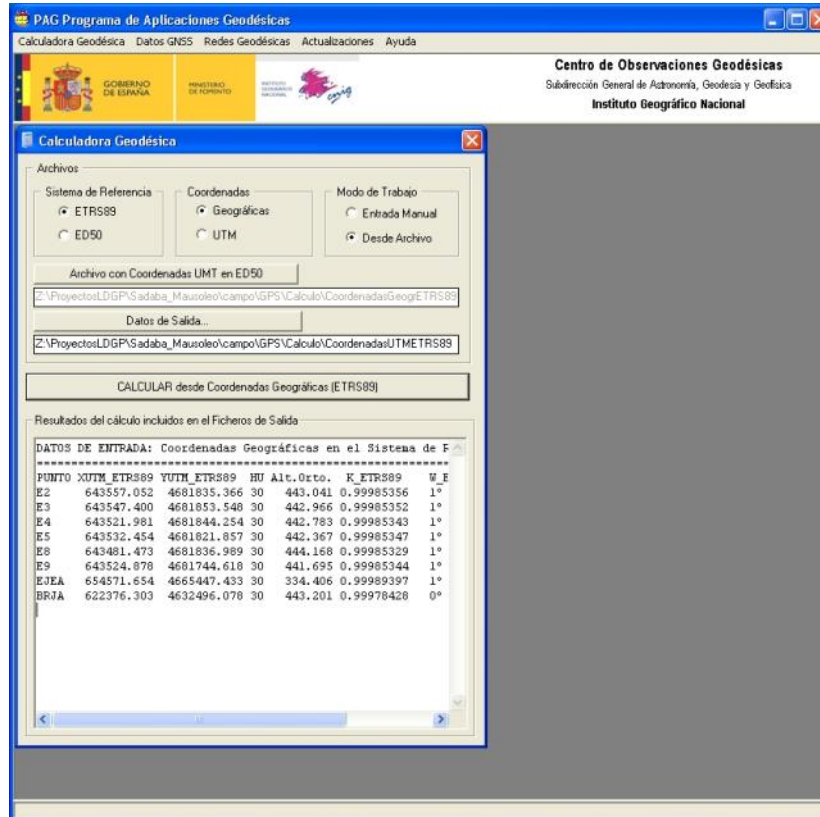


Fig. 15.- Obtención de las coordenadas UTM-ETRS89 y las alturas sobre el nivel del mar.

A continuación se calcularon los parámetros de transformación entre las coordenadas locales obtenidas en campo con estación total y las absolutas obtenidas mediante el sistema GNSS. Con estos parámetros se procedió a transformar las coordenadas locales del resto de elementos medidos (estaciones, puntos de apoyo y volumétrico), de forma que toda la información pasase a estar referida al sistema absoluto que es con el que se trabajará a partir de este momento.

Al respecto de la mencionada transformación de coordenadas, es preciso indicar que, con el fin de no perder la precisión relativa de las medidas realizadas mediante estación total debido al factor de escala diferencial que aplica la proyección cartográfica del sistema absoluto, se ha decidido obtener las coordenadas que denominaremos «absolutas» aplicando una traslación y una rotación utilizando como referencia los puntos E2, E3, E4, E5 que rodean el mausoleo (pero sin incluir ningún cambio de escala). De esta manera tenemos la garantía de que las distancias que midamos sobre el modelo se corresponderán con la precisión comentada (<1 cm de las

medidas con estación total) a las reales sobre el terreno. Sin embargo, al no aplicar el escalado se pierde parte de la precisión de las coordenadas absolutas, es decir, que si se vuelve con un receptor GNSS a los puntos indicados pueden existir discrepancias que se han estimado comprobando las coordenadas de las bases en las que se realizaron observaciones GNSS y que tienen un valor máximo de 8 cm.

#### 4.3.2.- Dibujo de los datos obtenidos por topografía correspondientes al apoyo fotogramétrico y al modelo volumétrico

La información capturada en campo con la estación total se codifica convenientemente para que quede clasificada en el modelo CAD.

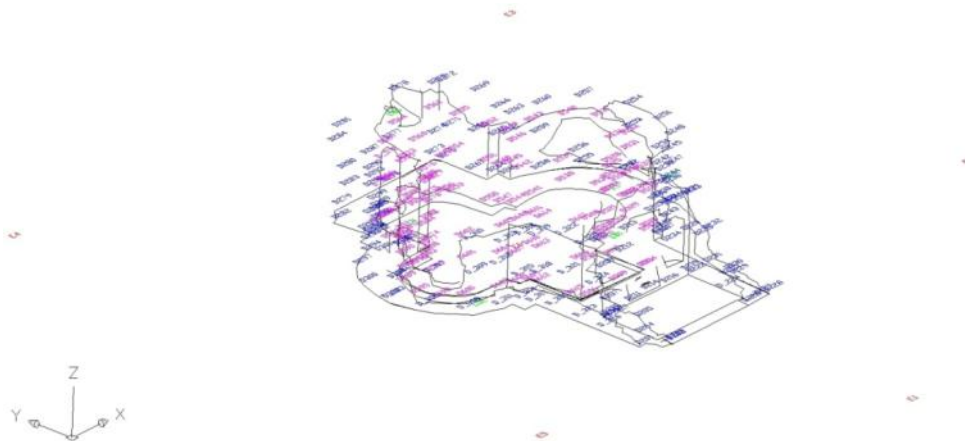


Fig. 16.- Puntos capturados en el sistema tridimensional local (se incluyen también algunas líneas del volumétrico para dar un imagen más comprensible del conjunto).

La citada codificación permite que los elementos que conforman cada una de las líneas definitorias de un volumen, arista, o superficie, se importen directamente al sistema CAD en forma de entidades lineales.

Este modelo volumétrico obtenido mediante estación total, al que denominaremos «alámbrico» ya que las líneas que lo conforman reproducen el modelo como si de tales alambres se tratara, resulta incompleto en la parte superior del edificio debido a las zonas que no son visibles desde el suelo. Posteriormente, cuando se haya generado el modelo 3D mediante fotogrametría (ver sección 4.3.4), se completarán los límites que faltan, consiguiendo así el modelo vectorial definitivo del edificio.

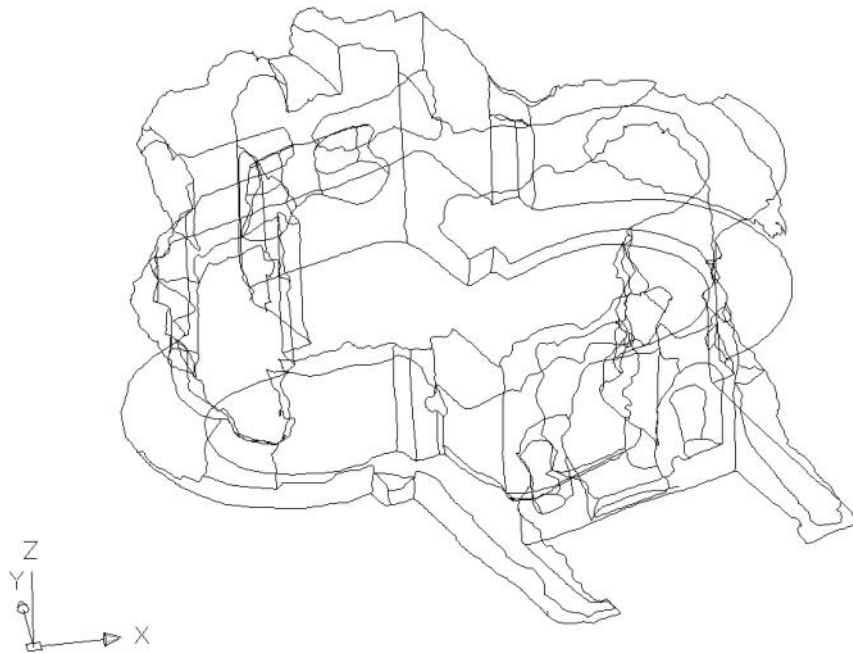


Fig. 17.- Modelo alámbrico completo del mausoleo que combina medidas topográficas y líneas límite obtenidos del modelo 3D generado por fotogrametría.

#### 4.3.3.- Clasificación de las fotografías

Como se ha indicado, uno de los objetivos del presente trabajo es dejar constancia del estado del monumento en el momento de su documentación, con este fin, se ha procedido a realizar un amplio registro fotográfico. Estas fotografías se clasifican y documentan de forma que puedan ser utilizadas en el futuro.

En el CD que acompaña la presente memoria se incluye una carpeta con las fotografías, organizadas en función de la serie a la que corresponden (exterior, interior o desde la grúa). Por otro lado, se han renombrado los ficheros de cada imagen (por ejemplo: «LDGP\_SAD2014\_fm22\_3307.jpg») utilizando el siguiente criterio:

- “LDGP”: indica el autor de la fotografía (Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio UPV/EHU).
- “SAD2014”: código del proyecto.
- “fm22”: corresponde a la identificación de la cámara métrica utilizada. Las características geométricas de ésta son conocidas y se presentan en el Anexo II, de forma que pueden utilizarse en los programas de tratamiento fotogramétrico.
- “3307”: nombre individual que identifica a cada una de las imágenes.
- “jpg”: extensión del fichero, tipo de formato utilizado para codificar la imagen. Con el fin de facilitar los diferentes usos de archivo y difusión, todas las

fotografías se presentan en dos formatos, el citado JPEG que es un formato comprimido y de gran popularidad muy adecuado para la difusión y el formato DNG que está indicado para almacenar las capturas originales –másteres- conservando el máximo de calidad de las mismas (el tamaño de los ficheros en este segundo caso es aproximadamente el doble que en el anterior).

Los ficheros que contienen las imágenes almacenan además información técnica sobre las características de la toma. Este conjunto de datos adicionales se denomina «metadatos *Exif*». Los metadatos *Exif* son utilizados por el software de tratamiento de imágenes, para clasificar, localizar, indexar, etc., las imágenes. También pueden visualizarse con programas específicos (como el *ExifTool* que se muestra en la siguiente imagen).

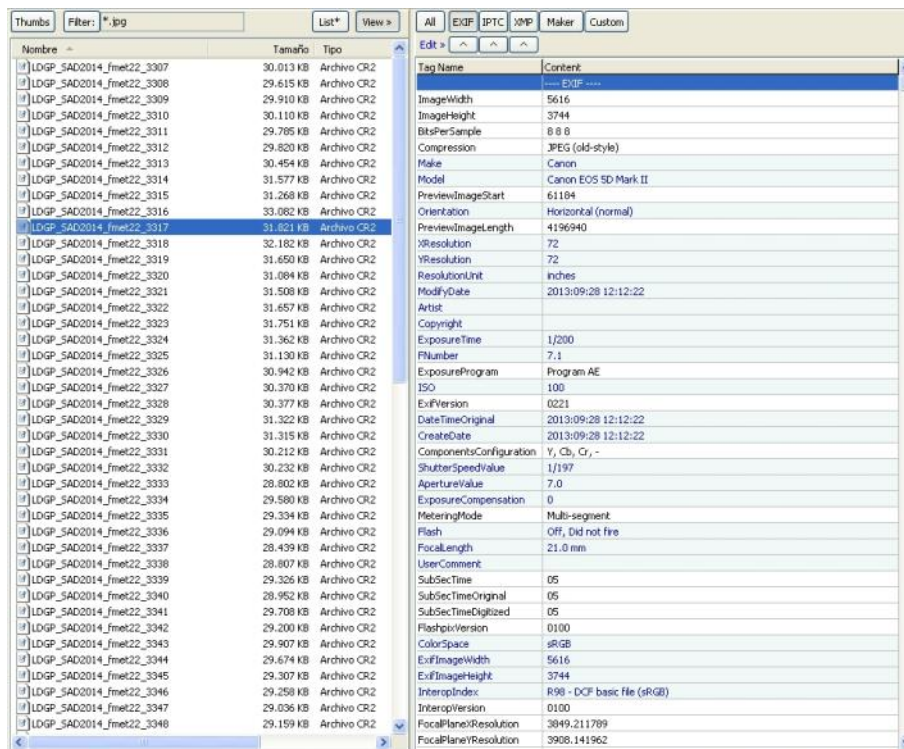


Fig. 18.- Información adicional de una imagen capturada automáticamente por la cámara en el momento de la toma. Entre otros datos se presenta: tamaño de la imagen, modelo de cámara, tiempo de exposición, distancia focal, etc.

Esta información puede editarse y completarse de forma que se reflejen también datos sobre el lugar que aparece fotografiado y del proyecto en el cual se obtuvieron, de esta forma las imágenes permanecen contextualizadas incluso si se difunden de manera aislada.

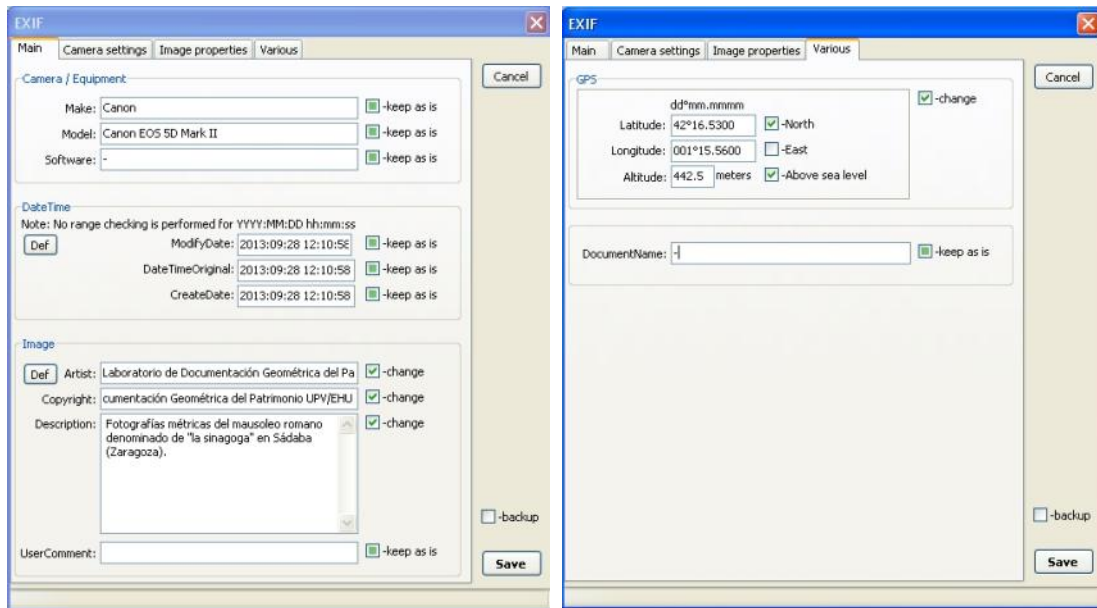


Fig. 19.- Información sobre el creador, el trabajo y la posición geográfica del elemento fotografiado.

Como se ha indicado, gracias a esta información adicional las imágenes pueden gestionarse en bases de datos específicas, facilitando así su localización y uso.

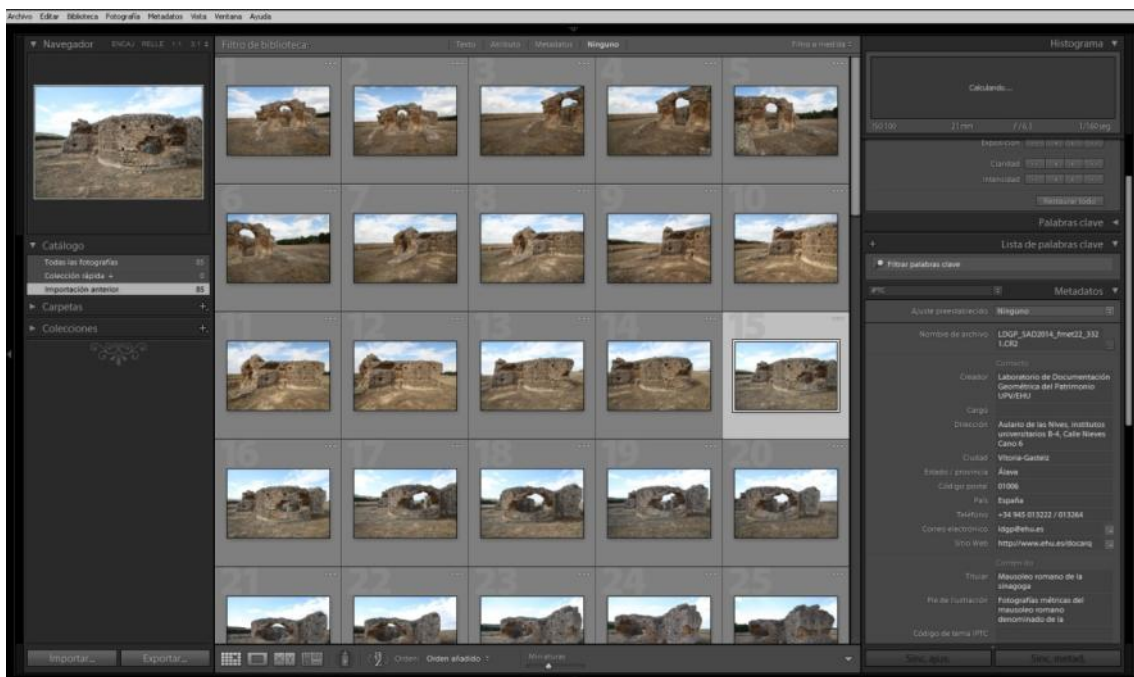


Fig. 20.- Fotografías del mausoleo dentro del programa *Adobe Lightroom*, el cual permite su gestión además de los procesos de revelado digital y tratamiento radiométrico de las imágenes.

Inciendiendo en esta línea, además de la información *Exif*, se ha incorporado otra capa descriptiva de metadatos que también puede ir insertada en las imágenes y que se denomina IPTC.



Fig. 21.- Información (metadatos) IPTC que también se han incorporado a las fotografías.

En la carpeta «Util» del CD que acompaña esta memoria se incluyen las descripciones detalladas de los esquemas de metadatos (listas de campos de información descriptiva) para las imágenes que se han utilizado, así como la descripción del formato DNG.

#### 4.3.4.- Modelado 3D

La generación del modelo 3D se ha realizado mediante el empleo de técnicas basadas en SfM (*Structure from Motion*), utilizando el programa *Agisoft PhotoScan*.

Los datos de partida necesarios para generar el modelo tridimensional con las texturas reales del conjunto arquitectónico son las fotografías tomadas en campo y de las coordenadas de las dianas obtenidas por topografía. El primer paso para la generación del modelo consiste en la selección de las fotografías, teniendo en cuenta, que lo que se necesitan son fotografías consecutivas con un recubrimiento próximo al 100% respecto a la fotografía anterior y que exista cierta variación en el punto de vista desde el que se observa al elemento. El número de fotografías seleccionadas para procesar este proyecto fue de 190.

El programa localiza puntos destacados en cada imagen y los empareja de forma que puede calcular la orientación relativa del bloque de imágenes. En un segundo paso, obtiene la nube de puntos inicial.

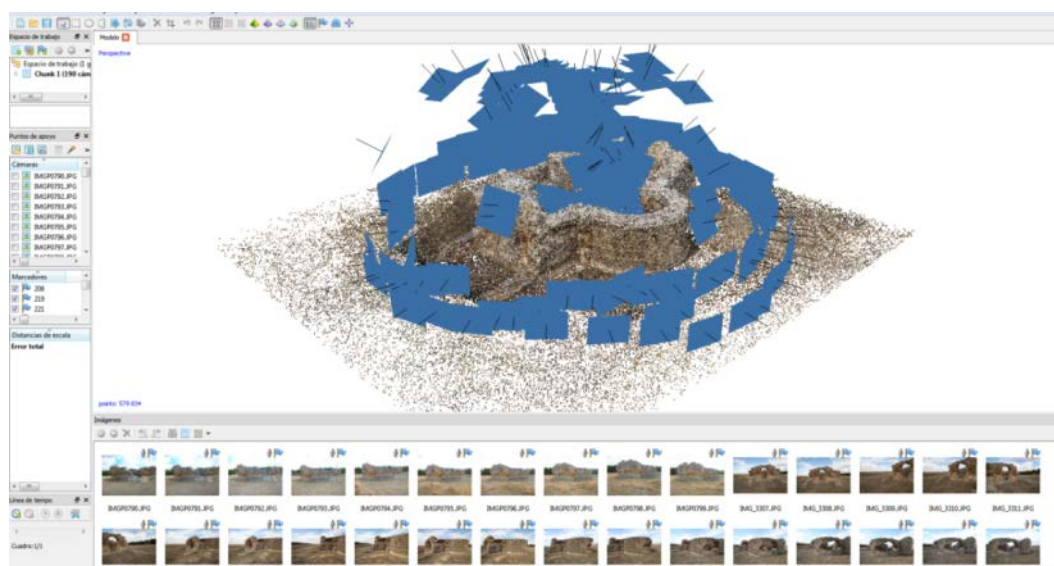


Fig. 22.- Imagen que representa la orientación de las fotografías seleccionadas y la nube de puntos generada.

Esta primera nube contiene 580.000 puntos, a continuación se procede a densificarla con el fin de aumentar la precisión geométrica del modelo que posteriormente se formará. En la imagen inferior podemos ver el resultado de la densificación de la nube de puntos, en donde se ha pasado a una nube de 13.000.000 de puntos, lo que significa, para la superficie del modelo de 678 m<sup>2</sup>, la densidad obtenida es de 19.000 puntos por m<sup>2</sup> o, en términos lineales, 1 punto cada 7 mm.

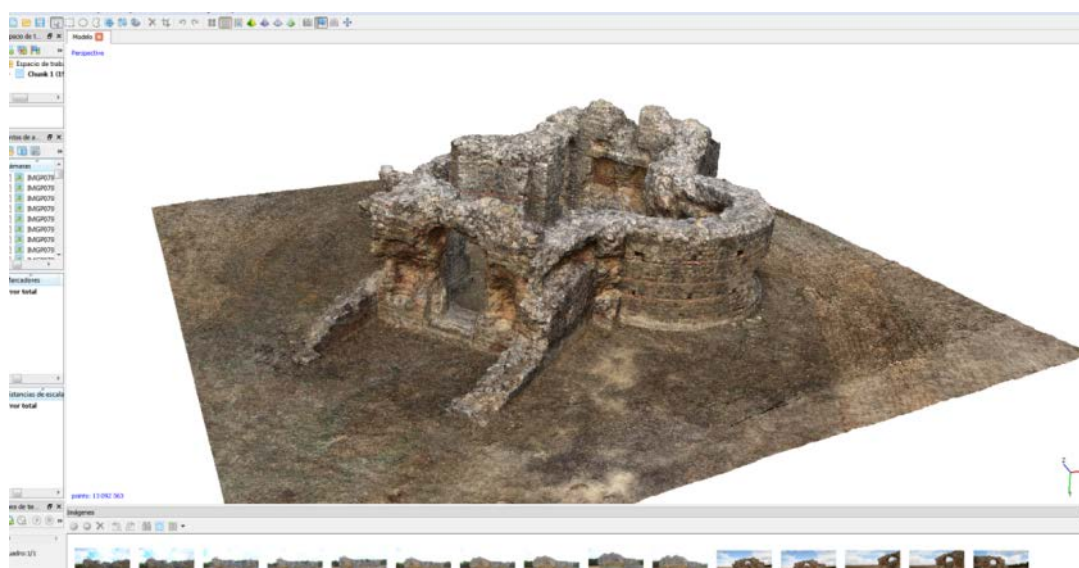


Fig. 23.- Imagen que representa la nube de puntos densificada



Una vez obtenida esta nube densa, se procede al mallado de la misma, obteniendo una malla de 22.550.000 triángulos, lo que equivale a un tamaño de malla de 0,5 cm.

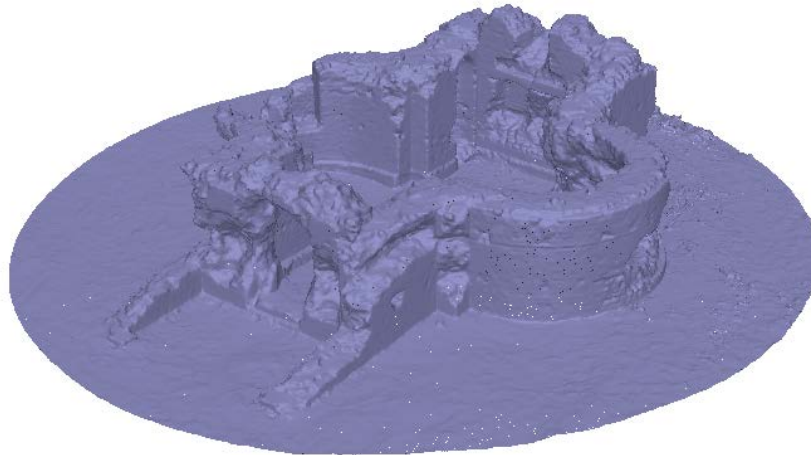


Fig. 23.- Imagen que representa la superficie mallada con un tamaño de malla de 0,5 cm.

Como puede comprobarse, este modelo 3D cuenta con un elevado nivel de detalle, sin embargo, resulta difícil de manejar por ordenadores convencionales, por ello y con el fin de obtener un modelo 3D que permita su visualización y explotación más sencilla, se genera también una versión reducida en la que se ha aumentado el tamaño de la malla a 2 cm.

La geometría del modelo tridimensional aún no está referida al sistema de coordenadas desarrollado en el apartado 4.2.1, por lo que el siguiente proceso consiste en identificar y marcar un mínimo de tres puntos de apoyo (dianas situadas en campo) e identificarlos con sus coordenadas tridimensionales.

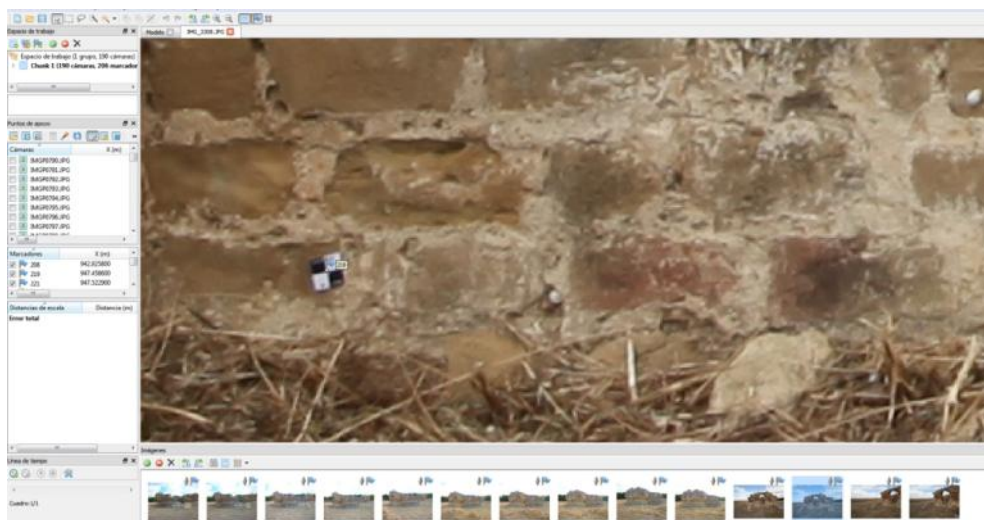


Fig. 24.- Imagen que representa el proceso de identificación de los puntos de apoyo de coordenadas conocidas.

Dado que se dispone de un gran número de puntos de apoyo, se comprueban sus coordenadas obtenidas sobre el modelo con las medidas en campo por métodos topográficos, de esta manera se verifica que no existan errores en el modelado. La precisión en las comparaciones está por debajo de 1 cm.

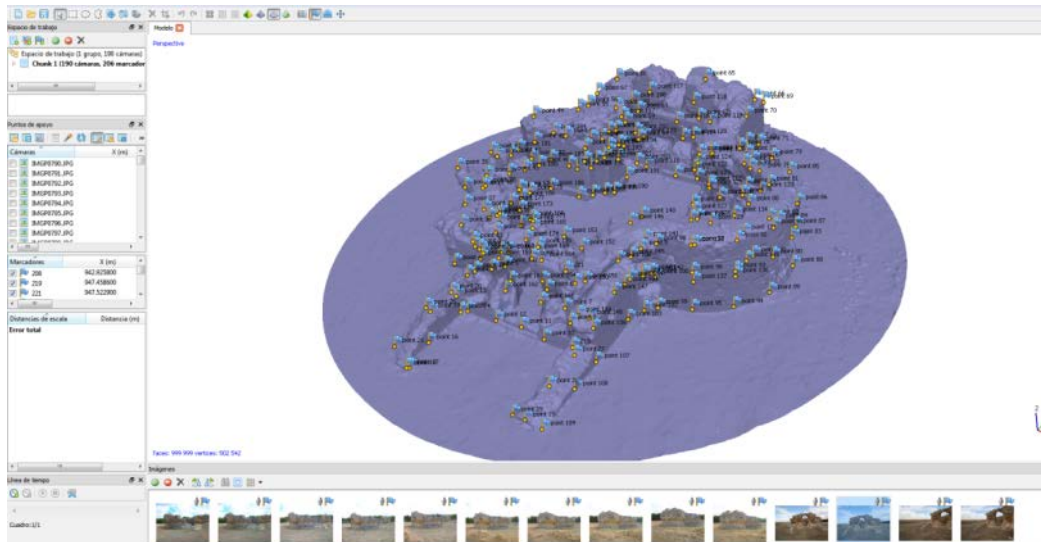


Fig. 25.- Imagen que representa el modelo y los puntos de apoyo utilizados.

Ahora que el modelo se encuentra representado en el sistema de referencia empleado en el proyecto y en verdadera magnitud, se procede a la aplicación de la textura fotográfica. Obteniendo el siguiente resultado.

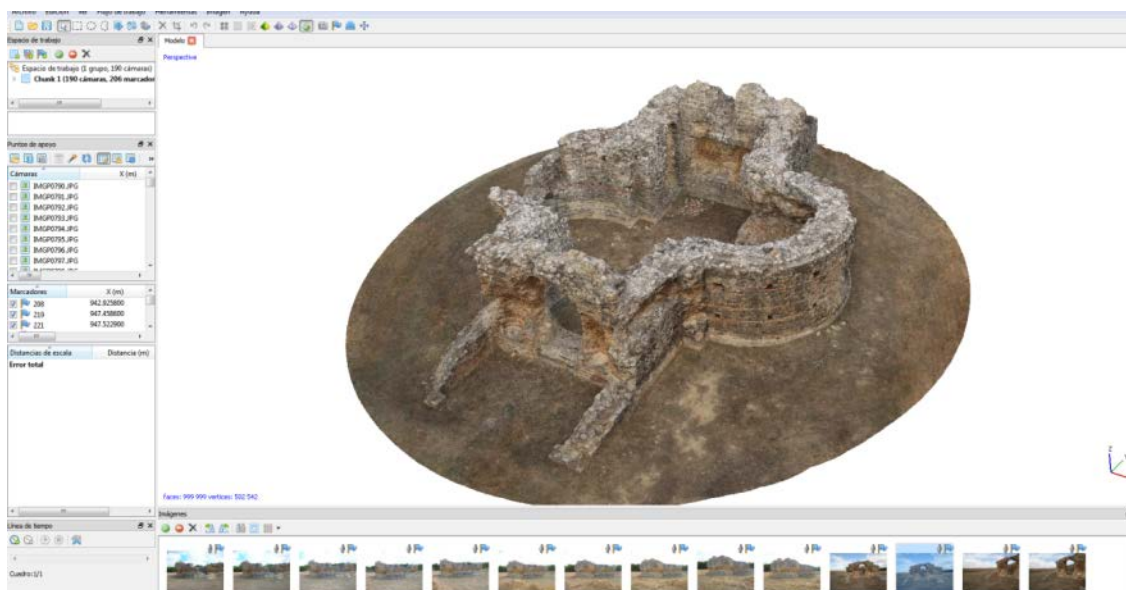


Fig. 26.- Resultado final. Modelo 3D con textura.

Una vez que se ha obtenido el modelo 3D texturizado, podemos exportarlo a diferentes formatos para su visualización y explotación. En este caso, se exporta a los formatos “ply”, “obj”, “stl”, “kml”/”kmz” y “pdf”. Como se ha indicado, se presentan varias versiones a diferentes resoluciones.

Los formatos de intercambio “obj” y “ply” permiten visualizar y trabajar con el modelo utilizando la mayor parte de los programas disponibles en el mercado, tanto los comerciales como los gratuitos.

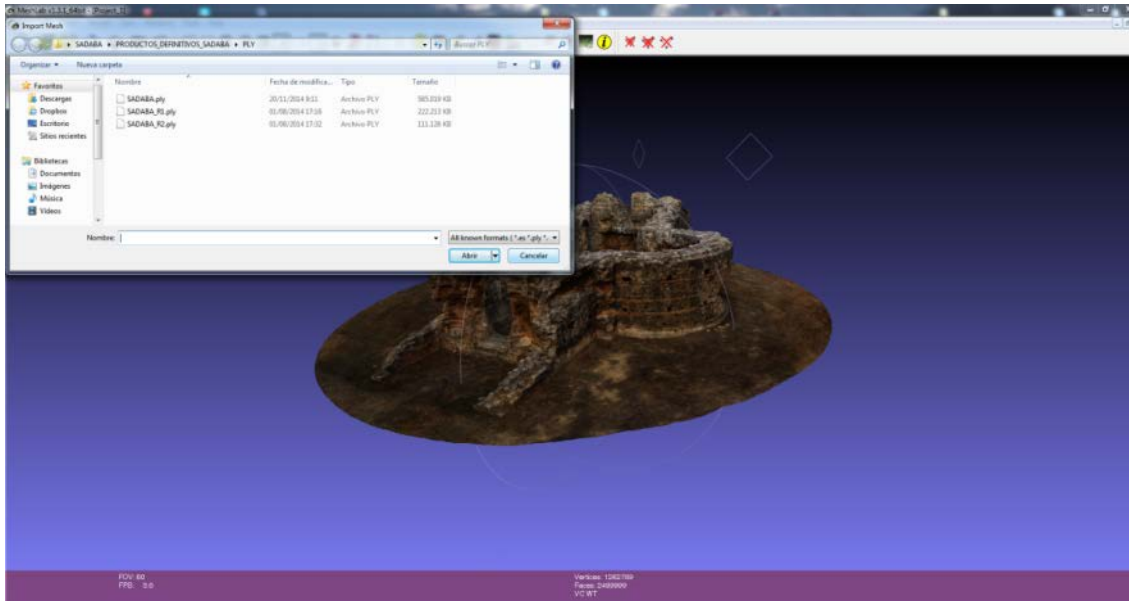


Fig. 27.- Imagen que representa el modelo 3D en el programa Meshlab.

El formato “stl” (estéreo-litografía) es el aceptado por las impresoras 3D. Se ha generado una impresión física en resina del modelo, el proceso y resultado se describen en el siguiente apartado.

Los formatos “kml” y “kmz” se desarrollaron originalmente para su exploración a través del visor *Google Earth*. Por otro lado, el formato “kml” genera ficheros de texto ascii y, actualmente, se considera un formato de intercambio de información.

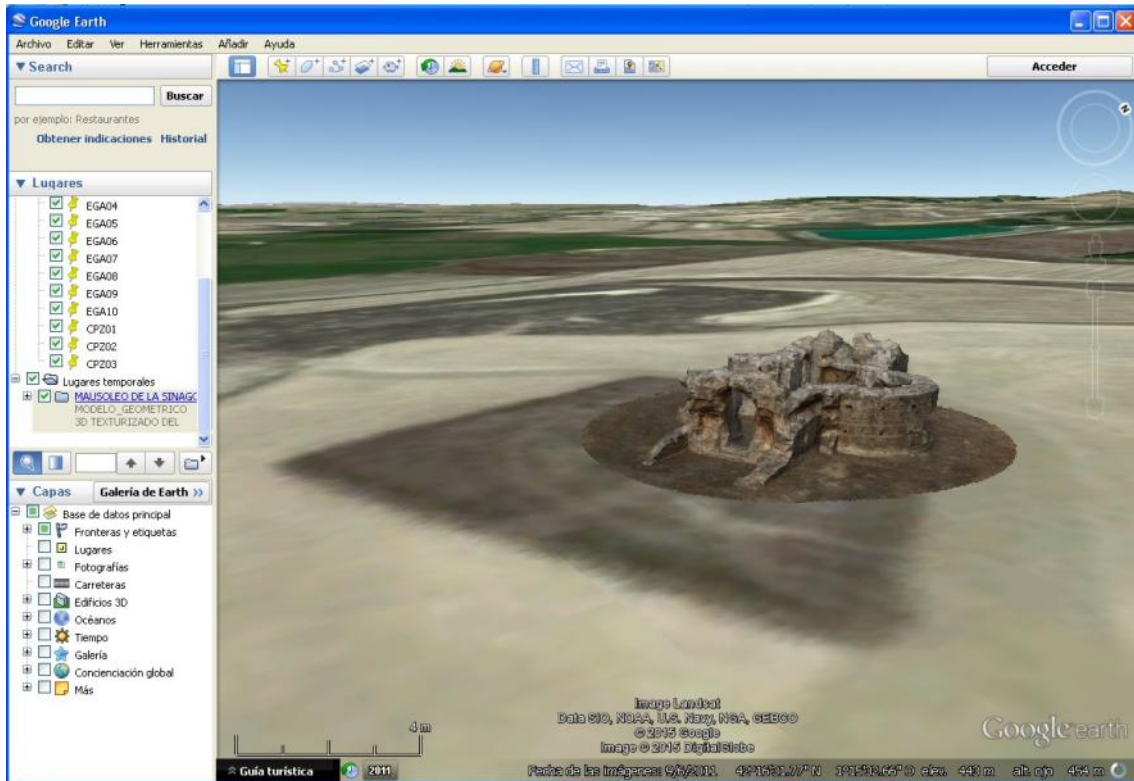


Fig. 28.- Modelo 3D en formato “kmz” dentro del entorno de *Google Earth*®.

Por su parte, el formato pdf-3D de Adobe, permite la exploración de modelos tridimensionales -como el generado en este proyecto- facilitando además la realización de múltiples acciones sobre el mismo como la medida de distancias, generación de secciones, proyecciones, etc., y todo ello valiéndose del programa gratuito *Acrobat Reader*. Se han generado dos modelos con diferente nivel de detalle con el fin de que el modelo resultante pueda ser explorado en la práctica totalidad de dispositivos: ordenadores, tabletas e incluso teléfonos móviles.



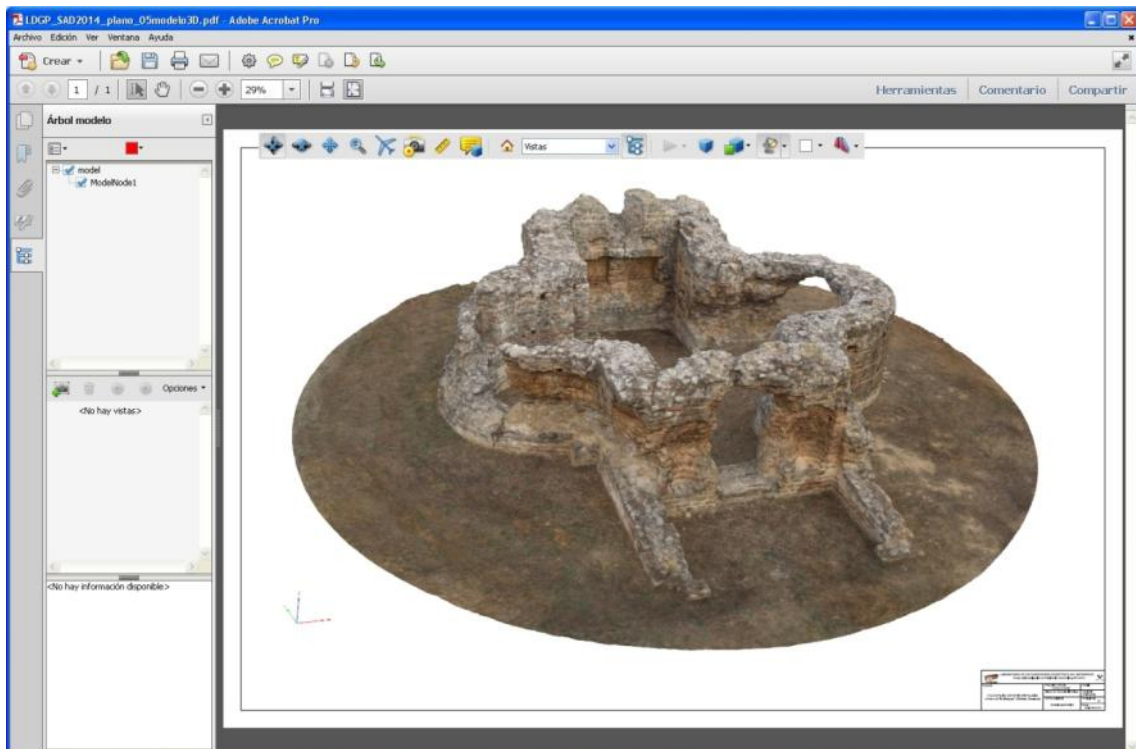


Fig. 29.- Modelo virtual en formato pdf-3D que puede ser explorado interactivamente mediante el visor convencional de documentos pdf de Adobe.

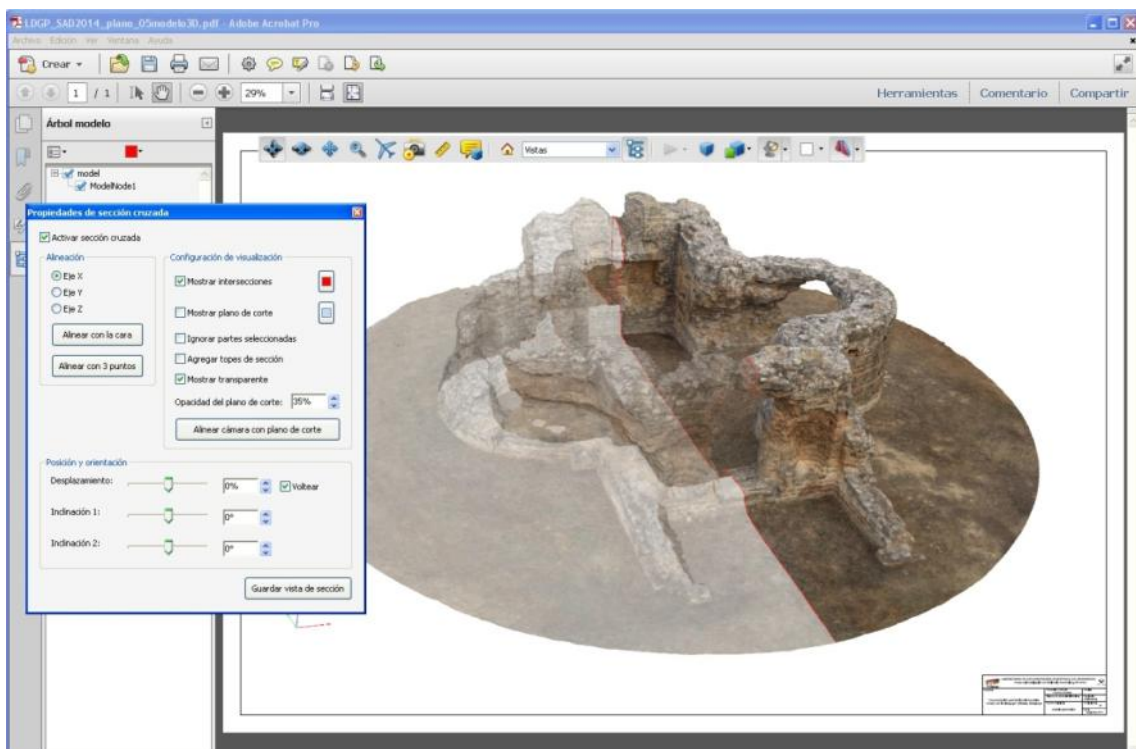


Fig. 30.- Sección longitudinal del mausoleo obtenida directamente en el visor de archivos pdf.

#### 4.3.5.- Productos derivados del modelo 3D

A partir del modelo 3D con textura puede obtenerse una amplia variedad de productos derivados, en este proyecto se ha generado una muestra de aquellos que se considera pueden contribuir a los objetivos de documentación y difusión del Mausoleo pero es posible generar otros nuevos a la medida de las necesidades que vayan surgiendo.

En primer lugar, se han preparado dos vídeos que permiten realizar una exploración guiada del modelo 3D. Estos vídeos corresponden a una visualización estándar y otra estereoscópica pensada para ser vista con gafas de anáglifo rojo-cian, en la que la sensación de volumen no solamente se intuye por la perspectiva sino que se percibe realmente.



Fig. 31.- Vídeo en el que se explora el modelo 3D del mausoleo.

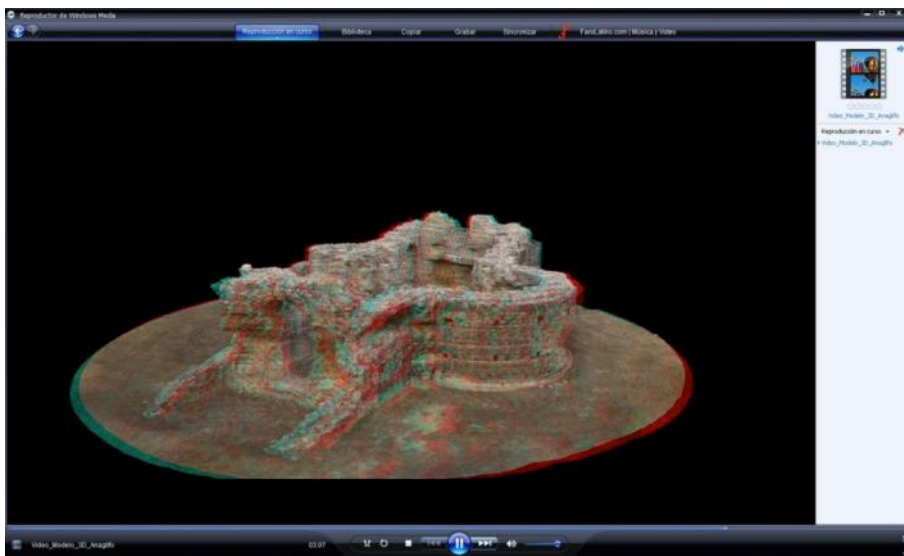


Fig. 32.- Vídeo en el que se explora el modelo 3D del mausoleo mediante visión estereoscópica.

En segundo lugar, se ha realizado una selección de las vistas más representativas del modelo de las que se han generado imágenes (JPEG) en anáglifo de forma que pueden ser analizadas tridimensionalmente.

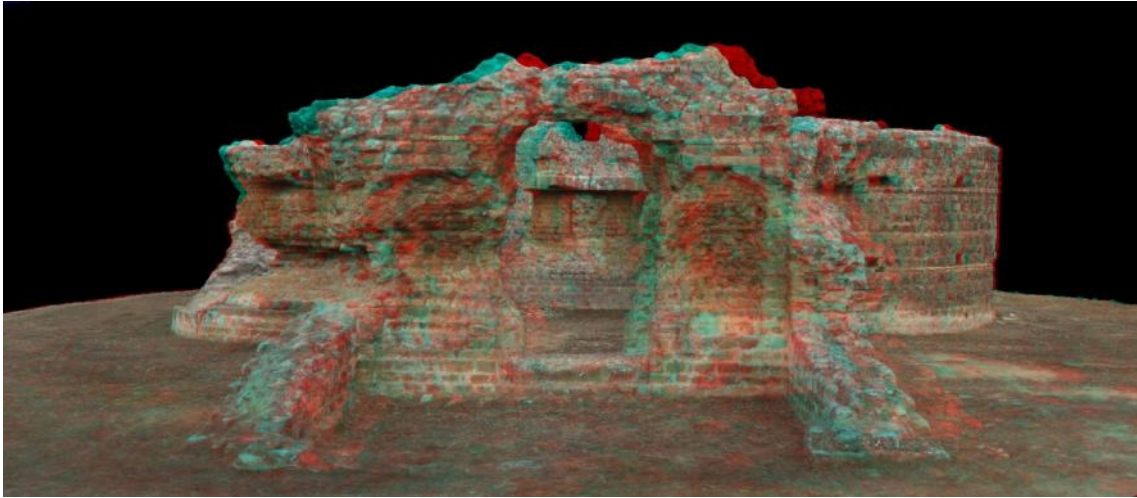


Fig. 33.- Imagen en anáglifo para su inspección tridimensional con gafas rojo-cíán.

Las representaciones cartográficas que aúnan las propiedades métricas de los planos con la calidad evocadora de la fotografía se denominan ortoimágenes u ortofotografías, en ellas cada uno de los puntos de la imagen es proyectado de manera perpendicular al plano de la imagen, generando así un documento con aspecto fotográfico pero calidad métrica que posibilita la toma de medidas sobre él. Para la generación de estas ortoimágenes, es necesario seleccionar la dirección de la proyección y la resolución de la imagen de salida, habiéndose seleccionado, en este caso, 1 cm que es un valor adecuado a la escala de representación a la que se presentan los planos (1:50).



Fig. 34.- Ejemplo de ortoimagen del alzado frontal con resolución de 1 cm.

Las ortoimágenes se insertan en el modelo CAD, donde se pueden generar igualmente las diferentes salidas cartográficas: planos en planta, alzados, secciones, etc.

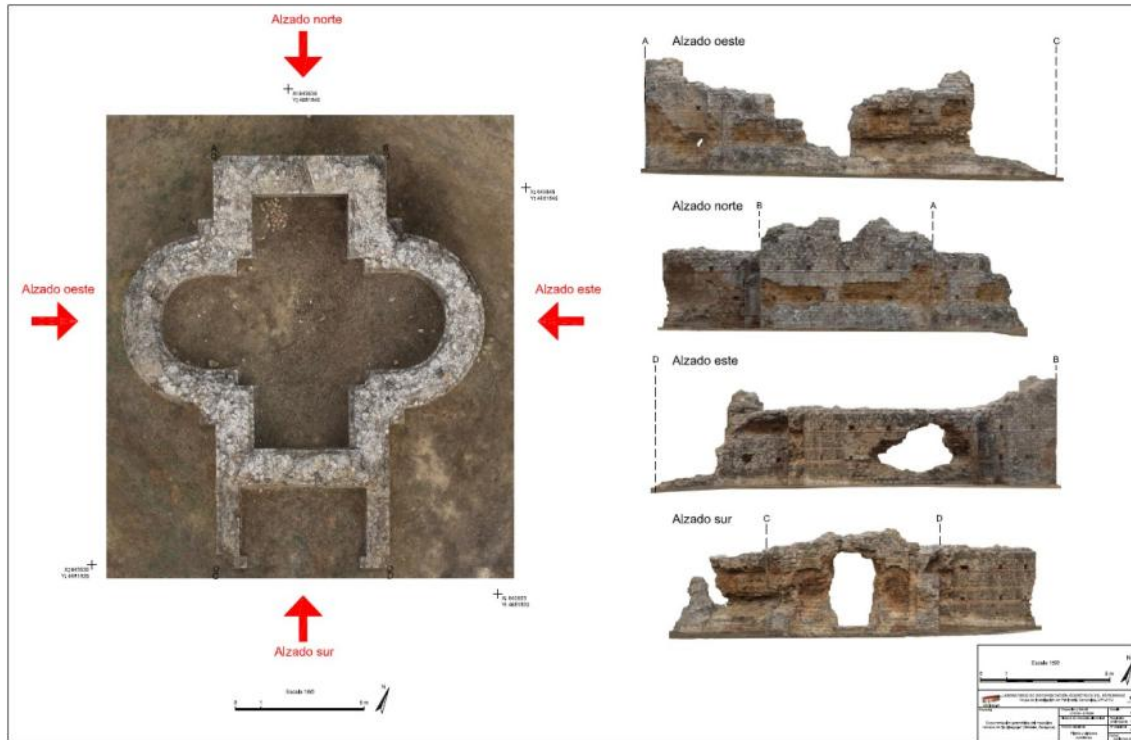


Fig. 35.- Plano con las ortoimágenes en planta y los diferentes alzados exteriores.

Además del modelo de texturas, también se ha exportado una versión de la nube de puntos de mayor densidad coloreada con la textura fotográfica. Esta nube se ha preparado con el fin de poder visualizarlo con herramientas web convencionales. En concreto, dicho fichero se ha organizado en niveles de detalle (es decir, en múltiples ficheros que se van cargando y descargando en función del área y la distancia a la que se está visualizando el monumento) salvando así la limitación del tamaño del fichero. El archivo generado se presenta en formato VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) que puede ser visualizado en cualquier navegador web con sólo disponer del correspondiente visor (como, por ejemplo, el *Cortona 3D viewer*). Con el fin de que las partes que no aparecen cargadas sigan siendo identificables se incluye el volumétrico alámbrico de los muros.





Fig. 36.- Modelo virtual de puntos preparado con niveles de detalle para su visualizador en un navegador web convencional.

A partir del modelo de nube de puntos señalado anteriormente se han generado también dos imágenes en desarrollo desde el centro del edificio que corresponden a una vista panorámica hacia afuera y otra hacia adentro. No se trata de productos métricos pero sí que ofrecen una visión complementaria muy interesante del monumento ya que permiten representar en su totalidad tanto la vista interior como la exterior en una única imagen. Ambas se han generado con una resolución aproximada de 1 cm.



Fig. 37.- Vista panorámica de los alzados interiores desde el centro del mausoleo.

Para la realización de estos desarrollos se ha utilizado un programa informático desarrollado en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio de la UPV/EHU y que se encuentra disponible de forma libre en el repositorio ADDI de la Universidad del País Vasco, en la dirección: <http://hdl.handle.net/10810/6167>

Otro de los objetivos planteados fue la generación de una maqueta o reproducción física del Mausoleo generada a partir del modelo tridimensional en formato digital. Para la materialización de la reproducción se ha utilizado una impresora tridimensional HP Designjet Color 3D Printer, comandada por el programa HP Designjet 3D Software Solution.



Fig. 38.- HP Designjet Color 3D Printer

El proceso de producción comienza con la carga en el programa del modelo del mausoleo, en el formato “stl”, ya indicado, y la configuración de las características del trazado, en concreto el espesor de las capas de material y el grosor mínimo de la pared exterior del objeto, junto con el estilo del relleno interior del modelo, en función de la utilidad que se desee dar a la pieza (compacto o reticular). También se ha de configurar el estilo del material de soporte (más o menos compacto), así como la escala y orientación de la pieza.

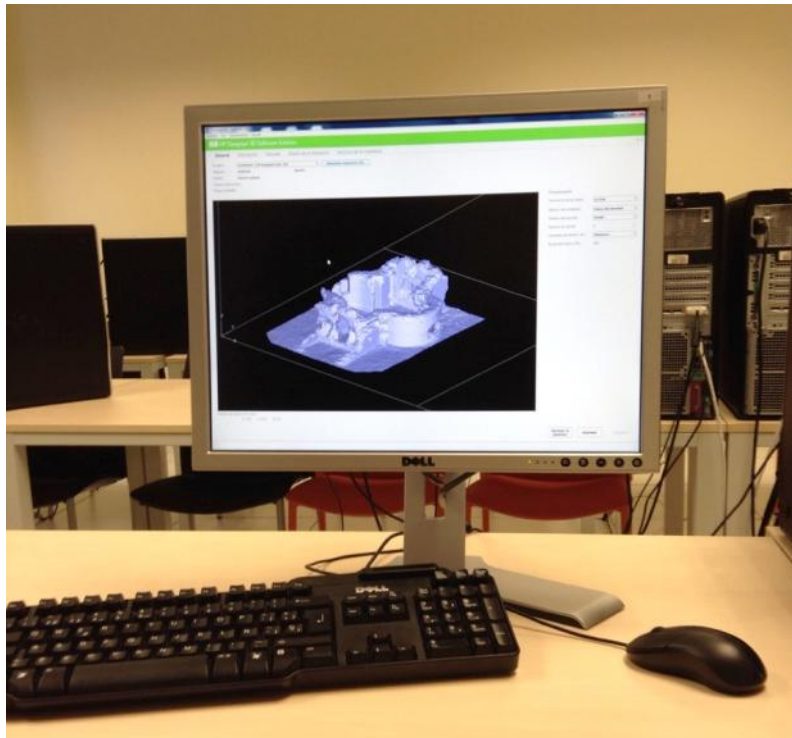


Fig. 39.- Modelo "stl" del Mausoleo cargado en el programa HP Designjet 3D Software Solution.

Para la construcción del modelo la impresora utiliza dos componentes que se suministran en bobinas, uno el material de soporte y otro el que conformará la pieza. Para su aplicación el cabezal de la impresora realiza la fusión a 300°C de temperatura.



Fig. 40.- Bobinas de material de soporte y constructivo y su disposición en la impresora.

La impresión se realiza capa a capa con un grosor de 0,254 mm y alternando material constructivo o de soporte -en los espacios en los que en esa capa no exista modelo, por ejemplo en las secciones inferiores de los accesos coronados por un arco-.

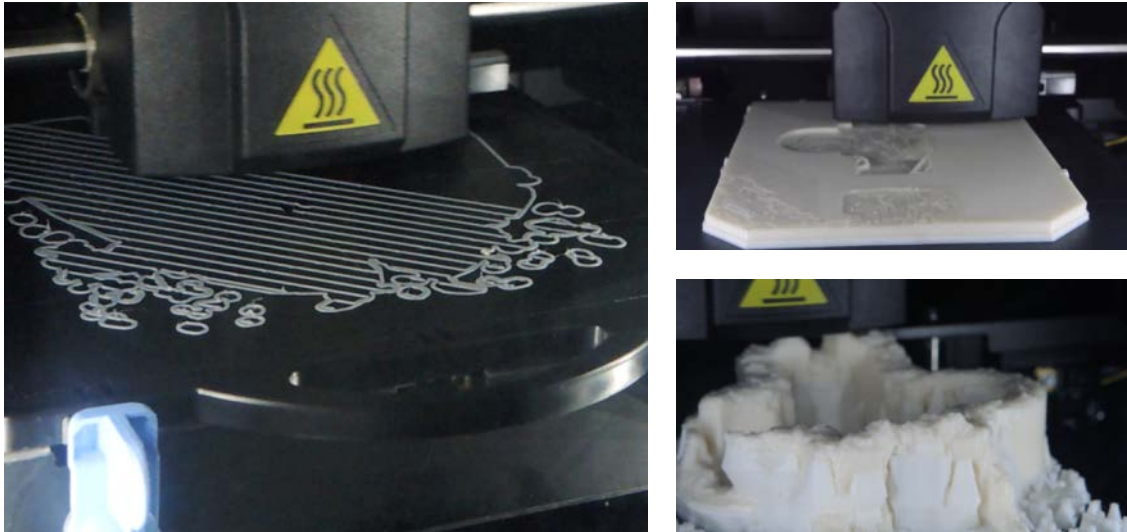


Fig. 41.- Tres momentos del proceso de impresión del modelo del Mausoleo

Para liberar el modelo del material de soporte que durante la impresión sustenta las partes del material constructivo que quedarán suspendidas, se emplea el dispositivo HP Designjet 3D Removal System.



Fig. 42.- Dispositivo HP Designjet 3D Removal System y modelo del Mausoleo previo a su proceso de lavado.



La pieza desprendida de la bandeja se introduce en un cestaño que a su vez se deposita en una cubeta en la que una solución de agentes químicos, proporcionados por el fabricante, disolverá todo el material de soporte en un proceso de calentamiento y agitación de la disolución. Este proceso puede durar varias horas, en función del volumen y la complejidad del objeto. Como parámetro de control se emplea el tiempo destinado en la fabricación. En el caso que nos ocupa con un tiempo de fabricación mayor de 14 horas, el ciclo de lavado es el largo con una duración de unas 12 horas.

El resultado final es una maqueta tridimensional a escala 1:100.

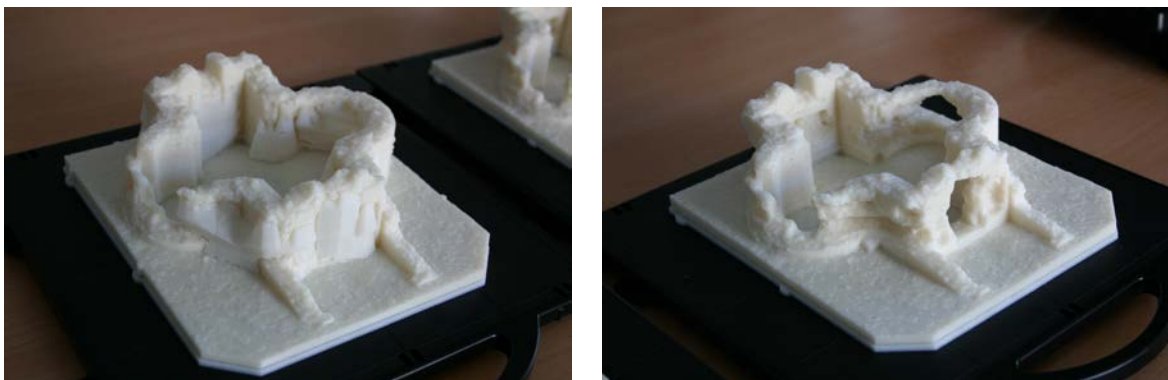


Fig. 43.- Maqueta tridimensional antes y después de la eliminación del material de soporte

#### 4.3.6.- Reconstrucción virtual

Una aportación que ha surgido de la colaboración del equipo multidisciplinar, ha sido poder integrar el modelo tridimensional de los restos que se conservan con la reconstrucción virtual de la hipótesis desarrollada por García y Bellido en 1963<sup>3</sup> sobre la forma que pudo tener el edificio en su estado de uso.

---

<sup>3</sup> GARCÍA y BELLIDO, A. (1963) *La villa y el mausoleo romanos de Sádaba*. Archivo Español de Arqueología 36, n.º 107-108, 1963, 166-170.



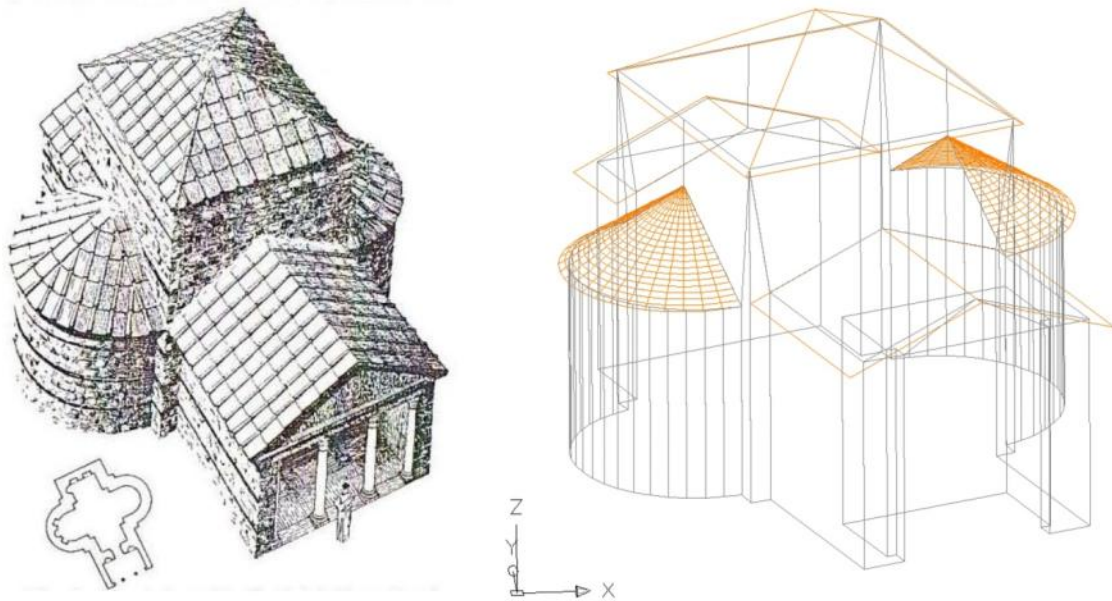


Fig. 44.- Dibujo de García y Bellido (izquierda) y modelo 3D esquemático (derecha).

El modelo esquemático generado se ha preparado para ser visualizado conjuntamente con el modelo VRML que contiene la nube de puntos del estado actual del monumento organizada según niveles de detalle. En este caso, el modelo esquemático se ha insertado con materiales semitransparentes de forma que permita evocar los volúmenes pero dejando claro que se trata sólo de una hipótesis de trabajo.



Fig. 45.- Modelo virtual de los restos existentes con sobreimposición de la reconstrucción hipotética de García Bellido.

#### 4.3.7.- Realidad Aumentada

Por otro lado, tomando como base el modelo 3D también se ha generado una aplicación de realidad aumentada para dispositivos móviles (*Android*). En este caso, el objetivo es poder visualizar el plano a través de la pantalla del teléfono móvil o la tableta y que aparezca sobrepuesto el modelo tridimensional.

La aplicación informática que va a emplearse para generar esta nueva forma de representación es un entorno para la generación de videojuegos denominado *Unity 3D* que se combina con una ampliación para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada denominada *Qualcomm Vuforia*.

Para poder generar este tipo de producto es necesario disponer de un marcador impreso al que dirigir la cámara del dispositivo móvil, para que le sirva de referencia. Con este fin se selecciona, en primer lugar, una imagen que contenga todo el elemento.

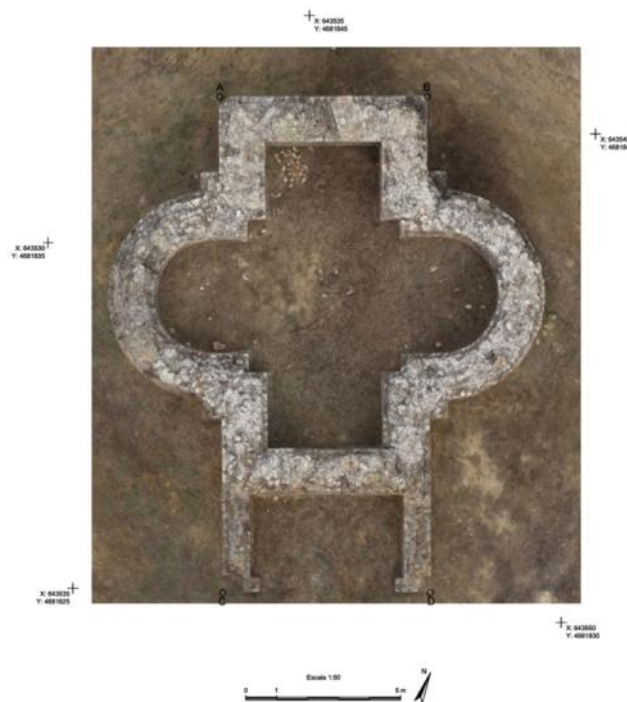


Fig. 46.- Imagen que se pretende utilizar como marcador y sobre la que se visualizará el modelo 3D.

Seguidamente se comprueba si la imagen dispone de suficientes elementos identificativos para servir de referencia. Esta acción se realiza en red a través de la web de *Vuforia*.



Fig. 47.- Características identificables sobre el marcador (a mayor número de puntos, mayores posibilidades de enlazar el modelo 3D)

Posteriormente, dentro del entorno de *Unity 3D* se carga el marcador y el modelo 3D que se coloca en su posición relativa. Seguidamente, se define la cámara y la fuente de iluminación.

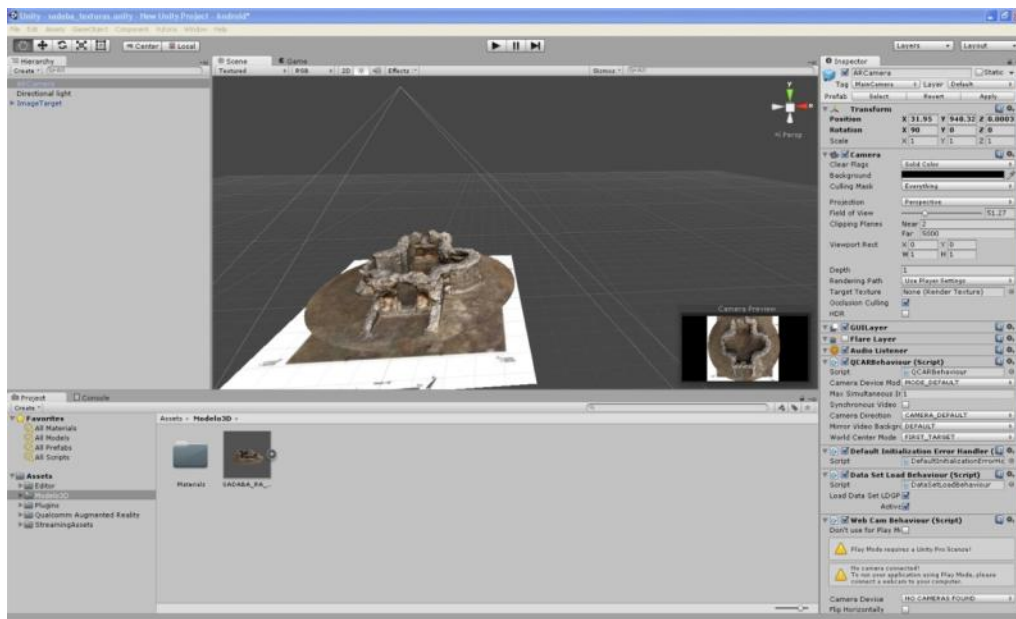


Fig. 48.- Composición del marcador y el modelo 3D.

Finalmente el modelo resultante se exporta como aplicación para dispositivos móviles *Android* (extensión .apk). Dicha aplicación se descarga en el teléfono o tableta con lo que se accede a la cámara, cuando se enfoca el marcador aparece representado el modelo 3D que puede explorarse interactivamente mediante el movimiento bien sea del propio dispositivo o del marcador.



Fig. 49.- Modelo 3D sobreimpuesto sobre la imagen utilizada como marcador (plano en papel).

#### 4.3.8.- Archivo de la información

Una copia del proyecto se depositará en el repositorio institucional ADDI de la Universidad del País Vasco UPV/EHU (<https://addi.ehu.es>), desde donde podrá accederse tanto a esta memoria como a las fotografías utilizadas como base de la documentación y a los resultados más representativos que se han obtenido.



Fig. 50.- Pantalla de inicio del repositorio ADDI.

Los repositorios institucionales están comprometidos con la preservación a largo plazo de la información depositada, asimismo, se encuentran conectados a diferentes herramientas de búsqueda de manera que se aumenta la visibilidad y difusión de los contenidos.



## **5.- INFORMACIÓN SUMINISTRADA**

El contenido digital que se suministra se ha organizado siguiendo la estructura que se comenta a continuación:

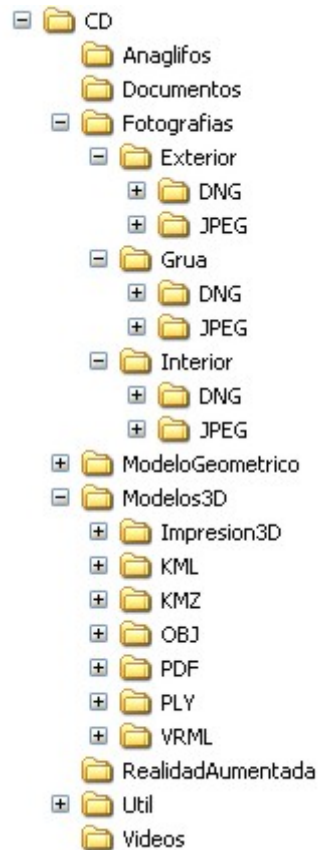


Fig. 51.- Contenido del CD que contiene el presente trabajo.

En concreto, cada una de estas carpetas contiene la siguiente información:

- **Anáglifos**: 14 imágenes en formato JPEG que muestran vistas seleccionadas del modelo 3D con texturas fotográficas y que han sido preparadas para ser analizadas tridimensionalmente utilizando gafas de anáglifos rojo-cian.
- **Documentos**: copia de la presente memoria en formato “pdf”.
- **Fotografías**: imágenes tomadas con cámara métrica del mausoleo, se incluyen las tres pasadas correspondientes a las tomas desde el suelo interior y exterior al edificio y las tomas realizadas desde la grúa. En todos los casos, se incluyen las imágenes en dos formatos JPEG y DNG y todas ellas incorporan los metadatos descriptivos que se han comentado anteriormente.
- **Modelo Geométrico**: fichero CAD con la información vectorial en el sistema de coordenadas oficial (UTM-30 en ETRS89), incluye también los planos (tanto dentro del fichero CAD como en ficheros individuales “pdf”). El modelo CAD se

presenta en dos formatos “dwg” y “dxf” (ambos en versión 2000) con el fin de facilitar su uso e intercambio en diferentes sistemas.

- Modelos 3D: el modelo generado se presenta en diferentes formatos y resoluciones para su utilización con programas de visualización 3D, impresión, etc.
- Realidad Aumentada: aplicación *Android* para instalar en dispositivos móviles e imagen que actúa como marcador sobre la que se visualiza el modelo 3D.
- Útil: documentación técnica sobre los formatos de intercambio “dxf” y “dng”, así como de los esquemas de metadatos utilizados en las fotografías.
- Vídeos: dos vídeos que muestran diferentes partes del modelo 3D generado, uno de ellos se ha preparado para su visión con gafas de anáglifo rojo-cian.

**ANEXOS**

## Anexo I: Instrumental empleado

Las características técnicas del receptor GPS utilizado se recogen en la siguiente tabla:

<b>HIPER PRO</b>	
<b>DESCRIPTION</b>	40 channel integrated GPS+ receiver/antenna with MINTER interface
<b>TRACKING SPECIFICATIONS</b>	
Tracking channels, standard	40 L1 GPS (20GPS L1+L2 on Cinderella days) *
Tracking channels, optional	20 GPS L1+L2 (GD), GPS L1 + GLONASS (GG) 20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD)
Signals Tracked	GPS L1/L2, C/A and P Code & Carrier and GLONASS L1/L2 and L2C
<b>PERFORMANCE SPECIFICATIONS</b>	
Static, Rapid Static	H: 3 mm + 0.5 ppm V: 5 mm + 0.5 ppm
RTK	H: 10 mm + 1.0 ppm V: 15 mm + 1.0 ppm
Cold Start	<60 seconds
Warm Start	<10 seconds
Reacquisition	<1 second
<b>POWER SPECIFICATIONS</b>	
Battery	Internal Lithium-Ion batteries for up to 14+ hours of operation (10 hours Tx)
External power input	6 to 28 volts DC
Power consumption	Less than 4.2 watts
<b>GPS+ ANTENNA SPECIFICATIONS</b>	
GPS / GLONASS Antenna	Integrated
Ground Plane	Integrated flat ground plane
<b>RADIO SPECIFICATIONS</b>	
Radio Type	Internal Tx/Rx (selectable frequency range)
Power Output	1.0 Watt / 0.25 Watt (selectable)
Radio Antenna	Center-mount UHF Antenna
<b>WIRELESS COMMUNICATION</b>	
Communication	Bluetooth® version 1.1 comp. **†
<b>I/O</b>	
Communication Ports	2x serial (RS232)
Other I/O Signals	1 pps, Event Marker
Status Indicator	4x3-color LEDs (Green, Red, Yellow), two-function keys (MINTER)
Control & Display Unit	External Field Controller
<b>MEMORY &amp; RECORDING</b>	
Internal Memory	Up to 1 GB
Update Rate	Up to 20 times per second (20Hz)
Data Type	Code and Carrier from L1 and L2, GPS and GLONASS and L2C GLONASS
<b>DATA OUTPUT</b>	
Real time data outputs	RTCM SC104 version 2.1, 2.2, 2.3, CMR, CMR+
ASCII Output	NMEA 0183 version 3.0
Other Outputs	TPS format
Output Rate	Up to 20 times per second (20Hz)
<b>ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS</b>	
Enclosure	Aluminum extrusion, waterproof
Operating	Temperature -30°C to 55°C
Dimensions	W:159 x H:172 x D:88 mm
Weight	1.65 kg

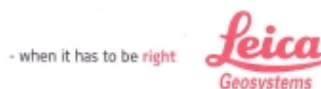
Specifications are subject to change without notice. Performance specifications assume a minimum of 6 GPS or 7 GPS/GLONASS satellites above 15 degrees in elevation and adherence to procedures recommended by TPS in the appropriate manuals. In areas of high multipath, during periods of high PDOP and during periods of high ionospheric activity performance may be degraded. Robust checking procedures are highly recommended in areas of extreme multipath or under dense foliage.

\* Cinderella feature activates full receiver reception at GPS midnight every other Tuesday for 24 hours.

\*\* Bluetooth® type approvals are country specific. Please contact your Topcon representative for more information.

† The Bluetooth word mark and logos are owned by the Bluetooth SIG, Inc. and any use of such marks by Topcon Positioning Systems, Inc. is under license. Other trademarks and trade names are those of their respective owners.

A continuación se presenta el certificado de calibración de la estación total utilizada:



Leica Geosystems, s.l.  
Nicaragua, 46  
08029 Barcelona  
Teléfono (+34) 93 494 94 40  
Fax (+34) 93 494 94 42  
www.leica-geosystems.com

## Certificado de Verificación y Control

Emitido por laboratorio de Leica Geosystems S.L.

UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO  
E.U.I.T. Ind. e Ing.Tec.Topog.  
C/ NIEVES CANO, 12  
01006 VITORIA

Nº de Informe: 300878816  
Fecha: 25.10.2012

Instrumento: TCR1205 R300  
Nº de Serie: 213379

Nº de Cliente: 50198  
Nº de Técnico: 125478

### Identificación de patrones utilizados:

1. **Ángulos:** Colimador de ejes Wild modelo T4 nº 062 con certificado del CEM número 112316001.
2. **Distancia:** Línea base con centrado forzoso y 2 reflectores a la/las distancia/as con certificado del CEM número 112316006.

### Incertidumbre asociada a los patrones e instrumento objeto:

La incertidumbre asociada con el patrón e instrumento al que hace referencia este certificado está calculada para un factor de cobertura  $K=2$ , aproximadamente equivalente a un nivel de confianza del 95%. La incertidumbre se ha determinado conforme al documento EAL-R2.

### Procedimientos utilizados:

3. **Verificación** Procedimiento descrito en documentación interna de Leica Geosystems S.L.,  
**patrones:** P.C.P LG 05-11.
4. **Verificación** Procedimientos descritos en documentación interna de Leica Geosystems S.L.,  
**instrumento:** P.V.TPS LG 05-11, P.A. TPS LG 05-11.

### Condiciones ambientales:

Temperatura durante la revisión  $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ .  
Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones.

### Cálculo de resultados:

Los resultados aquí obtenidos pueden resultar por debajo de las precisiones marcadas en las características técnicas dadas por el fabricante debido a las condiciones ideales en las que se realizan las mediciones. Los valores de salida en los resultados se marcarán en el valor de la tolerancia.

Sociedad Unipersonal inscrita en el registro Mercantil de Barcelona. Torre 29, 306, Pab. 157, Avda de Espanya, 100008, Hospitalet del Llobregat, C.I.F. B-07298497





- when it has to be right



**Resultados:**

	Entrada	Tolerancia	Salida	Incertidumbre
Desviación Hz (Gon)	0.0015	0.0015	0.0015	0.0003
Desviación V (Gon)	0.0015	0.0015	0.0015	0.0003
Desviación distancia (mm)				
Distanciómetro infrarrojo	2	2 mm + 2 ppm	2	0.1
Distanciómetro láser	3	3 mm + 2 ppm	3	0.2

**Error de entrada angular (Gon):**

	M1
Desviación Hz	0.0015
Desviación V	0.0015

**Error de entrada distanciometría (mm):**

	M1
Desviación D1	0.4
Desviación D2	0.7

**Error de salida angular (Gon):**

	M1	M2	M3	M4	M5
Desviación Hz	0.0004	0.0003	0.0004	0.0004	0.0002
Desviación V	0.0002	0.0003	0.0004	0.0001	0.0002

**Error de salida distanciometría (mm):**

	M1	M2	M3	M4	M5
Desviación D1	0	0	0	0.1	0
Desviación D2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3

**Notas:**

Terminología de siglas:

V: valor ángulo vertical.

Hz: valor ángulo horizontal.

D1: distancia 1 conocida y certificada por el CEM.

D2: distancia 2 conocida y certificada por el CEM.

Mx: número de medida realizada.

Los certificados de calibración de nuestros patrones pueden ser descargados en:

[http://www.leica-geosystems.es/es/Servicio-Tecnico\\_52995.htm](http://www.leica-geosystems.es/es/Servicio-Tecnico_52995.htm)

No se permite la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito de Leica Geosystems, S.L.

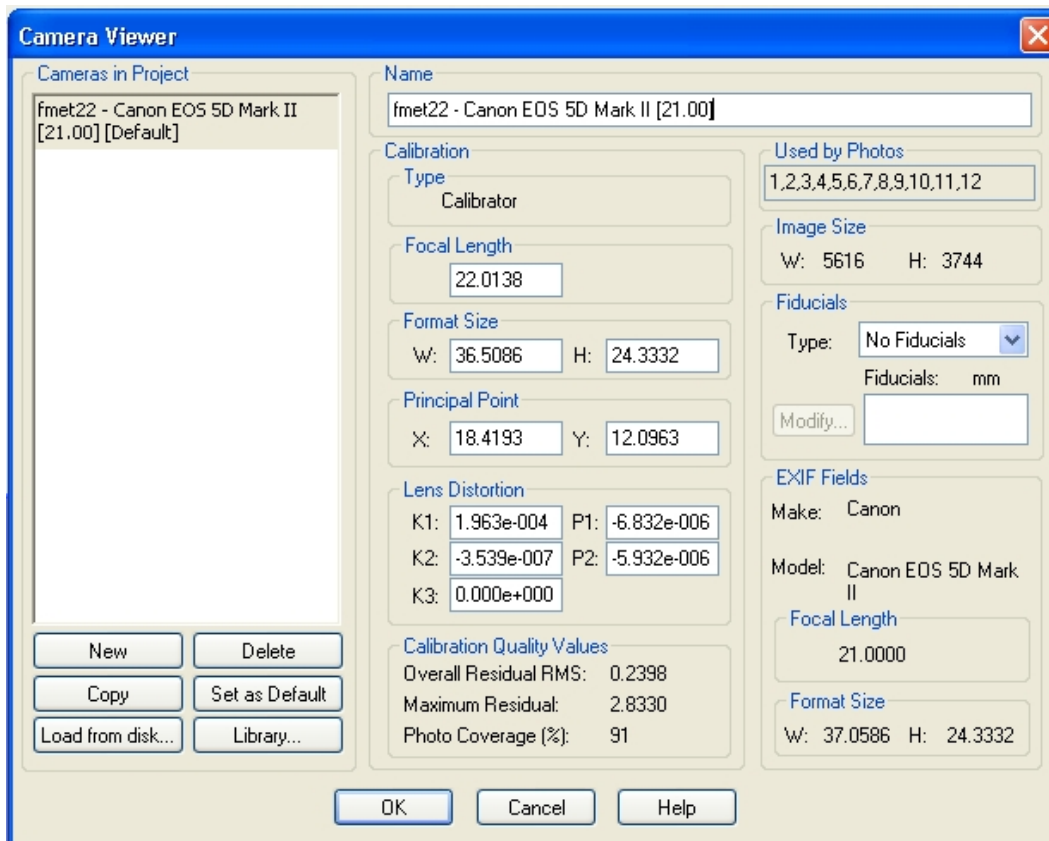
Leica Geosystems, S.L.  
  
 Javier Carbonero  
 Jefe de Servicio Técnico

Sociedad Responsal inscrita en el registro Mercantil de Zaragoza. Dato 29.906. Págs. 107, 108 y 109. B. 15/2005. Inscripción 1. C.I.F. B16296497



Para la documentación fotogramétrica se ha utilizado una cámara Canon EOS-5D Mark II con un objetivo calibrado de 21 mm (denominada “fmet22”) cuyas características geométricas se presentan a continuación:

	fmet22
Modelo	Canon EOS 5D Mark II
Objetivo	21 mm
Focal calibrada	22,0138 mm
Formato	36,5086 x 24,3332 mm [5616 x 3744 celdillas]
Punto principal	x <sub>p</sub> : 18,4193 mm y <sub>p</sub> : 12,0963 mm
Distorsión Radial	k <sub>1</sub> : 1,963 · 10 <sup>-4</sup> k <sub>2</sub> : -3,539 · 10 <sup>-7</sup>
Distorsión de descentramiento	ρ <sub>1</sub> : -6.832 · 10 <sup>-6</sup> ρ <sub>2</sub> : -5,932 · 10 <sup>-6</sup>
Software de calibración	Photomodeler Scan (julio 2013)



**Anexo II: Reseñas de la red GNSS**

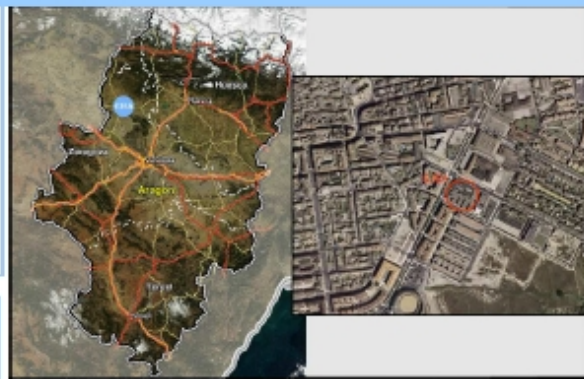


sitar.aragon.es GNSS **A** ARAGEA

**Estación permanente de Ejea de los Caballeros (EJEA)**

**SITUACIÓN**

Código estación: EJEA  
 Nombre: Ejea de los Caballeros  
 Localización: Pº Constitución 25  
 50600 Ejea de los Caballeros (Zaragoza)  
 Tipo instalación: Basada ajustable anclada a cornisa. Nivelada y orientada al norte.  
 Fecha instalación: 13/01/2010



**COORDENADAS ETRS89**

Cartesianas (X,Y,Z)	Geográficas (φ, λ, h)	U.T.M. (x,y,huso)
4.736.994,0166	42° 07' 33" 24630 N	654.571,65
-93.430,5948	1° 07' 47" 75796 W	4.665.447,43
4.256.243,9722	384,541 m. (elipsoidal)	30

**INSTRUMENTACIÓN**

Receptor: NET-G3 de TOPCON  
 Antena: GNSS Choke Ring CR-G3  
 Altura antena: 0 metros.  
 Observaciones: GPS y GLONASS  
 Frecuencias: L1, L2 y L2C



**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Número **DOMES: 19371M001**  
 Rinex horarios de 1 segundo y diarios de 30 segundos:  
<http://www.aragon.es/aragea>  
<http://sitar.aragon.es/aragea>  
 e-mail de contacto: [aragea@aragon.es](mailto:aragea@aragon.es)  
 Última actualización: **11/11/2011**

**IMÁGENES**



## Estación permanente de Borja (BRJA)

### SITUACIÓN

Código estación: BRJA  
 Nombre: Borja  
 Localización: Cno. Barbalanca s/n  
 50540 Borja (Zaragoza)  
 Tipo instalación: Mástil de 2 m. anclado al  
 tejado, reforzado con  
 vientos. Nivelada y  
 orientada al norte.  
 Fecha  
 instalación: 07/06/2009



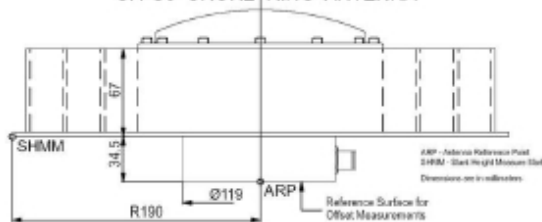
### COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X,Y,Z)	Geográficas (φ, λ, h)	U.T.M. (x,y,huso)
4.757.928,8288	41° 50' 5"65676 N	622.376,3
-126.764,7654	1° 31' 34"18173 W	4.632.496,08
4.232.288,0488	493,605 m. (elipsoidal)	30

### INSTRUMENTACIÓN

Receptor: NET-G3 de TOPCON  
 Antena: GNSS Choke Ring CR-G3  
 Altura antena: 0 metros.  
 Observaciones: GPS y GLONASS  
 Frecuencias: L1, L2 y L2C

CR-G3 CHOKE RING ANTENNA



### INFORMACIÓN ADICIONAL

Número **DOMES: 19374M001**

Rinex horarios de 1 segundo y diarios de 30 segundos:

<http://www.aragon.es/aragea>

<http://sitar.aragon.es/aragea>

e-mail de contacto: [aragea@aragon.es](mailto:aragea@aragon.es)

Última actualización: **11/11/2011**

### IMÁGENES



### **Anexo III: Coordenadas de la red topográfica**

Corresponden a las coordenadas locales (tridimensionales cartesianas) ajustadas a los valores de las estaciones E2, E3, E4 y E5 calculados mediante GNSS en el sistema UTM-ETRS89 (huso 30). Las alturas son ortométricas (sobre el nivel del mar).

Se puede considerar que la precisión relativa de estos valores es inferior al centímetro (medidas tomadas por radiación desde estación total con medida directa sin prisma en el caso de las dianas y los clavos). Sin embargo, no se ha aplicado ningún factor de escala con el fin de mantener las distancias que se encuentran en el terreno por lo que la precisión absoluta es algo inferior (estimada en un máximo de 8 cm).

<b><u>Punto</u></b>	<b><u>Xutm</u></b>	<b><u>Yutm</u></b>	<b><u>Cota (nivel del mar)</u></b>
E1	643546,463	4681819,044	442,467
E2	643557,098	4681835,317	443,043
E3	643547,368	4681853,541	442,945
E4	643521,946	4681844,242	442,800
E5	643532,474	4681821,925	442,370
E6	643539,053	4681836,735	442,395
E7	643537,443	4681840,478	442,405
E8	643481,426	4681837,058	444,187
E9	643524,851	4681744,586	441,734
C1	643540,354	4681831,504	444,847
C2	643534,998	4681832,095	442,822
C3	643545,254	4681836,547	444,154
C4	643534,797	4681837,142	443,994
C5	643542,879	4681836,405	444,204
C6	643535,855	4681840,931	446,607
D201	643539,308	4681827,222	442,576
D202	643540,559	4681827,14	442,560
D203	643540,592	4681827,225	442,539
D204	643539,841	4681828,265	442,517
D205	643539,801	4681828,339	443,137
D206	643539,178	4681829,814	442,577
D207	643539,151	4681829,82	443,286
D208	643539,332	4681830,031	442,601
D209	643539,036	4681830,071	444,530
D210	643538,744	4681830,06	445,649
D211	643540,53	4681830,535	442,694
D212	643540,267	4681830,861	444,601
D213	643540,187	4681830,487	445,684
D214	643541,476	4681831,024	442,755
D215	643541,546	4681831,05	445,941
D216	643542,451	4681831,327	442,711
D217	643542,439	4681831,713	444,608



D218	643542,321	4681831,447	445,933
D219	643543,52	4681831,765	442,840
D220	643543,467	4681831,749	444,485
D221	643543,523	4681831,923	445,903
D222	643543,739	4681831,701	442,699
D223	643543,912	4681831,602	444,251
D224	643544,294	4681830,371	442,572
D225	643544,35	4681830,242	443,155
D226	643544,598	4681828,893	442,571
D227	643545,142	4681829,029	442,727
D228	643545,71	4681829,289	442,637
D229	643545,063	4681830,845	442,771
D230	643544,681	4681830,526	443,191
D231	643544,58	4681831,99	442,855
D232	643544,527	4681832,069	444,196
D233	643543,669	4681832,163	445,717
D234	643543,789	4681833,847	443,047
D235	643543,789	4681833,832	444,538
D236	643543,657	4681833,742	445,474
D237	643543,76	4681834,526	443,044
D238	643543,714	4681834,599	444,566
D239	643543,791	4681834,553	445,625
D240	643543,967	4681834,951	443,070
D241	643543,801	4681835,045	444,218
D242	643543,908	4681835,07	445,632
D243	643544,707	4681835,829	442,985
D244	643544,73	4681835,86	444,551
D245	643544,783	4681835,92	445,666
D246	643545,477	4681836,978	442,971
D247	643545,488	4681837,027	444,457
D248	643545,498	4681837,063	445,676
D249	643545,708	4681838,405	442,974
D250	643545,698	4681838,476	444,444
D251	643545,705	4681838,422	445,661
D252	643545,194	4681840,029	443,005
D253	643545,241	4681839,968	444,736
D254	643545,246	4681839,974	445,684
D255	643543,944	4681841,227	442,998
D256	643543,525	4681840,908	443,664
D257	643543,784	4681841,071	445,802
D258	643542,342	4681841,635	442,857
D259	643542,256	4681841,641	444,356
D260	643542,323	4681841,659	445,519
D261	643541,075	4681841,761	442,847
D262	643541,058	4681841,815	444,461
D263	643540,993	4681841,316	445,529

D264	643540,598	4681841,86	442,990
D265	643540,637	4681841,887	444,464
D266	643540,584	4681841,638	445,711
D267	643540,092	4681842,548	442,872
D268	643540,115	4681842,486	444,453
D269	643540,125	4681842,446	446,141
D270	643539,57	4681843,8	442,890
D271	643539,622	4681843,633	444,265
D272	643539,494	4681843,944	446,003
D273	643539,055	4681843,844	443,143
D274	643538,982	4681843,57	444,106
D275	643539,075	4681843,859	446,009
D276	643536,738	4681842,875	442,884
D277	643536,73	4681842,876	444,656
D278	643537,018	4681843,006	446,510
D279	643534,024	4681841,553	443,063
D280	643534,157	4681841,533	444,519
D281	643534,02	4681841,765	446,147
D282	643533,564	4681840,728	442,900
D283	643533,963	4681840,913	444,126
D284	643533,442	4681840,997	446,003
D285	643534,094	4681839,573	442,897
D286	643534,522	4681839,579	443,574
D287	643534,062	4681839,539	446,002
D288	643534,107	4681839,131	442,905
D289	643534,221	4681838,892	444,102
D290	643533,962	4681839,086	445,569
D291	643533,777	4681838,716	442,905
D292	643534,088	4681838,62	443,747
D293	643533,815	4681838,685	445,471
D294	643533,465	4681838,069	442,789
D295	643533,486	4681838,091	444,293
D296	643533,452	4681838,102	445,419
D297	643532,582	4681837,055	442,842
D298	643532,869	4681836,862	444,218
D299	643533,035	4681836,914	445,476
D300	643532,17	4681835,734	442,762
D301	643532,747	4681835,703	443,949
D302	643532,557	4681835,767	444,630
D303	643532,362	4681834,289	442,709
D304	643532,653	4681834,457	443,395
D305	643532,976	4681834,705	444,593
D306	643533,145	4681833,047	442,783
D307	643533,805	4681833,848	443,678
D308	643534,447	4681832,227	442,762
D309	643535,107	4681832,986	443,739

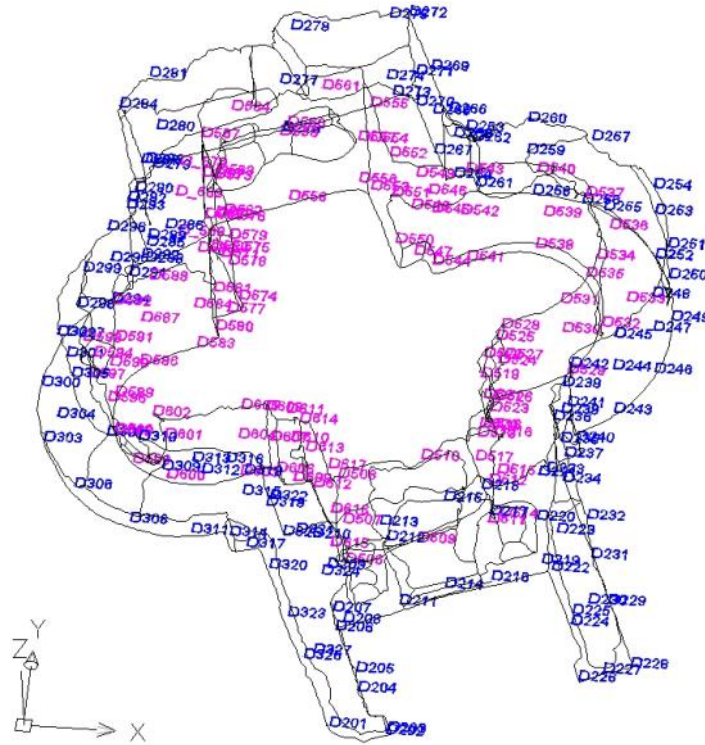
D310	643534,684	4681832,522	445,436
D311	643535,8	4681832,054	442,755
D312	643536,008	4681832,715	444,083
D313	643535,897	4681832,178	445,244
D314	643536,663	4681831,937	442,904
D315	643536,892	4681832,636	443,492
D316	643536,639	4681832,056	445,465
D317	643537,056	4681831,756	442,778
D318	643537,462	4681832,281	443,628
D319	643537,077	4681831,769	445,475
D320	643537,599	4681831,234	442,757
D321	643538,198	4681831,469	443,824
D322	643537,725	4681830,943	445,745
D323	643538,125	4681829,998	442,727
D324	643538,857	4681830,472	443,710
D325	643538,107	4681830,033	445,691
D326	643538,576	4681828,926	442,691
D327	643538,825	4681828,76	443,135
D506	643539,218	4681831,604	442,628
D507	643539,222	4681831,607	444,097
D508	643539,169	4681831,582	445,811
D509	643540,751	4681832,217	442,733
D510	643540,977	4681831,873	446,298
D511	643542,237	4681832,827	442,756
D512	643542,295	4681832,85	444,196
D513	643542,114	4681832,771	446,033
D514	643542,475	4681833,11	442,625
D515	643542,457	4681833,124	444,208
D516	643542,424	4681833,185	445,551
D517	643541,768	4681834,654	442,519
D518	643541,977	4681834,676	443,730
D519	643541,972	4681834,768	445,462
D520	643541,809	4681835,343	442,781
D521	643541,922	4681835,382	443,832
D522	643541,963	4681835,433	445,299
D523	643542,002	4681835,787	442,806
D524	643542,22	4681835,831	444,540
D525	643542,21	4681835,773	445,501
D526	643542,06	4681836,083	442,820
D527	643542,313	4681836,188	444,266
D528	643542,304	4681836,002	445,631
D529	643543,581	4681836,823	442,954
D530	643543,524	4681836,787	444,534
D531	643543,516	4681836,821	445,572
D532	643544,203	4681838,211	442,858
D533	643544,781	4681838,186	443,877

D534	643544,179	4681838,138	445,471
D535	643543,721	4681839,505	442,864
D536	643544,297	4681839,555	444,652
D537	643543,778	4681839,692	445,609
D538	643542,562	4681840,114	442,980
D539	643542,707	4681840,591	443,532
D540	643542,663	4681840,249	445,622
D541	643541,084	4681839,767	442,843
D542	643540,915	4681840,402	443,660
D543	643541,12	4681840,018	445,756
D544	643540,336	4681839,706	442,684
D545	643540,327	4681840,039	444,163
D546	643540,311	4681839,799	445,179
D547	643539,907	4681839,917	442,700
D548	643539,878	4681840,105	444,153
D549	643540,041	4681839,97	445,558
D550	643539,481	4681840,2	442,712
D551	643539,432	4681840,343	444,263
D552	643539,409	4681840,36	445,705
D553	643538,781	4681841,695	442,552
D554	643538,8	4681841,826	444,172
D555	643538,867	4681841,646	445,719
D556	643538,494	4681841,894	442,532
D557	643538,509	4681842,026	443,901
D558	643537,021	4681841,294	442,540
D559	643536,816	4681841,925	444,051
D560	643537,052	4681841,414	445,119
D561	643537,814	4681841,723	446,151
D562	643535,661	4681840,748	442,629
D563	643535,526	4681840,773	444,070
D564	643535,915	4681840,948	446,231
D565	643535,265	4681840,525	442,736
D566	643535,25	4681840,554	444,231
D567	643535,278	4681840,507	445,764
D568	643534,743	4681839,889	442,944
D569	643534,739	4681839,893	444,388
D570	643534,86	4681839,915	445,498
D571	643535,706	4681839,63	442,571
D572	643535,628	4681839,63	444,067
D573	643535,629	4681839,644	445,455
D574	643536,193	4681838,612	442,439
D575	643536,094	4681838,549	444,335
D576	643536,011	4681838,717	445,259
D577	643535,971	4681838,253	442,446
D578	643536,041	4681838,301	444,151
D579	643536,083	4681838,324	445,088

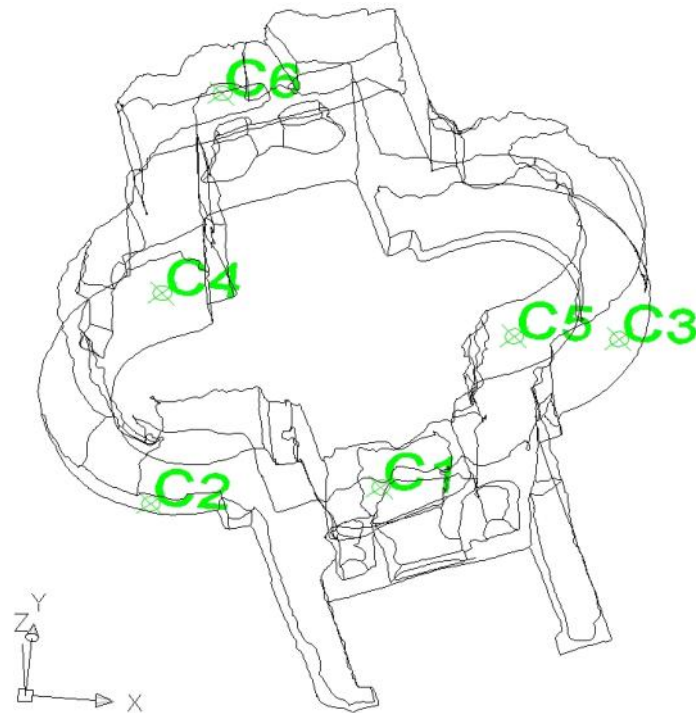
D580	643535,76	4681837,765	442,439
D581	643535,75	4681837,841	443,749
D582	643535,722	4681837,912	445,198
D583	643535,4	4681837,305	442,407
D584	643535,362	4681837,402	443,718
D585	643535,479	4681837,61	445,519
D586	643534,225	4681836,632	442,549
D587	643534,274	4681836,789	443,931
D588	643534,481	4681836,987	445,245
D589	643533,766	4681835,805	442,459
D590	643533,691	4681835,792	443,589
D591	643533,775	4681836,156	444,043
D592	643533,772	4681836,129	445,423
D593	643533,116	4681835,904	444,306
D594	643533,406	4681835,406	444,439
D595	643533,829	4681834,834	442,377
D596	643533,73	4681834,886	443,527
D597	643533,301	4681834,817	444,464
D598	643534,314	4681834,044	442,453
D599	643533,974	4681833,942	443,679
D600	643535,117	4681833,585	442,596
D601	643535,118	4681833,579	444,102
D602	643534,891	4681833,441	445,114
D603	643536,704	4681833,905	442,452
D604	643536,693	4681833,857	443,886
D605	643536,778	4681833,896	444,937
D606	643537,466	4681834,042	442,458
D607	643537,371	4681834,025	443,632
D608	643537,327	4681833,717	445,189
D609	643537,879	4681833,714	442,613
D610	643537,866	4681833,708	444,117
D611	643537,835	4681833,498	445,445
D612	643538,315	4681833,686	442,478
D613	643538,202	4681833,582	443,953
D614	643538,13	4681833,379	445,290
D615	643538,867	4681832,026	442,624
D616	643538,928	4681831,863	444,100
D617	643538,904	4681831,994	445,574



La identificación de los puntos de apoyo puede realizarse a través del modelo CAD suministrado, seleccionando las capas correspondientes:



La siguiente figura muestra la distribución de los clavos:



En las fotografías que se presentan a continuación se indica con más detalle la posición de cada uno de los clavos:

C1



C2





C3



C4



C5




C6

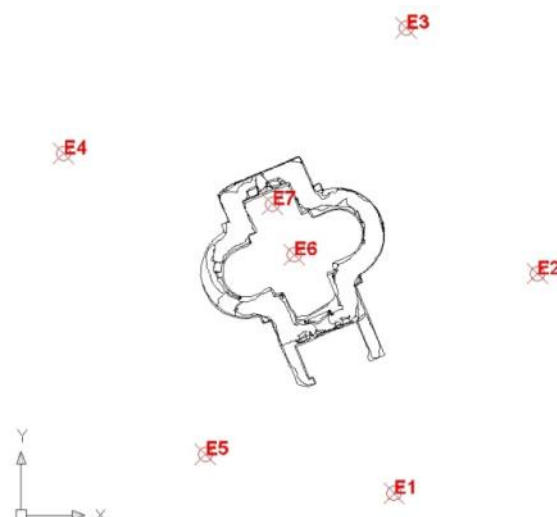





**Anexo IV: Reseñas de las estaciones de la red topográfica**

 <a href="http://www.ldgp.es">www.ldgp.es</a>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
---	---

ESTACIÓN:	E1	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643546,463	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681819,044	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 442,467	

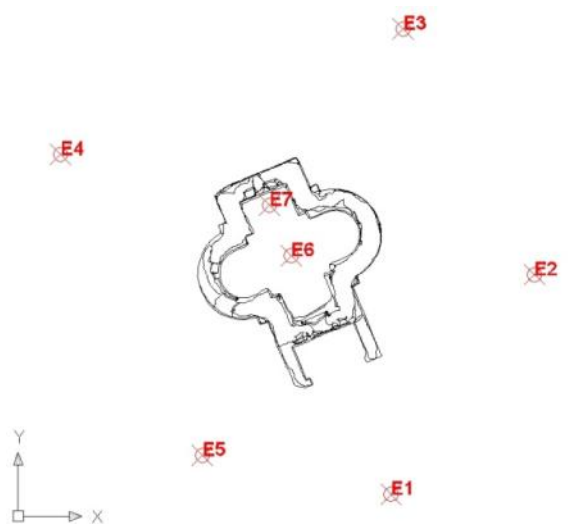
<p><u>Reseña literal:</u> granetazo en la pieza metálica que sirve para el cierre de la antigua verja.</p>	
	




 <p>www.ldgp.es</p>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
--	---

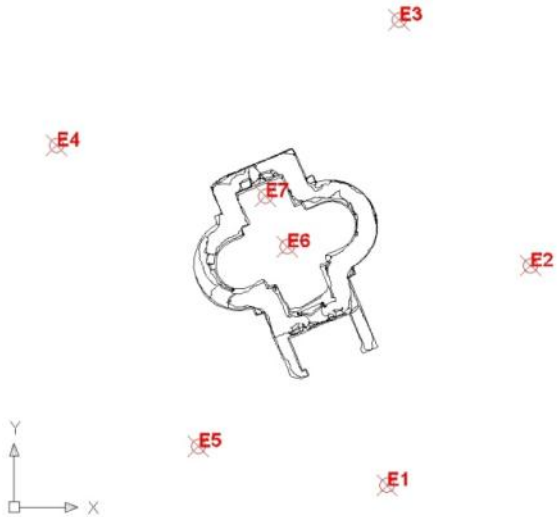
ESTACIÓN:	E2	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643557,098	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681835,317	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 443,043	

Reseña literal: clavo de acero inoxidable sobre estaca de madera situada a unos 10 metros al este del extremo sur del supuesto pórtico.




 <a href="http://www.ldgp.es">www.ldgp.es</a>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
---	---

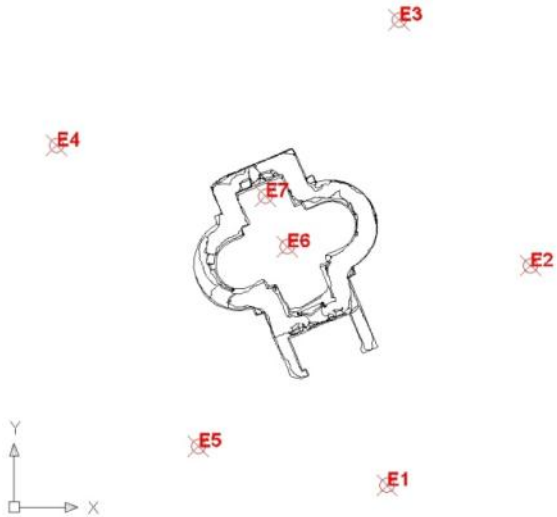
ESTACIÓN:	E3	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643547,368	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681853,541	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 442,945	

<p><u>Reseña literal:</u> clavo de acero inoxidable sobre estaca de madera situada a unos 12 metros al noreste de la cruz.</p>	
--	---




 <a href="http://www.ldgp.es">www.ldgp.es</a>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
---	---

ESTACIÓN:	E4	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643521,946	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681844,242	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 442,800	

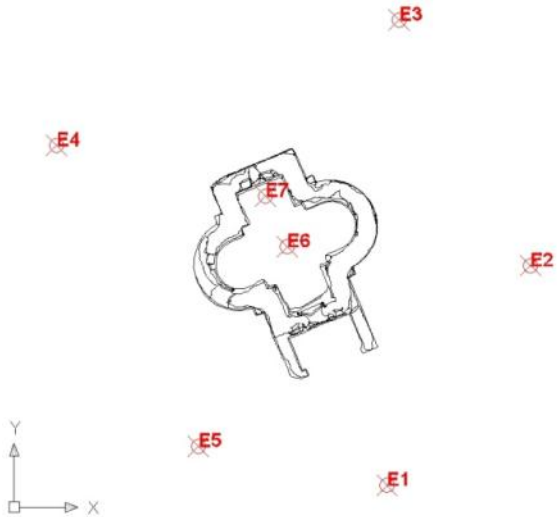
<p><u>Reseña literal:</u> clavo de acero inoxidable sobre estaca de madera situada a unos 12 metros al noroeste de la cruz.</p>	
---	---






 <a href="http://www.ldgp.es">www.ldgp.es</a>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
---	---

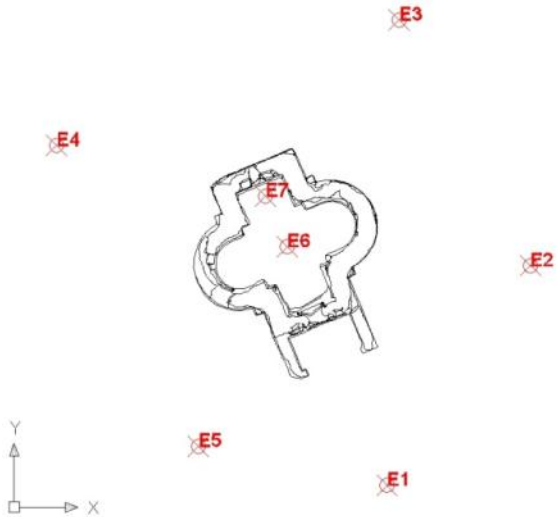
ESTACIÓN:	E5	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643532,474	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681821,925	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 442,370	

<p><u>Reseña literal:</u> clavo de acero inoxidable sobre estaca de madera situada a unos 10 metros de la diagonal suroeste.</p>	
--	---




 <p>www.ldgp.es</p>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
--	---

ESTACIÓN:	E6	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643539,053	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681836,735	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 442,395	

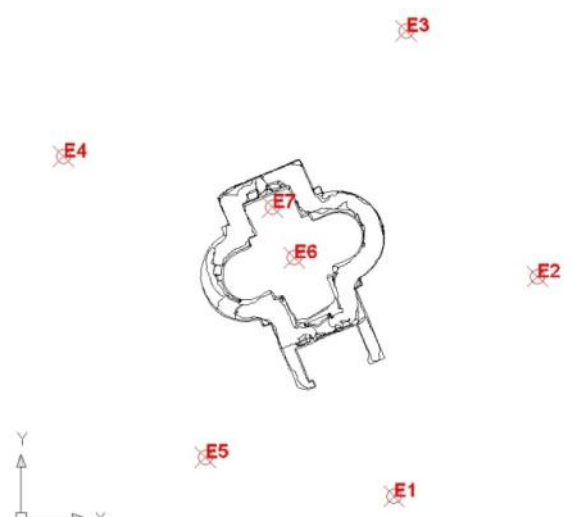
<p><u>Reseña literal:</u> clavo de acero inoxidable sobre estaca de madera situada aproximadamente en el centro del edificio.</p>	
---	---





 <a href="http://www.ldgp.es">www.ldgp.es</a>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
---	---

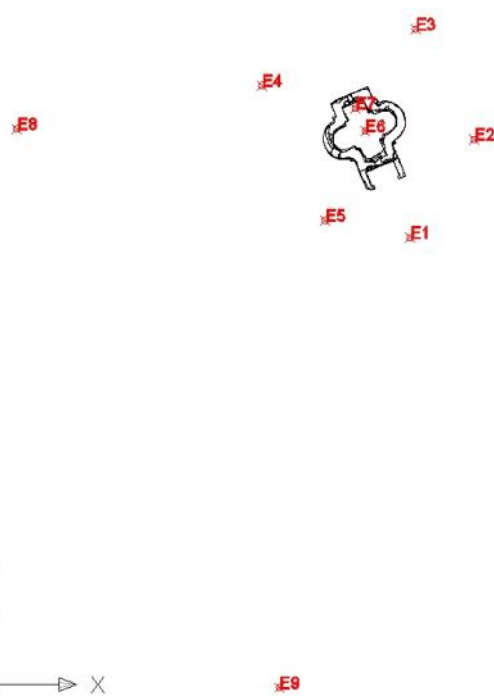


ESTACIÓN:	E7	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643537,443	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681840,478	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 442,405	


<p><u>Reseña literal:</u> clavo de acero inoxidable sobre estaca de madera situada en el ábside de la cabecera, centrado en dirección este-oeste y aproximadamente a un metro de la pared norte.</p>	
--	---



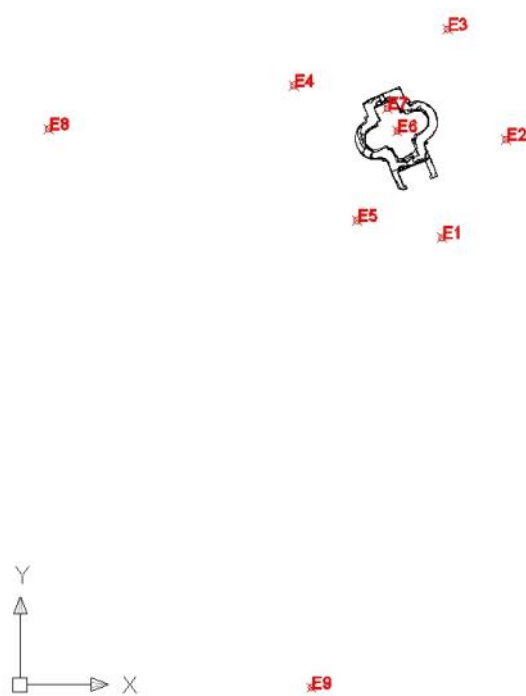


 <p>www.idgp.es</p>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
--	---

ESTACIÓN:	E8	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643481,426	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681837,058	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 444,187	

<p><u>Reseña literal:</u> clavo con arandela sobre afloramiento rocoso al noroeste de la sinagoga.</p>	
	

 <a href="http://www.ldgp.es">www.ldgp.es</a>	<h2>Documentación geométrica del mausoleo romano de «la sinagoga» (Sádaba, Zaragoza)</h2>
---	---

ESTACIÓN:	E9	Coordenadas UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis: 0,999853
FECHA:	28 de septiembre de 2013	X = 643524,851	
MUNICIPIO:	Sádaba	Y = 4681744,586	
PROVINCIA:	Zaragoza	Z (ortométrica) = 441,734	

<p><u>Reseña literal:</u> clavo con arandela sobre una losa situada en el linde de las fincas en dirección suroeste desde la sinagoga.</p>	
	

**Anexo V: Estudio histórico previo del edificio “la sinagoga” de Sádaba**

Chiara María D’Anna  
Jerónimo Sánchez Velasco

**ÍNDICE**

0. Introducción. Razones para un estudio.
1. Análisis bibliográfico
2. Situación actual
3. Historia constructiva
  - 3.1. Metodologías de investigación: análisis estratigráfico
  - 3.2. Metodologías de investigación: tipología
  - 3.3. Metodologías de investigación: excavación arqueológica
4. Propuesta de reconstrucción
5. Propuesta de actuación integral
6. Bibliografía

## 0 - INTRODUCCIÓN. RAZONES PARA UN ESTUDIO

Hay que tener presente que nos encontramos ante uno de los edificios funerarios mejor conservados de toda la Península Ibérica. Sin embargo, la falta de estudios ha relegado este monumento que se encuentra asociado a una villa romana de extensión desconocida. A todo ello hay que añadir que el edificio viene sufriendo un abandono histórico, lo que ha acentuado el deterioro de su estructura, que sólo aguanta debido a la extraordinaria técnica constructiva que posee, digna de los mejores edificios de la Hispania de la Antigüedad Tardía.

Esta situación de abandono científico y material se ha visto paliada por los esfuerzos por recuperar el Patrimonio Histórico de la comarca de Las Cinco Villas, de la mano del proyecto de investigación de Los Bañales. En ese marco, se pudieron hacer dos campañas (una de limpieza y otra de documentación geométrica de los restos) que han permitido conocer mejor este monumento, que sin duda formó parte del territorio rural de la ciudad romana de Los Bañales.

## 1 - ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

El sucinto estudio arqueológico realizado por García y Bellido en la década de los sesenta sobre la Sinagoga de Sádaba representa al día de hoy la mejor referencia bibliográfica conocida sobre este monumento.

En la actualidad, después de más de 50 años, se presenta la necesidad de ampliar el conocimiento de las fuentes indirectas (documentos antiguos, grabados, fotografías históricas, etc.) relativas al mausoleo tardorromano denominado de la Sinagoga. La investigación ha avanzado bastante sobre el conocimiento de este tipo de edificios y sus contextos, así como en las técnicas no invasivas empleadas para ello, lo que justifica una revisión de los planteamientos emitidos hace medio siglo.

## 2 - SITUACIÓN ACTUAL

La primera descripción de tipo arqueológico de la Sinagoga de Sádaba se encuentra ya en la obra de García y Bellido (Fig. a.1); no hay cambios sustanciales entre la realidad observada por el estudioso y la actual. La Sinagoga de Sádaba consiste en un edificio en planta de cruz griega (de brazos iguales) al que se accede por su lado meridional.





Fig. a.1. Planta y recreación de "La Sinagoga" a partir de García Bellido (1963).

El paramento exterior está construido con sillarejos de piedra arenisca bastante regulares; dos hiladas de grandes ladrillos, paralelas, atraviesan todo el perímetro. El edificio presenta dos nichos, uno a cada lado de la puerta de ingreso, que adornaban un pórtico rectangular apreciable aún hoy, pero bastante deteriorado. Dentro del edificio dos hornacinas rectangulares frente a la puerta de ingreso y otra, más grande, a la izquierda de quien accede al monumento, captan la atención<sup>4</sup>.

El edificio presenta fenómenos de degradación tanto a nivel superficial como a nivel estructural. Se comentarán en primer lugar los daños superficiales, ya que no afectan a la comprensión global. Por otro lado, los daños estructurales son profundos y han afectado a la continuidad de importantes partes del edificio. De hecho, el nivel de afectación es tal que, como veremos, es muy probable que estos daños aumenten el riesgo de derrumbe de las zonas más deterioradas del edificio.

<sup>4</sup> Una descripción más completa del Mausoleo de Sádaba como BIC se puede encontrar en la página web del Gobierno de Aragón. <http://www.patrimonioculturaldearagon.es/bienes-culturales/mausoleo-de-la-sinagoga-sadaba> [fecha de consulta: 26/02/2015]

Entre los desperfectos superficiales, se señala la presencia de líquenes (Fig. a.2) en el lado septentrional, mientras que en otras zonas del edificio, a pesar de la limpieza llevada a cabo hace dos años, se puede relevar una amplia presencia de plantas superiores.



Fig. a.2. Líquenes en el lado septentrional del Mausoleo.

En el lado oriental, se pueden observar fenómenos de alveolización (Fig. a.3) que han agredido los sillares de piedra arenisca. Esta forma de degradación es muy frecuente en una piedra tan blanda como es la arenisca, y se registra especialmente en los lados del edificio expuestos a fenómenos de cambio repentinos de calor y frío, como es por ejemplo el lado oriental.



Fig. a.3. Fenómenos de alveolización en la exedra oriental.

Se nota además la presencia de degradación antrópica representada por rupturas de algunos sillares de piedra (Fig. a.4), resultado de procesos de destrucción y saqueo más o menos intensos en el edificio.



Fig. a.4. Saqueo y desmonte de secciones del paño de muro norte, así como del contrafuerte exterior que refuerza la unión entre el paño de muro y la exedra septentrional.

Con respecto a la degradación de las estructuras, el aspecto actual del edificio está marcado por las profundas grietas y los derrumbes de amplias porciones de muros. La exedra oriental está separada del contrafuerte correspondiente por una profunda grieta (Fig. a.5); mientras que en la exedra occidental, una grieta de pocos centímetros de largo caracteriza los pocos restos de esta zona del edificio, severamente castigados por la pérdida de buena parte de su paramento (Fig. a.6).



Fig. a.5. Grieta presente en la exedra oriental del Mausoleo.





Fig. a.6. Daños estructurales presentes en la exedra occidental del Mausoleo.

La parte superior del edificio se ha derrumbado por completo; los escombros que ocupaban el interior del edificio han sido apartados en la campaña de limpieza y acondicionamiento del mes de febrero de 2011. En los muros de las dos exedras se abren, de manera casi especular (Fig. a.7), dos enormes agujeros.



Fig. a.7. Daños estructurales graves del edificio: hueco en la exedra oriental del Mausoleo desde donde se aprecia la casi total eliminación del alzado de la exedra occidental.

### 3 - HISTORIA CONSTRUCTIVA

#### 3.1. Metodologías de investigación: análisis estratigráfico

La metodología empleada para el Mausoleo ha empezado con un análisis *in situ* del edificio, durante el cual se ha tomado nota de los primeros datos estratigráficos en fichas SAV (*Scheda Archiviazione Veloce*, es decir, Ficha Sintética de Registro), especialmente estudiadas para registrar las informaciones de manera rápida, y en croquis.

En un segundo momento, será posible transferir estos datos sobre las ortoimágenes generadas en la fase de documentación geométrica de este proyecto, realizando una lectura de alzados: en la Fig. a.8 es posible observar que no parece haber diferentes fases constructivas, algo que puede apreciarse en la ortoimagen.

Los primeros datos relativos a la lectura del edificio (Fig. a.8) sugieren que los materiales, las técnicas constructivas y los morteros son bastante homogéneos, lo que suele indicar que la realización del edificio tuvo lugar en un único momento constructivo. No se registran modificaciones sucesivas ni reedificaciones del edificio o de parte de él. Sí se puede notar la falta de amplias porciones de materiales como consecuencia de repetidas acciones de expolio.

Una secuencia completa de diferentes secciones del edificio, como al que se muestra en la siguiente figura, permite apreciar esta unidad en la construcción. Otra cuestión, por dilucidar en un análisis asociado a una futura restauración, sería si dentro de la propia fase constructiva se han empleado diferentes tipos de materiales o medidas de los mismos.





Mausoleo de Sadaba  
Fachada Sur

Fig. a.8 Ejemplo de lectura de alzado realizada mediante superposición a ortoimagen.

Hay que resaltar que esta metodología de investigación tiene el límite de no proporcionar una datación absoluta, o sea una datación que se pueda plasmar en una fecha concreta de construcción del edificio, sino que tan solo proporciona una datación relativa, en la cual las fases de construcción del edificio se ponen en relación de antero posterioridad entre sí.

### 3.2. Metodologías de investigación: tipología

La búsqueda de paralelos tipológicos conocidos y reconocibles resulta de fundamental importancia a la hora de efectuar hipótesis sobre la reconstrucción de elementos desaparecidos. Además, los resultados de los estudios tipológicos se deben tener especialmente en cuenta también a la hora de planificar acciones arqueológicas, como por ejemplo sondeos y excavaciones. Los edificios o complejos arquitectónicos utilizados para elaborar la tipología, son los siguientes:

- La Ermita Mausoleo de Llanes, en el término municipal de Albendea (Cuenca) Se ha publicado un sucinto estudio de los arquitectos que afrontaron su consolidación. Este estudio se puede consultar en el red: [http://issuu.com/culmay/docs/arqueologia1\\_20mausoleoalbendea](http://issuu.com/culmay/docs/arqueologia1_20mausoleoalbendea) Es un edificio triconque que toma como paralelo (y así se refleja en la publicación) el de la Sinagoga de Sádaba. Más allá de los parecidos en cuanto a la planta, lo cierto es que se trata de un mausoleo de magnífica construcción, que sigue el esquema de estos edificios, en planta central. La edilicia también es similar, no sólo a Sádaba, sino a los que veremos en Egara, y no habría que descartar que estemos ante unos edificios del mismo momento. Con todo, no se ha realizado excavación arqueológica y, por tanto, la datación permanece sin conocerse con exactitud.

Se asemeja también al edificio funerario de Egara porque posee una cripta subterránea, habilitada para recibir enterramientos hipotéticamente sarcófágicos. Puede verse aquí:

<https://woow360.com/files/upload/client/imagenfacebook.php?id=2834>

- La Villa-Mausoleo de Centcelles (Fig. a.9), situada en el término municipal de Constantí (Tarragona). De nuevo, un edificio de planta central con exedras, formando en este caso un tetraconque. La planta es idéntica a Sádaba, aunque en este caso se trata de una planta inscrita. La datación se ha revisado, y ahora todo parece indicar que estamos antes un edificio del siglo V d.C., con una posible funcionalidad de Praetorium (sede civil y militar del gobernador de una provincia). Las últimas investigaciones también se pueden consultar en la red. <http://aespa.revistas.csic.es/index.php/aespa/article/viewFile/222/223>

La edilicia, asimismo, coincide significativamente con la empleada en Sádaba, a pesar de que las múltiples reedificaciones e intervenciones han supuesto cierto enmascaramiento de la edilicia original.

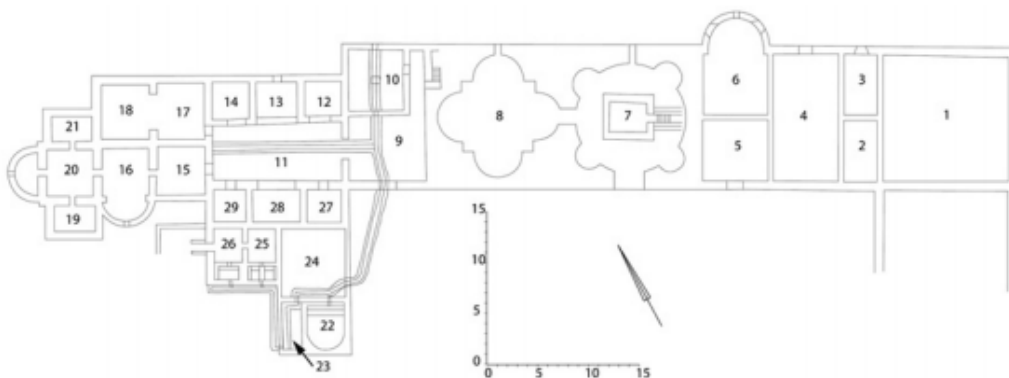


Fig. a.9. Planta de Centcelles, a partir de Remolà-Pérez 2013, fig. 4.

- Gran mausoleo entre las basílicas de la necrópolis de Tarragona. Conocido básicamente por estudios antiguos, hoy apenas se conserva nada que pueda servir de referencia. Pero los dibujos antiguos conservados permiten ver cómo, de nuevo, un edificio de planta central con exedras (circulares o cuadrangulares) y realizado en *opus mixtum* es usado como mausoleo para enterramientos sarcófágicos de las élites tardorromanas.

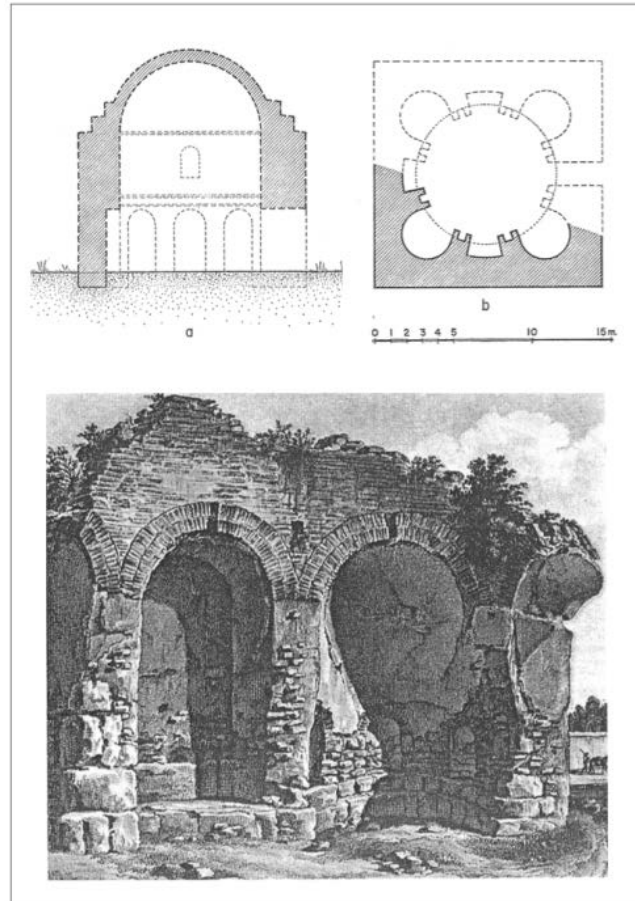


Fig. a.10. Gran mausoleo de la zona del Francolí, a partir de López 2006, pág. 244, fig. 288.

- Gran mausoleo anexo (Fig. a.11) a la basílica sur de la necrópolis paleocristiana de Tarragona. Un edificio, de nuevo, de planta central, con cuatro exedras y una pequeña entrada con un pasillo a modo de nártex o antesala. Tampoco se conoce más allá de la planta, y en este caso la tipología varía un tanto, porque estaría adosado a una gran basílica funeraria, y no exento, como en Sádaba. Pero volvemos a ver una planta asociada con un mausoleo de cierta importancia.

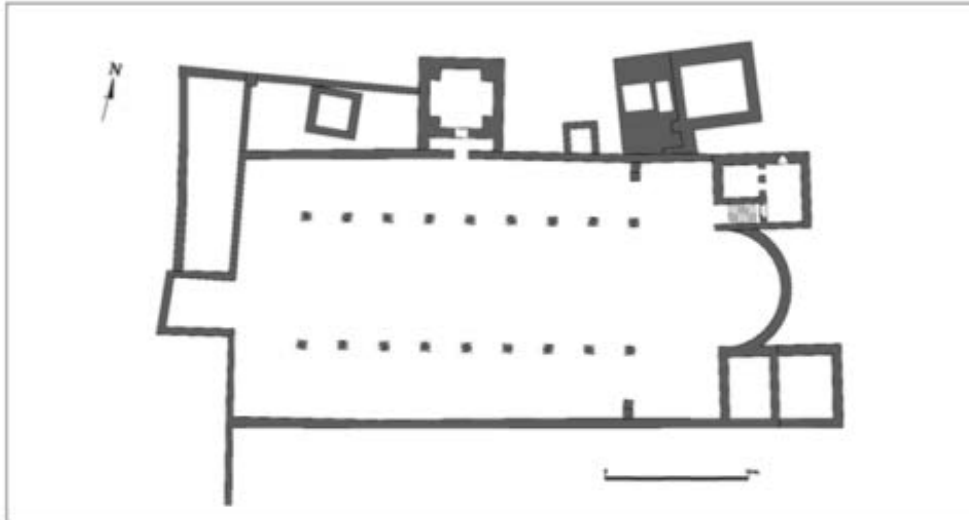


Fig. a.11. Gran mausoleo de la zona del Francolí, a partir de López 2006, pág. 208, fig. 248.

- Gran mausoleo de la calle Sant Auguri, de Tarragona (Fig. a.12). Éste, formalmente, es casi idéntico al de Sádaba, incluso en dimensiones. Pero hay que tener en cuenta que sólo se conoce a nivel de planta, y ésta es de un edificio triconque, con tetraconque. Está fechado en el siglo V d.C. por estratigrafía arqueológica. De nuevo, la estructura del edificio principal está precedida por lo que parece un pórtico de entrada, abierto.

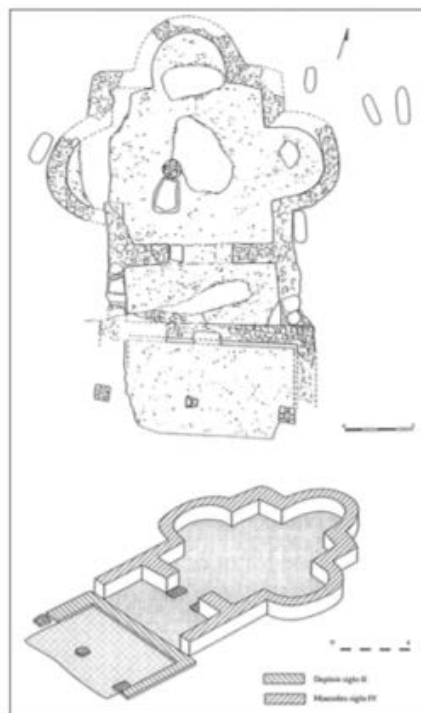


Fig. a.12. Gran mausoleo de la zona del Francolí, a partir de López 2006, pág. 249, fig. 293.

- La sede episcopal d'Ègara (Terrassa, Barcelona). Edificio funerario, ahora iglesia de Sant Miquel de Terrassa (Fig. a.13). Hemos dejado para el final el edificio mejor conservado y mejor datado de este tipo en toda la Península. Se trata de un edificio funerario convertido en iglesia posteriormente. Es tetraconque con un ábside y una cripta, como en Albendea. Su edificación es idéntica a la del edificio de Sádaba, y además contó con un pórtico perimetral con tejado a un agua que hoy ha desaparecido. También está fechado, a través del registro arqueológico, en el siglo V d.C.



Fig. a.13. Fotografía aérea del edificio (izq), a partir de *Google Earth*; Fotografía del edificio tomada desde el suroeste (J. Sánchez Velasco).

Estos edificios se difunden en toda la España romana sobre todo en época tardía (IV-VI siglo d.C.). Comparten con el Mausoleo de Sádaba tanto características materiales (la planta central, las técnicas constructivas) como características relativas al uso (solían estar conectados con una villa, a menudo eran reutilizados posteriormente por parte de una comunidad cristiana, que los modificaba o los incluía dentro de complejos religiosos, y muchas veces a su alrededor se pueden encontrar necrópolis).

Es evidente, con los paralelos que aquí estamos manejando, y atendiendo a los datos que poseemos, que el mausoleo de Sádaba tiene íntimas similitudes con la capital provincial de época romana, Tarragona, lo que nos lleva a sospechar que: a) la ciudad de Los Bañales y su territorio mantenían la importancia como nudo de comunicaciones en la zona, interconectando la capital, Tarragona, con los territorios más alejados del noroeste, como Pamplona o Irún; y b) que un edificio así sólo puede ser encargado por algún personaje de gran relevancia social, política y económica a un equipo de arquitectos que tendrían su área de trabajo en las obras oficiales y privadas de la capital provincial, y que se desplazarían allí a realizar, al menos, el mausoleo. Por consiguiente, la villa y el mausoleo estarían indicando la importancia de la zona al final de la época romana. Pensamos que la villa, a tenor de lo visto en el mausoleo y a pesar



de los pocos datos que tenemos sobre ella, también debió tener una importancia muy destacada en este momento.

### 3.3. Metodologías de investigación: excavación arqueológica

Lo que parecería realmente interesante de cara a una comprensión más profunda del edificio, es la realización de una excavación arqueológica en sus inmediaciones, al menos con el fin de conseguir los siguientes tres factores:

- a) Gracias a la excavación de los depósitos presentes alrededor del edificio se podrían encontrar materiales arqueológicos de gran relevancia para la datación como restos cerámicos o monedas, o, más en general, cualquier elemento válido para una cronología absoluta, y a los cuales enlazar la construcción del mausoleo.
- b) Los paralelos tipológicos con otros edificios presentes en la Península Ibérica, nos indican que los mausoleos solían estar en relación con villas romanas de gran entidad, e incluso con basílicas de la capital provincial (como el caso de Tarragona): de hecho, es evidente que cerca del Mausoleo existen los restos de una villa. García y Bellido considera que los dos edificios no están conectados, pero también hay que tener en cuenta que es imposible entender todo el conjunto así, a simple vista; de hecho, en otro apartado de su escrito sobre el Mausoleo, comenta que las fábricas de los restos de la villa y las del Mausoleo son muy parecidas, casi iguales si no fuera por la ausencia de las hiladas de ladrillos.
- c) Siempre los paralelos tipológicos nos indican que a menudo el uso de estos edificios se prolongaba por parte de comunidades distintas de la que quiso su realización, y a menudo eran reutilizados como centros de agregación religiosa. No es infrecuente además encontrar en las inmediaciones de edificios como el Mausoleo, necrópolis de épocas posteriores a la de realización del edificio. En el caso de Sádaba, sabemos que existe (al otro lado del canal) una necrópolis de época visigoda que ha sido expoliada.
- d) Por todo ello, sería necesario hacer una intervención arqueológica en torno al edificio y dentro de él. No tendría que ser muy extensa, sólo lo necesario para confirmar: a) que se trata de un edificio exento; b) la presencia/ausencia de enterramientos alrededor; c) el tipo de cimentación, y d) los niveles internos.
- e) Esta excavación debería estar, preferiblemente, asociada a una campaña urgente de consolidación y restauración del edificio, que como hemos visto presenta serio peligro de derrumbe.

#### 4 - PROPUESTA DE RECONSTRUCCIÓN

En su estudio García y Bellido no se limita a proporcionar una descripción de lo existente, sino que propone también una reconstrucción gráfica del Mausoleo, que se basa en los restos existentes, pero también en el amplio conocimiento que el estudioso tenía de la arquitectura romana en la península ibérica, lo cual le permitió hacer varias hipótesis de reconstrucción relativas a los elementos desaparecidos.

Por ejemplo, en la actualidad nada queda del cuerpo central que en el dibujo de García Bellido se levanta en el centro de la planta del edificio, varios metros por encima de la línea de alzado hoy en día existente. Aun así es más que probable que el estudioso estuviera en lo cierto representándolo de esta manera, ya que es noto que las plantas centrales facilitan la elevación de cuerpos de fábrica centrales: en los brazos se descargaría de manera equitativa la carga de la bóveda central; además también lo demostrarían los contrafuertes, estratégicamente posicionados en los ángulos en los cuales convergen las cargas. Normalmente, cuando en un edificio existe una bóveda central, también los brazos suelen estar abovedados: no se trata de meras suposiciones, sino que de hipótesis apoyadas por la realidad material, más en detalle, por el descubrimiento de varias dovelas de grandes dimensiones en el montón de residuos pétreos que se movió en la campaña de limpieza de febrero de 2011.

A pesar de ser un célebre conocedor de la arquitectura romana en su época, García y Bellido propone una reconstrucción gráfica del mausoleo que es, en algunos de sus puntos, controvertida. En la actualidad, las herramientas tecnológicas de las cuales García y Bellido carecía, nos permiten no solo poner a prueba sus conclusiones, sino que también proponer nuevas interpretaciones de lo existente y restituir para la difusión unas representaciones gráficas más completas pero a la vez más sencillas de entender y más amenas.

Uno de los temas más controvertidos es relativo a la reconstrucción que García y Bellido propone del techo del pórtico, que aparece en el dibujo publicado por el estudioso como un techo a dos aguas. No existen restos materiales relativos a esta parte del edificio, por lo tanto, a la hora de formular esta hipótesis, García y Bellido se basó más en su amplia experiencia de experto de arquitectura romana que en los testigos materiales. No se trata de una cuestión de secundaria importancia: según los parecidos tipológicos, parecería más lógico decantarse por otra opción, cual podría ser la de un techo a una sola agua. A la espera de ulteriores estudios que afinen la cronología del Mausoleo de Sádaba, se toma como referencia el conocido edificio de San Miquel de Terrassa: a pesar de no tener techos de un agua en la actualidad, sí los tuvo, como parecen indicar unos mechinales tapados colocados en la pared a la que se hace referencia. En Sádaba, a pesar de las importantes faltas de materiales sufridas por el edificio, parece posible ver restos de unos mechinales en la pared de la entrada,

cerca de las hornacinas, lo cual confirmaría la hipótesis del techo de un agua en contra de la teoría vigente hasta ahora de un techo a dos aguas. Como se comentaba, no es una cuestión de secundaria importancia, ya que la relación entre el Mausoleo de Sádaba, cuya historia queda todavía por investigar, y el conocido edificio de San Miquel de Terrassa, uno de los complejos arquitectónicos tardoantiguos mejor conservados de España, con unas características que le hacen ser un conjunto monumental único en Europa, podría ayudar a la investigación a aclarar muchos puntos de la historia del Mausoleo que todavía quedan ocultos bajo la capa del tiempo.

La reconstrucción de un edificio histórico, sea material, gráfica o virtual, no se hace para los investigadores, sino para el disfrute de la sociedad en su conjunto, para que pueda, a través del conocimiento de sus orígenes, mirar con mayor claridad a su futuro. Para conseguir todos estos objetivos, concadenados el uno al otro, se destaca la necesidad de llevar a cabo una excavación, en la cual encontrar elementos útiles a la formulación de hipótesis sobre la reconstrucción tanto del exterior como del interior del edificio, el espectro exterior de las paredes antes las consecuencias del abandono y del paso del tiempo, sobre la completa falta del suelo y las razones que llevaron a removerlo, y en definitiva sobre las personas que quisieron construir este edificio y la manera o las maneras de utilizarlo a lo largo de los años.

## 5 - PROPUESTA DE ACTUACIÓN INTEGRAL

Como se comentaba en el apartado de descripción de la estructura material, es noto que el Mausoleo de Sádaba corre un serio peligro de derrumbe: nos arriesgamos a que uno de edificios romanos mejor conservados de Aragón desaparezca para siempre, y con él todo el potencial de conocimiento que conlleva.

Por lo tanto, lo que se propone es una serie de medidas enfocadas tanto a mejorar el conocimiento del edificio como a acondicionar sus restos y a ponerlos en valor de manera que la sociedad pueda seguir beneficiándose de ellos.

Se ha comentado ya anteriormente la necesidad de actuar rápidamente con una excavación, que permita entender las relaciones entre el Mausoleo de Sádaba y su entorno, y que pueda aportar materiales fundamentales para afinar la cronología del edificio. A la vez que se realiza la excavación, sería necesario llevar a cabo una lectura de alzados al máximo nivel de detalle (tipos y elementos constructivos), cuyos resultados se entrelazarían con los de la excavación para conseguir una comprensión global del edificio en su contexto geográfico e histórico. Todo este proceso sería necesario asociarlo a una intervención urgente de restauración y consolidación de los

restos, formando un equipo multidisciplinar que pudiera actuar a la vez, o al menos de forma consecutiva.

El conocimiento es nulo si no se pone a disposición de la sociedad, por lo tanto, después de los estudios necesarios a la comprensión, es necesario poner en valor el edificio. Lo ideal sería una restauración, guiada y motivada por los resultados de los estudios arqueológicos, condición necesaria en cada intervención sobre el construido para no desnaturalizar sus características de autenticidad.

Un edificio de la importancia como es el Mausoleo de Sádaba, tiene todavía mucho que ofrecer, ya que se presta a poder ser estudiado por varios especialistas en el campo de los bienes culturales, a varios niveles de detalle: desde su encuadramiento histórico y geográfico hasta los minuciosos análisis de morteros, que definen las jornadas de trabajo y la procedencia de los materiales constructivos, en este sentido todo está todavía por descubrir.

## 6 - BIBLIOGRAFÍA

ABBAD RIOS, FRANCISCO. Catálogo Monumental de España, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Diego Velázquez. Madrid, 1957.

ASIN GARCÍA, NURIA (COORD.). Comarca de la Cinco Villas, Colección Territorio nº 25, Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales del Gobierno de Aragón, Zaragoza, 2007.

GARCIA BELLIDO, A. La villa y el mausoleo romano de Sádaba, Exc. Arq. Esp. Nº 19. Madrid, 1963.

GARCÍA LLINARES, G.- MORO GARCÍA, A. - TUSET BERTRAN, F.: La Seu episcopal d' Ègara. Tarragona, 2009.

GUISADO DE MONTI, J.C.- BERNÁRDEZ GÓMEZ, M.J.: El mausoleo de Llanes, el último tránsito hacia el Hades. *Revista Memoria la Historia de Cerca* n.º 1 – pags.75-81.

LÓPEZ VILAR, J.: *Les basiliques paleocristianes del suburbi occidental de Tarraco*. Tarragona, 2006.

LOSTAL PROS, J. Arqueología del Aragón romano, Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 1980.

MANNONI T., GIANNICHECKDA E. (2003), *Archeologia della Produzione*, Torino.

ORTIZ PALOMAR, M<sup>a</sup> ESPERANZA, PAZ PERALTA, JUAN ÁNGEL. *Los Bañales, Uncastillo, Los Atilios, La Sinagoga, Sádaba, Prames, Departamento de Educación, Cultura y Deporte*, Zaragoza, 2005.

PARENTI R. (1987), Una proposta di classificazione tipologica delle murature postclassiche, in BISCONTIN G. & ANGELETTI R. (a cura di), "Conoscenze e sviluppi teorici per la conservazione di sistemi tradizionali in muratura", *Atti del Convegno di Studi (Bressanone 23-26 giugno 1987)*, Bressanone, pp. 49-61.

PARENTI R. (1988a), Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato, in FRANCOVICH R. & PARENTI R. (a cura di), *Archeologia e Restauro dei monumenti*, *Atti del Convegno, Certosa di Pontignano 1987*, Firenze, pp. 249-279.

PARENTI R. (1988b), Sulla possibilità di datazione e classificazione delle murature, in FRANCOVICH R. & PARENTI R. (a cura di), *Archeologia e restauro dei monumenti*, *Atti del Convegno, Certosa di Pontignano 1987*, Firenze, pp. 280-304.

REMOLÀ VALLVERDÚ, J.A.- PÉREZ MARTÍNEZ, M.: Centcelles y el praetorium del comes Hispaniarum Asterio en Tarraco. *Archivo Español de Arqueología* 2013, 86, págs. 161-186.

UBIETO ARTETA, AGUSTÍN. *Las Cinco Villas, paso a paso, Ejea de los Caballeros: Centro de Estudios de las Cinco Villas*, 2002.

VV.AA. *El Patrimonio Artístico en la Comarca de las Cinco Villas*, Zaragoza, 1998.

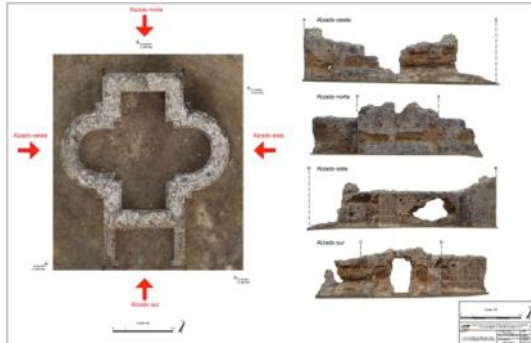
VV.AA. *Las Cinco Villas I: Sos, Uncastillo, Castiliscar, Sádaba*, Gobierno de Aragón, 1987.



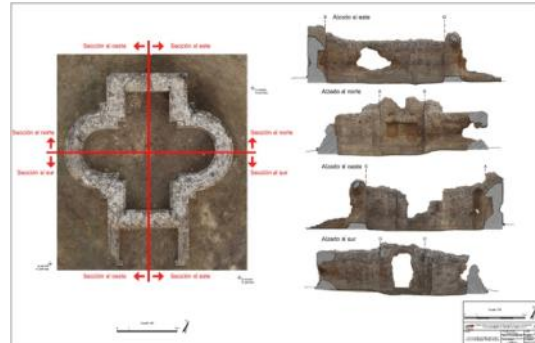
## **PLANOS**

## Planos

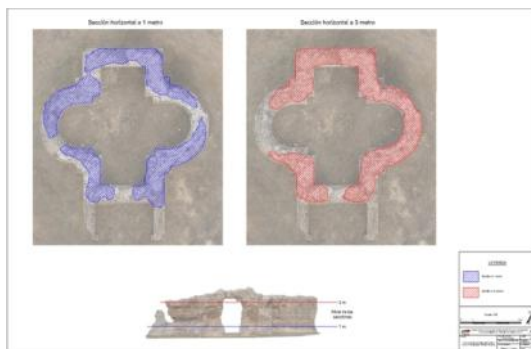
A continuación se presentan vistas en miniatura de los planos generados del mausoleo.



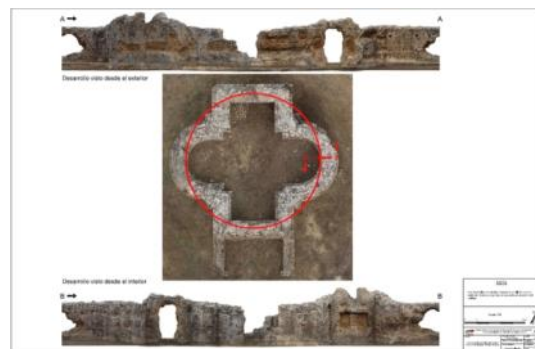
1.- Planta y alzados exteriores (1:50)



2.- Planta y alzados interiores (1:50)



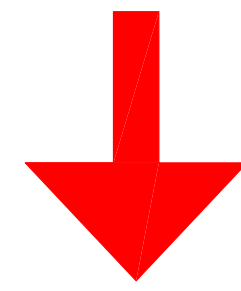
3.- Secciones horizontales (1:50)



4.- Desarrollos cilíndricos interior y exterior



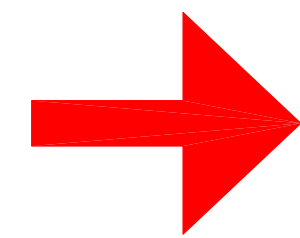
Alzado norte



X: 643535  
Y: 4681845



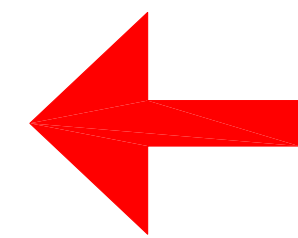
Alzado oeste



X: 643535  
Y: 4681825

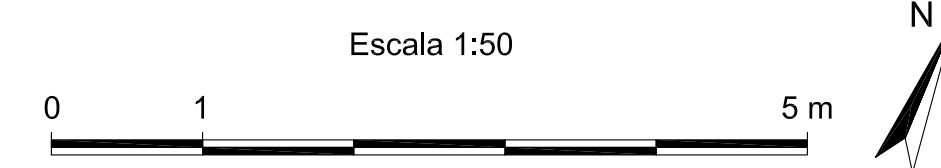
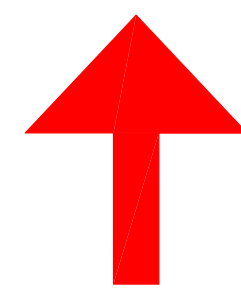
X: 643545  
Y: 4681845

Alzado este



X: 643550  
Y: 4681830

Alzado sur



Alzado oeste



Alzado norte



Alzado este



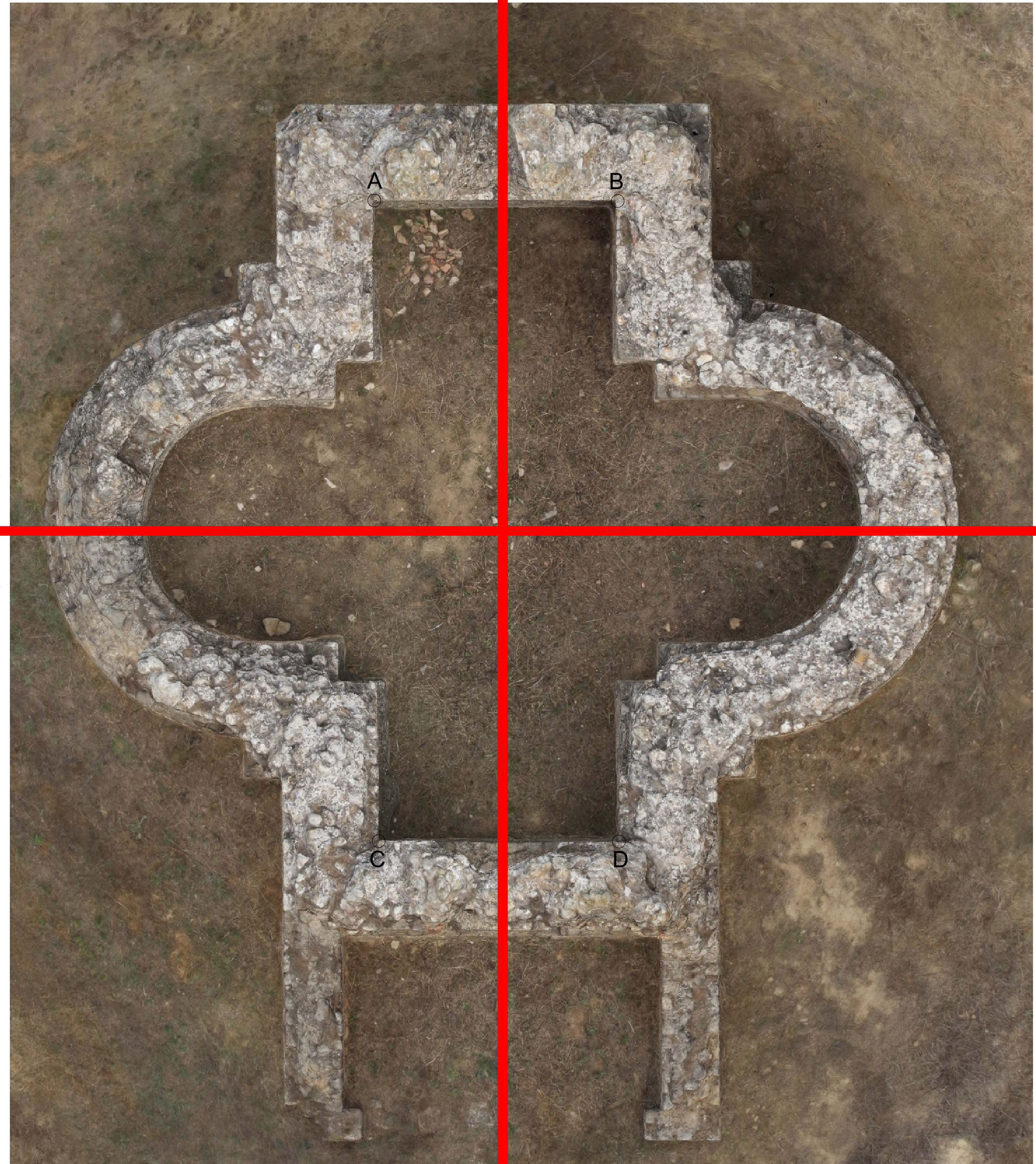
Alzado sur



Escala 1:50		
0 1 5 m		
N		
LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO		
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido, UPV-EHU		
Proyecto:	Proyección y Datum:	Escala:
Documentación geométrica del mausoleo romano de "la sinagoga" (Sádaba, Zaragoza)	UTM 30 - ETRS89	1:50
	Sistema de referencia alimétrico:	Resolución (ortofotografía):
	Nombre del plano:	1 cm
	Planta y alzados exteriores	Nº del plano:
		01
		Fecha:
		Septiembre 2014



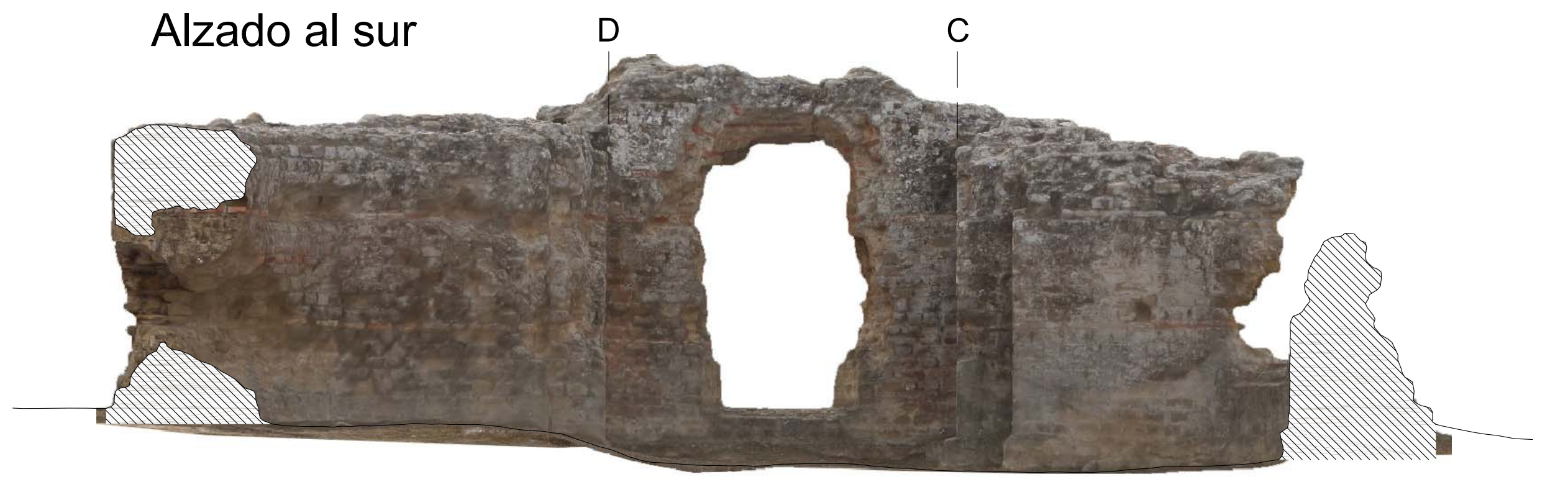
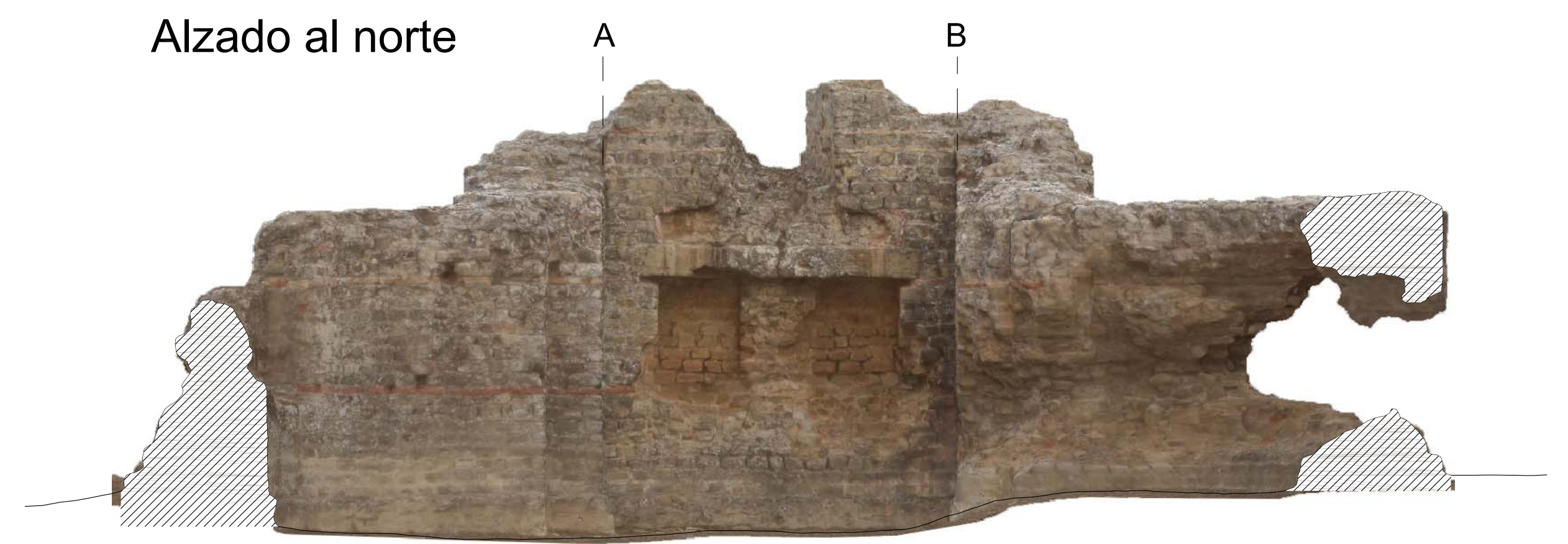
Sección al oeste ← → Sección al este



Sección al norte ↑  
Sección al sur ↓

Sección al norte ↑  
Sección al sur ↓

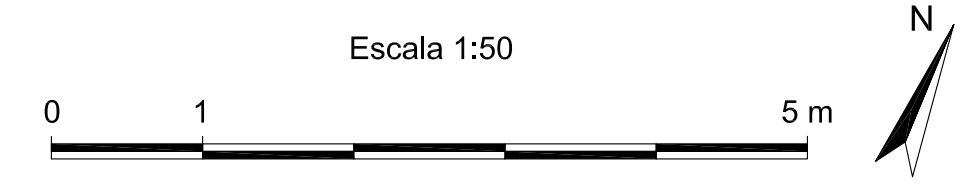
Sección al oeste ← → Sección al este



X: 643535  
Y: 4681825

X: 643545  
Y: 4681845

X: 643550  
Y: 4681830



Escala 1:50

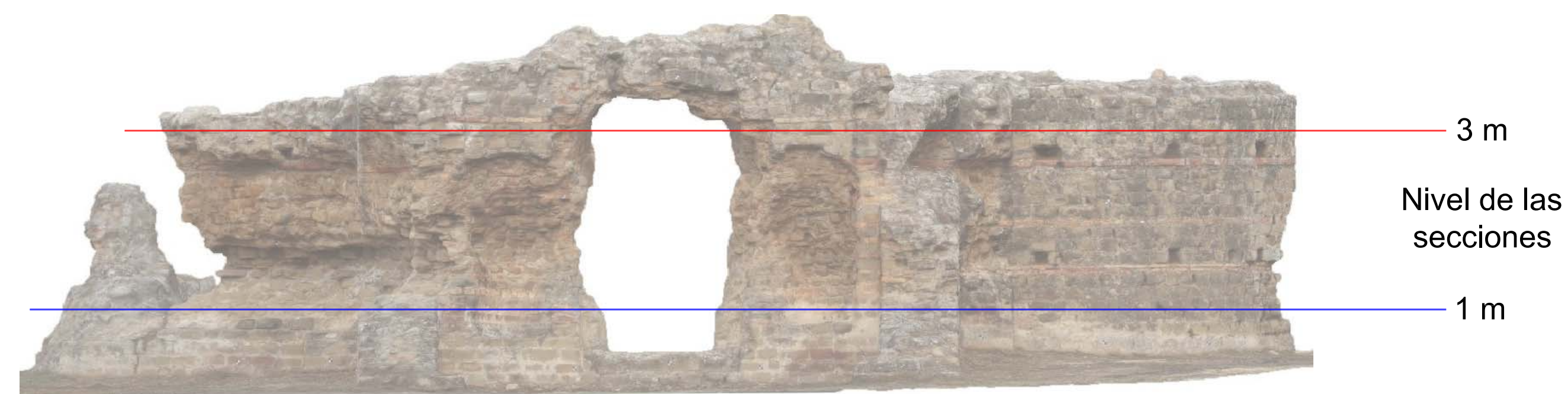
LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO Grupo de Investigación en Patrimonio Construido, UPV-EHU		
Proyecto: Documentación geométrica del mausoleo romano de "la sinagoga" (Sádaba, Zaragoza)	Proyección y Datum: UTM 30 - ETRS89	Escala: 1:50
	Sistema de referencia alimétrico: Resolución (ortofotografía): 1 cm	Nº del plano: 02
	Secciones y ortofotografías interiores	Fecha: Septiembre 2014



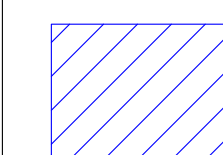
Sección horizontal a 1 metro



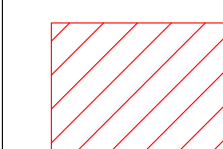
Sección horizontal a 3 metro



LEYENDA



Sección a 1 metro



Sección a 3 metros

Escala 1:50

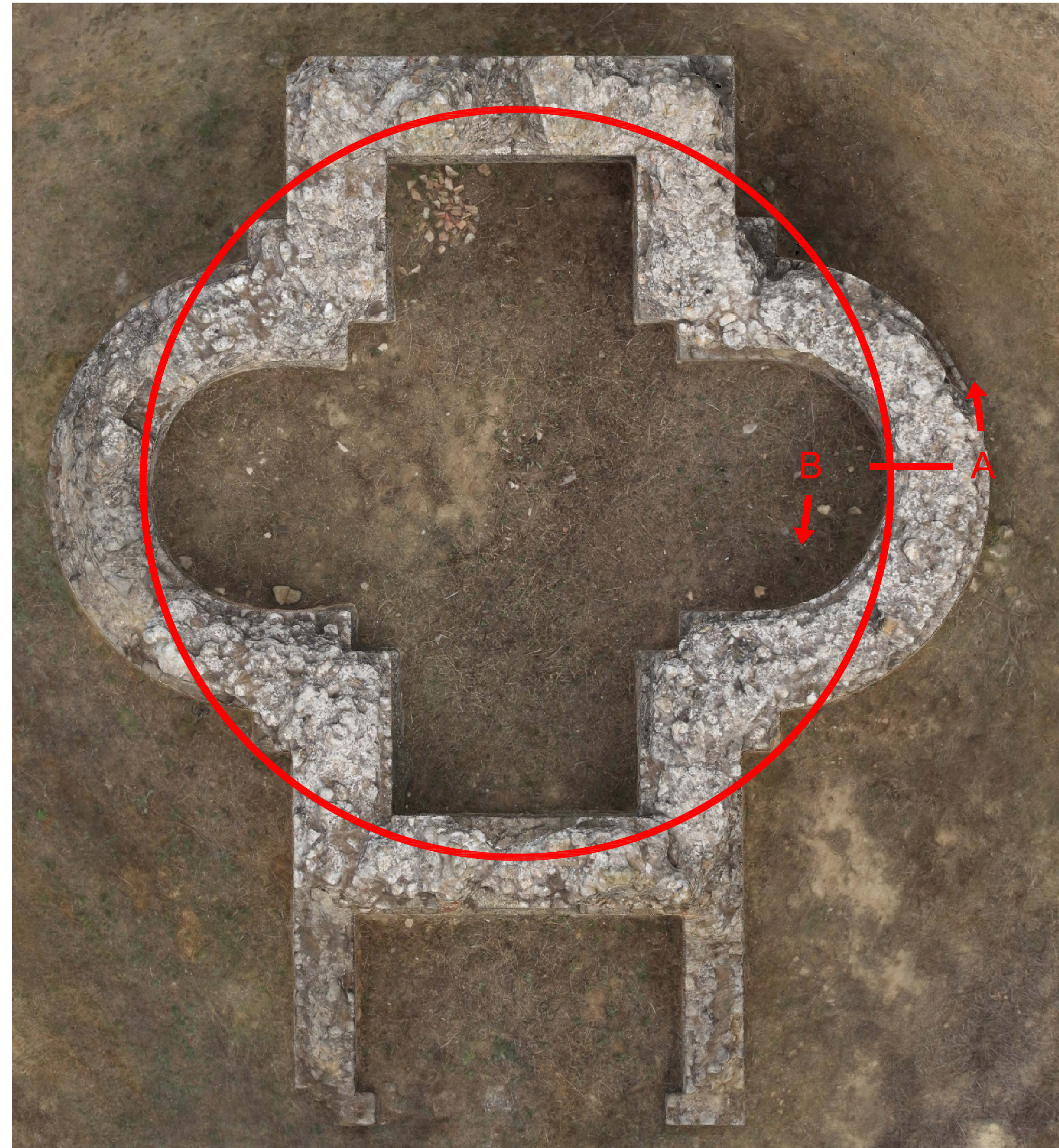


LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO Grupo de Investigación en Patrimonio Construido, UPV-EHU		
Proyecto: Documentación geométrica del mausoleo romano de "la sinagoga" (Sádaba, Zaragoza)	Proyección y Datum: UTM 30 - ETRS89	Escala: 1:50
	Sistema de referencia alimétrico: Nombre del plano:	Resolución (ortofotografía): Nº del plano: 03
	Plantas a 1 y 3 metros	Fecha: Septiembre 2014





Desarrollo visto desde el exterior



Desarrollo visto desde el interior



**NOTA**

Los desarrollos se calculan respecto a un cilindro con un radio de 5 metros y cuyo eje se encuentra en el centro del edificio.

Escala 1:50

<b>LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO</b> Grupo de Investigación en Patrimonio Construido, UPV-EHU		
Proyecto: Documentación geométrica del mausoleo romano de "la sinagoga" (Sádaba, Zaragoza)	Proyección y Datum: UTM 30 - ETRS89	Escala: 1:50
	Sistema de referencia alimétrico: (contorno): 1 cm	Resolución: 0.4
	Nombre del plano: Desarrollos cilíndricos	Nº del plano: 04
		Fecha: Septiembre 2014





**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV/EHU)

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios  
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).  
Tfno: +34 945 013222 / 013264  
e-mail: [ldgp@ehu.es](mailto:ldgp@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>

