

# Lienzos del Salón de Abd al-Rahman III Madinat al-Zahra (Córdoba) y Dolmen de Menga en Antequera (Málaga), experiencias sobre digitalización 3D y divulgación de la documentación gráfica obtenida.

Víctor Baceiredo Rodríguez y Daniel Baceiredo Rodríguez

## Resumen

*Nadie duda de la importancia de tener una correcta documentación gráfica como paso previo, no sólo a la planificación de las intervenciones, sino también a la hora de facilitar la propia investigación científica. La digitalización 3d es cada vez más utilizada y su combinación con otras técnicas permite la creación de modelos fotorealísticos fidedignos, con grandes capacidades para la divulgación. Presentamos dos experiencias de digitalización 3d y de documentación virtual, donde se describen los estados actuales de dos yacimientos, los lienzos del Salón de Abd al-Rahman III de Madinat al-Zahra (Córdoba) y el Dolmen de Menga en Antequera (Málaga).*

**Palabras clave:** Escáner Laser, Postproceso, Ortoimagen, Modelo 3d Y Texturizado

## Abstract

*There is no doubt about the importance of having a correct graphic documentation as a first step for planning interventions ahead and to facilitate scientific research. 3 D digitalization is widely used nowadays and its combination with other techniques allows for reliable photorealistic models, with broad capabilities for research and circulation. In this article we present two projects of 3D digitalization and virtual documentation where the present state of two archeological sites, Abd al-Rahman III de Madinat al-Zahra (Córdoba) wall faces and the Dolmen de Menga in Antequera (Málaga) are described.*

**Key words:** LASER SCANNER, POST PROCESSING, ORTHOIMAGE, 3D MODEL AND TEXTURIZED.

## 1. Introducción.

En la actualidad una catalogación, el inicio de una intervención o el estudio científico de los bienes del Patrimonio requieren la elaboración previa de una documentación gráfica métrica digitalizada.

Hoy en día la documentación gráfica del patrimonio se encuentra en una acelerada evolución, donde cada vez es más necesaria la digitalización 3d de los estados actuales que generen levantamientos planimétricos y modelos volumétricamente exactos. Estos modelos permiten digitalmente planificar, reconstruir, realizar hipótesis o análisis de muy diversas índoles y constituyen por sí solos un material con muchas posibilidades para la divulgación científica y pedagógica.

En este artículo desarrollamos dos proyectos de digitalización 3d del patrimonio inmueble, donde se han resuelto las necesidades de documentar los aspectos métricos y gráficos, abordando la maquetación de sus resultados y la realización de modelos digitales texturizados, que han permitido la producción de infografías técnicas del estado actual del yacimiento.

Trabajos donde ha existido gran comunicación entre gestores del patrimonio, equipos de investigación y los técnicos encargados de desarrollar estos proyectos.

## 2. Lienzos del Salón de Abd-al Rahman III

Se trata de un levantamiento promovido por el Conjunto Arqueológico de Madinat al-Zahra, perteneciente a la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía y ejecutado por Técnicas Documentales Tecnológicas S.L. (Tdtec). El objeto del proyecto fue obtener una documentación técnica gráfica que describiese los paramentos que componen el ámbito basilical del Salón de Abd al-Rahman III para los trabajos de documentación, conservación, restauración y restitución de piezas.

El Salón de Abd al-Rahman III, también denominado comúnmente Salón Rico, es el edificio más valioso de todo el Conjunto Arqueológico de Madinat al-Zahra y su cronología se sitúa entre el año 953 a 957. Era el salón de ceremonias, donde se recibía a los embajadores extranjeros y además el salón del trono, de ahí su rica decoración. La sala posee una planta basilical con tres naves longitudinales separadas por arcos de herradura soportados por columnas, y una gran nave transversal que servía de antesala, separada de aquellas por tres arcadas de herradura. Las cabeceras del fondo norte de las tres naves longitudinales están rematadas por tres arcos ciegos de herradura, siendo en el central donde el califa presidía las ceremonias palatinas. Su bella decoración hispano-omeya destaca por sus dovelas, las columnas de mármol rematadas por capiteles de avispero y sus lienzos decorados con paneles de ataurique

realizados en mármol, con motivos simétricos vegetales de simbolismo cosmológico que representaban el árbol de la vida.

Para la representación de estos espacios se propuso la elaboración de 10 alzados ortofotográficos que describiesen los 16 lienzos que componen la nave transversal y las tres longitudinales del espacio basilical, imprimibles a escala 1/20.

La necesidad de registrar gráficamente la exuberante decoración de los lienzos del Salón Rico marcó la calidad del trabajo y la elección de una metodología que proporcionase gran resolución, que reflejase fielmente tanto su estructura arquitectónica como el minucioso detalle del ataurique de sus lienzos.

Se estableció por tanto una directriz, que a través de un registro con tecnología escáner laser terrestre, se procedería a un postproceso de la información que resolviese no sólo las necesidades gráficas inmediatas para los estudios de intervención, sino que además proyectase la creación de material para la difusión.

Para conseguir estas ortofotografías se programó por tanto tres fases de trabajo consistentes en una extracción de la información topográfica mediante tecnología laser escáner, la creación de ortoimágenes de nube de puntos de los lienzos, a alta resolución, y la realización de ortofotografías teniendo como soporte métrico las ortoimágenes.

La maquinaria empleada fue el escáner FARO Laser Scanner LS 880, obteniéndose una densidad en la nube de puntos de 2 mm que nos proporcionó la volumetría de las distintas piezas o placas y la geometría de los motivos que contienen los tableros del ataurique.

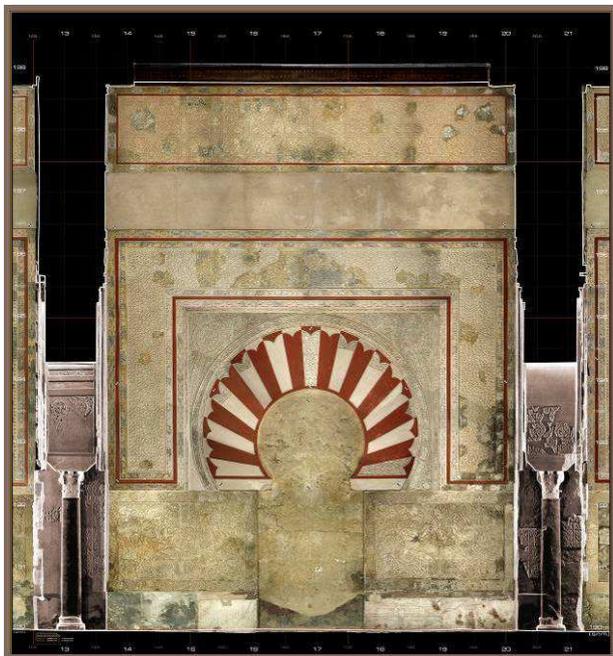


Fig. 1: Lienzo de cabecera nave longitudinal central

Con el fin de reducir errores de incertidumbre, se han desechado los puntos cuyas distancias superan los 15 metros, apostando en su lugar por un abundante número de escaneados. La

georreferenciación precisa de un gran número de dianas y la cercanía en los posicionamientos del escáner al objeto marcan la definición de las nubes de puntos y su exactitud.

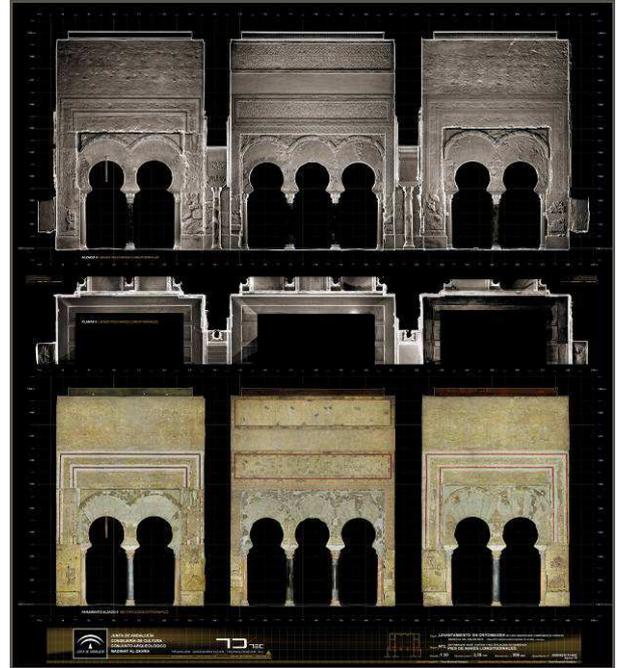


Fig. 2: Ortoimagen y ortofotografía de los pies de las naves longitudinales.

Para la creación de las ortoimágenes se utilizaron los planos de proyección paralelos a cada lienzo. Se capturó la visualización 2D de la nube de puntos de cada escaneado, con su correspondiente valor de reflectancia, finalizándose con la unión de cada una de ellas en un mismo sistema de coordenadas planas.

Tras la obtención de las ortoimágenes, se inició un proceso minucioso de rectificación del barrido fotográfico ortogonal, realizado a cada lienzo. Cada foto, que describe el mínimo detalle, se ajustó al modelo bidimensional de la nube de puntos, pieza a pieza, hasta obtener una imagen ortofotográfica del conjunto. De cada fotografía se utilizó sólo las zonas centrales. El proceso se hizo en pequeñas unidades diferenciales, y el apoyo fotográfico se llevó a cabo según las diferentes piezas y planos que presenta su superficie, en base a su perímetro y a la geometría que describen los motivos ornamentales en la ortoimagen.

Posteriormente, con software de tratamiento de imágenes, se corrigieron las discontinuidades en elementos volumétricos y las correcciones radiométricas.

Las ortofotografías fueron insertadas en ficheros CAD a su correspondiente escala, junto con las secciones, la posición de cada diana de referencia y una cuadrícula de 0.5 m. La resolución obtenida es de 300ppi, con una definición métrica a escala 1/20, y en formatos imprimibles e: 1/10.

La información generada ha sido tratada y procesada para proporcionar una documentación métrica que permita el análisis de patologías, la planificación de las intervenciones, el proceso de anastilosis o la restitución de piezas. Además se ha llevado a cabo una maquetación cuidada para dotar a este material de

cualidades expositivas, por la capacidad descriptiva y definición gráfica de los elementos estructurales y decorativos que componen cada lienzo del espacio basilical.

Los lienzos ortofotográficos junto con los modelos 3d (obtenidos mediante el postproceso de las nubes de puntos), permitirán el desarrollo de una nueva fase cuya finalidad será la

obtención de modelos fotorealísticos a alta resolución. Con los cuales se podrán crear, en un futuro, videos técnicos e infografías 3d que permitan la visita y la recreación virtual del yacimiento.



3: Video 3d, Texturizado alta resolución. Intrados

Fig.

## 2. Dolmen de Menga

Este trabajo ha supuesto para nosotros la utilización de diferentes metodologías para conseguir una documentación gráfica técnica lo más completa posible de este bien, tanto a nivel cartográfico, planimétrico como infográfico, abarcando desde el estudio de su entorno hasta el detalle cualitativo de cada superficie pétreo compositiva. Se trata de un estudio integral gráfico que posee un desarrollo a fondo y minucioso hasta obtener los modelos virtuales fotorealísticos, una infografía correcta y la generación de animaciones fidedignas.

El Dolmen de Menga, junto con el Dolmen de Viera y el Romeral, forman parte del Conjunto Arqueológico de los Dólmenes de Antequera en Málaga. El de Menga es un dolmen de galería cubierta y pudo ser construido en la Edad de Bronce, aproximadamente sobre el 2.500 a.C. Está compuesto por 24 ortostatos, de los cuales 20 forman las paredes y 4 la entrada,

con una cubierta formada por 5 losas de gran tamaño, 3 pilares que sirven aparentemente de apoyo, un profundo pozo circular de 19,5 m -ubicado al fondo, tras el último pilar-, y un gran túmulo artificial. Todo el conjunto tiene una longitud cubierta de 21,5m, y una altura mínima de 2,66m, resultando uno de los más interesantes de Europa.

Ante la escasa documentación planimétrica del bien, la Dirección General de Bienes Culturales y la dirección del Conjunto Arqueológico, Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, decidió encargar a Tdtec la realización de una documentación gráfica que detallase minuciosamente el Dolmen de Menga y su entorno más cercano. A ello se sumaba la necesidad de reflejar en planos el avance y los resultados de las excavaciones que se estaban llevando a cabo, en el interior y exterior del Dolmen, así como del registro detallado de los elementos constructivos compositivos.

Este proyecto se compone de un conjunto de trabajos cartográficos, planimétricos y de una exhaustiva infografía técnica, con los siguientes objetivos:



Fig. 4: Vistas 3D Sección del Dolmen de Menga

- Definir la geometría del Dolmen de Menga y su ubicación en el Recinto 1 (Dólmenes de Menga y Viera, junto con el Cerro denominado Marimacho), obteniendo unos planos a escala 1/1000 y 1/500.
- Desarrollo topográfico de detalle arqueológico del exterior del túmulo, mediante planos de secciones e:1/200 y de planta e:1/150 y 1/50
- Desarrollo gráfico morfológico de cada unidad compositiva y de la excavación arqueológica realizada en el interior y exterior del Dolmen, con planos de alzados y de planta a e:1/50 y 1/20.
- Realización de levantamientos tridimensionales y un conjunto de 16 videos en 3D, de carácter técnico y divulgativo, que muestran su ubicación en el entorno y de cada uno de los distintos elementos constructivos del Dolmen (ortostatos, pilares, losas de cubierta y excavación), integrando en la imagen los datos técnicos, la topografía extraída y el texturizado real de cada pieza.

### Metodología

Con el fin de registrar una información topográfica completa del proyecto, se decidió utilizar la combinación de tres sistemas de trabajo distintos:

- 1.- Fotogrametría aérea para la cartografía del Recinto 1 del Conjunto Arqueológico de los Dólmenes de Antequera.
- 2.- Topografía clásica y GPS para la obtención de bases topográficas y el levantamiento de las zonas de los túmulos de los Dólmenes de Menga y Viera, junto con las catas arqueológicas realizadas en el exterior.
- 3.- Levantamiento mediante láser escáner, para obtener una base de datos de campo topográficos densa de las superficies de las piezas que lo componen, junto con la excavación interior en la base del Dolmen.

### Fotogrametría aérea:

Se realizó el vuelo fotogramétrico a escala 1:3.000 a color, cubriendo con holgura el área de trabajo. Para obtener coordenadas de los puntos de apoyo y de las bases topográficas se efectuó la observación mediante sistema de posicionamiento global (G.P.S), obteniéndose sus posiciones en el sistema U.T.M. Con las coordenadas de los puntos de apoyo se llevó a cabo el proceso de orientación digital de los modelos estereoscópicos de forma independiente, empleándose la estación digital DIGI. Con el proceso de restitución fotogramétrica dimos paso a la delineación de las curvas y detalles planimétricos.

Con el fin de compatibilizar esta información se optó por un soporte para el levantamiento fotogramétrico en el entorno CAD, reflejándose su topografía mediante curvas de nivel cuya equidistancia es de 0.2m y 1m para las curvas maestras.

Este primer documento gráfico aportó una visión global del recinto pudiendo ubicarse el Dolmen de Menga en su contexto.

### Levantamientos topográficos de detalle:

Dando por hecho que la fotogrametría aérea no iba a definir con exactitud las zonas de arbolado, y necesitando una mayor precisión en los Túmulos de Menga y Viera se optó por hacer un

levantamiento mediante topografía clásica con una definición en el modelo digital del terreno de una equidistancia de 10 cm en las curvas de nivel.

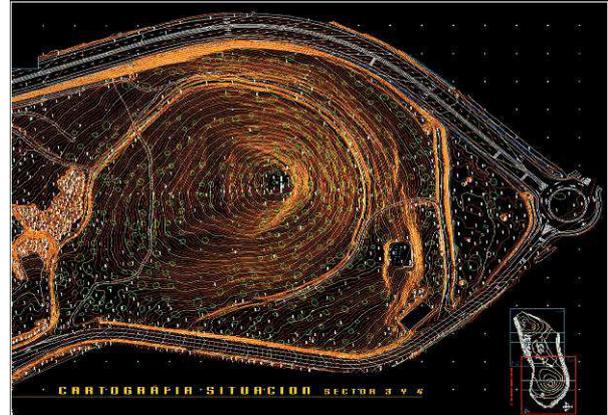


Fig. 5: Levantamiento fotogramétrico Recinto I.

### Escaneado láser:

Para el registro del Dolmen se utilizó el escáner FARO Laser Scanner LS 880. Por las características confinadas del proyecto, la distancia del equipamiento escáner a los puntos de referencia fue de escasos metros, por lo que el ajuste y posicionamiento del escáner dentro del sistema de referencia resultó muy preciso. La captura de la información, mediante la tecnología escáner laser terrestre, se llevó a cabo con una definición en la nube de puntos 3D mínima de 4mm, previa discriminación y filtrado de la información no necesaria.

### Levantamiento morfológico de las piezas que lo componen:

Para la creación de archivos CAD, se generaron secciones cada 1cm con el modelo a alta resolución, obteniendo un conjunto de planos, realizados en diferentes proyecciones con la morfología de las superficies de los ortostatos, losa de cubrición, pilares y excavación.

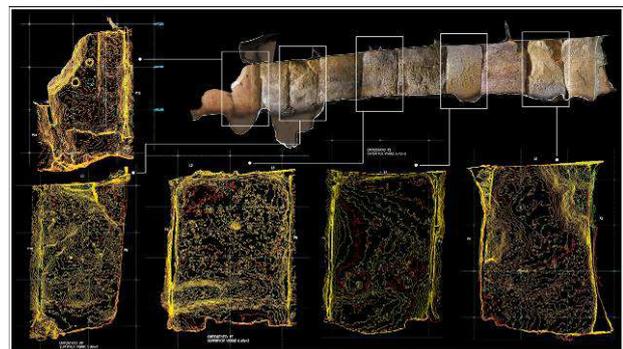


Fig. 6: Levantamiento morfológico de los ortostatos.

### Levantamiento tridimensional:

Esta fase del proyecto consistió en la creación de modelos fotorealísticos 3D a máxima definición, mediante los cuales se generaron infografías técnicas 3D que visualizan la documentación geométrica y morfológica obtenida anterior-

mente, proporcionando al proyecto cualidades científico-divulgativas.

Una vez extraída la documentación de campo, se comenzaron las siguientes fases para el levantamiento tridimensional del dolmen.

- **Filtración:** con la nube de puntos se realizó una depuración de éstos, con vista a poder filtrar y reducir la información. Con ello se evitó la superposición de puntos, la saturación de datos en zonas específicas, la eliminación de puntos externos a la zona de actuación, y un recálculo de coordenadas por zonas. Todo ello resultaba necesario para que se lograra una correcta poligonización en la siguiente fase del trabajo.

- **Poligonización:** filtrada toda la información, se procedió a la creación de los poligonizados, a través de una triangulación. En esta fase hubo una exhaustiva corrección de la teselación, a fin de evitar vértices, aristas y caras repetidas o abiertas, sellando todos los huecos existentes, y corrigiendo la dirección de las normales. Posteriormente se procedió a la reducción de polígonos de cada modelo, sin llegar a la pérdida de formas y detalles, facilitando el manejo de esta pesada documentación. Posteriormente se cuadranguliza cada objeto en la medida de lo posible, para evitar la triangulación, procediendo a corregir las posibles aristas angulares y con la finalidad de mejorar el posterior proceso de renderizado.

Fue importante la realización de dos tipos de poligonizado. Uno dirigido a obtener digitalización vectorial, como los curvados morfológicos, secciones, etc., y otro para obtener infografías técnicas 3D. La primera se elaboró con la mayor información de nube de puntos posibles obteniendo un curvado morfológico lo más exacto y definido posible del bien. La segunda se realizó a baja teselación obteniendo modelos 3D menos densos facilitando con ello el manejo de su tratamiento sin llegar a perder información o evitando la deformación de la volumetría y del detalle. De esta forma se consiguió, con archivos de salida menos pesados, el tratamiento a un texturizado real y a gran resolución, con un mayor aporte de realismo y veracidad a la documentación 3D técnica.



Fig. 7: Video 3D de los ortostatos 9, 10, 23 y 24.

- **Texturizado:** La nube de puntos a color no da la definición suficiente para observar infografías técnicas 3D del detalle requerido. Optamos por un soporte de imágenes externas mediante reportaje fotográfico a detalle, proporcionando un texturizado sólido y de calidad real, sin emplear en ningún momento texturas procedurales. La resolución de cada textura y proyección en el proceso de mapeado fue de 4096x4096 a 72

ppi, aportando una mayor definición y veracidad en el detalle y encaje de los modelos 3d.

Con la recopilación de las fotos ortogonales realizadas de los elementos compositivos del Dolmen, se procedió a la rectificación fotográfica, la corrección digital, se igualó las propiedades de la imagen en iluminación, sombras, formatos y tamaños; obteniendo una visualización progresiva y uniforme de las distintas texturas.

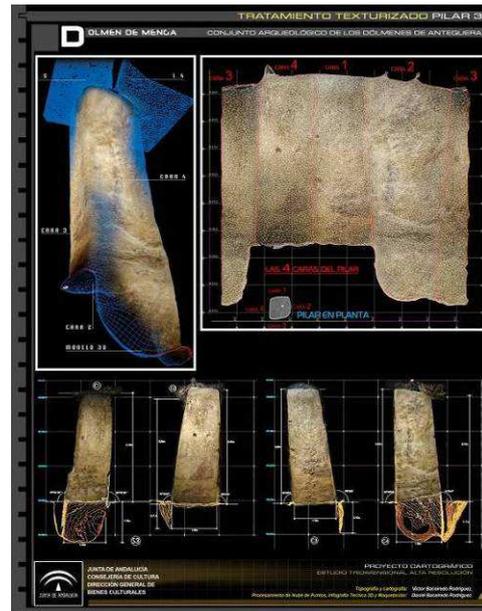


Fig. 7: Tratamiento Texturizado Pilar 3.

Se efectuaron proyecciones para la manipulación de los vectores U y V de cada imagen, a fin de situar los vértices de texturas en la coordenadas correctas en cada modelo 3D.

- **Renderizado y postproducción:** Una vez texturizado, procedimos a la animación y creación de recorridos de cámaras. Los videos tienen una velocidad de 25 fps y resolución HD (1920 x 1080). Por último los resultados pasan por una fase de postproducción para la correcta composición de cada capa: textura, morfología, luz, sombras, oclusión, etc., insertando títulos, logos o banners, cortinillas y datos técnicos. Los formatos de salida fueron avi.

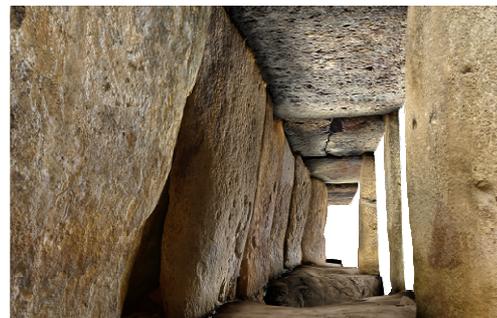


Fig. 8: Recorrido Virtual por la sección longitudinal del Dolmen.

El proyecto final ha sido integrado en un portal digital multimedia que gestiona la visualización del reportaje fotográfico, el conjunto de planos realizados y los videos de los levantamientos 3D (cartografía, sección longitudinal, alzados

generales, planta y elementos constructivos compositivos). Material que permite la transmisión de la información, tanto a los gestores del patrimonio en la difusión del bien, a la comunidad científica interesada, como al público en general.

### Agradecimientos

Agradecimientos al Conjunto Arqueológico de Madinat al- Zahra, al Conjunto Arqueológico de los Dólmenes de Antequera, a la Dirección General de Bienes Culturales, Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía por haber confiado en nosotros y a la colaboración prestada por las empresas Inertek y Aplitop.

