

Estudio geométrico de piezas arqueológicas a partir de un modelo virtual 3D

Antonio T. Mozas Calvache¹, José L. Pérez García¹, Vicente Barba Colmenero² y Andrés López Arenas¹

¹ Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Grupo de Investigación Sistemas Fotogramétricos y Topométricos. Universidad de Jaén. España

² Arq13, Estudio de Arqueología, S. L. España

Resumen

Este trabajo presenta una metodología para la realización de estudios geométricos de piezas arqueológicas de pequeño tamaño mediante un modelo virtual tridimensional. Este modelo es obtenido mediante técnicas de captura con láser escáner, y permite obtener con gran precisión las medidas necesarias para el estudio de la pieza. La técnica aporta, entre otras ventajas, la oportunidad de realizar estas medidas en zonas no accesibles en un entorno real y elimina la consiguiente manipulación de la pieza, aspecto muy interesante para la conservación de la misma. La metodología propuesta se ha implementado en un caso real, un ídolo antropomorfo femenino de apenas 12 centímetros de altura. Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas sobre el modelo de la pieza han permitido obtener importantes conclusiones.

Palabras Clave: FOTOGRAMETRÍA, LÁSER ESCÁNER, MEDIDAS GEOMÉTRICAS, PIEZAS ARQUEOLÓGICAS

Abstract

This paper describes the methodology for implementing geometric studies of little archaeological artefacts by mean of a 3D virtual model. This model is obtained through laser scanner 3D technology and allows us to obtain high accuracy measures in order to analyze the artefact. The method proposed gives the opportunity for performing these measures in inaccessible zones in the real object, and minimizing the manipulation of the artefact. This aspect is very interesting in order to guarantee its conservation. This methodology has been implemented to a real case: an anthropomorphic feminine idol of around 12 centimetres in length. The results obtained with the measuring of the model allow us to extract important conclusions.

Key words: PHOTOGRAMMETRY, LASER SCANNING, GEOMETRIC MEASURES, ARCHAEOLOGICAL ARTEFACTS

1. INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías de captura, adquisición y edición de la información espacial aplicadas al patrimonio cultural y arqueológico permiten la obtención de modelos tridimensionales virtuales de edificios y piezas arqueológicas reales. Estas técnicas son principalmente aplicadas con el propósito de documentar, modelizar y representar estos elementos. En este contexto, la modelización y representación digital de la realidad aporta la incuestionable ventaja de permitir el acceso al objeto de forma virtual, evitando su manipulación, y por consiguiente facilitando su conservación. Otros beneficios son la transmisión de información digital, la perdurabilidad en el tiempo (modelo digital), la mejora de la precisión en las medidas, etc. TEJADO (2005) presenta un análisis completo acerca de las ventajas e inconvenientes que estas nuevas tecnologías aportan.

Dentro de las distintas técnicas de captura actuales destacan la tecnología láser escáner tridimensional y la fotogrametría de objeto cercano. La primera consiste en la captura de una nube de puntos de gran densidad desde un escáner con lo que se obtiene un modelo del objeto desde el punto de vista de la situación del escáner. Con varias tomas del objeto desde varios puntos de vista será posible obtener un modelo tridimensional completo

del mismo. La fotogrametría de objeto cercano está basada en la obtención de varias tomas fotográficas a corta distancia, gran re-

solución y con una determinada geometría sobre el objeto. Tras un proceso de orientación de las tomas fotográficas se podrá llevar a cabo la extracción de información tridimensional (extracción de elementos, MDS, ortofotografías, etc.), obteniendo un modelo tridimensional del objeto normalmente de menor densidad que en el caso anterior, pero con mayor información radiométrica. Por tanto, los principales productos obtenidos mediante estas técnicas son, respectivamente, una nube de puntos gran densidad e imágenes fotogramétricas de gran resolución. La combinación de ambas técnicas proporciona un modelo tridimensional de gran resolución tanto geométrica como radiométrica (ALSHAWABKEH, 2004).

Los estudios arqueológicos y del patrimonio tienden, cada vez en mayor medida, a utilizar estos productos y otros derivados (vistas espaciales 3D, VRML), debido fundamentalmente a la mejora que proporcionan para la documentación patrimonial, a lo que se suman otras ventajas culturales, turísticas y didácticas (musealización virtual, recreaciones virtuales que facilitan la comprensión del contexto histórico, etc.) (BERALDIN, 2005). Dentro de las posibles utilidades que proporcionan estos

modelos se encuentra el análisis geométrico de estas piezas evitando la manipulación de las mismas, ya que se tendrá una reproducción fidedigna en formato digital. Para esto, será necesario crear un modelo tridimensional que abarque toda la pieza, con una resolución geométrica tal que garantice la precisión requerida en el estudio geométrico. Dependiendo de esta resolución se podrán realizar mediciones muy precisas que resultarían muy difíciles de obtener directamente sobre la pieza. En general, se optará por técnicas de láser escáner tridimensional, ya que en este tipo de estudios la componente radiométrica y textural del objeto presenta menor relevancia. Las técnicas láser escáner pueden reemplazar o complementar las metodologías tradicionales cuando existen objetos complejos que han de ser digitalizados de forma más o menos económica y precisa (BOEHLER, 2001).

Este trabajo se centra en este tipo de estudios geométricos de piezas arqueológicas, basados en modelos tridimensionales obtenidos mediante técnicas de láser escáner tridimensional, que presentan gran interés para determinar los aspectos geométricos de las piezas (ESQUIVEL, 2007), obtener secciones, simular virtualmente partes perdidas e intervenciones restauradoras, determinar zonas restauradas no originales (FONTANA, 2002), o como base de información para analizar el desarrollo constructivo de la misma (por ejemplo para determinar el proceso o modo de fabricación de una pieza, PIRES, 2006). En definitiva, el empleo de estas técnicas supone abrir unas perspectivas sin precedentes en estudios sobre piezas arqueológicas (CIOCI, 2005).

Obtenido el producto (modelo 3d), y utilizando cualquier software especializado de los existentes en el mercado (CAD 3D), los especialistas técnicos y arqueólogos pueden realizar cuantas mediciones y cálculos estimen necesarios para elaborar un estudio geométrico completo. Este estudio aportará una valiosa herramienta de análisis para la determinación tanto de las medidas originales como para determinar el procedimiento constructivo de estos objetos.

Como ejemplo de aplicación se presentan los resultados obtenidos con la generación de un modelo tridimensional y la realización de un estudio geométrico de un ídolo antropomorfo completo, localizado en el yacimiento de Marroquíes Bajos en Jaén (BARBA, 2010). Se trata de una representación femenina procedente de la cultura calcolítica (III milenio A. N. E.). La figura está tallada en un hueso de animal, posiblemente un cuerno. Fue hallada junto con otra figura masculina y otra pieza inacabada. Por lo tanto, presentan una connotación especial debido a su singularidad (es la única pareja masculino-femenina) dentro del conjunto de ídolos antropomorfos aparecidos en la península Ibérica.

2. METODOLOGÍA

El proceso metodológico comprende los pasos necesarios para la obtención del modelo tridimensional (captura de datos, fusión de nubes de puntos y modelización), la posterior representación del mismo y la realización de las medidas oportunas para la determinación de un estudio geométrico completo. La captura de datos se realiza con un láser escáner tridimensional de corto rango de distancias (Minolta VI, Figura 1a).

El escaneo se realiza situando la pieza sobre un soporte móvil fijado al mismo con masilla y pinzas (Figura 1b). Para cubrir toda la pieza se realizan todos los escaneos necesarios desplazando el

escáner o girando la plataforma donde se sitúa el ídolo. Además, se debe garantizar la existencia de importantes zonas comunes en los diferentes escaneos para asegurar la alineación y unión de las nubes de puntos individuales, así como la eliminación de zonas ocultas o no visibles desde un punto de vista individual. Para la unión de las diferentes tomas en una sola, esto se utilizarán posteriormente mecanismos de correlación superficial. Aun teniendo la precaución de realizar diferentes tomas con puntos de vista diferentes, en algunos casos es posible que puedan aparecer quedar zonas ocultas no capturadas al escaneo en las que será necesaria la posterior reconstrucción de la pieza (DEVEAUA, 2005).



Figura 1. a) Láser Escáner Minolta VI; b) soporte móvil de captura

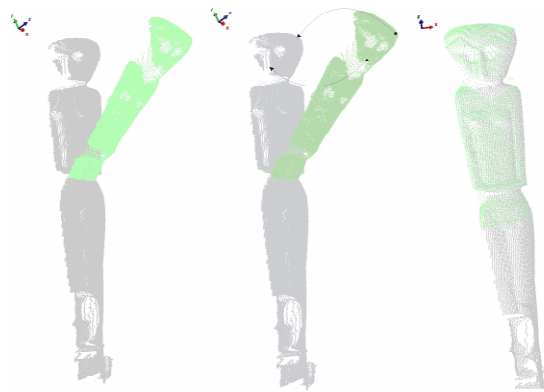


Figura 2. Proceso de alineación de nubes de puntos procedentes de varios escaneos

Tras la captura, se realiza un proceso de modelización, en el que se eliminan los puntos residuales no pertenecientes a la pieza, y se alinean y unen todos los puntos obtenidos en los distintos escaneos (Figura 2). El resultado será una nube de puntos referidos a un único sistema de referencia. Este proceso de modelización finaliza con la generación de un modelo triangular a partir de los puntos, asignándole un color o una textura (Figura 3).

Habrà que tener en cuenta el grado de precisión obtenido con el escaneo y el posterior procesamiento de los puntos. El escáner utilizado tiene una resolución nominal de 0.17 mm en XY y 0.047 mm en Z y una precisión de 0.02 mm. Esta precisión nominal se verá reducida debido a los diferentes procesos que

incorporan incertidumbre posicional, como la correlación de las nubes de puntos, la resolución definitiva del modelo, etc. Una vez analizados los resultados obtenidos en la fase de orientación relativa (unión de nubes individuales) y la densidad de puntos y por consiguiente, la resolución del modelo triangular (0.1mm), se puede estimar una precisión de 0.1mm para este estudio. Este valor marcará la precisión (cifras decimales) de las medidas que se realizarán.



Figura 3. Proceso de modelización: nube de puntos, malla de triángulos, modelo triangular y modelo suavizado.

3. RESULTADOS

Una vez finalizado el proceso de modelización se procede a realizar el estudio geométrico de la pieza para lo que se utilizarán distintas representaciones de la misma obtenidas a partir del modelo tridimensional. Estas representaciones pueden ser: vistas 3D, secciones, perfiles, cortes y curvados, etc. (Figura 4).

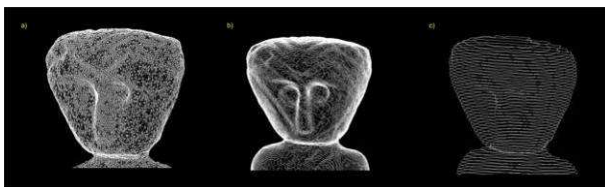


Figura 4. Representaciones obtenidas: Modelo poligonal, curvado eje horizontal (Y) y vertical (Z)

Las distintas medidas serán realizadas sobre el modelo completo o sobre las representaciones obtenidas. Los principales resultados de las mediciones realizadas sobre el modelo virtual tridimensional de la pieza objeto de estudio son descritos en la Tabla 1 y Tabla 2 y en las imágenes de la Figura 5 a la Figura 9.

El análisis de las medidas muestra que la pieza geoméricamente presenta pequeñas desviaciones, algunas de las cuales (giro de la cabeza) le confieren mayor expresividad. El estudio de las proporciones de las distintas secciones refleja una mayor relevancia de la cabeza sobre el resto del cuerpo. Se cree que este aspecto de sobre ponderación de la cabeza puede enlazar con piezas de similares características aparecidas en la cultura minóica (cabeza triangular, brazos cruzados y nariz prominente), relacionado con la idea de Diosa Madre. En cuanto a los detalles, algunos fueron realizados con suma minuciosidad, por ejemplo, en el caso de los ojos o de los senos, donde las medidas de la parte izquierda y derecha son sorprendentemente similares (Figura 5 y Figura 7). Los ojos presentan cuencas prácticamente iguales en cuanto a su volumen. Esta circunstancia confirma la

hipótesis inicial de su posible fabricación mediante un mismo utensilio.

	Volumen (mm ³) (%)	Longitud (mm) (%)	Anchura Profund. (mm)
Pieza completa	9254.2 100	118.2 100	22.1 9.3
Sec. 1. Cabeza	2315.4 25.0	19.0 16.1	22.1 9.3
Sec. 2. Tronco	3021.0 32.6	37.3 31.6	20.4 7.1
Sec. 3. Extremidades inferiores	3917.8 42.3	61.9 52.4	17.3 6.4

Tabla 1. Geometría de la pieza completa.

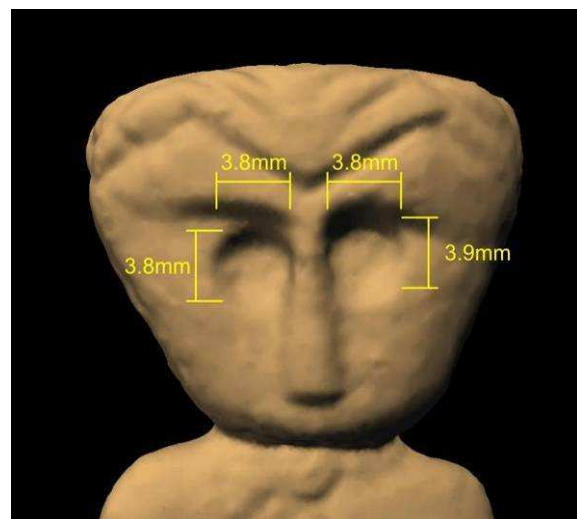


Figura 5. Vista 3D y dimensiones de los ojos.

También destaca el cabello que presenta la pieza (Figura 9), no solo por ocupar una gran extensión de la frente y espada, sino por conseguir un gran detalle (trenzado). Cabe destacar la importancia de la nariz en la cara de la pieza (Figura 8), con una longitud superior a los 8 mm (7% del total de la pieza y un 44% con respecto a longitud de la cara). Esta característica es habitual en el resto de ídolos antropomorfos de la península.

Adicionalmente, con esta técnica se ha podido apreciar y medir pequeñas erosiones producidas por el paso del tiempo en la misma como en el caso del seno derecho, donde se ha detectado un hueco de 1.1 mm³ (Figura 7). Estos defectos podrán ser eliminados en un modelo virtual, con lo se podría obtener una representación de la situación original de la pieza.

Otro aspecto importante es la longitud y situación de los brazos y manos. Los brazos aparecen cruzados sobre el vientre. Tienen dimensiones similares (35.4 mm en el brazo derecho y 35.2 mm

en el izquierdo). Su posición puede ser debida a la idea de solemnidad de este tipo de piezas (Figura 6). Las manos no son utilizadas en contraposición con el hecho de son elementos fundamentales de trabajo para el ser humano.

		L (mm)	A (mm)	P (mm)
Ojo	izquierdo	3.9	3.8	1
	derecho	3.8	3.8	0.9
Brazo	izquierdo	35.2	10.0	-
	derecho	35.4	8.8	-
Erosión seno derecho		1.5	1.5	0.5
Cuello		9.5	-	5.1
Caderas		-	12.1	6.4
Ángulo (°)				
Inclinación hombros		2.0		
Giro cabeza -vertical		4.2		
Giro piernas - vertical		10.5		

Tabla 2. Geometría de detalles: L: Longitud, A: Anchura; P: Profundidad

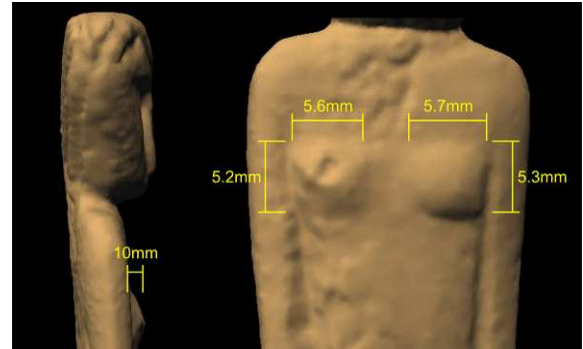


Figura 7. Vistas 3D y dimensiones de los senos.

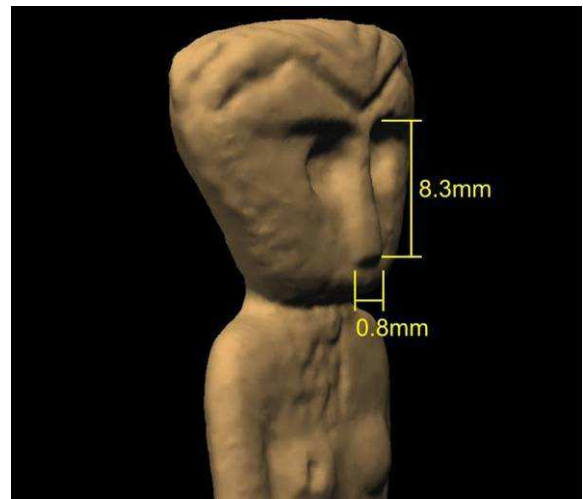


Figura 8. Vista 3D y dimensiones de la nariz.

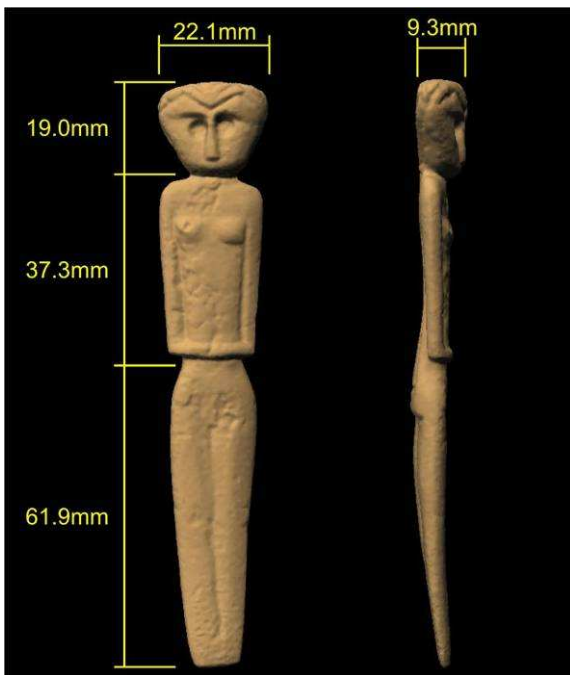


Figura 6. Vistas 3D general de la pieza (frente y perfil derecho) y principales medidas.

Por otro lado, se ha determinado un giro de 11 grados en las extremidades inferiores. Se trata de un aspecto destacable en la figura y puede deberse al giro natural del material original del que está fabricada la pieza (hueso de animal).



Figura 9. Vistas 3D y dimensiones del pelo.

La metodología planteada ha posibilitado la obtención de valores que han permitido a los arqueólogos plantear o reforzar sus hipótesis de trabajo.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo ha confirmado la viabilidad de la metodología planteada gracias a la significativa cantidad de información que se ha obtenido. La técnica empleada no es invasiva, permite medir “sin tocar” las piezas arqueológicas a partir de un modelo virtual tridimensional obtenido con gran resolución y exactitud gracias al láser escáner tridimensional. El respeto a la pieza original resulta fundamental en casos en los que la manipulación pueda representar un riesgo para la integridad de la misma.

Las medidas realizadas sobre el modelo virtual garantizan gran precisión y permiten obtener dimensiones cuya medida sobre la pieza real resultaría imposible. El estudio geométrico realizado aporta importante información para caracterizar la pieza apoyando significativamente la labor de los arqueólogos.

Además, la técnica empleada permite obtener un modelo virtual tridimensional que puede ser utilizado para numerosos fines científicos y divulgativos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto IFOTEL (TIN-2009-09939) del Ministerio de Ciencia e Innovación y ha sido cofinanciado a través de fondos FEDER y del Grupo de Investigación TEP-213 (PAI Junta de Andalucía)..

BIBLIOGRAFÍA

- ALSHAWABKEH, Yahya et al. (2004): “Integration of digital photogrammetry and laser scanning for Heritage documentation”. *Proceedings of the XXI ISPRS Congress, Commission V WG 4*, Istanbul, Turkey pp. 6.
- BARBA, Vicente et al. (2010): *Ciudad de la Justicia de Jaén. Excavaciones Arqueológicas*. Consejería de Justicia y Administración Pública. Junta de Andalucía. Almería.
- BERALDIN, Jean Angelo et al. (2005): "Combining 3D Technologies for Cultural Heritage Interpretation and Entertainment." *Videometrics VIII, SPIE*, vol. 5665, pp. 108-118
- BOEHLER, Wolfgang et al. (2001): “The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording”, en *Proceedings of the 18th International Symposium of CIPA*, Potsdam Germany, pp. 8.
- CIOCI, Andrea et al. (2005): “Digital Three-Dimensional Modeling of Heritage by Frequency-Modulated Laser Radar: the case of Donatello’s David”, en *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, VAST (2005), pp. 8.
- DEVEAUA, Matthieu et al. (2005): “Strategy for the extraction of 3D architectural objects from laser and image data acquired from the same viewpoint”, en *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (Vol. XXXVI, Part 5/W17)*, Mestre-Venice, Italy, pp. 5.
- ESQUIVEL, Juan Antonio et al. (2007): “Geometrical 3D laser scanner model of a Chalcolithic vessel (Gor, Granada, Spain)”, en *Archeologia e calcolatori*, n° 18, pp. 229-241.
- FONTANA, Raffaella et al. (2002): “Three-dimensional modelling of statues: the Minerva of Arezzo”, en *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 3, n° 4, pp. 325-331.
- PIRES, Hugo et al. (2006): “Close-range Laser Scanning Applied to Archaeological Artifacts Documentation. Virtual Reconstruction of an XVth Century Ceramic Pot”, en *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, VAST (2006), pp. 6.
- TEJADO, José María (2005): “Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico”, en *Iberia: Revista de la Antigüedad*, n° 8, pp. 135-160.