

# Digitalización y reconstrucción de elementos cerámicos arqueológicos de torno

Fco. Javier Melero, Alejandro León y Juan Carlos Torres

GIIG, Dpto. Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad de Granada

## Resumen

La digitalización y reconstrucción de piezas cerámicas de revolución a partir de los fragmentos encontrados en el yacimiento ha sido objeto de un desarrollo exhaustivo en la última década. Diversos estudios han demostrado la enorme variabilidad en los resultados obtenidos por el proceso puramente manual, lo que puede llevar en la mayoría de los casos a una deficiente clasificación tipológica del perfil. Además, tras la orientación del fragmento en cuestión, el documento final suele ser un dibujo bidimensional con ciertas medidas y un estilo no siempre estandarizado. En este artículo presentamos un repaso de las técnicas desarrolladas y planteamos algunas cuestiones y retos que aún quedan por resolver.

**Palabras Clave:** CERÁMICA, RECONSTRUCCIÓN 3D, EXTRACCIÓN DE PERFIL,

## Abstract

Many researchers have dealt during last decade about digitizing and reconstructing hand made pottery elements from fragments retrieved in the archaeological excavations. Some studies have demonstrated the huge variability in results from manual processes, which usually leads into a wrong typological classification of the profile. Moreover, after orienting the fragment, the final document is usually a bi-dimensional picture displaying several measurements and without any well defined standard with respect to appearance. In this paper we present a survey of those techniques that have been developed by our group and we raise some questions and challenges that still have to be solved.

**Key words:** POTTERY, 3D RECONSTRUCTION, PROFILE EXTRACTION,

## 1. Introducción

Una de las áreas más tediosas del trabajo arqueológico es la reconstrucción, dibujo y posterior clasificación de elementos extraídos de las excavaciones. Especialmente en el caso de los objetos cerámicos, éstos se suelen hallar fragmentados en diversas piezas que, para terminar de complicar el trabajo, suelen no estar todas.

En el caso de los fragmentos cerámicos procedentes de piezas generadas en torno (cuencos, vasijas, ánforas, etc...), el proceso de documentación está bastante bien definido y protocolizado (LEONARDI, 1991):

1. *Orientación.* Se coloca el fragmento con el borde totalmente apoyado en una mesa, y se toma la medida de la proyección vertical del fragmento para colocarlo en la posición original con la inclinación adecuada (figura 1.a)
2. *Estimación del radio.* Se usa un bordímetro (Figura 1.b), que es una serie de segmentos circulares concéntricos en una plantilla. Se estima como radio de la pieza el del arco concéntrico cuya curvatura mejor se ajuste al borde.
3. *Estimación del perfil.* Por perfil de una pieza entendemos la sección de ésta por un plano que contiene al eje de rotación (KAMPEL, 2000). Para la extracción de la

forma del perfil se utiliza un calibre milimetrado de precisión, y se mide el grosor del fragmento en distintas posiciones (Figura 1.c)

4. *Dibujo de la pieza.* Con las medidas tomadas, se realiza un dibujo siguiendo un estándar, que regula la posición del fragmento en el dibujo, las líneas auxiliares, la iluminación, el rellenado del perfil, etc... (Figura 1.d)
5. *Toma de medidas adicionales,* como el radio a diferentes alturas, ángulo de la boca, etc... que ayudan a clasificar morfológicamente la pieza de cerámica.

Estudios realizados por (LEONARDI, 1991) estiman el error con este procedimiento en  $\pm 15\%$ . No cabe duda que el factor humano es muy importante en todo este proceso, y la habilidad del arqueólogo y el dibujante juegan un papel quizá demasiado importante en el resultado final del dibujo y posterior clasificación de la pieza.

Entendemos que este es un caso en el que el uso de la informática puede servir de apoyo y notable ayuda a la labor del arqueólogo, pues no cabe duda que con un proceso de orientación y dibujo de la pieza más preciso la clasificación posterior será mucho más acertada y sencilla.

En las siguientes secciones procederemos a analizar algunas soluciones planteadas por la comunidad científica para las

diversas etapas de la documentación de la cerámica, comenzando por un paso que obviamente no es necesario en el proceso manual: la digitalización del fragmento.

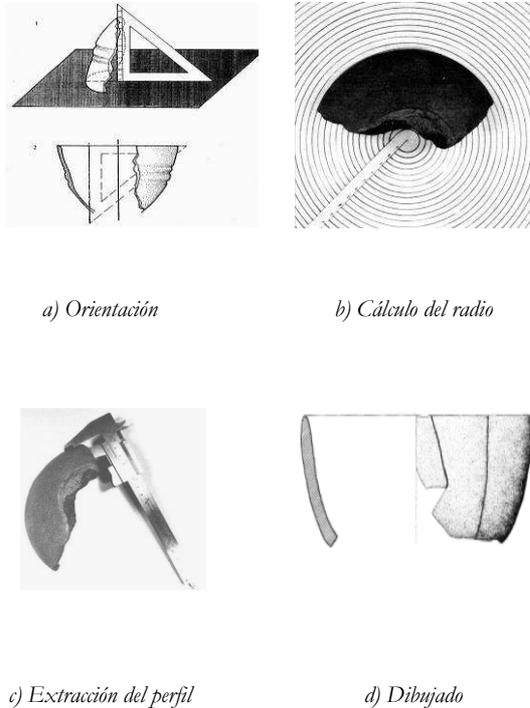


Figura 1. Etapas clásicas de la documentación de fragmentos cerámicos de torno

## 2. Digitalización 3D de fragmentos cerámicos

En los últimos años se ha desarrollado una inmensa labor por parte de los investigadores de la industria y la universidad para la obtención de mecanismos rápidos y precisos de la geometría tridimensional de objetos físicos (BERNARDINI, 2002; POLLEFEYS, 2003; HERITAGE3D, 2007; KAMPEL, 2006, KARASIC 2008).

En el caso de fragmentos cerámicos, se añade una pequeña complicación relativa al tamaño y la necesidad de obtener una precisión milimétrica en zonas especialmente sensibles, como los bordes y zonas de fractura. Además, el proceso ha de realizarse de una forma lo más rápida posible, en menos de cinco minutos, pues de lo contrario no hay ahorro temporal en el proceso de documentación y es fácil ceder ante el proceso conocido, aún a pesar del margen de error conocido.

Son numerosos los dispositivos que se pueden encontrar en el mercado para realizar una digitalización precisa y rápida de los fragmentos. Incluso desde laboratorios de investigación se desarrollan otras técnicas no basadas en láser, sino en luz estructurada. Tanto esta última tecnología como los escáner láser clásicos de triangulación -p.ej. el modelo *Minolta vivid*, Figura 2.a (KONIKA, 2009) tienen el pequeño inconveniente de la necesidad de realizar un postproceso de los datos para registrar y fusionar las distintas tomas, un proceso que no siempre está exento de errores numéricos. Se encuentran otros dispositivos

que permiten realizar la captura de datos no sólo con láser sino simultáneamente de forma táctil y en una sola toma ya que almacenan en todo momento la posición del dispositivo y obtienen las coordenadas 3D absolutas de la superficie, como es el caso del modelo *Faro ScanArm* de la figura 2.b (FARO, 2009).



Figura 2. a) Escáner de Triangulación. b) Escáner de contacto

Afortunadamente, existen hoy en día dispositivos que, siguiendo la filosofía *plug-and-play* permiten, con tan sólo la pulsación de un botón, la obtención de la geometría completa de objetos pequeños en apenas unos segundos (ROLAND, 2008).

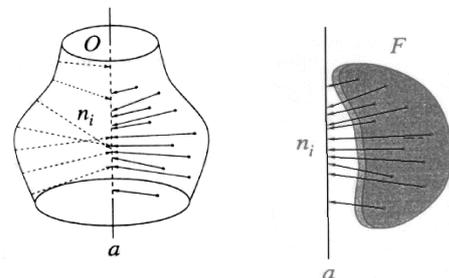


Figura 3. Orientación de un fragmento mediante la determinación del eje de rotación (KAMPEL 2000).

## 3. Orientación y extracción del perfil

Orientar un fragmento se puede entender de dos formas:

- Una primera que podríamos denominar *clásica*, en tanto en cuanto sigue la aproximación “manual”: encontrar el plano  $\alpha$  que contiene el borde, y por tanto, el fragmento estará bien orientado si este plano  $\alpha$  está paralelo al plano formado por los ejes XZ.
- Una segunda definición que sería más *algorítmica*, que sería encontrar el eje de revolución, perpendicular al plano XZ de la pieza torneada (Figura 3). Es la usada por el equipo de Kampel y Sablatnig (KAMPEL, 2000)

Los datos de entrada para este proceso es la superficie formada por la nube de puntos que genera el escáner, lo que nos permite en cada conocer en cada punto la normal de la superficie.

Ambas aproximaciones se pueden resolver mediante diversos algoritmos informáticos, bien mediante el uso de algoritmos genéticos (MELERO 2003), o aplicando aproximaciones estadísticas (KAMPEL, 2003; MARA, 2005). Otra posible distinción entre ambas aproximaciones es que la primera requiere de la intervención del experto, que ha de identificar el borde del fragmento, mientras que la segunda se puede realizar de forma totalmente automática.

En todo caso, el resultado final es, además de la orientación del fragmento, la detección del eje de rotación, puesto que es éste el que nos va a determinar el radio de la figura en cada punto del perfil.

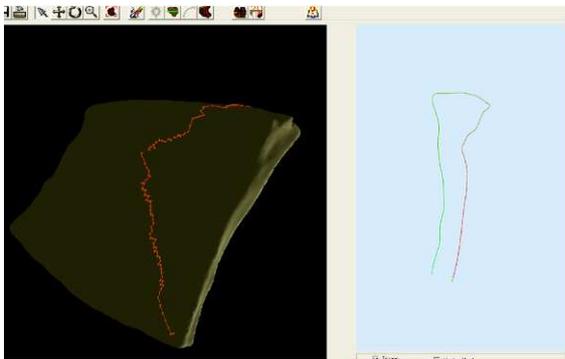


Figura 4: Selección interactiva del perfil.

La extracción del perfil se puede realizar de forma guiada o automática. En el primer caso, se permite al usuario seleccionar las zonas del fragmento más interesantes para la construcción del perfil, como se aprecia en la figura 4 (MELERO, 2003), bien por su ausencia de irregularidades o su acabado. Si se opta por la selección automática, el software determina el corte vertical de mayor longitud y extrae directamente el perfil (KAMPEL 2003), según se observa en la Figura 5, tal y como se hace manualmente con un perfilador. Esta última opción tiene el riesgo de que en el camino de este perfil se encuentren decoraciones e imperfecciones que distorsionen el perfil auténtico del fragmento.

Otro aspecto que abordan algunos autores tras la extracción del perfil es la generación de forma automática o semiautomática de las partes perdidas del perfil.

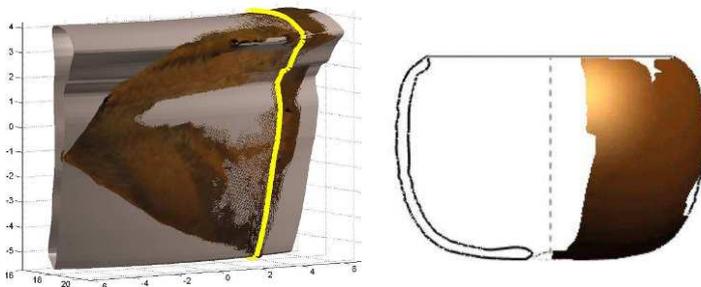


Figura 5: Selección automática del perfil

#### 4. Generación del dibujo arqueológico tradicional

Una vez se dispone del fragmento orientado, con el perfil y el eje de rotación del mismo, ya se puede pasar a la documentación y análisis del objeto.

El dibujo arqueológico tradicional sigue unas reglas en principio bastante estandarizadas, aunque los ritmos de trabajo hacen que muchas veces el dibujante no le pueda dedicar todo el tiempo que sería necesario a cada uno de los cientos de dibujos que tendría que hacer en cada excavación.

El propósito del dibujo arqueológico es documentar el fragmento y servir para la interpretación de la pieza. Para ello, se dibuja el perfil en el lado izquierdo y el fragmento o fragmentos en el lado derecho, como se aprecia en la Figura 6.

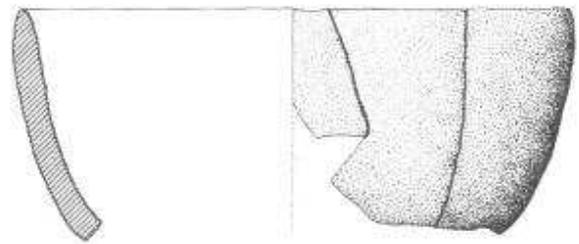


Figura 6: Dibujo manual de cerámica

Forma parte de la tarea de interpretación del arqueólogo el realce de ciertas partes de la superficie del fragmento, para destacar decoraciones o fracturas.

Desde principios de este siglo diversos grupos de investigación han desarrollado software para realizar de forma automática o interactiva el dibujo de fragmentos cerámicos (MELERO, 2003, CISA3 2009).

En la propuesta SIDRAC (Sistema Interactivo de Dibujo y Reconstrucción Automatizada de Cerámica), del Grupo de Investigación en Informática Gráfica de la Universidad de Granada, se plantea la posibilidad de parametrizar el dibujo, de forma que se puedan variar de forma interactiva las condiciones de iluminación y la posición de los fragmentos. El resultado son imágenes como las mostradas en la Figura 7.

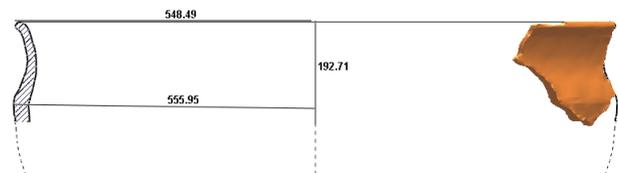


Figura 7: Dibujo arqueológico obtenido con el software SIDRAC

Igualmente, el fragmento no sólo se puede mostrar con una textura más o menos realista, sino que se podrían aplicar las

técnicas de ilustración no fotorealista presentadas en (RAMOS 2009), como las de la Figura 8.

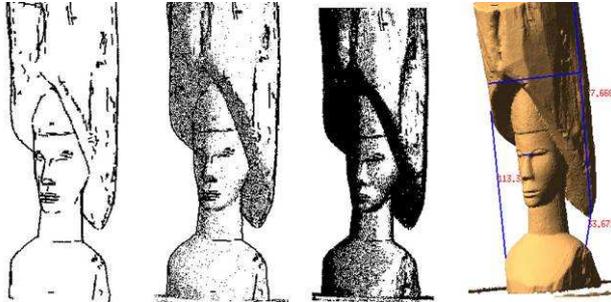


Figura 8: Ilustración artística generada por ordenador

Un aspecto imprescindible de toda aplicación CAD es la toma de medidas, lo que se puede realizar de forma exacta sobre el modelo tridimensional o sobre el dibujo 2D, como se aprecia en las cotas de la figura 7.

### 5. Reconstrucción virtual 3D de cerámica arqueológica

El disponer de la información digitalizada de los fragmentos, así como de su textura original, nos permite dar un paso más allá de lo que se puede obtener con el simple dibujo 2D, y obtener modelos virtuales de la pieza cerámica completa tan sólo revolucionando el perfil alrededor del eje de rotación calculado en el primer paso.



Figura 9. Modelo virtual 3D obtenido con SIDRAC a partir de un fragmento (incrustado en gris en el modelo)

Además, la tridimensionalidad nos permite calcular otros parámetros como la capacidad del recipiente, el volumen de

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía TIC-401 y el proyecto del investigación TIN2007-67474-C03-02 del Ministerio de Educación y Ciencia y Fondos FEDER.

barro utilizado, el peso original, y otras propiedades que no son tan fáciles de inferir a partir de simples dibujos bidimensionales.

### 6. Conclusiones

En la comunidad científica internacional ha habido un claro interés en abordar el problema de la digitalización y reconstrucción de cerámica arqueológica, con la idea de hacer más fácil el trabajo de laboratorio de los equipos arqueológicos.

Los problemas iniciales de coste y error de los dispositivos de digitalización parece que han sido o serán solventados en los próximos meses por la industria de escáner láser, por lo que se puede deducir que en unos años el uso de estas tecnologías para la documentación de los fragmentos cerámicos procedentes de excavaciones será tan común como lo es ahora el perfilador y el bordímetro.

Por otro lado, aunque se han desarrollado numerosos prototipos y algoritmos para la orientación y extracción de perfiles, no existe aún ningún software, libre o comercial, que aborde el problema en su integridad. Actualmente estamos desarrollando el SIDRAC v.2.0 que esperamos que en unos meses ocupe el hueco que se presenta en la actualidad en cuanto a las herramientas informáticas de apoyo al arqueólogo.

Lo que ha quedado demostrado en los diferentes trabajos existentes en la bibliografía es que con las técnicas informáticas se consigue una precisión y exactitud mucho mayor que con el procedimiento manual, de forma que no se deja en manos de la pericia o habilidad del arqueólogo o dibujante la correcta orientación de los fragmentos. Por tanto, una correcta orientación de fragmentos y consecuentemente un correcto cálculo del eje de rotación, permite una mucho más adecuada clasificación del fragmento dentro de las distintas tipologías existentes, dejando en manos del experto tan sólo la interpretación.

En estos trabajos queda reflejado cómo la comunidad informática colaborar con la arqueológica con un papel activo y no meramente utilitarista, y ésta última requiere –y obtiene– de aquella una comprensión profunda de los problemas que se le plantean para una adecuada solución de los mismos. Es imprescindible, en nuestra opinión, que en un futuro los equipos de investigación en arqueología, restauración y otras disciplinas del patrimonio sigan estando receptivos al uso de las nuevas tecnologías, no como meras herramientas para reproducir mecanismos tradicionales, sino para explorar nuevas rutas del conocimiento.

## Bibliografía

- BERNARDINI, Fausto y RUSHMEIER, Holly (2002): "The 3D Model Acquisition Pipeline". En *Computer Graphics Forum*, n° 21, vol. 2, pp. 49–172,
- CISA3 (2009) "The Digital Pottery Informatics" project, Center of Interdisciplinary Science for Art, Architecture and Archaeology (CISA3), Univ. California [online] <http://cisa3.calit2.net/> [Consulta 01-04-2009]
- FARO TECH.Inc. (2009). Faro Laser Scan + Arm, [online] <http://www.faro.com> [Consulta 01-04-2009]
- HERITAGE 3D (2007), "3D Laser Scanning for Heritage" [online] <http://www.heritage3d.org> [Consulta: 01/04/2009]
- KAMPEL, Martin (2000): "Computer Aided Classification of Ceramics", en *Proceedings of the 1st International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage*, VAST 2000
- KAMPEL, Martin y SABLATNIG, Robert (2003): "Profile based pottery reconstruction". En "*Proc. Of IEEE/CVPR Workshop on Applications of Computer Vision in Archaeology*".
- KAMPEL Martin, MARA Hubert., SABLATNIG Robert (2006)., "Automated Investigation of Archaeological Vessels", en: M. Luise, (Ed.), *Proc. of EUSIPCO2006: 13th European Signal Processing Conference*
- KARASIK, A., y SMILANSKY, U. (2008). "3D Scanning Technology as a Standard Archaeological Tool for Pottery Analysis: Practice and Theory". *Journal of Archaeological Science*, Vol. 35, 1148--1168.
- KONICA MINOLTA (2009), Minolta Vivid 910 [online] <http://www.minolta3d.com> [Consulta 01-04-2009]
- LEONARDI G. y PENELLO G. (1991): "Il disegno archeologico della ceramica" en *Saltuarie dal Laboratorio del Piovego*, 2.
- MARA Hubert (2005), "Automated 3D-Scanning & Analysis of Archaeological Objects", en *Proc. of Modeling, Interface and Control (MIC/LASTED)*, Innsbruck, Austria..
- MELERO Fco. Javier, et al. (2003): "On the Interactive Reconstruction of Iberian Vessels", *I Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, VAST'03, Brighton (UK)
- POLLEFEYS, Marc et al. (2001). "Image-based 3d acquisition of archeological heritage and applications", en *Proceedings of the 2nd International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage, VAST 2001*, pp 255–261
- POLLEFEYS, Marc et al. (2003), "3D Capture of Archaeology and Architecture with a Hand-Held Camera", en *Proceedings of the ISPRS workshop on Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives, The International Archive of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 5/W12*, pp. 262--267
- RAMOS, Beatriz y MELERO, Fco. Javier. (2009) "Automatic pen-and-ink drawings of 3D archaeological objects", *Computer Applications in Archaeology 2009*, Williamsburg (USA).
- ROLAND IBERIA S.A. (2008), Escáner láser LPX-6000 Series [online] <http://www.rolandgiberia.com/> , [Consulta: 1-04-2009].