

CREACIÓN DE IMPLANTES 3D EN PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE VIDRIO ARQUEOLÓGICO

MAKING 3D IMPLANTS FOR CONSERVATION AND RESTORATION OF ARCHAEOLOGICAL GLASS

Carmen Díaz-Marín*, Elvira Aura-Castro

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España. madiama@posgrado.upv.es; eaurea@crbc.upv.es

Resumen:

En este artículo se restaura un cuenco de vidrio del siglo XVI-XVII mediante la creación de su modelo tridimensional (3D) con el fin de operar con él y eliminar el riesgo que entraña la manipulación de objetos frágiles. Las áreas faltantes, correspondientes a los fragmentos de vidrio no encontrados en la excavación, se han llevado a cabo mediante la construcción digital de implantes. Para elaborar los implantes se ha duplicado un volumen del modelo 3D del cuenco adaptándolo al espacio confinado en las áreas vacías. La impresión de los implantes se ha hecho con filamento acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Estos implantes, que sustituyen a las zonas perdidas, han devuelto la estabilidad a la pieza y han permitido recrear la morfología original. El resultado puede ser comparado al obtenido por métodos tradicionales, pero difiere en que requiere una mínima manipulación del objeto, contribuyendo así, a la preservación y salvaguarda del objeto restaurado. Este método no invasivo se ofrece como un tratamiento alternativo, donde el objeto arqueológico es sustituido por su modelo virtual en todas las fases del proceso posteriores a la captura de datos 3D. No se han encontrado diferencias significativas en cuanto a los resultados obtenidos de impresión 3D con los dos tipos de filamentos ensayados (blanco y translúcido).

Palabras clave: vidrio arqueológico, reconstrucción 3D, modelado 3D, impresión 3D, restauración

Abstract:

This article describes the restoration of a glass bowl from the 16th-17th century by creating its three-dimensional (3D) model. The final purpose is to work with this model in order to avoid damaging situations that are associated with the manipulation of fragile objects. The gap areas, those corresponding to the missing fragments not found in the excavation, were carried out by constructing digital implants. A restricted area of the 3D model has been duplicated in order to accommodate it to confined intervals of the gap. The final implants were printed with acrylonitrile butadiene styrene (ABS) filament. These implants replace the lost areas and give stability back to the item by recovering the original morphology. The result can be compared with the outcome obtained by a traditional process, but differs due to the fact that requires minimum manipulation of the item, so it can contribute to preserve and safeguard the restored object. This is a non-invasive method which is offered as an alternative treatment, where the archaeological object is replaced by its virtual model in the steps of the process after 3D data acquisition. Significant differences have not been found in the 3D printing results obtained with the two types of filaments tested (white and clear).

Key words: archaeological glass, 3D reconstruction, 3D modelling, 3D printing, restoration

1. Introducción

Una gran parte del vidrio arqueológico exhumado presenta un deterioro característico con indicadores claros de las condiciones de elevada humedad con la que ha interactuado durante años. Su extracción conlleva una rápida deshidratación del material provocando pérdida de transparencia, iridiscencia y desprendimientos de la superficie material (Navarro, 2000). También es frecuente la observación de fragmentaciones en el objeto que pueden dar lugar a áreas correspondientes a fragmentos no encontrados, por lo que se las denominan áreas de fragmentos faltantes. Esas zonas, que quedan vacías tras adherir los fragmentos existentes, pueden recuperarse durante el proceso de restauración de la pieza a través de reconstrucciones volumétricas. Consisten en volcar

resinas translúcidas o transparentes dentro de unos moldes que reproducen el hueco de las áreas que faltan.

Para reconstruir los faltantes se buscan materiales compatibles con el vidrio arqueológico teniendo en cuenta la transparencia. En algunos casos se ha recurrido al mismo vidrio como material de reintegración (Palomar, 1994), sugiriéndose que la fragilidad de estas intervenciones puede llegar a ser un inconveniente importante. Otra alternativa ha sido optar por materiales utilizados en la restauración de piezas cerámicas como es el yeso o escayola a pesar de que no cumplen con el requisito de la transparencia que caracteriza al vidrio debido al conjunto de ventajas que ofrecen cuando se emplean en materiales arqueológicos. Este tipo de restauraciones aún son visibles en algunos museos.

*Corresponding author: Carmen Díaz-Marín, madiama@posgrado.upv.es

Pero sin duda, la aparición de las resinas transparentes o traslúcidas de tipo epoxi, de poliéster, de poliuretano y de tipo acrílico, ha hecho que se impongan a cualquier material anteriormente utilizado. Estas pueden ser coloreadas o pintadas modificando el resultado y adaptándose al color o a la policromía de la pieza (Casañ, 2015).

En cuanto a los métodos que se utilizan para la obtención de los faltantes el más habitual es a través de un molde. Estos moldes que servirán para el vertido de la resina pueden ser: directos o indirectos. En el método directo el molde se obtiene a partir de una zona del vidrio similar a la que se quiere reproducir. Este molde se traslada, posteriormente, a la zona del faltante y el vertido de la resina se realiza directamente sobre la pieza de vidrio. En el método indirecto el molde se obtiene a partir de una réplica del fragmento faltante. La réplica se extrae del objeto de vidrio para poder elaborar un molde a partir de ésta. De este modo, el vertido de la resina se realiza sobre un molde indirecto con total independencia de la pieza de vidrio que se está restaurando (Davison, 2006; Koob, 2000; Santos, 2015). Dependiendo del objeto se abordará la reconstrucción con un método u otro.

El uso de moldes indirectos formados por varias partes está indicado cuando el porcentaje de vidrio que se conserva no es elevado. En estos casos, en lugar de replicar las áreas faltantes, se opta por realizar un soporte interior, generalmente de resina transparente, que permita adherir o sujetar los fragmentos que se han conservado (López & Sandoval, 2009). El molde en este caso servirá para crear el soporte interior. Este molde estará constituido por varias partes debido a la complejidad del objeto a reproducir ya que se trata de crear una pieza similar a la existente, aunque de menor diámetro o tamaño, que necesita ser modelada de nuevo. La nueva pieza, de menor tamaño, puede realizarse con cera de modelar. Los dibujos arqueológicos, si están disponibles, pueden resultar de gran ayuda en cuanto que proporcionan información del perfil y del diámetro.

Los ejemplos expuestos aparecen frecuentemente en la bibliografía especializada ya que son los métodos más habituales. En otra línea encontramos un método sugerido en los años 60 (Geyde, 1968), aunque no recomendado para uso general dado las limitaciones propias del mismo. Se trata de recortar la forma de los faltantes en una lámina de acrílico (Perspex), para darle forma con aire caliente y curvar el material según la forma de la pieza original. Una versión más actual (Oviedo, 2012) utiliza láminas de tereftalato de polietileno o PET y láminas de polipropileno o PP. Primero se lleva a cabo una plantilla del faltante perdido que permite recortar la forma correcta en PET o PP para adherirlo al objeto. Se considera una intervención poco invasiva con la pieza, pero su aplicación se limita a un tipo concreto de faltantes por lo que su práctica es limitada.

En el *Corning Museum of Glass* han presentado una nueva técnica para la recuperación de faltantes, donde se vierte Paraloid B-72 disuelto en acetona en unos moldes para conseguir unas láminas del grosor necesario. Las láminas resultantes pueden quedar texturizadas por las burbujas de aire que quedan atrapadas en su interior o pigmentarse según el color de la pieza original. La lámina se extrae del molde en

estado todavía flexible para poder darle la forma deseada. Tras su curado se recorta la forma de la zona faltante y se adhiere a la pieza original por medio de un pincel con acetona (Koob, Benrubi, Van Giffen, Astrid, & Hanna, 2011).

La reconstrucción habitual de faltantes de vidrio arqueológico implica, tal y como hemos visto, procesos manuales caracterizados por constituir tareas laboriosas, a menudo difíciles donde, de manera frecuente, el vidrio queda expuesto a un gran riesgo de deterioro por su fragilidad intrínseca y su delicado estado. Ante esta problemática, en la que el riesgo de deterioro se incrementa cuando se acomete la restauración directa, se propone un método de restauración no invasivo al llevar a cabo el modelado digital en 3D de las áreas faltantes y la impresión de estos implantes. De este modo, se intenta someter a la pieza original a la mínima manipulación al reducir los procesos a los que está sometida puesto que se sustituye el objeto original por un modelo digital en 3D con el que trabajar. Este método ha sido utilizado en otros materiales, en Barreau *et al.* (2014) se crea el modelo 3D de una serie de fragmentos de cerámica para generar un modelo completo de la pieza que se imprime en 3D y sirve como soporte a los fragmentos conservados, similar al realizado (López & Sandoval, 2009) explicado anteriormente pero sin el proceso de modelado y moldeado manual. La aplicación de estas técnicas puede resultar tan completa como la realizada en la restauración de la *Madonna de Pietranico* (Arbace *et al.*, 2013), una estatua de terracota dañada tras un terremoto que quedó muy fragmentada con fragmentos de diferentes tamaños y pérdidas importantes. A través de los modelos 3D de los fragmentos se ha hecho un ensamblaje virtual, se han modelado o generado los faltantes y se ha realizado una reintegración cromática virtual con el objetivo de facilitar y guiar la fase de restauración. La restauración virtual estaría indicada en los casos donde no hay suficientes datos para conocer cómo eran los fragmentos desaparecidos permitiendo mostrar una hipótesis de cómo podría haber sido la pieza original. En este caso la aplicación de las nuevas tecnologías puede abrir nuevas posibilidades como la presentada en Díaz, *et al.* (2015), donde se realizó la reconstrucción virtual de una escultura arqueológica de terracota llamada el "*Crist del Fossar*". La estatua formará parte de una exposición temporal del Museo de Prehistoria de Valencia donde los visitantes podrán apreciar la restauración de los pocos fragmentos que se han conservado al tiempo que podrán explorar la reconstrucción virtual de la estatua entera a través de una visualización mediante realidad visual inmersiva.

El estudio de técnicas que potencialmente pueden sustituir a las tradicionales va en aumento constituyendo una opción que debe ser investigada.

2. Metodología

El proceso propuesto se inicia una vez que la pieza seleccionada ha sido estabilizada durante la fase de intervención y todos los fragmentos han sido adheridos. La manipulación de la pieza queda reducida a su escaneado y a la prueba del implante impreso. Las fases aparecen descritas en Díaz & Aura (2016) y serían: adquisición 3D, optimización de la malla 3D, creación del implante e impresión 3D.

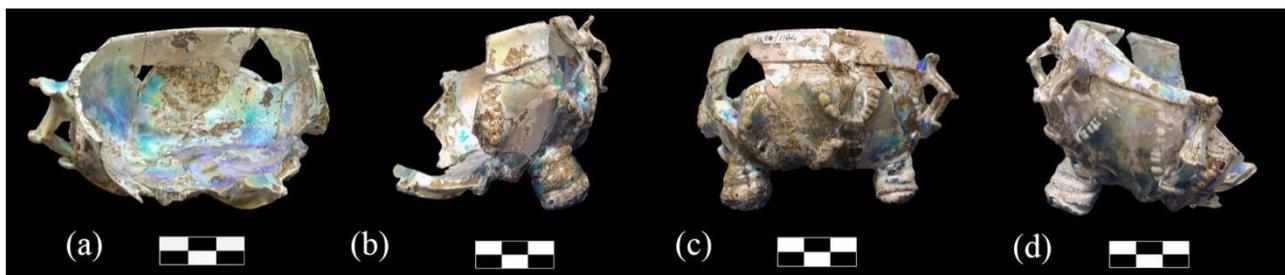


Figura 1: Objeto de vidrio arqueológico: a) vista frontal; b) perfil derecho; c) vista de atrás; y d) perfil izquierdo.

2.1. Materiales y equipamiento

2.1.1. Objeto de vidrio arqueológico

En cuanto a la pieza seleccionada, se optó por un cuenco de vidrio del siglo XVI-XVII del Museo de Cerámica de Manises. Presenta un cuerpo semiesférico, con un resalte exterior en la zona del labio con aspecto de cinta vuelta. Conserva dos pies del tipo pata de elefante y tres asas realizadas por aplicación en caliente de hilos de vidrio donde quedan marcados tres apéndices. La decoración en relieve tiene forma de nervios distribuidos por parejas semejantes al número "8" pero estilizados y no cerrados en los extremos, con presencia de puntos de color blanco (Fig. 1). Como zonas faltantes presenta un asa y parte del cuerpo semiesférico incluyendo un pie y tres asas. Para validar el método se ha escogido realizar la reconstrucción del faltante de mayor tamaño.

2.1.2. Equipamiento 3D

Se compone de un escáner 3D *Konica Minolta vivid 900*, una impresora 3D *Mini Up!*, dos tipos distintos de filamento ABS suministrado por *Entresd* y *3D Ink* y dos software libres: *MeshLab v. 13.3* para el procesado de malla y *Blender 2.68a* para la creación y modelado del implante.

2.2. Adquisición 3D

Para la adquisición de un objeto de vidrio por medio de un escáner láser hay que solventar un problema: este tipo de escáner utiliza un sistema de registro incompatible con superficies transparentes, refractivas/reflexivas o brillantes. Para evitar este inconveniente se buscó una solución que ha permitido volver opaca la superficie del objeto temporalmente. Para ello se utilizó ciclododecano en aerosol, una sustancia muy conocida y utilizada en el campo de la restauración, que crea una capa blanca opaca que se evapora a temperatura ambiente y no deja residuos. De esta manera, se puede escanear el vidrio y la pieza no sufre ningún deterioro al evaporarse la sustancia opacificante. La bondad de este método ha quedado demostrado en *Díaz, Aura, Sánchez, & Vendrell (2015)*.

Una vez opacificado el vidrio, hay que realizar un plan de registro de las tomas, para controlar que el objeto queda correctamente adquirido (*Cano, et al., 2010*). La pieza se colocó sobre una plataforma giratoria, haciendo un registro cada 45° y obteniendo un total de 8 mallas alineadas. Este proceso se realizó dos veces: una para adquirir la parte interior y otra para la parte exterior.

El archivo generado por la aplicación del escáner (*Polygon Editing Tool*) es exportado en formato STL para su optimización.

2.3. Optimización de mallas 3D

Cada escaneado ha generado dos modelos (interior y exterior de la pieza). El procesado se divide en dos partes: primero se hacen la alineación y fusión de las diferentes capturas para obtener el modelo 3D y después en el postprocesado, se eliminan los errores y se optimiza el modelo final (*Gómez et al., 2015*). Primero hay que tratar cada parte por separado, para unirlos después, revisar y corregir la superficie del resultado de la fusión (Fig. 2). El tiempo de trabajo de esta fase se ve reducido considerablemente por el resultado tan satisfactorio en la calidad de la malla obtenida con la ayuda del ciclododecano.

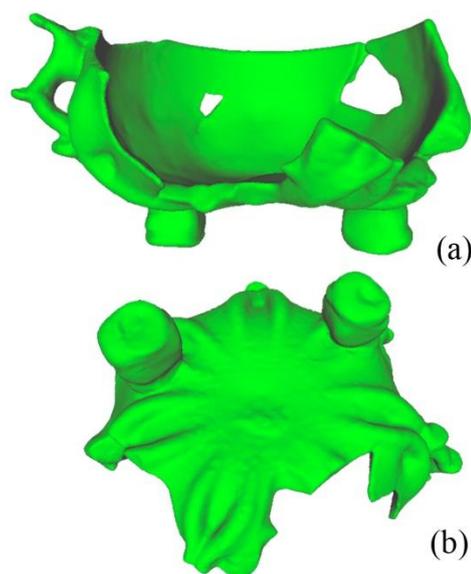


Figura 2: Modelo 3D optimizado: a) vista frontal; b) vista de la base.

2.4. Creación del implante

El modelado del implante (zona faltante) se ha hecho a partir del objeto original, en vez de modelar desde cero esa zona, hemos adaptado la parte que ya existía al área vacía. El proceso se realiza a partir del modelo 3D (Fig. 3.1) que importamos a *MeshLab*.

Analizando la superficie, seleccionamos un área similar a la desaparecida. En este caso hay que tener en cuenta la decoración exterior. Como no se tiene un lateral completo se opta por escoger una sección reducida, la cual se duplicará y unirá creando el faltante. Ésta se corresponde con la zona de asa y del nervio en relieve (Fig. 3.2).

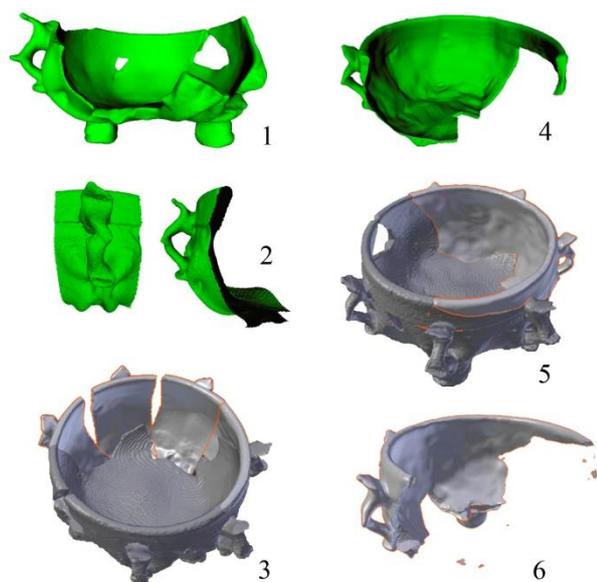


Figura 3: Proceso de creación del faltante a partir del modelo 3D utilizando MeshLab y Blender: 1) Modelo 3D; 2) Sección del modelo seleccionada para realizar el implante; 3) Duplicado de la sección para cubrir la zona faltante; 4) Implante antes de la función booleana; 5) Posicionado del implante y opción Boolean; 6) Resultado del Boolean en el implante.

Este modelo lo exportamos para llevarlo a Blender, donde haremos todo el trabajo de modelado.

Se importan tanto el modelo 3D del objeto original como la sección extraída. Se alinean los modelos y se duplica la sección para dar forma al implante. En este caso el proceso se facilita por la existencia de las asas, al analizar la pieza se observa que faltan tres, por lo que se duplica la sección tres veces (Fig. 3.3).

Se exporta el modelo resultante que está dividido por las diferentes secciones que lo forman, se lleva a MeshLab para unirlos (Fig. 3.4) y generar un solo modelo devolviendo el modelo a Blender para ultimar el modelado.

Con las herramientas de modelado que ofrece dicho programa adaptamos el implante y se retoca el modelado recuperando así la forma perdida (Fig. 3.5). Por último, se modela el perfil de la fractura para poder unir el modelo 3D del vidrio con el modelo 3D del implante. Se aplica la opción *Boolean (Diferencia)* que aparece en la barra de *Propiedades*, en *Modificadores*. Teniendo seleccionado el implante obtenemos el perfil de la fractura, es decir, la huella opuesta del perfil original (Fig. 3.6) para conseguir el acople entre las dos piezas. En cuanto al tercer pie (desaparecido), se recuperó de la misma manera, duplicando uno de los pies que se conservan y adaptándolo a la zona donde debía estar el faltante y aplicando la opción *Boolean* para el ajuste.

Una vez obtenido el implante se exportó en STL para su impresión en 3D.

2.5. Impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología de fabricación digital basada en la reproducción de un modelo o geometría 3D por la superposición de capas. Existen varios tipos de técnicas, como el modelado por deposición de

fundente, por vinculación de materiales granulares o por fotopolimerización (Scopigno *et al.*, 2014). La impresora utilizada es una *3D Mini Up!*, realiza la reproducción por modelado por deposición de fundente. Los materiales utilizados por las impresoras 3D (filamentos) son termoplásticos que funde por calor volviéndose más fluidos para poder ser modelados. Éstos van enrollados en bobinas que se colocan al lado de la impresora. Su funcionamiento es simple, el filamento se calienta y sale por el extrusor depositándose sobre una plataforma precalentada. La pieza se levanta de abajo arriba y a su vez va creando una estructura que sujeta las partes salientes. El filamento seleccionado es ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) de 1.75 mm. Tiene como propiedades: elevada resistencia química y térmica, ductilidad, resistencia frente al impacto y estabilidad dimensional frente a los cambios de temperatura.

Su superficie puede ser tratada mediante lijado y pulido o con vapores de acetona dándole un acabado muy liso y brillante (Shashoua, 2009).

Se han seleccionado dos tipos ABS en blanco (*white*) y translúcido (*clear*). La impresión del implante llevó 2 horas y 30 minutos.

3. Resultados y discusión

Tras el proceso explicado hemos obtenido el modelo 3D del objeto original, el modelo 3D del implante (Fig. 4) y las impresiones 3D.

Se han solventado los problemas inherentes del escáner láser utilizado durante la adquisición ya que utiliza un sistema de registro incompatible con superficies transparentes, refractivas/reflexivas o brillantes. Para ello, se ha opacificado la superficie del objeto temporalmente con ciclododecano en aerosol. Por extensión, este producto podría ser aplicado en la obtención de la malla 3D por fotogrametría. En Barreau *et al.* (2014) quedaba establecido un protocolo de registro de fragmentos cerámicos mediante la técnica fotogramétrica pero sin actuar sobre objetos de naturaleza transparente o translúcida tales como vidrio arqueológico.

El modelo optimizado ha perdido un poco de precisión con respecto al original durante el proceso de corrección de la malla. Esto ha provocado algunos errores de acople entre el objeto y el implante que han sido

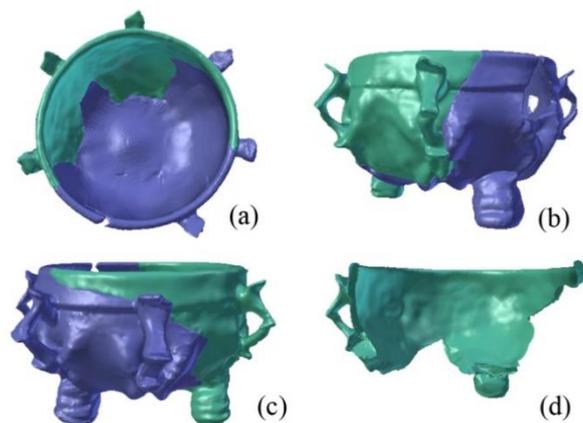


Figura 4: Modelo 3D del cuenco con el faltante reconstruido de forma digital (en morado la parte original y en verde el faltante reconstruido): a) vista superior; b) vista lateral derecha; c) vista lateral izquierda; d) faltante.

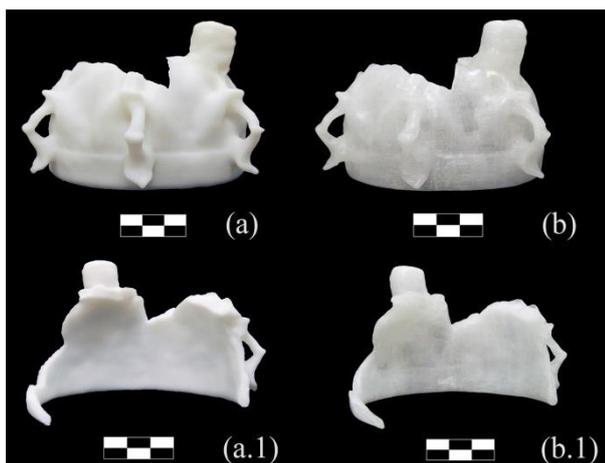


Figura 5: Impresiones 3D utilizando dos filamentos: blanco (a, a.1); y translúcido (b, b.1).

corregidos tras la primera impresión y su prueba en el objeto original. La óptima calidad de la impresión del implante ha quedado patente en el resultado de la decoración exterior (Fig. 5).

Las piezas impresas resultantes (Fig. 6) son de dos colores, blanco y translúcido, donde tras un tratamiento

superficial, a base de lijas y microtorno, se obtiene una superficie óptima para reintegrar cromáticamente.

En cuanto al perfil de fractura de unión con la pieza original, se ha conseguido el acople óptimo a pesar de que en ciertas zonas del implante llegan a detectarse puntualmente ligeros desajustes en el material termoplástico. Estos implantes, que sustituyen a las zonas perdidas, han devuelto la estabilidad a la pieza y recrean la morfología original de manera similar a la descrita en Arbace et al. (2013) y en Tsiafaki et al. (2016) mediante el modelado de áreas que se adaptan a las zonas vacías.

Sin cubrir cromáticamente la superficie del implante, cada una de las opciones ofrece diferentes cualidades a valorar para seleccionar la más adecuada: en *white* las formas de la decoración se aprecian bien definidas, mientras que en *clear* las formas se suavizan por el color del material. Tras el tratamiento superficial las dos opciones adquieren brillo y en el caso de *clear* mayor grado de transparencia. Dependiendo del resultado que se quiera (con recubrimiento cromático o no) se aconseja un tipo u otro. De este modo, la opción *clear* puede resultar idónea si se opta por no cubrir la superficie de color y aprovechar así el brillo del acabado de este material translúcido.



Figura 6. Resultado final de las impresiones 3D con filamento blanco (arriba) y translúcido (abajo).

4. Conclusiones

Se ha propuesto un método de restauración no invasivo al llevar a cabo el modelado digital en 3D de las áreas faltantes y la impresión de estos implantes en ABS para incorporarlos al vidrio arqueológico intervenido. Con este método se ha evitado la manipulación de los objetos arqueológicos durante la fase de reconstrucción volumétrica permitiendo un tratamiento ventajoso que resulta viable. El resultado puede ser comparado al obtenido por métodos tradicionales, pero difiere en la

excesiva manipulación del objeto en el método tradicional, contribuyendo el método digital a una preservación y salvaguarda del material recuperado. Aparentemente no se han encontrado diferencias significativas en cuanto a los resultados obtenidos con los dos tipos de filamentos utilizados.

En la siguiente fase se aplicará el procedimiento establecido a diferentes piezas de material arqueológico, ampliando el número de filamentos, para continuar desarrollando este método.

Agradecimientos

El trabajo se ha desarrollado gracias al Programa del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 del Ministerio de Economía y Competitividad de España, Proyectos HAR2012-38391-C02-01 y HAR2012-38391-C02-02. También se ha desarrollado a través del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad en el marco del

Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 del Ministerio de Economía y Competitividad de España con cofinanciación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), Proyecto HAR2015-69408-R (MINECO/FEDER). Los autores quieren agradecer la colaboración del Museo de Cerámica de Manises y especialmente a su directora Dña. Sara Blanes Ibáñez, por proporcionar la pieza usada para ilustrar la técnica propuesta.

Referencias

- 3D Ink (2016). ABS 1.75 mm. Recuperado el 5 de febrero de 2016 de <http://www.buy3dink.com>
- Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Idelson, A. I., & Scopigno, R. (2013). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage*, 14(4), 332–345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.008>
- Barreau, J. B., Nicolas, T., Bruniaux, G., Petit, E., Petit, Q., Bernard, Y., Gaugne, R., & Gouranton, V. (2014). Ceramics Fragments Digitization by Photogrammetry, Reconstructions and Applications. En *International Conference on Cultural Heritage, EuroMed*. arXiv preprint arXiv:1412.1330.
- Cano, P., Lamolda, F., Torres, J. C., & del Mar Villafranca, M. (2010). Uso de escáner láser 3D para el registro del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones de La Alhambra. *Virtual Archaeology Review*, 1(2), 89–94. <http://dx.doi.org/10.4995/var.2010.4695>
- Casañ, L. G. (2015). *Estudio de resinas idóneas en los procesos de reconstrucción de vidrio arqueológico* (Tesis de máster). Universitat Politècnica de València, España.
- Davison, S. (2006). *Conservation and Restoration of Glass*. London: Butterworth-Heinemann, pp. 220–223.
- Díaz-Marín, C., & Aura-Castro, E. (2016). Restauración de vidrio arqueológico: reconstrucción de fragmentos faltantes mediante modelado e impresión 3D. En J.L. Lerma & M. Cabrelles (Eds.), *Proceedings of the ARQUEOLÓGICA 2.0 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation* (pp. 330–332). Valencia, Spain. <http://dx.doi.org/10.4995/arqueologica8.2016.4479>
- Díaz-Marín, C., Aura-Castro, E., Sánchez-Belenguer, C., & Vendrell-Vidal, E. (2016). Cyclododecane as opacifier for digitalization of archaeological glass. *Journal of Cultural Heritage*, 17, 131–140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2015.06.003>
- Díaz-Marín, C., Vendrell-Vidal, E., Aura-Castro, E., Abate, A. F., Sánchez-Belenguer, C., & Narducci, F. (2015, September). Virtual reconstruction and representation of an archaeological terracotta statue. En *2015 Digital Heritage* (Vol. 2, pp. 699–702). <http://dx.doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7419602>
- EntresD (2016). Consumibles. Recuperado el 5 febrero de 2016 de <http://entresd.es/es/info/sobre-nosotrosentresd>
- Gedye, I. (1968). Pottery and glass. *The conservation of cultural property with special reference to tropical conditions, Museums and Monuments*, 11, 109–113. <http://unesdoc.unesco.org/images/0004/000462/046240eo.pdf>
- Gómez, F. D., Peiró, J. J., Benavent, A. B., Recuenco, B. A., & Juan, J. H. (2015). Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual. *Virtual Archaeology Review*, 6(12), 29–37. <http://dx.doi.org/10.4995/var.2015.4150>
- Koob, S. P. (2000). New techniques for the repair and restoration of ancient glass. *Studies in Conservation*, 45 (Sup1), 92–95. <http://dx.doi.org/10.1179/sic.2000.45.Supplement-1.92>
- Koob, S. P., Benrubi, S., Van Giffen, N. Astrid R., & Hanna, N. (2011). An old material, a new technique: casting paraloid B-72 for filling losses in glass. En *Proceedings of Symposium 2011 – Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Application* (pp. 1–14). Ottawa, Canada: Canadian Conservation Institute. <https://www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/PDFs/Paper%2035%20-%20Koob%20et%20al.%20-%20English.pdf>
- López, M. Q., & Sandoval, J. G. (2009). Restauración de vidrio arqueológico. Montaje de vidrio arqueológico sobre resina en las lámparas de la sinagoga de Lorca para su exposición. En *XX Jornadas de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia* (pp. 267–275).
- Navarro, J. F. (2000). Causas del deterioro físico y químico de los vidrios históricos. Jornadas Nacionales sobre Restauración y Conservación de Vidrios, Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso, Spain (pp. 17–37).

CREACIÓN DE IMPLANTES 3D EN PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE VIDRIO ARQUEOLÓGICO

- Oviedo, T. P. (2012). Reconstrucciones desmontables como alternativa reversible en el proceso de reintegración de materiales arqueológicos, *Ge-conservation*, 3, 117–131. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4251819>
- Palomar, M. E. O. (1994). Tratamiento para la conservación, restauración y exposición de vidrios antiguos: la reintegración del vidrio con vidrio. *Boletín del Museo de Zaragoza*, (13), 303–312.
- Shashoua, Y. (2009). *Conservation of Plastics: Materials Science, Degradation and Preservation*. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann.
- Scopigno, R., Cignoni, P., Pietroni, N., Callieri, M., & Dellepiane, M. (2014). Digital fabrication technologies for cultural heritage (STAR). En R. Klein, & P. Santos (Eds.), *12th Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage*. The Eurographics Association (pp. 75–85). http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2014/SCPCD14a/STAR-Fabrication-final_c.pdf
- Santos, N. G. P. (2015). Conservación y restauración de un lote de 94 piezas pertenecientes al Departamento de Antigüedades Medievales del Museo Arqueológico Nacional. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, (33), 155–170. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5337469>
- Tsiadaki, D., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., & Michailidou, N. (2016). Virtual reassembly and completion of a fragmentary drinking vessel. *Virtual Archaeology Review*, 7(15), 67–76. <http://dx.doi.org/10.4995/var.2016.5910>