



Diseño de embalajes para objetos culturales: método de plantillas por fotogrametría

Antonio J. Sánchez Fernández^{1,*} 
Beatriz Prado-Campos² 

¹ Conservador-Restaurador de Bienes Culturales, Cádiz, España

² Universidad de Sevilla, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura, Calle Laraña, 3, 41003 Sevilla, España

* asrestauracion@hotmail.com

Resumen

El objetivo de este artículo es ofrecer una base de trabajo en la manipulación de objetos culturales, con el diseño y creación de un embalaje técnico. Se analizan los factores que actúan en la seguridad de un objeto cultural en tránsito, dirigidos a impedir o minimizar cualquier riesgo. Asimismo, se definen las características que debe tener un embalaje para establecer un ambiente seguro, sólido y aislado de agentes de deterioro. Así, se propone la aplicación de una metodología digital de recopilación de datos para diseñar de forma precisa una estructura perfectamente adaptada a la morfología de la pieza. Se ha utilizado un programa informático para crear un modelo 3D y otro para descomponerlo en plantillas imprimibles.

Palabras clave

Embalaje
Fotogrametría
Modelo 3D
Conservación preventiva

Desenho de embalagens para objectos culturais: modelos por fotogrametria

Resumo

O objectivo deste artigo é proporcionar uma base de trabalho para a manipulação de objectos culturais através do desenho e criação de embalagens técnicas. Abordam-se os factores relevantes para a segurança do transporte de objectos culturais com vista à eliminação ou minimização de riscos. Igualmente se definem as características que deve ter uma embalagem para proporcionar um ambiente seguro e isolado dos agentes de deterioração. Assim, propõe-se o uso de uma metodologia digital de recolha de dados para desenhar de uma forma precisa uma estrutura perfeitamente adaptada à morfologia da peça. Utilizou-se um programa informático para criar um modelo 3D e outro para o decompor em moldes que podem ser impressos.

Palavras-chave

Embalagem
Fotogrametria
Modelo 3D
Conservação preventiva

ISSN 2182-9942



Packaging design for cultural objects: photogrammetry templates procedure

Abstract

The aim of this article is to provide a working basis for handling cultural objects through the design and creation of a technical package. Factors acting on the safety of a cultural object in transit are analysed with a view to preventing or minimizing the risks. The package characteristics required to establish a safe, secure and isolated environment (from the deterioration agents) also are defined. Thus, application of a digital data collection methodology is proposed to accurately design a structure suited to the piece morphology. We used one software to create a 3D model and another one to decompose it in printable templates.

Keywords

Packing
Photogrammetry
3D Model
Preventive conservation

Introducción

La actividad humana es una de las principales causas de deterioro de los objetos culturales. La manipulación, transporte, exposiciones, almacenamiento, así como la relación con el medioambiente, pueden implicar cierto riesgo sin una planificación o metodología.

Para el tránsito de objetos histórico-artísticos, el embalaje técnico debe asegurar la mayor protección posible con materiales adecuados, contemplando las características singulares de cada bien. Así, para el diseño de cada embalaje se tendrán en cuenta una serie de parámetros fundamentales como el peso (también hay que considerar el peso total del bulto), superficie de contacto del objeto con la espuma, fragilidad, morfología del elemento a trasladar, así como previsión de golpes y/o caídas, vibraciones o medidas medioambientales. Asimismo, los aspectos económicos influyen en la búsqueda de diferentes soluciones, aunque no deben comprometer la finalidad básica del embalaje: la protección del objeto cultural.

El embalaje se puede dividir en zona interna y externa: una, en contacto directo con la obra, protege de ralladuras e inmoviliza, y la otra, cumple la función de estructura exterior. De esta forma, una de las partes más importantes se sitúa en la zona de unión entre ambas, es decir, el anclaje del objeto a la caja. Así, podemos usar las nuevas tecnologías para diseñar embalajes más adaptados al contorno de cada obra y ofrecer una mayor estabilidad.

Respecto a las normativas europeas, la norma UNE-EN 15946:2012 (*Conservation of cultural property. Packing principles for transport*) recoge los principios de embalaje para el transporte, tanto antes del mismo (evaluación de riesgos, protección de la superficie, amortiguación, protección externa, etc.), el propio embalado, como la descarga, recepción y desembalado. De la misma forma, la norma UNE-EN ISO 780 (*Envases y embalajes. Símbolos gráficos para la manipulación de mercancías*) precisa el conjunto de símbolos convencionales para señalar las instrucciones de manipulación de los embalajes.

Por otro lado, es indispensable el conocimiento de materiales para el transporte de obras de arte [1]. El Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE) y el Departamento de Pintura y Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), desarrollan el proyecto POLYEVART. Esta línea de investigación evalúa diferentes productos que se utilizan en conservación-restauración [2].

El proyecto estudia los siguientes grupos de materiales:

- materiales usados como productos de conservación, embalaje, depósito y exposición, y polímeros en contacto con los Bienes Culturales (de sujeción, protectores, aislantes y de embalaje);
- materiales filmógenos utilizados en el tratamiento de los Bienes Culturales (adhesivos, consolidantes y recubrimientos).

Muchos de ellos, no estaban concebidos para su uso en contacto con bienes culturales por lo que se hace necesario el estudio de su composición y comportamiento en el tiempo, diferenciando entre contacto de duración limitada (transporte) y contacto a largo plazo (almacenamiento) [2].

El Instituto Canadiense de Conservación contempla otros aspectos y facilita un software (*PadCAD 3.0*) [3] capaz de calcular riesgos introduciendo los parámetros del paquete. Incorpora una amplia gama de materiales en su base de datos con la que simula predicciones que ayudan a diseñar las capas de amortiguación y aislamiento. Además, cuenta con asistencia para introducir los parámetros de diseño que advertirán de valores no adecuados para la geometría de la capa de amortiguación, riesgo de impacto contra superficies internas de los contenedores, efectos de resonancia, etc. Del mismo modo, *PadCAD* proporciona una lista detallada de los componentes individuales del sistema de amortiguación y calcula las necesidades totales de material de relleno.

El empaquetado, manipulación y el transporte ha sido una de las áreas de interés del grupo de trabajo del ICOM de Conservación Preventiva que aglutinó el anterior grupo denominado Protección de Obras de Arte durante su

Transporte, entre otros. Asimismo, las cuestiones de fuerzas físicas como golpes y vibraciones fueron especialmente contempladas en el programa del trienio 2008-2011 [4]. De esta forma, una de las áreas activas de investigación es la manipulación, embalaje y transporte [5].

PACCIN (*Preparation, Art Handling, Collections Care Information Network*) es una red de profesionales que trabajan en el campo de la conservación y a través de intercambio de experiencias tratan de establecer directrices y códigos de buenas prácticas que garanticen un futuro sostenible para los bienes culturales. Entre sus áreas de interés se encuentran los embalajes, diseño de exposiciones, almacenamiento, etc. Se inició como Comité Profesional de la Asociación Americana de Museos, aunque desde 2014 actúa de forma independiente. Ha publicado los siguientes manuales: *Soft Packing, Methods and Methodology for the Packing and Transport of Art and Artifacts*; *The Crate Itself, Proven Design Techniques and Alternative Ideas*; and *Technical Drawing Handbook of Packing and Crating methods* [6].

Diseño de embalajes: la estrategia de los tres niveles

En primer lugar exponemos las definiciones básicas que ofrece el grupo de trabajo del Plan Nacional de conservación preventiva [7]:

- **Bulto(s)** (*Colis / Package*): Bien(es) cultural(es) preparado(s) y embalado(s) conforme a la norma UNE-EN 16648 y listo(s) para el transporte. Un bulto puede contener uno o varios bienes culturales.
- **Caja** (*Caisse / Crate*): Contenedor o estuche rígido que forma la estructura externa que protege un bien cultural durante su transporte (UNE-EN 15946:2012).
- **Embalaje ligero** (*Caisse navette / Softpacking*): Tipo de embalaje impermeable, construido sobre el modelo de una caja para minimizar golpes y vibraciones en trayectos cortos, pero utilizando espumas, cartones protectores y otros materiales no rígidos.
- **Materiales de embalaje** (*Matériaux d'emballage / Packaging*): Envoltorios, estructuras y elementos que se utilizan para proteger los bienes culturales durante su transporte (UNE-EN 15946:2012).

El diseño de un embalaje debe contemplar una serie de aspectos como: tipología del objeto, materiales constituyentes (metal, madera, marfil, etc.); grado de fragilidad; dimensiones; peso; estado de conservación y características del medio de transporte que se vaya a usar.

De igual forma, cumplirán los siguientes requisitos genéricos:

- diseño del embalaje aislado del suelo, evitando el deslizamiento por el mismo (asas, estructura para transportín, etc.);
- selección del tipo de cierre: con tornillos o anclajes;
- selección de materiales aislantes térmico e hídrico;
- selección de materiales aislantes de choques;

- estabilidad química de los materiales y especial atención a los que se encuentren en contacto directo con la obra (diferenciación entre transporte o almacenaje);
- señalética exterior: símbolos gráficos para la manipulación de mercancías acordes a la norma internacional ISO 780:1997 (E);
- otras medidas de seguridad y/o conservación preventiva: precintos, sondas de parámetros medioambientales o vibraciones, etc.

Por otro lado, las causas frecuentes de daños durante el transporte son [8-9]:

- abrasión de la superficie de la obra debido a que la envoltura o el relleno son inadecuados;
- roce por movimientos, si la obra no se encuentra suficientemente sujeta;
- compresión por el peso de otros objetos;
- daños por choques o caídas accidentales;
- niveles nocivos de humedad y/o temperatura.

Así, para el diseño y construcción de un embalaje se requieren tres niveles de protección. Esta estrategia preservará al objeto en tránsito de los principales peligros.

Primer nivel: protección externa rígida. La estructura general del embalaje debe tener la capacidad de soportar un margen determinado de choques o caídas y no permitir deformaciones.

Segundo nivel: amortiguación de choques y vibraciones. Toda manipulación y traslado transmite una serie de vibraciones a la pieza que pueden comprometer la conservación de la misma.

Tercer nivel: aislamiento medioambiental. Los objetos histórico-artísticos necesitan una estabilidad de temperatura y humedad. Normalmente, se utilizan espumas sintéticas recubriendo todo el interior, además de su estabilidad química deben tener un pH neutro. El espesor estará determinado por su conductividad térmica y las necesidades específicas del objeto a transportar.

El uso habitual de embalajes de madera puede suponer un riesgo frente a los cambios medioambientales, efectos del fuego o ser susceptible de ataques xilófagos. Así, existe una diferencia entre *resistencia al fuego* y *aislante térmico*: mientras que uno pretende retardar el punto de combustión, el otro, trata de evitar la transmisión del calor. De esta forma, un tratamiento ignífugo no implica un aislamiento térmico. No obstante, los medios de transporte deberán contar con medidas de protección activa contra incendios, como alarmas de detección y sistemas de extinción específicos.

El aislamiento térmico es fundamental para garantizar unas condiciones de humedad relativa controlada en un espacio confinado durante el transporte. Igualmente, es importante la estanqueidad al agua.

En definitiva, las características ideales para el elemento de protección externo son [10, p. 9]:

- capacidad ignífuga;
- estanqueidad al agua: mantenimiento de condiciones estables de humedad en el interior del embalaje;

- aislamiento térmico: mantenimiento de condiciones estables de temperatura en el interior del embalaje.

Por otra parte, los cambios de humedad relativa (HR) causan tensiones internas en los materiales de los objetos a transportar, por lo que se necesita mantener unos niveles climáticos óptimos dentro del embalaje. La humedad y la temperatura se relacionan inversamente proporcional: cuando aumenta la temperatura, disminuye la capacidad de contener vapor de agua, llevando consigo una reducción de la HR y viceversa. De esta manera, el control de la temperatura (aislamiento térmico) permite el control de la HR.

Dependiendo de la calidad del aislamiento térmico, los propios materiales constituyentes pueden asegurar un acondicionamiento de la HR. No obstante, se pueden incluir elementos tamponantes (gel de sílice, material celulósico, etc.), aunque el uso de gel de sílice en el interior de la caja puede ser perjudicial en transporte por avión por la influencia de la bajada de temperatura sobre la humedad absoluta en el interior de la caja [11, p. 182].

El intento de determinación de estándares genéricos sólo conduce a una aceptación del cálculo específico de los niveles y rangos de oscilación adaptados a la complejidad del objeto, a las condiciones del transporte y contemplando un procedimiento fiable de adquisición de datos ambientales [12, pp. 103-104]. No obstante, Michalski propone una cuantificación por niveles de los riesgos, así como la sensibilidad y efectos de distintos materiales a las variaciones de la HR y la temperatura [13]. En cualquier caso, es necesario establecer un acondicionamiento tanto de los materiales constructivos del embalaje antes de fabricarlo, como de todo el sistema en el destino.

Por último, hay que tener en cuenta la señalética y pictogramas según la norma ISO 780:1997 (E). Las instrucciones deberán reflejar un inventariado de cada caja y la forma de desembalaje y reembalaje. Es recomendable enviarlas también por correo electrónico.

El etiquetado y la información de fragilidad y posición vertical deben estar en varios lados de la caja evitando etiquetas que se despeguen o tintas que se borren fácilmente. En caso de embalajes compuestos que por sus características puedan transportar varias piezas, todos los elementos individuales interiores deben estar identificados y referenciados. Además, la caja no debe hacer alusión a los datos relativos a la pieza como, artista, destino, colección, etc. [14, p. 275].

Sistemas de embalaje para objetos tridimensionales

Los embalajes pueden ser individuales o compartidos. Estas soluciones contemplan distintas líneas de investigación como: la simplificación en la construcción, diseño de cajas modulares, nuevos materiales, reciclado responsable, etc.

La solución más aceptada para objetos con una superficie regular consiste en la envoltura de las espumas de protección con material adecuado para poder ver el objeto. En general, los materiales de relleno deben estar limpios, secos y libre de productos químicos nocivos. Para objetos con un peso considerable se puede incorporar una capa adicional de caucho, látex, espuma de polietileno, de polipropileno, de poliestireno, de poliuretano en la base que amortigüe las vibraciones [15, p. 39]. Estos materiales tienen una buena capacidad de absorción de impactos, no obstante, es fundamental calibrar el grado de compresión, pues un nivel de capa de amortiguación totalmente comprimida no cumpliría su función elástica. De la misma forma, se puede añadir una suela antideslizante con láminas de silicona.

Para objetos con superficies relativamente suaves y regulares existe el sistema de embalaje flotante. Será necesario verificar la eficacia del procedimiento que consiste en forrar la pieza con láminas suaves y químicamente estables y luego rodear-la con material de relleno (por ejemplo, bolas de extrusionados).

Los embalajes con suspensión presentan otro sistema de protección frente a golpes y vibraciones. Para su eficacia hay que tener en cuenta que la compresión de los muelles esté dentro de su rango elástico. Los ocho resortes se colocan en las distintas direcciones de la caja. Es un sistema que requiere de alta cualificación para un diseño adecuado.

En el sistema de caja con guías [15, pp. 36-38], y tras un estudio de los puntos de apoyo, se articula una serie de soportes deslizables horizontales que se ajustan al contorno de la pieza. Para definir dicho perímetro se pueden usar varios métodos de obtención de datos. En nuestro caso, proponemos la fotogrametría y formación de un modelo 3D.

Usualmente, las plantillas se confeccionan con madera acolchada. Las paredes interiores de la caja dispondrán de unas ranuras que permitirán la colocación de las plantillas en la altura definida. Igualmente, se puede diseñar un embalaje por plantillas para varias piezas. En cualquier caso, es conveniente incluir una hoja de indicaciones para un posible reenviado.

El embalaje por capas de espuma rígida utiliza la manejabilidad de dichos materiales (por ejemplo, poliestireno expandido) para hacerlos encajar en los contornos de un objeto. De nuevo, será necesario la obtención de datos sobre el perímetro de la pieza para conseguir un ajuste óptimo.

Aproximación a los materiales de embalaje

Soporte rígido

La caja rígida se constituye principalmente de madera contrachapada. También se puede usar el aluminio y, para embalajes ligeros, planchas de cartón. En este caso,

existe la ventaja del bajo coste económico pero tiene el inconveniente de la desprotección contra impactos y/o penetración y la exposición a los cambios de temperatura y humedad. Para compensar este hecho, se puede utilizar una primera envoltura con algún material aislante.

La madera contrachapada tiene una serie de ventajas frente a otros materiales como una excelente relación entre su capacidad de resistencia y su peso, así como propiedades de aislamiento y reserva frente a la humedad relativa, además de un coste asumible. Además presenta facilidad de manufactura. Asimismo, el grosor de las planchas de contrachapado garantiza la resistencia a la perforación.

Se ha pasado de usar espesores entre 8 y 12 mm para cajas pequeñas y medianas, y de 20 mm para cajas de mayor tamaño [16, p. 9/91-2], a utilizar grosores de 15 mm para caja estándar a 20 mm para cajas reforzadas [14, p. 275]. Como precaución se tendrá en cuenta la morfología de las cajas, ya que los embalajes altos y estrechos podrían comprometer su estabilidad.

La unión de bordes suele ser uno de los aspectos que más influyen en la robustez estructural. Se recomienda un estudio de encaje. Los tirafondos deben tener una separación entre 250 y 300 mm [16, p. 9/91-4]. Además, para los refuerzos de los ensambles, y si procede también de los laterales, se utiliza pino macizo de 20-30 mm de grosor [14, p. 275].

Para los casos en los que el peso es elevado, se puede prever un espacio para permitir que las palas de la transpaleta, carretilla elevadora o grúa horquilla encajen debajo del embalaje (patines o esquís).

Podemos encontrar asas metálicas y de madera por lo que para su elección, tendremos en cuenta el peso

del objeto. Se pueden fijar con tornillos o tirafondos. No obstante, para lograr una buena sujeción de las de madera, se dispondrán tornillos desde el interior y también desde el exterior de la caja.

Por otro lado, la ubicación de las asas no tiene altura definida, aunque una posición entre 50 y 60 cm de la base de la caja es adecuada para embalajes medianos. Para cajas más grandes, habría que añadir un nuevo par de asas a mayor altura: entre 150 y 165 cm [16]. El Instituto Canadiense de Conservación recomienda un posicionamiento entre 78 y 82,5 cm [9, step 6].

En algunos casos es necesario revestir el interior de la caja con una lámina que actúe como barrera de agua y proteger los objetos de las propias emisiones de los materiales constituyentes de la caja. Una opción podría ser el Marvelseal 36 que es una película de polietileno y nylon aluminizado [9, step 6; 17, pp. 13-17].

Capas de aislamiento/amortiguación

Los componentes más usuales para la amortiguación de choques y vibraciones son las espumas de polietileno y poliuretano, que tiene muy buenas propiedades de dispersión de vibraciones y de choque. Asimismo, se caracterizan por la baja formación de polvo en el interior del embalaje. El poliuretano es inestable y contiene aditivos [16, p. 9/91-2-3], no obstante, es el mejor amortiguador de choque para objetos ligeros [9, step 6].

El sistema de amortiguación debe ser la parte más flexible del paquete. Como regla general, para esta capa se usa un espesor de material (espumas de polietileno o poliuretano) de 5 cm para objetos de menos de 15 kg y una densidad de 33 kg/m³ [9, step 5].

Tabla 1

Propuesta de materiales recomendables para su uso en embalajes técnicos [14, pp. 293-295; 15, p. 39; 9, step 4, step 5; 19-20].

Pre-envolturas	Aislamiento / amortiguación	Otros materiales
<ul style="list-style-type: none"> • Papeles libres de ácido y lignina • Papel cristal (pulpa de celulosa glaseado fino. Biodegradable libre de ácido y cloro) • Papel Renaissance • Papel Permalife • Coroplast, Cor-X TM (polietileno / polipropileno cartón ondulado) • Láminas de poliéster (Mylar, Dartek) • Poliéster no tejido (Reemay, Hollyte) • Polietileno con unión por hilatura (Nomex, Tyvek) • Gore-Tex y Sontara • Láminas de polietileno • Bubblewrap (llenos de gas inerte) • Fieltro (Poliéster o acrílico) • Teflon, Relic wrap (fluoropolímero sintético, químicamente inerte, no tóxico, y no absorbente) 	<ul style="list-style-type: none"> • Espumas polietileno en varias densidades • Varillas de respaldo Sonofoam (varillas de espuma de polietileno) • Ethafoam • Espuma de polietileno Volara (tipo 2A) • Plastazote P053 • Zotefoam • Microfoam • Unifoam (impregnado de carbono) • Espuma de poliestireno (aislamiento térmico inestable a medio plazo). Prosean, Styrofoam • Espuma de poliuretano (inestable a corto plazo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales tampón para microclimas: Arten Gel, gel de sílice. • Adhesivos: Colas de fusión en caliente / adhesivos para unir soportes de espuma (3M 3764 y 3792, Bostik Thermogrip 6363) • Velcro • Madera contrachapada para exteriores • Películas plásticas aluminizadas: Medex; Marvelseal; Claryskin L • Siliconas (juntas de estanqueidad y capa antideslizante). Pueden liberar ácido acético. • Neopreno (juntas de estanqueidad). Libera cloro • Gator Foam and Gator Board (espuma de poliestireno extruido encerrado entre las capas de fibra de melamina y madera. No está libre de ácido)

Pre-envoltorio o materiales de primera protección

El forro primario contribuye de forma sencilla a la eficacia general del embalaje.

Los materiales en contacto directo con la pieza deben ser químicamente inertes. Así, para una primera capa, y dependiendo de cada caso, pueden usarse tejido no tejido de poliéster, polietileno, PET (Melinex) o tejido no tejido a base de fibras de polietileno de alta densidad (Tyvek). Otro material que se ha usado en embalajes es el Gore-tex y los laminados de Gore-tex y Sontara [18].

El Tyvek tiene como principal ventaja su resistencia a la perforación y al desgarrar. Es un material transpirable, impide los procesos de condensación, antiestático y reciclable. Gore-tex tiene propiedades antiadherentes, es una superficie flexible, no abrasiva y transpirable. Sontara es un tejido fabricado por presión hidráulica. Es resistente a la abrasión y a los disolventes como alcoholes, hidrocarburos halogenados, cetonas, o agua. Resiste las soluciones acuosas de ácidos y álcalis.

Las láminas de polietileno también se utilizan como pre-envoltura. Sin embargo, es recomendable interponer un material suave o separar la pintura de la bolsa hermética de polietileno.

Otro aspecto importante de los materiales sintéticos en láminas es su capacidad para crear cargas electrostáticas que pueden atraer partículas de polvo en el interior del embalaje.

Según Thomas O. Taylor, la mejor opción de láminas para usar en embalajes de obras es el poliéster con orientación biaxial, no recubierto y pulido. También considera el uso de triacetato, polipropileno, poliestireno o polietileno sin aditivos. Por el contrario, no recomienda el celofán (en su fabricación se usa el disulfuro de carbono y ácido sulfúrico), el cloruro de polivinilo, el cloruro de polivinilideno y clorhidrato de caucho [19, p. 3].

Método de plantillas por fotogrametría: obtención del modelo 3D

A continuación enumeramos los materiales usados para la obtención del modelo 3D y su edición.

Instrumental para documentación fotográfica:

- cámara digital Sony Alpha DSLR-A390, de 14 Mpx de resolución máxima, 4592×3056 píxeles efectivos, con objetivo Sony 18-55 mm.

Software y hardware necesario en los trabajos de gabinete:

- *123D Catch Autodesk* para el levantamiento del modelo 3D;
- *Autodesk 123D Make* para la edición del modelo 3D;
- ordenador Intel Core i7, a 2.8 GHz con 4GB de RAM, 750 GB de disco duro, tarjeta gráfica NVIDIA GeForce 720M.

El primer paso para la creación de una plantilla adaptada al contorno de la pieza fue la digitalización

de ésta misma en tres dimensiones. Existen varios programas informáticos libres que, a partir de una serie de imágenes, se origina un modelo geométrico 3D de un objeto concreto. Algunos de ellos son gratuitos y trabajan en la nube, es decir, que el cálculo del levantamiento no se realiza con los recursos del ordenador personal sino en servidores externos. Para el presente estudio hemos utilizado *123D Catch Autodesk* que nos permite un máximo de 40 fotografías.

Podemos dividir el proceso en las siguientes fases:

- Planificación: el levantamiento fotogramétrico requirió del estudio previo de una serie de cuestiones como el tamaño del objeto, el tipo de luz que incide sobre el mismo, la accesibilidad y/o posibles obstáculos visuales. Es decir, requería una planificación de la documentación, que podemos resumirla en los siguientes puntos:
 - boceto del objeto;
 - disposición del barrido de la cámara;
 - determinación de la distancia entre cámara y objeto y distancia de solapamiento superposición entre tomas fotográficas.
- Observación del objeto: los principales aspectos a tener en cuenta estaban relacionados con la morfología del objeto. No obstante, destacamos otras cuestiones que influyen en una metodología correcta: un elemento de elevada altura puede producir *vacíos* de información allí donde las tomas fotográficas no lo registra (en este caso, sería necesario el uso de medios auxiliares para alcanzar todos los puntos de vista); el escaso espesor o profundidad de la pieza; los brillos y transparencias que también pueden inducir a errores; el entorno donde se ubica el objeto (toda barrera que se interponga entre la cámara y el elemento a registrar, entorpecerá la documentación del mismo); luces y sombras demasiado contrastadas impedirán la creación de un correcto modelo tridimensional.
- Toma de imágenes. A continuación enumeramos las condiciones para el barrido fotográfico:
 - coherencia entre las distintas calidades de las imágenes (megapíxeles) y las prestaciones tanto de los distintos programas como del equipo informático;
 - misma distancia focal (50 mm);
 - mismo nivel de luz para el conjunto de imágenes. Los grandes contrastes de luces y sombras dificultan la interpretación digital de la pieza, por lo que se desaconseja el uso del flash (utilizar medios auxiliares como toldos, cortinas, etc., para conseguir luz difusa);
 - toma de imágenes de varios ángulos diferentes y elevaciones;
 - control de la profundidad de campo; las áreas de desenfoque inducen a distorsionar el levantamiento 3D; diafragma: $f/16-f/22$;
 - control del movimiento; velocidad corta: 1/125 - 1/160; uso de trípode y retardo de disparo;

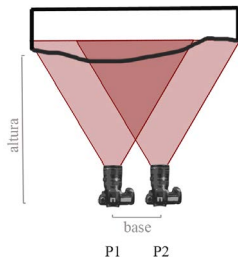


Figura 1. Esquema de la relación base/altura.

- la relación base/altura (Figuras 1 y 2) es la proporción que existe entre la distancia de separación de cada toma de imagen y la distancia entre la cámara y el objeto a registrar; en nuestro caso, consideramos la proporción 1:4 como relación óptima de base/altura;
- desplazamiento entre las tomas de imágenes: la cámara no se giró sobre sí misma más de 30 grados entre pares de fotografías (Figura 3a);
- 60 % de solape mínimo entre imágenes (Figura 3b).

Para obtener una mayor precisión se elegirá, si procede, un tamaño máximo en la malla de puntos en el programa informático de obtención del modelo 3D.

Por otro lado, al exportar el archivo, se crean varios ficheros (.jpg, para las texturas; .mtl, para los materiales y .obj, que contiene el propio modelo) que se pueden importar a un software de modelado 3D. Siempre deben permanecer los tres juntos en el mismo directorio, de lo contrario se perderá parte de la información.

Tratamiento digital: del modelo 3D a la plantilla

Una vez importado el fichero con nuestro modelo 3D al software de tratamiento, se puede descomponer en

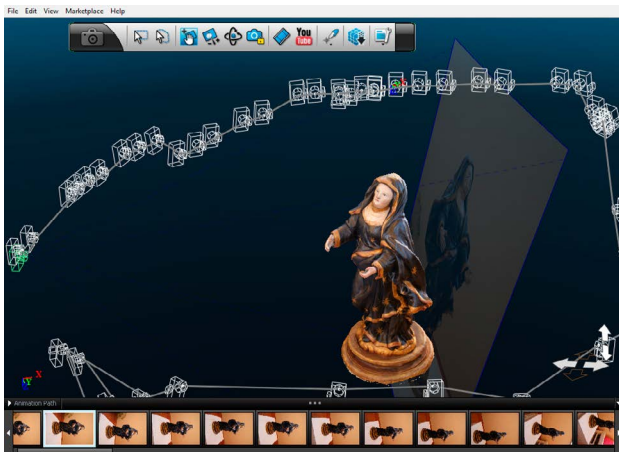


Figura 2. Obtención del modelo 3D por fotogrametría. Disposición de las distintas tomas fotográficas.

partes, en cortes transversales apilados, y posteriormente imprimir la zona que interesa. Para este apartado se ha utilizado la aplicación *Autodesk 123D Make*.

A continuación describimos el proceso de tratamiento digital:

- Configuración del programa informático. En primer lugar, en el desplegable de ajustes de fabricación se configuró los parámetros métricos. Así, en la opción de *grosor*, se reflejó el espesor de las láminas del material que elijamos para nuestro embalaje. También existe la opción de cambiar el tamaño del objeto, con lo que se corregirían pequeños errores en la obtención del modelo (Figura 4). El programa habilita una serie de opciones de descomposición 3D de las que el *corte transversal apilado* transformó la pieza en un conjunto de unidades (Figura 5). Al mismo tiempo, creó un archivo imprimible con la planta de cada elemento numerado y con marcas para facilitar el apilado correcto. Este archivo puede ser exportado como pdf y se puede elegir el formato normalizado de papel (Figura 6).
- Localización. Una vez estudiada la zona donde se dispondría la plantilla en la pieza a transportar, se pudo localizar el elemento adecuado en la opción *pasos de montaje* (Figura 7). Así, se determinó el número de la pieza a imprimir (contextualizando la plantilla necesaria en el visor del propio programa informático).
- Impresión. Posteriormente, ya decidido el número de plantilla, se pudo imprimir en papel (impresora común o plotter). Es necesario imprimir dos número de posiciones consecutivas, uno para la parte superior de la plancha a recortar y otro para la parte inferior de la misma. Así se logró el ajuste a la morfología de la pieza, atendiendo a todos sus desniveles (Figura 8).
- Fabricación. En la Figura 8 distinguimos tres zonas: las áreas roja y azul, que disponen la parte delantera y trasera de la plantilla que sujeta la pieza, y la zona

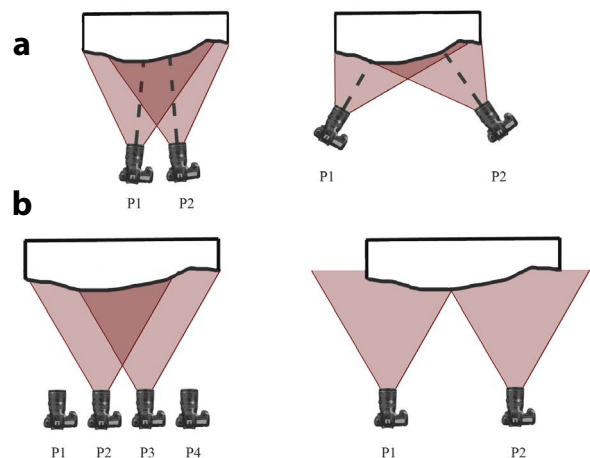


Figura 3. Esquemas correctos (izquierda) e incorrectos (derecha) en las posiciones de las distintas tomas fotográficas.

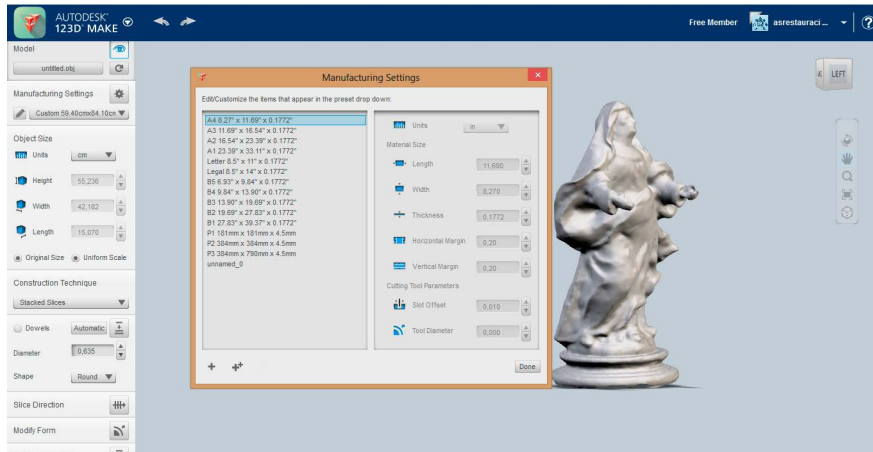


Figura 4. Importación del archivo obj y modificación de parámetros métricos.

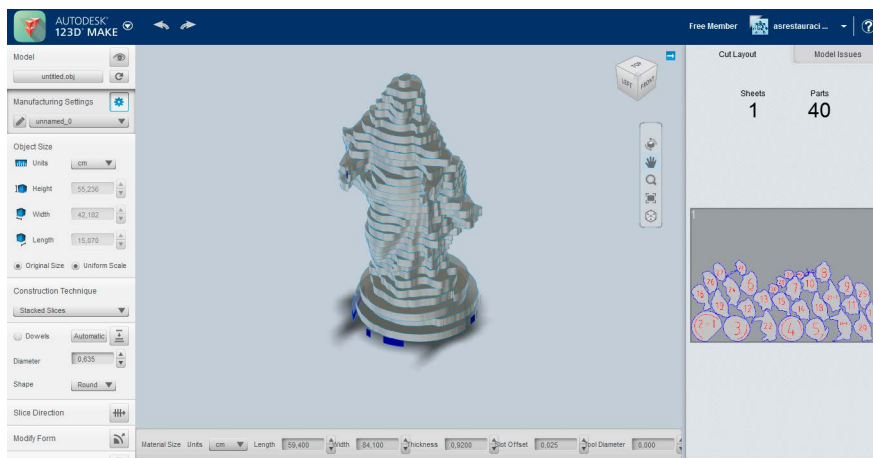


Figura 5. Descomposición del modelo 3D en un conjunto de cortes transversales apilados.

blanca central (que es la síntesis digital de la pieza). Estas dos partes (roja y azul) son las precisas para fabricar los soportes horizontales del embalaje (Figura 9), que marcarán las líneas a recortar en el material elegido. El programa genera cuatro puntos en cada uno de los recortes que se alinean entre sí, formando cuatro ejes, para marcar la posición correcta de cada una.

Igualmente, podemos fabricar un embalaje por plantillas rígidas. En esta modalidad, la serie de láminas del material de amortiguación cubre por completo el volumen del objeto cultural (Figura 10). En el proceso de construcción deberemos imprimir todas las plantillas que el programa informático nos proporcione y recortarlas según el procedimiento descrito anteriormente (recortando y desechando la zona blanca representada en la Figura 8, obtenemos el negativo de nuestro objeto en cuestión).

Conclusiones

El envío de objetos culturales requiere una metodología planificada, aunque, el nivel de protección

necesario, las exigencias de la propia pieza y las limitaciones económicas, condicionan el método de embalaje. Igualmente, las características del elemento a transportar y el sistema de envío determinan los materiales de construcción del mismo. Sin embargo, lo más complejo es determinar la fragilidad del objeto puesto que depende de varios factores (naturaleza, estado de conservación, definición de puntos débiles, resonancia, etc.). El examen del conservador-restaurador facilita las necesidades del diseño.

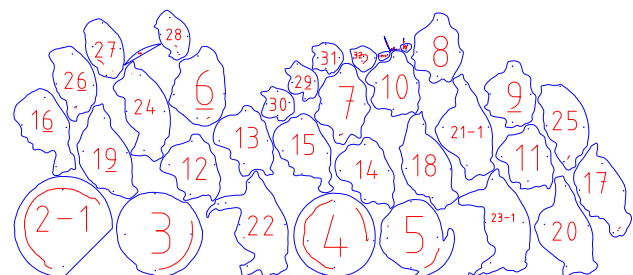


Figura 6. Hoja de plantillas de los distintos elementos en los que se ha descompuesto nuestro modelo 3D.

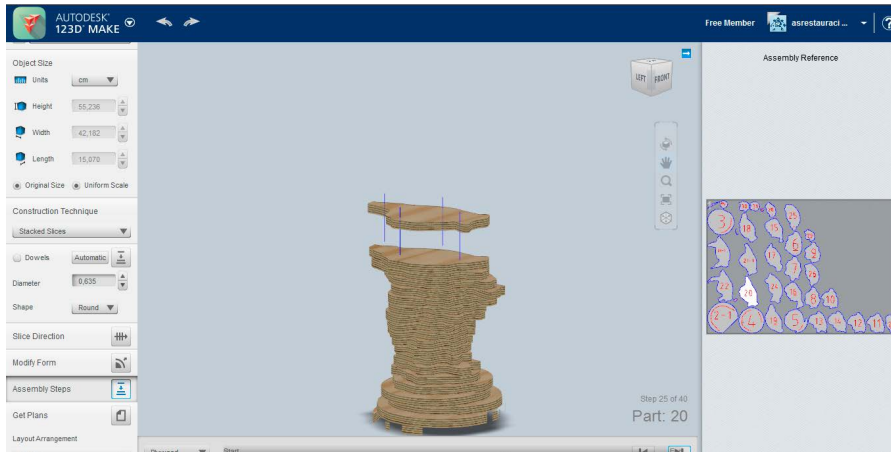


Figura 7. Elección y localización de la pieza a imprimir.

La utilidad del sistema de plantillas por fotogrametría radica en el equilibrio entre la precisión del ajuste a la pieza a transportar, la sencillez de la metodología (una vez familiarizado con el proceso informático) y la propia economía del sistema, pues las plantillas se pueden imprimir en papel y transferirlas al material de relleno. Igualmente, la oferta de programas informáticos gratuitos o de coste asequible hace que no incremente la partida presupuestaria.

Este método cuenta con las siguientes ventajas:

- metodología no invasiva: no es necesario un contacto directo con la pieza puesto que la obtención de los datos geométricos se realiza fotográficamente;
- Tiempo de ejecución: la duración de las operaciones para obtener el modelo y su descomposición es relativamente corta; será necesario una planificación de la sesión fotográfica, además, la calidad y número de fotografías influyen en la duración del levantamiento fotogramétrico; sin embargo, las evoluciones de los programas informáticos tienden a optimizar todos los recursos;

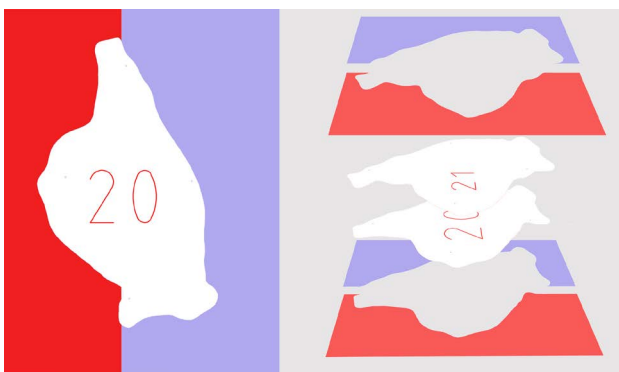


Figura 8. Impresión de la planta necesaria. Las dos zonas de color se corresponden a los dos soportes deslizables que sujetarán la pieza a transportar. Derecha, perfil del recorte de la cara superior e inferior de la plancha elegida. En blanco, silueta superior e inferior de la pieza, áreas desechables quedando el negativo ajustado a la misma.

- coste asequible frente a otros métodos como el escáner láser; el uso de los programas informáticos propuestos es gratuito y sólo requiere de una cuenta de registro convencional;
- precisión: la fotogrametría puede conseguir un alto nivel de fidelidad;
- documentación y registro: la metodología propuesta permite el registro tanto de la morfología como de la textura; el aumento de la calidad de las imágenes permitiría un complemento a la documentación que podría sumarse a la evaluación del posible impacto del tránsito de la pieza;
- versatilidad: este procedimiento puede adaptarse a otras funciones que necesiten adecuarse a la pieza, como por ejemplo, diseño de soportes para exposición, presentación de la pieza al propietario, etc.

Del mismo modo, observamos los siguientes inconvenientes:

- dificultades para la obtención del modelo: las condiciones de luz (grandes contrastes de luz y sombra), reflejos, transparencias pueden provocar desviaciones morfológicas; la solución pasa por cuidar la fase de fotografía para un buen levantamiento fotogramétrico;
- recursos físicos: existen programas de escritorio que pueden dar una precisión más alta y mayor control de parámetros aunque consumirán muchos recursos del ordenador;
- dispersiones en la traducción de digital a analógico: utilizamos dos procesos digitales; en la descomposición del modelo 3D en cortes transversales apilados el programa realiza una optimización de las formas por lo que piezas extremadamente complejas (pliegues, texturas,...) sufrirán una simplificación; no obstante, sólo necesitaremos las zonas de anclajes cuya ubicación habrá sido estudiada para la disposición de los soportes deslizables horizontales.

No obstante, la metodología propuesta puede desarrollar un potencial mayor puesto que la evolución



Figura 9. Infografía de embalaje por plantillas. Desarrollo de la mitad de las distintas partes que comprenderían el embalaje interno.

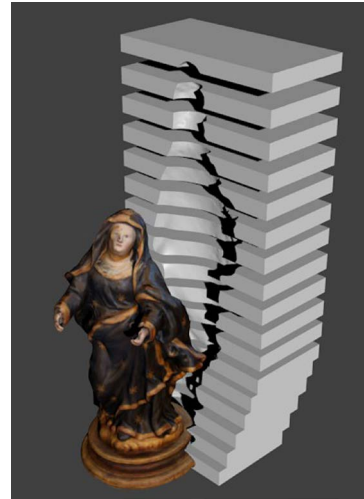


Figura 10. Infografía de embalaje por plantillas rígidas. Desarrollo de la mitad de las distintas partes que comprenderían el embalaje interno.

de nuevas tecnologías permite la obtención de un modelo más preciso e impresiones 3D en multitud de materiales (a estudiar la compatibilidad de los mismos).

ORCID

Antonio J. Sánchez Fernández

<https://orcid.org/0000-0001-7134-1978>

Beatriz Prado-Campos

<https://orcid.org/0000-0002-2722-3648>

Referencias

- Ortega Ortega, A., 'Embalajes y materiales para el transporte de obras de arte', *Boletín PH* **16** (1996) 60-62, <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/374#.W35NCLhx3IV> (acceso 2018-6-11).
- 'Presentación evaluación de productos utilizados en conservación y restauración de bienes culturales POLYEVRT', Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España, <http://www.mecd.gob.es/cultura-mecd/areas-cultura/patrimonio/mc/polyevart/presentacion.html> (acceso 2018-6-11).
- 'PadCAD', Government of Canada, <https://app.pch.gc.ca/application/padcad/index.app?lang=en> (acceso 2018-6-11).
- Pretzel, B., 'Preventive conservation working group triennial programme 2008-2011' (2010), ICOM-CC, <http://www.icom-cc.org/54/document/preventive-conservation-working-group-triennial-programme-2008-2011/?id=754> (acceso 2017-6-23).
- 'Active areas of research in preventive conservation', ICOM-CC, <http://www.icom-cc.org/132/Research%20themes/#.VIDLL3YvfIV> (acceso 2018-6-11).
- 'About PACCIN', PACCIN, <http://www.paccin.org/content.php?15-History-of-PACCIN> (acceso 2018-6-11).
- 'Plan nacional de conservación preventiva', Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España, <http://www.mecd.gob.es/planes-nacionales/planes-nacionales/conservacion-preventiva.html> (acceso 2018-6-11).
- 'Guía de embalaje', FLECHA, <https://flecha.es/embalaje> (acceso 2018-8-16).
- Marcon, P., 'Six steps to safe shipment', Canadian Conservation Institute, <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/six-steps-safe-shipment.html> (acceso 2018-8-16).
- 'CFPA E Guideline No 29:2013 F. Protection of paintings: transport, exhibition and storage', *Confederation of Fire Protection Associations- Europe (CFPA-E)* (2013), http://cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_29_2013_F.pdf (acceso 2018-6-11).
- de Tapol, B., 'Qué ocurre cuando los criterios de préstamo se centran solamente sobre la calidad de la caja', en *El Guernica y los Problemas Éticos y Técnicos de la Manipulación de Obras de Arte*, Fundación Marcelino Botín, Santander (2002) 99-117.
- Herráez, J. A., 'El control de las condiciones ambientales en el transporte de obras de arte', en *El Guernica y los Problemas Éticos y Técnicos de la Manipulación de Obras de Arte*, Fundación Marcelino Botín, Santander (2002) 173-183.
- Michalski, S., 'Los niveles ABC para la evaluación de riesgos en las colecciones museísticas e información para interpretar los riesgos derivados de una incorrecta humedad relativa y temperatura', *II Seminario del Grupo de Conservación Preventiva*, Museo Nacional del Prado, Madrid, (2009), http://ge-iic.com/files/grupoconservacionpre/Michalski_Madrid.pdf (acceso 2017-12-6).
- Fernández, C.; Arechavala, F.; Muñoz-Campos, P.; de Tapol, B., *Conservación Preventiva y Procedimientos en Exposiciones Temporales*, GE-IIC, Madrid (2008).
- Stolow, N., *Procedures and Conservation Standards for Museum Collections in Transit and on Exhibition*, UNESCO, Paris (1981).
- Richard, M.; Mecklenburg, M. F.; Merrill, R. M. (eds.), *Art in Transit. Handbook for Packing and Transporting Paintings*, National Gallery of Art, Washington (1997).
- Burke, J., 'Vapor barrier films', *WAAC Newsletter* **14**(2) (1992) 13-17.
- Purinton, N.; Filter, S., 'Gore-tex: an introduction to the material and treatments', *The Book & Paper Group Annual* **11** (1992) 141-155, <https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v11/bp11-33.html> (acceso 2017-10-13).

- 19 Taylor, T. O., 'The use and identification of plastic packaging films for conservation', *The Book & Paper Group Annual* 4 (1985) 98-107, <https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v04/bp04-12.html> (acceso 2017-10-13).
- 20 'Materials index', PACCIN, <http://www.paccin.org/content.php?63-Materials-Index> (acceso 2018-6-11).

Recibido: 2018-6-4

Revisto: 2018-8-23

Aceptado: 2018-10-4

Online: 218-11-9



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.