

## REVISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE CREACIÓN Y REPRODUCCIÓN CON METALES ARTIFICIALES EN APLICACIONES ARTÍSTICAS.

Miquel Herrero–Cortell<sup>1</sup>, Xavier Mas–Barberà<sup>2</sup>, Mario Culebras Rubio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centre d'Art d'Època Moderna, Universitat de Lleida. Parc Científic i Tecnològic de Gardeny. Plataforma de Serveis Tecnològics de la Universitat de Lleida. Edificio H3 B, 2ª planta, laboratoris 10 i 11, 25003, Lleida. Colaborador del Instituto de Restauración de Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia. Correo electrónico: miquelangel.herrero@hahs.udl.cat

<sup>2</sup>Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Camí de Vera, s/n, 46022 València. Correo electrónico: jamasbar@upvnet.upv.es

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias de los Materiales de la Universidad de Valencia (ICMUV). C/ Catedrático Agustín Escardino, 9, 46980, Paterna, Valencia. Correo electrónico: mario.culebras@uv.es

*Recibido: Mayo de 2018; Aceptado: Junio de 2018*

### RESUMEN

Los metales artificiales son materiales compuestos a partir de la mezcla de resinas termoestables con cargas metálicas, utilizados en la obtención de prototipos tridimensionales, esculturas y objetos ornamentales, en ámbitos industriales, artísticos y de conservación y restauración de bienes culturales. Se trata de materiales en continuo estudio y caracterización con el fin de intensificar dichas aplicaciones. En trabajos previos se describieron los diversos tipos de matrices y sus características, así como los tipos de cargas, tamaño de partícula y dosificación, ajustados a los diversos procedimientos de trabajo escultórico. El presente artículo propone una revisión de las diversas metodologías de creación y reproducción, aspecto que hasta ahora poco se había desarrollado. Aunque las metodologías de colada, estratificado y *coating* son conocidas en el ámbito escultórico, requieren de procedimientos específicos para la obtención de materiales de apariencia metálica. En definitiva, se trata de procedimientos rápidos y con resultados óptimos, que permiten obtener piezas de pequeño como de gran formato, sin limitaciones y, con un amplio abanico de posibilidades en cuanto a aspectos de prototipado y reproducción se refiere.

**Palabras clave:** materiales compuestos metálicos; metal artificial; colada; estratificado; escultura.

### ABSTRACT

Artificial metals are composites obtained from the mixture of thermoset resins with metallic fillers. They are used in pursuit of 3D prototypes, as well as in the making of sculptures and decorative objects, in areas such as industrial creation, fine arts, and conservation and restoration of cultural heritage. These are materials that are still being under study and characterization for such applications. Previously, the different types of matrices and their characteristics have been described, as well as the metallic fillers, particle size and dosage, adjusted to the different procedures of sculptural work. This article proposes a review of different methodologies involved in the creation and reproduction using such composites, an aspect that until now had been little mentioned. Although the methodologies of casting, stratification and coating are known in the sculptural field, by using these materials a specific methodology is required for obtaining composite artifacts with a metallic appearance. In short, these are fast procedures with optimal results, which allow you to obtain pieces of small or large sizes, without limitations and with a wide range of possibilities in terms of aspects of prototyping and reproduction.

**Key words:** metal composites; artificial metals; cold-casting, stratification; sculpture.

### INTRODUCCIÓN

La consecución de piezas de carácter escultórico, ornamental o artístico mediante el uso de metales artificiales es un tema todavía muy poco trabajado, habida cuenta de la todavía escasa aplicación de este tipo de materiales compuestos semi-metálicos en tales ámbitos. Si bien su utilización en aplicaciones artísticas no es nueva, un somero estado de la cuestión evidencia que se

trata de una solución todavía poco conocida [1]. En este ámbito los metales artificiales han sido empleados para propósitos de creación y reproducción escultórica y artística [2, 3], con fines de restauración de piezas metálicas [4–6], y más recientemente en propósitos de conservación de patrimonio arqueológico y museístico [1,7,8]. Sin embargo, poco se ha dicho hasta el momento sobre las metodologías de trabajo con este tipo de materiales.

Recientemente se publicó en esta misma revista un artículo que abordaba un análisis desglosado de los materiales constituyentes de estos materiales reforzados metálicos en aplicaciones escultóricas [9]. En él se especificaban tanto las matrices poliméricas más comunes para tales propósitos, como los diversos tipos de cargas metálicas, atendiendo a su naturaleza, y a sus características específicas como tamaño y morfología de las partículas. También se exponían en diversas tablas las posibles relaciones de peso y volumen de cada una de las partes constituyentes de estos materiales compuestos. Aunque en ese mismo artículo se enuncia que, por lo general, en el ámbito escultórico suelen utilizarse metodologías de colada o estratificado, no se llega a desglosar ni a concretar cómo deben desarrollarse tales procedimientos cuando se utilizan metales artificiales. Si bien las técnicas de colada, estratificado y *coating* son muy conocidas y existe ya abundante literatura sobre las mismas, el trabajo con metales artificiales implica una serie de pasos concretos y específicos para tales materiales, que requieren una metodología particular, pues de otro modo los resultados no pueden garantizarse. A tal fin, habida cuenta de la extensión de cuanto concierne a las antedichas metodologías, se ha preferido reservar todo lo alusivo a los métodos de creación y reproducción con materiales reforzados metálicos para el presente artículo.

## MATERIALES

**Resinas.** Los materiales reforzados metálicos pueden realizarse con múltiples matrices poliméricas (resinas acrílicas, epoxi, de poliuretano, viniléster, poliéster, entre otras), se recomiendan especialmente los dos tipos más frecuentes en el ámbito escultórico: resina de poliéster y resina epoxi [9]. Estos materiales cuentan con un probado éxito en reproducciones escultóricas y ornamentales, así como en propósitos de conservación y restauración desde hace décadas, y pueden utilizarse en los diversos procesos metodológicos que aquí se abordan, tanto colada, [10] como estratificación y *coating* [11]. Estas resinas curan mediante la adición de un agente reactivo (agente de curado) que es capaz de enlazar cadenas moleculares de la resina entre sí, endureciendo por completo a temperatura ambiente. Por ello, se adaptan a las condiciones de trabajo de los escultores, artesanos y conservadores–restauradores, y por lo general no requieren de un post–curado, si bien se trata de un proceso que para algunas de ellas resulta recomendable, dado que se optimizan así sus cualidades físico–mecánicas. Las resinas epoxi más frecuentes son

producto de una reacción entre epíclorohidrina y bisfenol A, y suelen curarse con aminas, fenoles y poliácidos [12]. Por su parte, las resinas de poliéster son también polímeros termoestables derivados del petróleo, que contienen el grupo funcional éster en su cadena principal. Su curado se realiza mediante la adición de peróxidos, normalmente MEKP (peróxido de metil–etil–acetona), por lo general en una proporción entre el 1,5 y el 3% en peso, aunque esto depende de fabricantes y marcas [1]. Suelen presentar óptimas propiedades físico–mecánicas y poseen alta resistencia a la luz ultravioleta. Por lo general, se utilizan pre–aceleradas, con tiempos de trabajo inferiores a los 30 minutos, y suelen endurecer antes de las 2 horas, aunque en contrapartida desprenden un olor muy fuerte y su toxicidad es mayor que la de las resinas epoxi. A pesar de que eventualmente se han utilizado otros tipos de resinas como la viniléster con la que se han obtenido resultados óptimos [7], en el presente estudio y, de acuerdo a las metodologías de trabajo propuestas, se recomienda comenzar con los dos tipos de resinas antes mencionadas dada su variedad, precio y facilidad de adquisición

**Cargas.** Las cargas son las responsables de la estructura y apariencia del material compuesto. En el caso de los “metales artificiales” se usan partículas metálicas atomizadas, de bronce, latón, hierro y aluminio (si bien pueden ser de cualquier metal), de en torno a 100  $\mu\text{m}$ . Se trata de finos polvos metálicos que por su tamaño resultan impalpables. Su morfología es irregular, lo que contribuye a crear un compuesto con el polímero conglomerante que adquiere funciones reforzantes y estéticas. En el mercado existen polvos particulados de la inmensa mayoría de metales, con morfologías distintas (partículas irregulares, partículas esféricas, lamelas etc.), y de muchos grosores desde más de 1.000  $\mu\text{m}$  (granallas), hasta polvos nanométricos por debajo de 1  $\mu\text{m}$ . Las cargas más recomendadas son las constituidas por partículas esféricas, o bien, por partículas atomizadas de morfología irregular [1–9]. No obstante, pueden utilizarse otros tipos de carga, incluso pueden mezclarse tamaños, morfologías y aleaciones para la consecución de efectos específicos, siendo este un aspecto en el que conviene ahondar desde la praxis artística.

**Infraestructuras y seguridad.** El trabajo con metales artificiales requiere ciertamente poca infraestructura, especialmente si se compara con otras técnicas de creación metálica [8]. Basta disponer de una balanza de precisión, sistemas de aspiración, y de un espacio de trabajo limpio y diáfano, adaptado a las características de trabajo del tipo de piezas que se pretenda reproducir. Es muy conveniente, por condiciones de seguridad, utilizar extractores de gases para evitar la concentración de vapores químicos olorosos en el espacio de trabajo que, a ser posible, se debe poder ventilar. Además es fundamental la utilización de elementos de protección personal (guantes, mascarillas anti–vapores y anti–partículas, gafas de seguridad y bata). Conviene recordar, por último, que las resinas y sus catalizadores son elementos tóxicos [13], al igual que los polvos

metálicos, por lo que resulta recomendable prestar mucha atención durante su manipulación con el fin de evitar accidentes.

## METODOLOGÍAS DE TRABAJO

**Colada.** La consecución de piezas por colada utilizando resinas termostables como matrices cuenta con un amplio camino recorrido en el ámbito artístico, y consecuentemente hay abundante literatura al respecto [2,3,10,14,15]. El proceso básico del método es introducir el material reforzado en estado fluido en el interior de un molde de elastómero. En principio el llenado del molde y la distribución del material reforzado en su interior se realizan por gravedad, si bien pueden utilizarse otros sistemas como las centrifugadoras usadas en fundición de joyería, especialmente si la pieza a reproducir presenta partes con detalle, de escaso grosor, o de difícil acceso para el *material reforzado*. En este sentido, conviene prestar atención a las zonas en las que podrían quedar burbujas de aire atrapadas que resultarían en un positivo con defectos. Es por ello que, en el caso de que el molde deba realizarse *ex profeso*, es muy aconsejable atender a su correcto diseño para optimizar la maniobra de vertido, y prever posibles puntos donde el aire pueda quedar atrapado, dotándolos de los convenientes respiraderos que permitan una irrigación homogénea de todas las partes. Una correcta ejecución del molde resulta fundamental para un resultado óptimo. Es recomendable, además, tener en cuenta la 'tirada', es decir, la cantidad de reproducciones que se pretende obtener. Los moldes pueden sufrir daños con las reacciones exotérmicas de las resinas y, algunas, como las resinas epoxi castigan notablemente la superficie interior del elastómero.

Cuando se realiza un llenado por colada es conveniente utilizar una proporción de carga metálica que facilite el fluido del material compuesto, por lo que en ningún caso es aconsejable exceder un ratio de 5 partes de metal (en peso) por cada parte de resina, aunque resultan más recomendables proporciones como 3/1 ó 4/1. Para el grupo de aleaciones cúpricas y hierro se ha evidenciado que en procesos de colada una proporción entre el 70 y el 80% p/p resulta óptima y, si previamente se efectúa una deposición de partículas sobre el molde, la cantidad de 70% p/p resulta suficiente en todos los casos. Por su parte, para el caso del aluminio, una ratio de entre 40 y 55% p/p es suficiente [9]. En función de la resina elegida hay que tener en cuenta que puede producirse una importante decantación de partículas (Figura 1). Esto se debe a que las resinas que requieren de un mayor tiempo de curado facilitan que las partículas descendan por gravedad hacia el fondo, y cuanto menos viscosas son, más rápidamente se produce esta deposición. Igualmente, una deposición previa de particulado metálico sobre el molde elastomérico permite asegurar una distribución de partículas homogénea en toda la superficie, minimizando posibles decantaciones, al tiempo que sirve para reducir la cantidad de metal utilizado en el *material reforzado*. Además, esta

deposición de partículas funciona como separador natural que reduce la exposición del elastómero al ataque de la resina durante el curado [1].

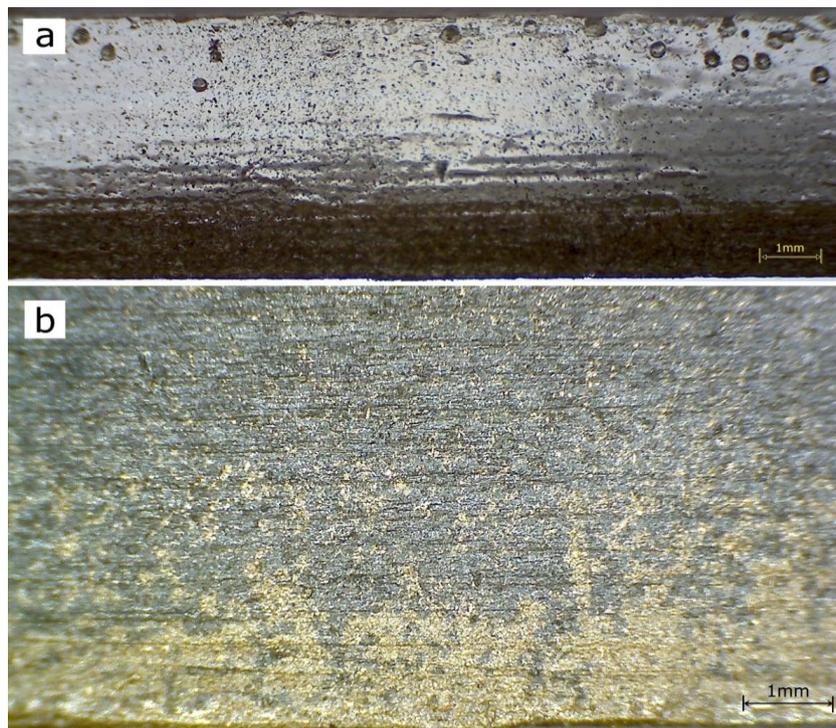


Figura 1. Dos microfotografías obtenidas a 60X, revelan el estado de decantación de las partículas metálicas. En a) se ha utilizado una resina epoxi transparente. Obsérvese el poso metálico en el fondo de la probeta de 7 mm de espesor. En b) se ha utilizado una resina de poliéster no acelerada teñida con grafito. Existen varios sistemas para corregir la decantación si ésta fuese un problema; estéticamente basta con una deposición homogénea de partículas en toda la superficie interior del molde para ocultar este efecto que, además, se aminora al usarse resinas preaceleradas o, al moverse el molde mientras se produce el curado.

El proceso de colada comienza calculándose el volumen necesario de *material reforzado*. Para ello ha de tenerse en cuenta el metal utilizado, así como el tamaño y la morfología de las partículas, pues se trata de factores que influyen notablemente. Aunque no existe una fórmula establecida, se ha probado que en metodologías de colada con metales artificiales férricos y cúpricos, la proporción de metal en peso ha de ser del 70% sobre el peso de la suma de la resina con su respectivo agente de curado [9]. Así, para hierros y aleaciones cúpricas artificiales podría utilizarse en la siguiente fórmula, (siendo  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $P_t$ , el peso de resina, catalizador, metal y total respectivamente):

$$\frac{\alpha+\beta}{P_t} = 0.3 \quad (1)$$

$$\frac{\mu}{P_t} = 0.7 \quad (2)$$

Una vez calculado el volumen necesario de metal artificial conviene realizar la mencionada deposición de partículas en las superficies del elastómero. Para ello basta con verter una pequeña cantidad de partículas en el interior del molde, y repartirlas por toda la superficie del mismo. Una fina capa de las mismas queda así adherida electrostáticamente a las paredes del molde de elastómero, y cualquier exceso debe retirarse. A continuación puede verterse el *material reforzado* elegido, procurando una colada lenta, que no genere burbujas de aire y que no remueva las partículas depositadas sobre el elastómero. Tras el tiempo de curado indicado por cada proveedor, las piezas pueden desmoldarse y, si fuese conveniente, puede utilizarse una mufla o estufa para un post-curado final, en función de las características de la resina utilizada (Figura 2).

Por la naturaleza de los materiales reforzados metálicos, el procedimiento de colada es muy recomendable para la obtención de piezas de pequeño tamaño, de volumen inferior a  $100\text{ cm}^3$ . Para otros casos de piezas medias y grandes esta metodología está altamente desaconsejada por diversos motivos: en primer lugar, por el excesivo calentamiento que puede generarse; en segundo lugar, porque pueden producirse deformaciones y/o contracciones importantes; y en tercer, lugar porque supone un innecesario gasto de recursos.

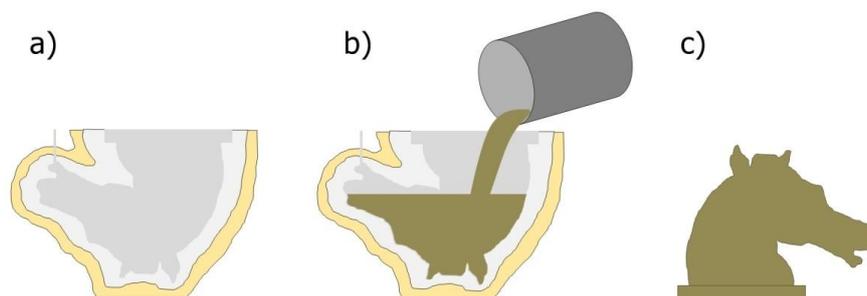


Figura 2. Proceso de obtención de una reproducción en metal artificial por colada. **a)** Se dispone de un molde de elastómero con caja rígida, y con una abertura para realizar la colada. **b)** Se vierte el *material reforzado* con cuidado, evitando que queden burbujas o bolsas de aire. **c)** Una vez curado se abre el molde y la pieza puede pulirse o patinarse, eliminando posibles rebabas, bebederos y otros restos de la colada.

**Estratificado.** De todas las técnicas de creación con *materiales reforzados* el estratificado es la que ofrece una mayor garantía de resultados tanto desde un punto de vista físico–mecánico como desde un punto de vista estético; además, ofrece una mayor optimización y economía de los materiales; también proporciona mayores posibilidades de trabajo en lo que respecta a tamaños y complejidad de formas; y por último, asegura un mayor control sobre los parámetros que intervienen en la realización de la pieza, como la deposición homogénea de las partículas, o el espesor constante. De hecho, la técnica de estratificado permite trabajar con espesores muy reducidos, lo que facilita la obtención de piezas que no podrían ser realizadas por colada ni

mediante *coating*. Es, por tanto, el procedimiento más recomendado siempre que sea posible realizarlo y, no resulte más conveniente, por algún motivo concreto, alguna de las otras dos técnicas aquí propuestas. Como el procedimiento de colada, necesita siempre de un molde a base de elastómero. Es muy abundante la literatura existente sobre procesos de estratificado [2–3,11,14–16]. Utilizar un molde correctamente preparado es de vital importancia para un acabado óptimo, por lo que nuevamente es conveniente prestar atención a la forma de realizarlo en el caso de que no se utilice un molde ya hecho [14–15].

Para la consecución de piezas por estratificado pueden utilizarse diversos métodos. Si se trata de piezas pequeñas y se utiliza una resina de poliéster acelerada, puede utilizarse una proporción análoga a la descrita anteriormente para la colada: de hecho se puede realizar igualmente la deposición de partículas metálicas sobre el interior del molde. Basta con verter con cuidado la mezcla e ir moviendo suavemente el *material reforzado* procurando que el fluido llegue a todas las partes del molde, evitando la decantación en el fondo del molde, hasta que la mezcla comience a perder fluidez y capacidad de movimiento. Una vez curada, si el grosor es el deseado, podría darse por finalizado el proceso y pasar a desmoldar la pieza. Sin embargo, la experiencia demuestra que dicha capa suele ser desigual, por lo que resulta conveniente aplicar una nueva capa, o mejor reforzarla con al menos un segundo estrato a base de resina y fibra de vidrio (Figura 3). De este modo, se minimiza la cantidad de metal utilizado, aligerando notablemente el peso de la pieza, al tiempo que se mejoran sus propiedades. Sin embargo, la aplicación por estratificado suele comportar una dosificación específica de metal en el *material reforzado*. Se trata de una relación de partículas metálicas por partes de resina, que se adecua más a tal metodología, por resultar más tixotrópica, y por tanto, capaz de mantenerse mejor en superficies inclinadas y verticales. Para estratificaciones de los grupos férrico y cúprico una ratio entre el 80 y el 87% p/p resulta óptima, pudiéndose de nuevo reducir al 80% p/p con la previa deposición electrostática sobre la horma de elastómero. Para el aluminio, por su parte, una proporción de 50 a 60% p/p resulta idónea para este tipo de procesos [9].

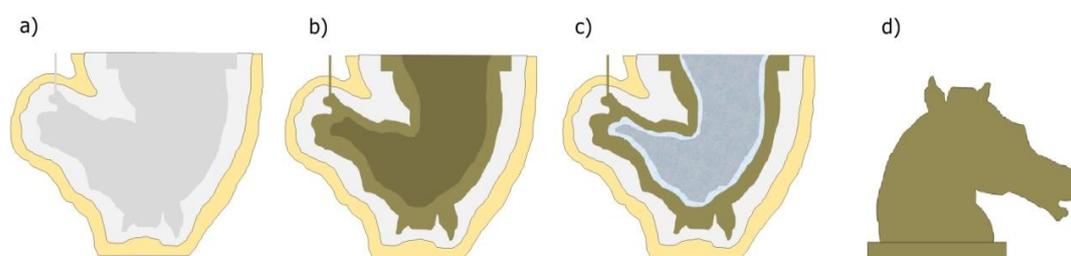


Figura 3. Proceso de obtención de una reproducción en metal artificial por estratificado. a) Se toma un molde de elastómero, con caja rígida, b) Se deposita una o varias capas de metal artificial en su interior, con la ayuda de espátulas, o pincelando, c) Tras la consecución del espesor deseado puede

reforzarse con resina y fibra de vidrio, y eventualmente puede realizarse una colada en el interior mediante algún material inerte, si se pretende dotar a la pieza de cierto peso, y **d**) Tras el proceso puede desmoldarse.



Figura 4. Proceso de obtención de una reproducción en metal artificial mediante estratificado. A) Vertido de polvo metálico en el interior del molde de silicona, B) Eliminación del depósito de polvo metálico sobrante, C) Preparación de la masilla de estratificado, D) Vertido en el interior del molde de silicona y distribución manual en el interior del mismo, hasta alcanzar un espesor homogéneo, E) tras el tiempo de curado indicado por el fabricante el material puede desmoldarse, F) Pieza desmoldada, de aspecto mate, G) Pulido de la superficie mediante lana de acero 0000, y H) Pieza tras ser pulida, con su característico aspecto metálico.

Para trabajar con esta técnica, las resinas de poliéster pre-aceleradas resultan muy adecuadas, aunque puede realizarse perfectamente con resinas tipo epoxi. Una vez dosificada la carga en la parte correspondiente de resina, el *material reforzado* puede aplicarse manualmente (utilizando siempre guantes), apretándolo contra las paredes del molde, y apelmazándolo en todos sus puntos. Pueden usarse también pinceles rígidos, espátulas y cualquier herramienta análoga de las que se utilizan en escultura para el modelado de yesos y morteros (en definitiva, cada escultor utiliza el método que le resulta más cómodo). Es importante intentar que la aplicación sea uniforme, que el grosor sea homogéneo y que no queden burbujas ni bolsas de aire. Si la pieza es grande, o si se desea incrementar las propiedades físico-mecánicas, es muy recomendable realizar un refuerzo con fibra de vidrio o con otro tipo de materiales, como se ha descrito con anterioridad.

Por lo general, las piezas realizadas mediante esta técnica suelen ser huecas, en tanto que se trata simplemente de una o varias capas de *material reforzado* que otorgan un grosor variable a la pieza, desde unos pocos milímetros hasta los pocos centímetros. Resulta un procedimiento ideal para piezas que deban ser ligeras y especialmente para piezas de gran formato (Figura 4). Pero el procedimiento de estratificado puede complementarse también con el de colada, economizando igualmente el uso de cargas metálicas. En este sentido, a las piezas obtenidas por estratificado a base de metal artificial se les puede añadir un refuerzo o ánima interior colada de cualquier otro material, siempre y cuando el molde disponga de una boca vertedera desde la que poder realizar la referida colada. Así el estratificado puede reservarse para una capa exterior, rellenando el interior con otros materiales (escayola, cemento, o resina con cargas minerales) que confieran un peso y una solidez especial a la pieza.

**Coating exterior.** El *coating* constituye un revestimiento externo; una capa superficial que necesita de un armazón sobre el que conformarse. Por lo general, para esta técnica se utiliza el *material reforzado* como si de una pintura se tratase. Para ello se mezcla la carga metálica en la matriz polimérica, en una proporción siempre inferior a 4 partes de metal por cada parte de resina (4:1), siendo más recomendable ratios como 3:1, si bien, esto depende de la resina elegida, del tipo de partícula y de la fluidez total que se desee [9]. El *coating* se aplica sobre un modelo en cualquier material inorgánico, como yeso, cemento o metal, extendiéndose con la ayuda de un pincel o brocha, de manera homogénea. Pueden superponerse tantas capas como se estime conveniente, hasta cubrir de manera óptima el modelo y/o armazón (Figura 5).

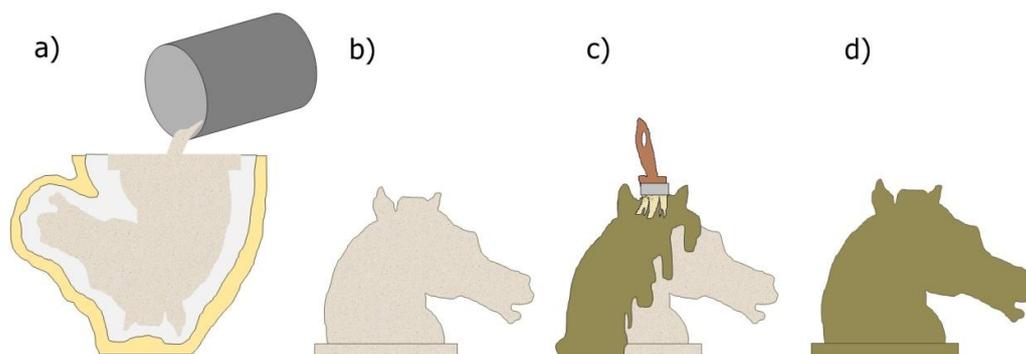


Figura 5. Proceso de creación mediante la técnica de *coating*. Se hace necesario un armazón y/o modelo, elaborado en elementos inorgánicos, como el yeso o el mortero **a)** y **b)**. **c)** Sobre este se aplica mediante brocha el *material reforzado* en estado fluido. Es preferible repetir la operación tantas veces como haga falta para eludir aglomeraciones y sobre todo para evitar que descuelgue, y **d)** Tras el curado de las respectivas capas puede patinarse sin más.

Conviene tener en cuenta que la técnica no resulta óptima si se pretende respetar la totalidad de los detalles de la superficie del modelo que actúa como armazón, habida cuenta que la aplicación del estrato de *material reforzado* puede alterar significativamente la textura original del modelo. Si esto no resulta un inconveniente, el pincel o la brocha pueden convertirse en herramientas de moldeo, dejando una serie de huellas e improntas de gran valor estético y plástico. Por su acabado rugoso y heterogéneo, esta técnica está especialmente indicada para la consecución de piezas de creación libre, donde la pátina constituya el acabado final. Asimismo, esta pátina se adapta a la perfección a la textura rugosa, porosa y granulada propia del *coating* pincelado la cual podría considerarse una cierta simbiosis estética. Sin embargo, para acabados metalizados pulidos esta técnica resulta totalmente inapropiada, siendo siempre necesaria la utilización de moldes de elastómero. No obstante, si se desea un acabado metálico mate, sí puede resultar una técnica apropiada.

## ACABADOS

**Acabados metálicos.** El metal artificial, si se ha utilizado la deposición de partículas sobre el molde de elastómero, tras ser desmoldado o aplicado mediante la referida técnica del *coating*, presenta un aspecto mate, de color homogéneo y aterciopelado, de apariencia pulverulenta. En caso contrario, si no se ha utilizado deposición de partículas sobre el elastómero, el acabado natural al desmoldar puede ser algo más satinado. Para la consecución de un acabado 'metálico', resulta necesario realizar varias acciones: a) una remoción de la resina en superficie, b) un desbarbado de las partículas más expuestas y, c) su posterior bruñido o pulido. Puede realizarse de múltiples formas, mediante lijas muy suaves, estropajos y lanas metálicas de diversos gramajes, e incluso instrumentos de acero que permitan un cierto bruñido. Hay que intentar que la fricción no sea

demasiado agresiva para que no desprenda las partículas de la capa exterior. Es preferente siempre un pulido suave, que vaya de un grano grueso a un grano muy fino. El pulido puede finalizarse con trapos de algodón y cera.

Un aspecto muy interesante en la consecución de un cierto acabado metálico es la utilización del grafito en lamelas en la matriz del material reforzado. Se trata de una de las formas minerales del carbono, y su uso en el ámbito que nos ocupa posibilita la tinción oscura de la mezcla del polímero y la carga; al tiempo que por su carácter graso resulta idóneo para reforzar la apariencia metálica con un sutil envejecimiento, lubricando la superficie en el pulido. Se utiliza en adición a la carga, siempre por debajo del 1%, aunque puede emplearse también como pigmento superficial para la obtención de determinados efectos, tal y como se describe más adelante.

Es recomendable proteger la pieza si se desea conservar el aspecto reluciente del metal, de lo contrario, el contenido metálico expuesto al ambiente irá oxidándose, perdiendo el brillo y adquiriendo una mayor oscuridad. Puede darse una protección con lacas celulósicas, goma laca, ceras naturales o cera microcristalina, o en su lugar, puede optarse por alguna de las pátinas propuestas a continuación.

**Pátinas.** Los metales artificiales pueden patinarse, es decir, pueden colorearse por la acción de agentes químicos que oxiden los metales constituyentes del *material reforzado*, provocando un determinado efecto cromático. Como sucedía con las mezclas con cargas metálicas, el ámbito de las pátinas puede ser un campo abierto a la experimentación, en el que hay mucho por hacer [2]. Sin embargo, conviene recordar que la mayoría de las pátinas requieren una importante fuente calor para desarrollarse en tiempos cortos, y las resinas epoxi y poliéster se degradan con el calor, perdiendo sus propiedades físico–mecánicas. Por otra parte, las formulaciones de las pátinas pueden contener ácidos fuertes que degraden seriamente la matriz polimérica, causando igualmente en una pérdida de propiedades físico–mecánicas. Sería necesario, por tanto, utilizar una resina que tuviese propiedades físico–mecánicas similares a los grupos epoxi y poliéster, que curase a temperatura ambiente en un tiempo reducido y, sobre todo, que tuviese especial resistencia tanto a productos ácidos como a básicos, así como a la temperatura, lo que favorecería el desarrollo de pátinas químicas sobre el *material reforzado* metálico sin comprometer sus propiedades físico–mecánicas. A tal efecto son mucho más recomendables las resinas tipo viniléster [7].

Sin embargo, para el caso del poliéster y el epoxi, pueden utilizarse algunas pátinas frías, que no contengan productos demasiado agresivos, (como algunos ácidos: sulfúrico, acético, nítrico o agua regia). Existen abundantes fórmulas, pero requieren una cierta experimentación, y largos

tiempos para su completo desarrollo [17,18]; si bien, se trata de un tema tan extenso y complejo que se excede del propósito del presente artículo.

Alternativamente –como recurso sencillo y eficaz–, se apunta aquí una solución que, en propósitos de coloreado, permite la consecución de efectos igualmente interesantes. Para simular pátinas existen procedimientos muy diversos, algunos de los cuales pueden entrañar el uso de óleos, acrílicos, o pigmentos en polvo. Aquí existe también un gran margen para la experimentación. Por lo general, puede utilizarse un pigmento aglutinado con óleo o acrílico, aplicado a pincel, con muñequilla, estarcido o salpicado, si bien, a priori no sirve el hecho de colorear la resina [19]. También puede aplicarse una capa superficial con un adhesivo muy diluido (tipo acrílico o vinílico) en las partes donde se desee una deposición de color, cubriendo sutilmente con pigmento toda la pieza. En aquellas áreas en las que no exista adhesivo, el pigmento se desprenderá, permaneciendo solo en las zonas deseadas. Esta operación puede repetirse tantas veces como se crea conveniente, utilizando si se desea diversos tipos de pigmentos (Figura 6). Para fijar el pigmento a la superficie y proteger la totalidad de la pieza otorgando un cierto brillo, puede usarse, por ejemplo, cera microcristalina disuelta con petróleo refinado. De hecho la propia cera puede constituir un medio de pátina coloreada. Basta calentar un poco de cera hasta su fusión, añadir pigmento en polvo del color que se desee y aplicarla a pincel, retirando el exceso con un trapo de algodón. Todos estos procedimientos pueden combinarse, alternarse o coexistir en una misma pieza, resultando varias soluciones que permitan armonizar partes con acabado metálico, pulido mateado, con zonas de aparente corrosión.



Figura 6. Dos vaciados en relieve con metales artificiales patinados con pigmentos. **a)** Se trata de un medallón de latón artificial, sobre el que se ha aplicado una pátina con diversos óxidos de hierro, y un estarcido de pigmentos verdes, aplicados con un adhesivo de base acuosa, **b)** Se trata de un medallón de hierro artificial con adición de grafito, al que se le han añadido óxidos de hierro naturales con un adhesivo suave de base acuosa. Obsérvense los respectivos efectos, que no pueden distinguirse visualmente de una pátina real.

Por último, pueden utilizarse también productos asfálticos, como el *betún de Judea*. Es el resultado de una mezcla de sustancias orgánicas de tono oscuro, que conforman una materia grasa y muy pegajosa, compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos. Este producto confiere una pátina parduzca que altera de forma transparente el color del metal, oscureciéndolo y otorgándole un cierto aspecto envejecido, resaltando las partes más expuestas al acumularse en las zonas más hundidas.

## CONCLUSIONES

Se ha presentado a lo largo del artículo las diversas metodologías con las que se trabaja con metales artificiales en ámbitos artísticos, artesanales y patrimoniales. Se trata de procedimientos que necesitan de un molde de silicona para el sistema de estratificado y de colada, o bien, de un modelo o armazón para el sistema de *coating*. Asimismo, requieren de formulaciones específicas y una serie de pasos concretos que garantizan un resultado final óptimo. Actualmente, a) son procedimientos rápidos y con resultados razonablemente óptimos; b) son procedimientos que permiten obtener tanto piezas de pequeño como de gran formato, sin limitaciones a día de hoy; c) Son materiales accesibles y relativamente económicos; d) Es una técnica que cubre un amplio abanico de posibilidades en cuanto a aspectos de prototipado y reproducción se refiere.

**Agradecimientos.** Los autores quieren agradecer su colaboración a las doctoras *Carmen Marcos* del *Instituto de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM)* y a *Montserrat Lastras Pérez*, del *Instituto de Restauración del Patrimonio (IRP)*, ambas de la *Universitat Politècnica de València* y miembros de este equipo de investigación. También a los catedráticos *Clara Gómez Clari*, y *Andrés Cantarero* del *Instituto de Ciencias de los Materiales de la Universidad de Valencia*, por sus consejos y orientación así como por la cesión de espacios para el trabajo experimental. Finalmente, a *Joan Navarra*, de *Pometon España*, que colaboró suministrando muestras de diversos particulados para la realización de este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Herrero M, Culebras M “El metal artificial en la obtención de reproducciones arqueológicas y escultóricas. Breve estado de la cuestión”. En Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio, EMERGE 2014.Valencia: Instituto de Restauración del Patrimonio. Universidad Politécnica de Valencia, Universitat Politècnica de València, 461 (2014)
- [2] Percy HM "New materials in sculpture", 2ª edición. Londres, Reino Unido: Alec Tiranti, (1965)
- [3] Spenik R. "Successful cold-casting and mould making". Northfolk, 1ª edición 1976. Londres, Reino Unido. Stobart Davies Ltd., 1998

- [4] Gilroy D “The use of metal powder impregnated resins for replica and restoration work”. *ICCM bulletin*, **2** (1), p. 30–32 (1976)
- [5] Engel G "Die Rekonstruktion eines silbernen Monumentalkreuzes aus der Karolingerzeit (Peterskirche zu Rom)" *Arbeitsblätter für Restauratoren*, **21**, 103 (1988)
- [6] Poncelet E, Texier, A “La restauration de la fontaine des Mers, Place de la Concorde, Paris”, *Monumental*, **5**, 138 (2001)
- [7] Herrero M, Mas X, Lastras M, Marcos M, Culebras M. “El ‘bronce artificial’ en la reproducción de objetos arqueológicos, escultóricos y ornamentales. Una solución para la conservación preventiva y la divulgación del patrimonio metálico”. En Actas del II Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico Segovia, Real Casa de Moneda, 1–3 de octubre de 2015, Madrid: SECYR –UAM & CENIM–CSIC, 2016, p. 139 148
- [8] Herrero M, Mas X, Marcos M, Lastras M, Culebras M "Museum reproduction of metallic archaeological artefacts: from lost wax casting techniques to artificial metals" *Ge-conservación*, **12** (1), 31 (2017)
- [9] Herrero M, Culebras M, Mas X “Metales artificiales en aplicaciones escultóricas: matrices termostables y cargas metálicas”, *Rev. Iberoam. Polímeros*, **18** (1), 21 (2017)
- [10] García S “Metodología de la colada directa aplicada a la escultura”, *Rev. Iberoam. de Polym.*, **7**(4), 270 (2006)
- [11] García S “Técnica de la estratificación manual aplicada a la escultura: moldes y contramoldes”, *Rev. Iberoam. Polímeros*, **11**(4), 208 (2014)
- [12] Besednjak A, Dietrich A “*Materiales compuestos*” Vol. 100. Barcelona: Univ. Politèc. de Catalunya. (2005)
- [13] García S “Recomendaciones, salud y seguridad en la manipulación de las resinas”, *Rev. Iberoam. Polím.* **14**(5), 233 (2013)
- [14] Brooks N “*Mouldmaking and Casting*”. 1ª edición, Londres (Reino Unido), Crowood, 2005
- [15] Brooks N “*Advanced Mouldmaking and Casting*”. 1ª edición, Londres (Reino Unido), Crowood, 2011
- [16] García S “Resinas de poliéster + cargas de relleno = piezas volumétricas”, *Rev. Iberoam. Polím.*, **14**(2), 105 (2013)
- [17] Hughes R, Rowe M “*The colouring, bronzing and patination of metals, a manual for the fine metal worker and sculptor*”. Londres (Reino Unido): The Crafts Council, (1982)
- [18] Young RD “*Contemporary patination*”. Los Ángeles (EE.UU.): Sculpt Nouveau, (1994)
- [19] García S "Técnica de la aplicación del color sobre poliésteres sólidos". *Rev. Iberoam. Polím.*, **15**(3), 126 (2014)