

La microfusión de cascarilla cerámica: una técnica adecuada para la reproducción en bronce de piezas arqueológicas

JOSE ANTONIO AGUILAR GALEA
Universidad de Sevilla

RESUMEN

En este artículo presentamos la idoneidad de la microfusión de cascarilla cerámica de cara a la reproducción de originales de metal de los museos arqueológicos. La extraordinaria calidad de registro superficial de los resultados obtenidos por medio de esta técnica unido a unas especiales condiciones entre las que destaca fundamentalmente la mínima intervención que sufre la obra original la convierten en un medio de adecuado para la reproducción de modelos de pequeño y mediano formato. El tema se aborda e ilustra a partir de todo el proceso de reproducción de dos piezas emblemáticas del Museo Arqueológico Provincial de Sevilla, el Bronce Carriazo y la diosa Astarté.

PALABRAS CLAVE: Microfusión, Cascarilla Cerámica, Astarté, Bronce Carriazo, Fundición, Tartesos

ABSTRACT

By this work we show the suitability of the microfusion of ceramic shell in order to reproduce the original of metal from the archaeological museums. The outstanding quality of superficial registration from the results obtained by means of this technique, together with some special conditions among which it is to mention the minimum intervention experienced on the original piece, makes it an appropriate method for the reproduction of small and medium sized models. The topic is approached and explained through the whole process of reproduction of two of the most representative masterpieces of the Archaeological Museum of the Province of Sevilla: 'The Carriazo Bronze' and 'the Astarté Goddess'.

KEY WORDS: Microfusión, Ceramic Shell, Astarté, Carriazo bronze, Casting, Tartesos.

PREÁMBULO

La reproducción de obras originales de metal de museos arqueológicos se justifica fundamentalmente a partir de dos premisas:

La primera es producto de la función didáctica y de difusión que cumple toda obra arqueológica expuesta, y donde la movilidad de originales para exposiciones y eventos es frecuente en numerosas piezas, sobre todo acontece en aquellas que son realmente emblemáticas o que poseen una relevancia destacada.

La segunda deriva de la problemática que genera el propio descubrimiento de estos hallazgos dado que la competencia provincial del Museo regional o incluso en muchos casos, estatal, se antepone normalmente a los intereses de los municipios o de los museos locales.

Este tipo de acciones permite:

- La conservación en los lugares de origen de los originales.
- Una mejor preservación de estas obras.
- Prevención de daños en las piezas por la manipulación de terceros en desplazamientos, etc.
- Garantizar frente a incontinencias (robos, deterioros o alteraciones propias, etc.) el testimonio histórico material de estas piezas.
- Posibilidad de ceder a museos o exposiciones eventuales estas reproducciones, o en su defecto, si viajan los originales mantener los contenidos expositivos del museo exhibiendo estas réplicas.
- Donaciones de particulares a museos a cambio de reproducciones de las piezas (en contrapartida o parte del intercambio).
- Reproducción en bronce de diferentes metales, cobre, hierro,

plata, etc., que adquieren, además de la calidad formal del original, el carácter cromático de éste gracias a posibilidad que el bronce ofrece de imitar la coloración de otros.

INTRODUCCIÓN A LA CASCARILLA CERÁMICA. CARACTERÍSTICAS GENERALES:

El empleo de las arcillas en la fundición enlaza tecnológicamente con la industria cerámica, predecesora de ésta en el manejo del fuego en la transformación de las materias. Los crisoles y moldes de arcilla fueron los primeros que se utilizaron para la fundición, hecho que en buena lógica se debe a su funcionalidad primaria como soporte cotidiano, es decir, los recipientes, y contenedores cerámicos de uso habitual, son los predecesores de la fundición. La arcilla en realidad es una sustancia inmediata en lo que se refiere a la proximidad, familiaridad y fácil adquisición. Hoy día este material ha cobrado de nuevo pujanza gracias a la perfección y control que hoy día tenemos de estos materiales. Y es precisamente a partir del desarrollo y perfeccionamiento de las materias primas cerámicas cuando se va a evolucionar en la configuración de soportes de esta naturaleza que van a irrumpir en el mundo de la fundición desde otros campos, éste será el caso de la cascarilla cerámica.

Por sus cualidades, hoy día junto a la fundición a la cera perdida tradicional de chamota (italiana) es la técnica de fundición más extensamente utilizada en las fundiciones artísticas.

La nueva técnica denominada *SOL-GEL*, procede de una patente desarrollada por la NASA para la construcción de las plaquetas cerámicas que conforman a modo de retícula la superficie exterior de los transbordadores espaciales y se basa en una emulsión que contenga sílice (lámina 1). De esta aplicación, dado sus excelentes características refractarias, posteriormente se reconvirtió su uso para la fabricación de moldes refractarios en la fundición del acero, concretamente para elementos de precisión, como por ejemplo las armas, dado que los productos obtenidos presentaban la valiosa cualidad de ajustarse con gran exactitud a los modelos que reproducían, no necesitando apenas del mecanizado final que era obligado en la fundición convencional. Esto es debido a que no presenta cambios alotrópicos frente a las variaciones de temperatura, hecho que desemboca en la consecuente estabilidad dimensional del molde y en una contracción lineal reducida. Estos factores finalmente facultan la precisión de la reproducción, tanto en las magnitudes proporcionales como las de superficie.

Estas virtudes, entre las que destacaba sobre manera la excelente calidad superficial de los resultados, la convertía en una técnica que se adecuaba perfectamente a las exigencias de la fundición artística, irrumpiendo en este contexto en los años "70".

En lo que respecta a sus aplicaciones, se utiliza fundamentalmente en la escultura de pequeño y mediano formato, dado que para superiores tamaños presenta importantes dificultades técnicas, por otro lado siempre salvables con infraestructuras complejas. Algo que hoy día con el perfeccionamiento de los sistemas de unión de diferentes piezas mediante soldadura se ha resuelto. De hecho, casi el cien por cien de la obra monumental fundida en bronce desde hace bastante tiempo se aborda desde la fragmentación, o "fundición por partes" que posteriormente son fijadas unas a otras

con este medio.

En la actualidad la cascarilla cerámica también viene desempeñando un papel secundario combinándose su aplicación con otros revestimientos refractarios como el yeso chamotado o el cemento, asumiendo así una función básicamente de registro en las primeras capas. De hecho, es la práctica más generalizada en las fundiciones artísticas profesionales adaptándola de esta manera a las metodologías que —por tradición— venían poniendo en práctica.

MICROFUSIÓN CON CRISOL INCORPORADO

Pero además de sus innegables cualidades de cara a la calidad de la reproducción del detalle, la característica que convierte a la cascarilla cerámica en una técnica idónea para la reproducción de originales de metal, es consecuencia de la naturaleza porosa propia del molde cerámico. Esta micro-porosidad, que facilita la salida de los gases que genera cualquier metal al calentarlo, se expande al exterior por la misma pared del molde, permitiendo la evacuación de éstos y también de la misma presión que ejerce el metal al rellenar una cavidad vacía. Al no tener que incorporar respiraderos, es decir, una especie de tubos de salida por donde se eliminan estos inconvenientes en la fundición convencional, el modelo sufre las intervenciones y modificaciones mínimas presentándose lo más cercano a su prototipo inicial.

El otro elemento que junto con los respiraderos se acopla o se añade a la reproducción de cera, es el bebedero. Éste comparte con el anterior su forma tubular, pero en este caso ésta es de sección siempre más gruesa que la del respiradero. Desde el vaso de colada el bebedero reparte el metal por toda la pieza ramificándose tanto cuanto el modelo así lo exija, de hecho al conjunto de bebederos y respiraderos se le denomina *árbol de fundición* precisamente por esta peculiar estructura ramificada. En este capítulo la microfusión con crisol incorporado también presenta la ventaja que esta estructura se simplifica al mínimo dado que durante la colada del metal el molde está prácticamente a la misma temperatura que el metal con lo cual éste circula dentro del molde rellenando el modelo sin necesidad del concurso de más intermediarios, es decir, la misma pieza cumple la función de los bebederos abasteciendo al molde. En consecuencia, y como sucediera para la casuística de los respiraderos, el número de bebederos se reduce al mínimo, incorporándose normalmente dos, tres, en algún ejemplo cuatro, aunque por el contrario, también hay piezas que se resuelven con uno sólo.

En la fundición convencional siempre existen tres elementos esenciales: Por un lado, el molde o cavidad conformada en un material refractario (que soporte la temperatura del metal que vamos a verter en él), luego el contenedor, igualmente refractario donde fundimos el metal, y finalmente el horno, es decir, el hogar donde se realiza esta operación.

En la microfusión de cascarilla cerámica con crisol incorporado molde y crisol forman un mismo conjunto conectado por los bebederos. De manera que en un extremo de éste tenemos el crisol que contiene el metal dentro, y en el otro, el negativo, es decir, el molde refractario que reproduce el modelo que deseamos positivizar en metal. Una vez introducido en el horno y derretido el metal, girando el montaje conseguimos que el fluido pase de un espacio al

otro. El principio fundamental de este método se basa en la circunstancia que el metal y el molde que lo va a recibir está a una temperatura muy próxima, con lo que se garantiza que el primero va a transitar perfectamente por su interior copiando de esta forma cualquier particularidad de éste.

Esta es la única microfusión que se vale simplemente de la gravedad para lograr la reproducción de secciones de metal muy delgadas. Con este objetivo, para forzar el acceso del metal dentro de estas secciones, otras técnicas de microfusión habitualmente se valen de la fuerza centrífuga, el vacío, el vapor de agua, etc...

Pero como es obvio, como cualquier sistema, éste también posee determinados inconvenientes que la limitan de alguna forma en distintos capítulos, como en los formatos, del que ya hemos hablado, y fundamentalmente en el apartado de los núcleos. Principalmente sucede en aquellos machos que no pueden ser revisados en su totalidad, y así, garantizar que no se han producido fracturas durante la evacuación de la cera. Como el molde interno no debe reforzarse en demasía dado que es contraproducente al no permitir con su rigidez mermar al bronce mientras éste enfría, la solución adoptada por la mayoría de las fundiciones comerciales es completar el alma con yeso chamotado.

La eliminación de los restos de cascarilla adheridos al bronce es otra de las dificultades que genera el uso de la cascarilla, y es especialmente acusado en aquellas piezas que presentan superficies bastante texturadas.

A continuación veremos todo el proceso de reproducción sobre dos de las obras más significativas del Museo Arqueológico Provincial de Sevilla, el *Bronce Carriazo* y la diosa *Astarté*. Como dato hay que decir que son dos piezas macizas de metal (solamente la base de la diosa es hueca), un hecho importante para comprender las metodologías adoptadas a continuación.

Proceso de reproducción del modelo

1.- Molde de silicona

El mejor material para reproducir originales es el elastómero de silicona y dentro de éstas las líquidas garantizan la calidad en la reproducción. Aunque el proceso es más complejo que las de "estampillado" y no siempre el trabajo en esta institución permite realizar procedimientos dilatados en el tiempo, manteniendo así la pieza fuera de las salas expositivas, con lo que la aplicación directamente con las manos es más inmediata en la reticulación. (Lám. 2, 3, 4).

Protección del original.

Como paso previo a toda la aplicación de siliconas o cualquier otro material de reproducción sobre originales hay que proceder a consolidar el soporte y posteriormente a la protección de la superficie. Éste es el caso de dos bronceos estables a los que se les ha aplicado talco para evitar una posible adhesión de la silicona a la pátina.

2.- Reproducción del modelo en cera

El método de reproducción en cera de un molde de silicona se divide normalmente en dos fases: En primer lugar, la capa de registro se asegura a pincel, para seguidamente, una vez cerrado el molde, voltearlo para lograr aumentar unos milímetros la copia y fun-

damentalmente para que una ambas partes, si se quiere obtener una reproducción hueca, o bien, a cubrir con cera líquida el interior del molde si se pretende un bronce pleno (Láms. 5, 6). El volteo en moldes de silicona no es posible por el calentamiento que se produce en la matriz de silicona, algo que la diferencia en esencia de la naturaleza porosa de los moldes de yeso, material que hasta la aparición de los elastómeros, protagonizaba casi con exclusividad estas aplicaciones (Láms. 7, 8, 9).

Cuando se trata de modelos pequeños o de sección reducida es posible simplificar el proceso rellenando el molde obteniendo así una copia maciza, no hueca. Otra cuestión a tener en cuenta acontece en el caso del modelo del *Bronce Carriazo*, donde la sección de éste en algunas zonas es tan pequeña que macizando desde el principio no aseguramos la reproducción, con lo que la primera aplicación a pincel es inevitable (Láms. 10, 11, 12).

3.- Árbol-Crisol

Como ya hemos comentado, con la técnica de microfusión de cascarilla cerámica el árbol de fundición, es decir, todo el conjunto de conductos que se incorporan sobre el modelo para por un lado, conducir el metal desde el crisol hasta el molde, y para eliminar las bolsas de aire que genera esta operación, se simplifican al mínimo. En los dos modelos que estamos ejemplificando, para el *Bronce Carriazo* se emplean dos bebederos, y para la *Astarté*, un bebedero principal y otro secundario. En ambos casos no se han incorporado respiraderos (Lám. 13).

4.- Revestimientos

El molde refractario de cascarilla está compuesto esencialmente de dos elementos, por un lado, la sílice coloidal, que cumple la función de aglutinante y por el otro, una sustancia refractaria, la *molochite*, nombre comercial de la caolinita, aunque como alternativa a ésta además es común el uso de otros materiales como la alúmina o el zirconio (Láms. 14, 15). El molde se consigue a base de capas que dependen en número del tamaño de la pieza, aunque para microfusión se puede estandarizar un número de 4-5 (Láms. 16,17). El modelo de cera es impregnado en la barbotina, es decir, por la sustancia configurada a partir de los dos ingredientes que comentamos anteriormente, y rebocado en el refractario en diferentes granulometrías, que dependen del orden de los distintos estucados (Láms. 18,19). Cada capa debe ser secada con un margen de 2-4 horas entre ellas a excepción del primero de estos estratos en el que el período es de 12 horas.

5.- Descere

Con la eliminación de la cera se obtiene el negativo refractario que posteriormente albergará el bronce. Esta operación se realiza en una campana de descere a una temperatura cercana a los 700 ° C, mediante un choque térmico brusco con el que conseguimos que la cera evacue el molde sin que la expansión consecuencia de su dilatación quiebre el molde (Láms. 20,21). Esto sucede porque éste aún no es cerámico, no posee la cohesión que confiere la cocción en el horno (Lám. 22).

6.- Refuerzos

Una vez descerados los moldes se refuerzan con un último revestimiento que garantice su solidez frente a las posibles fracturas producidas durante la eliminación de la cera. Además dependiendo de la forma del molde se incorporan estructuras de refuerzo de fibra de vidrio, o incluso metálicas (alambre) que aseguren posteriormente la colada (Láms. 23,24, 25).

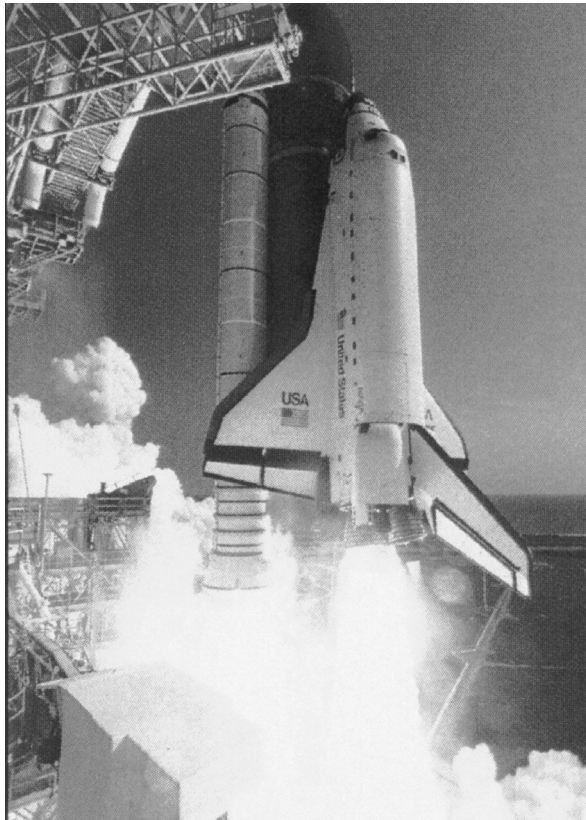
7.- Fundición

El crisol se carga con la cantidad de metal, en este caso bronce, necesario para completar el modelo (Lám. 26). Para calcular este valor deberemos multiplicar por nueve el peso del modelo en cera y sumarle el porcentaje proporcional de los bebederos y respiraderos incluidos. Sobre este total se suele incrementar un diez por ciento para crear más presión metalostática.

El molde se introduce en el horno ya con el metal dentro y se enciende (Lám. 27, 28). Una vez fundido se extrae del horno con la ayuda de una pinza realizando a continuación una rotación que permita el paso del metal desde el crisol al molde (Láms. 29, 30, 31, 32, 33).

8.- Desmoldeo

Como cualquier otro procedimiento de reproducción "a molde perdido", para obtener el resultado hay que romper el molde. Esta operación se realiza con sumo cuidado dado que en muchas ocasiones el molde cerámico es más resistente que el propio metal,



Lám. 1: *Trasbordador espacial "Endavour" despegando.*

sobre todo en aquellas zonas del modelo donde la sección del bronce es reducida (Láms. 34, 35,36). Nos referimos anteriormente a la capacidad que caracterizaba a la cascarilla cerámica de lograr registros mínimos, pues bien, en ocasiones el problema no se halla en que el metal llegue o no a aquellas partes más delgadas del modelo, sino que éste soporte, dada su extrema fragilidad, el descascarillado del cerámico. Es decir, tenemos la posibilidad de reproducir secciones de metal del calibre de un cabello, pero para desmembrar el molde que lo recubre debemos ejercer una presión que a veces no soporta el mismo bronce. El proceso se realiza mecánicamente con cincel y martillo (Láms. 37,38).

9.- Eliminación árbol

Todo elemento o accesorio que se incorporó al modelo en cera y que sirvió para el abastecimiento del metal o derivado de este proceso se elimina con medios mecánicos (Lám. 39). Como venimos comentando con el empleo de esta técnica todos estos añadidos se reducen al mínimo, teniendo que intervenir sobre la superficie del modelo en lo esencial, manteniendo de esta manera lo más íntegro y fiel la identidad del original (Láms. 40, 41).

10.- Pátina

Con este proceso se pretende proporcionar a la reproducción de los valores cromáticos superficiales, que el original posee por oxidación natural y, que le confieren en ocasiones un interés añadido.

El método de aplicación de la pátina consiste básicamente en poner en contacto la superficie del metal con una película de una solución de un ácido en agua, con el objeto que reaccione con la matriz metálica formando una oxidación externa que, una vez estable además de crear un efecto cromático, proteja el metal de ulteriores ataques corrosivos.

Este recurso se puede realizar por diferentes metodologías, en frío o en caliente; sometiendo el metal al contacto con el ácido, directamente aplicándolo con una brocha, sumergiendo la pieza en un baño, encerrándolo en un contenedor bajo la acción de los va-



Lám. 2: *Partición en dos con plastilina del bronce Carriazo.*



Lám. 3: Retirada de la plastilina en el exterior e interior, mostrando la parte posterior ya configurada en silicona y resina de poliéster (madre forma)



Lám. 4: Mitad posterior del molde ya configurada.



Lám. 5: Aplicación de la cera a pincel sobre la cara anterior del molde.

pores, pulverizándola, impregnándola en otra materia para que se mantenga en contacto y actúe por un tiempo más prolongado, o también combinando alguna de estas opciones (Lám. 42). Una vez seca, se puede repetir el proceso hasta conseguir el efecto deseado, tras lo cual se somete a un enjuagado con agua que detenga la actividad oxidante. Finalmente con el objeto de fijar y proteger el aspecto definitivo conseguido, se recubre con una capa de cera o



Lám. 6: Vista interior de las dos caras ya reproducidas en cera



Lám. 7: Unión de las dos partes.

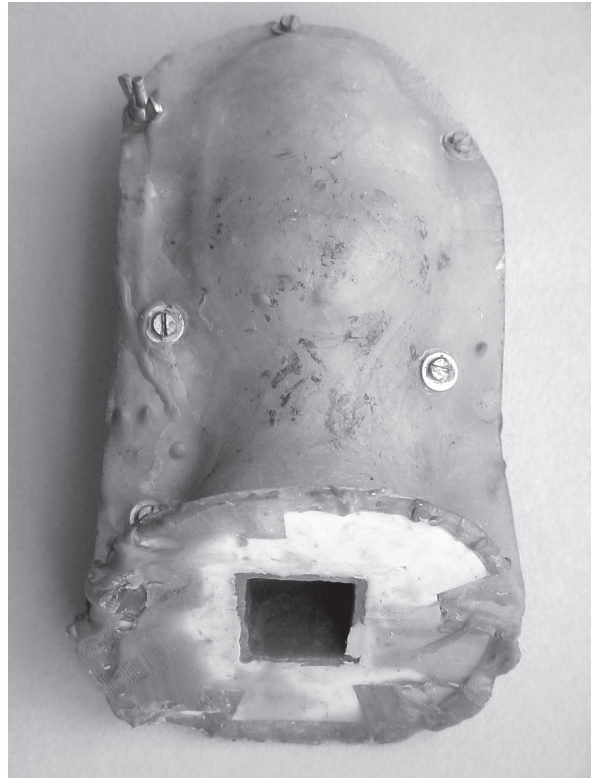
laca, acción que ofrece al mismo tiempo la posibilidad de continuar potenciando los valores apuntados en este apartado y prestándose a múltiples variaciones (Láms. 43, 44, 45).



Lám. 8: Colada de cera que completará el modelo uniendo las caras.



Lám. 9: Reproducción en cera del Bronce Carriazo sin reparar. Son visibles las rebabas características de las particiones.



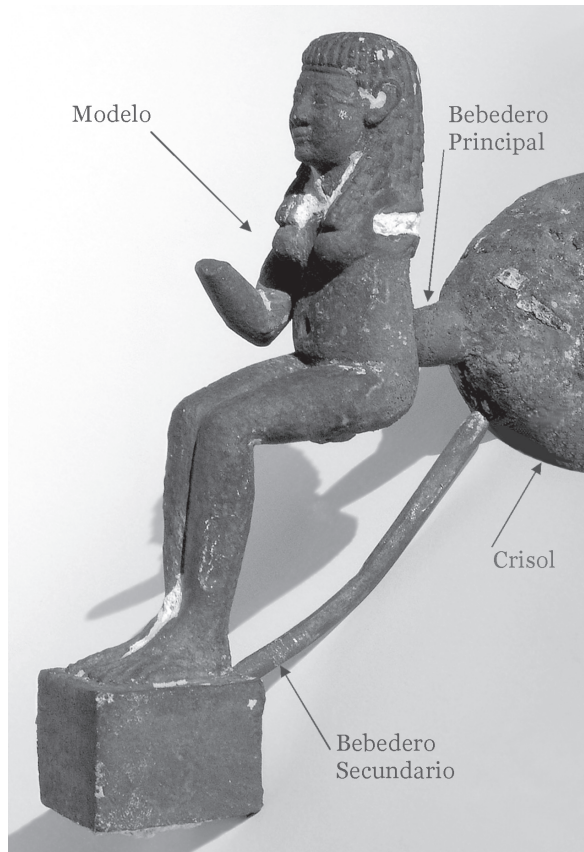
Lám. 10: Molde de silicona y madre forma de resina con la reproducción en cera en su interior de la Diosa Astarté.



Lám. 11: Mitad posterior del molde de la Astarté con la reproducción en cera.



Lám. 12: *Detalle del molde de la Astarté que muestra sus componentes: Negativo flexible (silicona), y madre forma rígida (resina de poliéster).*



Lám. 13: *Montaje del modelo distinguiéndose los bebederos y el crisol.*



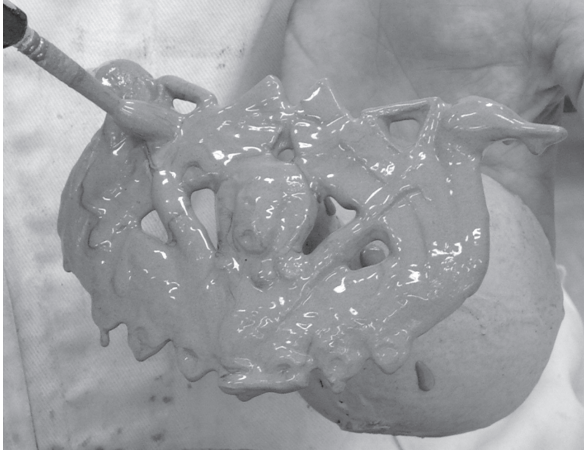
Lám. 14: *Aplicación a pincel del primer estucado refractario sobre el Bronce Carriazo.*



Lám. 15: *Aplicación a pincel del primer estucado refractario sobre la Astarté.*



Lám. 16: *Una vez seca se reviste de la segunda capa el modelo de cera del Carriazo.*



Lám. 17: *Detalle de la anterior donde puede apreciarse la viscosidad y cobertura del mismo.*



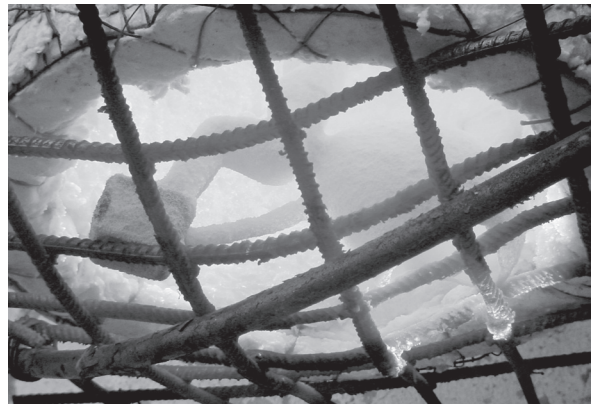
Lám. 18: *Segunda capa en la Astarté.*



Lám. 19: *Rebozado de la anterior con árido fino.*



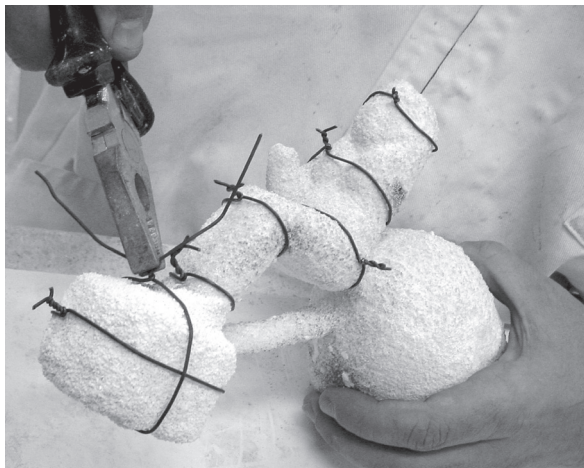
Lám. 20: *Eliminación de la cera en la campana mediante el "choque térmico".*



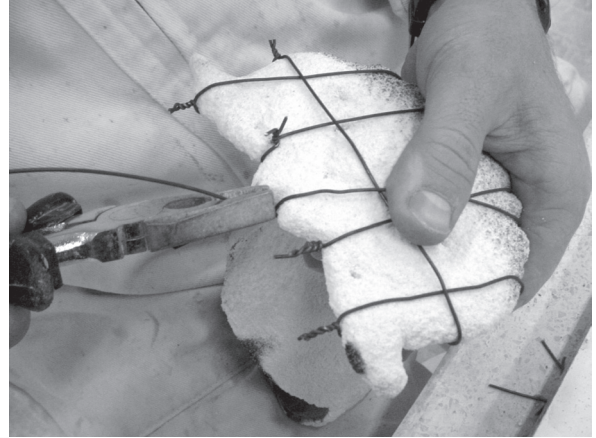
Lám. 21: *Detalle de la imagen anterior de la Astarté en este proceso.*



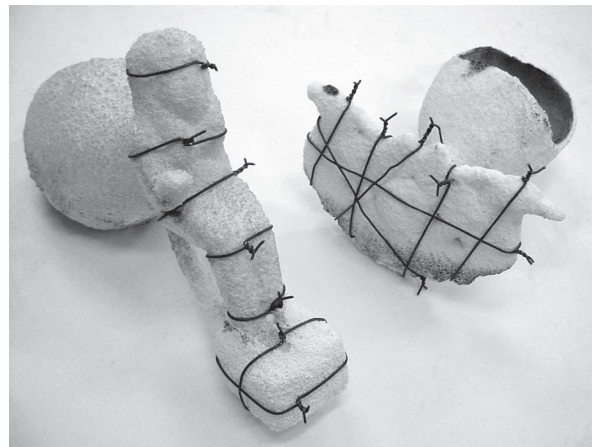
Lám. 22: Vista del conjunto cerámico; modelo, bebederos y crisol una vez evacuada la cera.



Lám. 23: Reforzado con alambre de la Astarté.



Lám. 24: Reforzado con alambre del Carriazo.



Lám. 25: Vista general de los dos moldes consolidados.



Lám. 26: Incorporación de trozos de bronce al crisol del Carriazo.



Lám. 27: *Introducción del molde en el horno de fusión.*



Lám. 28: *Horno de fundición en funcionamiento.*



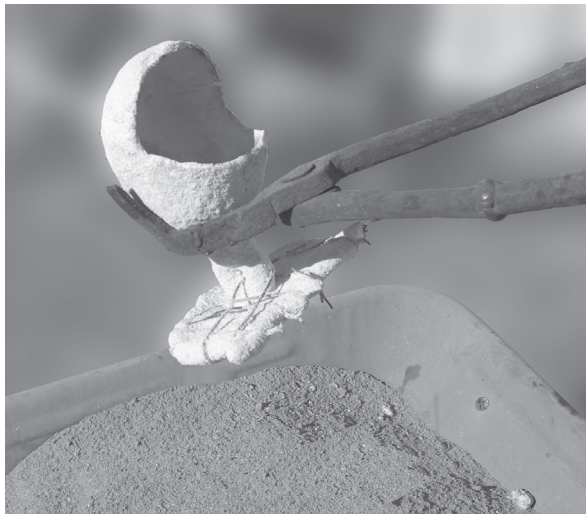
Lám. 29: *Secuencia 1 de la extracción del molde por medio de una pinza del horno.*



Lám. 30: *Secuencia 2 de la operación que ilustra la imagen anterior apreciándose en el interior del crisol el metal fundido.*



Lám. 31: *Secuencia 3 de dicha maniobra donde se traslada el conjunto a un lecho de arena.*



Lám. 32: *Secuencia 4, sobre la arena se gira la pieza permitiendo con ello el traslado del metal desde el crisol al interior del molde, simplemente por la fuerza gravitatoria.*



Lám. 33: *Secuencia 5, la pieza se asienta en la arena hasta que el metal enfríe.*



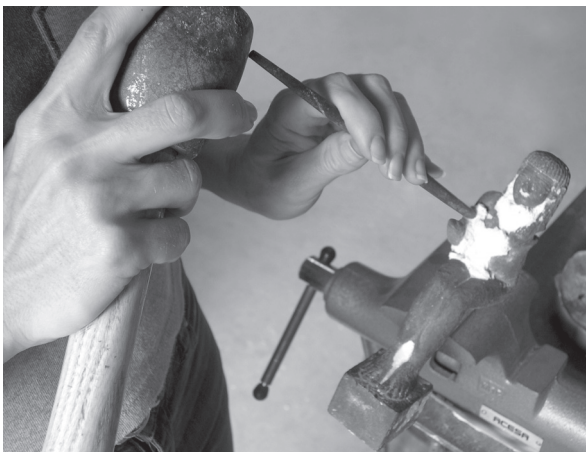
Lám. 34: *Rotura del molde de la reproducción de la Astarté.*



Lám. 35: Desprendimiento de la cara anterior del molde cerámico del Bronce Carriazo.



Lám. 36: Detalle de la imagen anterior que muestra la facilidad de separación de la cascarilla en aquellas zonas planas poco texturadas, la reducida sección del molde cerámico, y el ennegrecimiento superficial por oxidación que presenta el bronce (la figura del fondo).



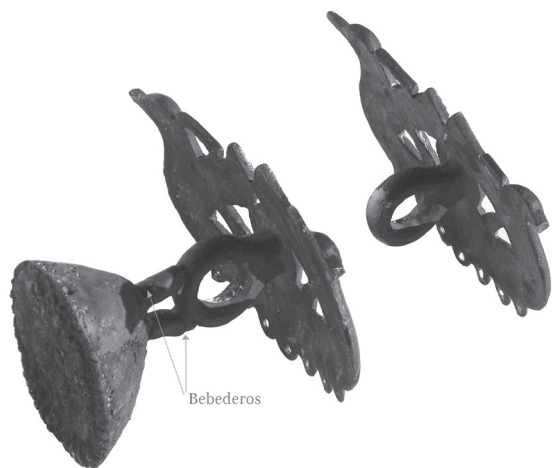
Lám. 37: Separación de restos de cascarilla mediante cincel y martillo en las partes más angostas de la Astarté.



Lám. 38: Detalle de la imagen anterior donde puede distinguirse la calidad de la reproducción.



Lám. 39: Eliminación de los conductos de colada con rebarbadora.



Lám. 40: Comparativa del Carriazo antes y después de cortar los bebederos.



Lám. 41: Corrección de las superficies del modelo del Bronce Carriazo donde se fijaron los bebederos en la cera.



Lám. 42: Pátina por oxidación superficial a través de la acción de ácidos acelerada con calor.



Lám. 43: Fijación de la pátina mediante cera.



Lám. 44: Reproducción en bronce mediante microfusión con crisol incorporado del Bronce Carriazo.



Lám. 45: Imagen del Bronce Carriazo original.