

Cuadernos de historia del arte

ISSN: 0070-1688

ISSN: 2618-5555

iha.publicaciones@ffyl.uncu.edu.ar

Universidad Nacional de Cuyo

Argentina

PÉREZ CONESA, Itahisa; VILA MOSCARDÓ, David; DEL PINO DE LEÓN, Soledad

La evolución de los moldes de revestimiento cerámico para la fundición a la cera perdida: desde la edad primitiva hasta la actualidad
Cuadernos de historia del arte, núm. 36, 2021, Marzo-Junio, pp. 241-274

Universidad Nacional de Cuyo
Parque General San Martín, Argentina

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=603870050009>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

***La evolución de los moldes de revestimiento cerámico
para la fundición a la cera perdida: desde la edad
primitiva hasta la actualidad***

*The evolution of ceramic tile moulds for
investment casting: from the primitive age to the
present day*

*A evolução dos moldes de revestimento cerâmico
para a fundição à cera perdida: desde a idade
primitiva até a atualidade*

*L'évolution des moules de revêtement en
céramique pour la fonte à la cire perdue : de l'âge
primitif à nos jours*

*Эволюция керамических облицовочных форм
для литья по выплавляемым моделям: от
первобытного возраста до наших дней.*

PÉREZ CONESA Itahisa¹-

Universidad de la Laguna

Iperecon@ull.edu.es

VILA MOSCARDÓ David²-

Universidad Miguel Hernández

dvila@umh.es

DEL PINO DE LEÓN Soledad³-

Universidad de la Laguna

spino@ull.es

*Fecha de recepción: 19/10/2020
Fecha de aceptación: 22/06/2021*



Resumen

La técnica de la fundición a la cera perdida para producción de piezas de metal es utilizada por diferentes culturas en la historia de la humanidad. Sus procedimientos se han ido adaptado a la tecnología en uso del momento dejando registro de ello, ya fuera en los monumentos funerarios egipcios, en obras artísticas procedentes de Mesopotamia o Grecia, entre otros, o recogida en textos, manuales y tratados.

En este artículo se muestra un recorrido que nos presenta la evolución de las técnicas de los moldes con revestimiento refractario, y por ello, se puede hacer una retrospectiva que nos indica que la técnica de la chamota y la cascarilla cerámica, evidentemente, sucesoras a la técnica primitiva, han sido adaptadas a los avances tecnológicos de cada una de las diferentes culturas alcanzando sus propias características para que fueran más eficaces y rentabilizadoras. Se describen las características de la pasta del molde refractario desde los inicios hasta la técnica más utilizada actualmente con sus derivados técnicos que demuestran que los procedimientos de la fundición artística están en constante adaptación y simplificación para economizar y simplificar la producción de piezas en función de las necesidades.

Palabras Claves

FUNDICIÓN ARTÍSTICA, ESCULTURA, ARTE,
REVESTIMIENTO CERÁMICO, MOLDES.

Abstract

The lost wax casting technique for the production of metal parts is used by different cultures in the history of mankind. Its procedures have been adapted to the technology in use at the time leaving a record of it, either in Egyptian funeral monuments, in artistic works from Mesopotamia or Greece, among others, or collected in texts, manuals and treatises.

In this article, a tour is shown that presents us the evolution of the techniques of the molds with refractory coating, and for that reason, a retrospective can be made that indicates us that the technique of the chamotte and the ceramic shell, evidently, successors to the primitive technique, have been adapted to the technological advances of each one of the different cultures reaching their own characteristics so that they were more effective and profitable. The characteristics of the paste of the refractory mould are described from the beginning until the most used technique nowadays with its technical derivatives that demonstrate that the procedures of the artistic smelting are in constant adaptation and simplification to economize and to simplify the production of pieces according to the needs.

Key words

ARTISTIC FOUNDRY, SCULPTURE, ART, CERAMIC CASTING, MOLDS.

Resumo

A técnica da fundição à cera perdida para produção de peças de metal é utilizada por diferentes culturas na história da humanidade.

Os seus procedimentos tem se adaptado à tecnologia no uso do momento deixando registro disso, tanto nos monumentos funerários egípcios, nas obras artísticas procedentes de Mesopotâmia ou Grecia, entre outros, ou recolhida em textos, manuais e tratados.

Neste artigo se mostra um percurso que nos apresenta a evolução das técnicas dos moldes com revestimento refratário, e por isso, pode se fazer uma retrospectiva que nos indica que a técnica da chamota e a cáscara cerâmica, evidentemente, sucessoras à técnica primitiva, tem sido adaptadas aos avanços tecnológicos de cada uma das diferentes culturas alcançando as suas próprias características para que fossem mais eficazes e lucrativas. Descrevem-se as características da pasta do molde refratário desde os inícios até a técnica mais utilizada que demonstram que os procedimentos da fundição artística estão em constante adaptação e simplificação para economizar e simplificar a produção de peças em função das necessidades.

Palavras chaves

FUNDIÇÃO ARTÍSTICA, ESCULTURA, ARTE, REVESTIMENTO CERÂMICO, MOLDES.

Résumé

La technique de la fonte à la cire perdue pour la production de pièces métalliques est utilisée par différentes cultures dans l'histoire de l'humanité. Ses procédés ont été adaptés à la technologie en usage à l'époque, en laissant des traces, soit dans les monuments funéraires égyptiens, dans les œuvres artistiques de Mésopotamie ou de Grèce, entre autres, soit rassemblés dans des textes, des manuels et des traités. Cet article montre une visite qui nous présente l'évolution des techniques des moules à revêtement réfractaire, donc, une rétrospective peut être faite qui indique que la technique de la chamotte et de la coque en céramique, évidemment successeurs de la technique primitive, ont été adaptées aux avancées technologiques de chacune des différentes cultures, atteignant leurs propres caractéristiques afin qu'elles soient plus efficaces et plus rentables. Les caractéristiques de la pâte à moule réfractaire sont décrites depuis le début jusqu'à la technique la plus utilisée aujourd'hui avec ses dérivés techniques qui montrent que les procédures de moulage artistique s'adaptent et se simplifient constamment pour économiser et simplifier la production de pièces en fonction des besoins.

Mots clés

FONDERIE ARTISTIQUE, SCULPTURE, ART, REVETEMENT CERAMIQUE, MOULES.

Резюме

Техника литья по выплавляемым моделям для производства металлических деталей используется различными культурами в истории человечества. Его процедуры были адаптированы к используемой в настоящее время технологии, записав об этом, в частности, в египетских погребальных памятниках, в художественных произведениях Месопотамии или Греции или в текстах, руководствах и трактатах.

В этой статье рассказывается об эволюции методов огнеупорных форм, и поэтому можно сделать ретроспективу, которая указывает на то, что техника шамота и керамической оболочки, очевидно, преемники примитивной техники, были адаптированы к технологическим достижениям каждой из разных культур, достигнув своих характеристик, чтобы они были более эффективными и прибыльными. Описываются характеристики пасты огнеупорной формы с самого начала до наиболее широко используемой в настоящее время техники с ее техническими производными, которые показывают, что процедуры художественного литья постоянно адаптируются и упрощаются для экономии и упрощения производства деталей с учетом потребностей.

слова

Художественное литье, скульптура, искусство, керамическое покрытие, формы.

Introducción

Comprender el origen de la metalurgia, proceso que se inicia transformando un mineral a un metal, y posteriormente la posibilidad de generar la aleación, es una acción que viene fundamentada por las necesidades de la humanidad para mejorar su calidad de vida. Las disponibilidades de aquellos hombres junto con los factores que dieron lugar a hechos casuales propulsaron los avances tecnológicos como lo es la Fundición. En un primer momento, los metales que se encontraban al azar o buscadas empíricamente en cortaduras y lechos fluviales como lo puede ser Oro, Cobre, Plata se trabajaban en frío, golpeándolos con las herramientas del Calcolítico para lograr estirar, doblar o aplanar sus propiedades y convertirlas en utensilios necesarios para su comunidad (Le Thomas 1969). Luego, se hizo vinculo con otro de estos hechos casuales, que produjo lo que sería la cerámica, que mucho tiempo después, protagonizó la gran revolución tecnológica. Toda la infraestructura de hornos y combustibles necesaria en los alfares hizo posible el desarrollo de la metalurgia. Sin el ya exhaustivo y sofisticado conocimiento del fuego que tenían los alfareros, habría sido imposible ningún proceso metalúrgico, desde la reducción, hasta las aleaciones. Desde que la cerámica existe, ésta viene prestando un inestimable e imprescindible servicio de apoyo al desarrollo metalúrgico. Primero, por el fuego, su dominio y aprovechamiento, los moldes cerámicos, las pastas chamotadas, y los crisoles, y hoy día, con las últimas técnicas de fundición a la cera perdida, basadas en moldes cerámicos de última generación (Albaladejo González 2002).

En la antigüedad, los impulsos tecnológicos como lo es la fundición de bronce, ayudaron al hombre a mejorar aspectos fundamentales de su existencia, creando utensilios que mejoraron su calidad de vida. Así pues, los primeros objetos fabricados en bronce son de uso domestico y cotidiano, relacionados principalmente con la caza y la agricultura, produciendo pequeños objetos macizos como puntas de flecha, hachas, espadas o dagas.

Para poder abordar la evolución de las distintas técnicas de fundición, debemos reflexionar como surgen los primeros objetos realizados en bronce. El proceso que se lleva a cabo para tal fin es la fundición, que aborda un concepto bastante básico consistente en calentar un metal hasta su punto de fusión, o en el caso de una aleación hasta su punto eutéctico, que una vez fundido y en estado líquido, se vierte en el citado hueco dentro molde que le dará la forma deseada al solidificar con el enfriamiento.

Un molde es la forma que envuelve a un objeto que va a ser reproducido, al mismo tiempo que contiene el hueco, o negativo que ocupará el material de reproducción. En este caso, el objetivo de un molde es reproducir una pieza fundida en metal por las técnicas de fundición. Para ello, el molde tiene que cumplir una norma característica, básica y muy específica que lo diferencia de los demás, y es que los materiales para su construcción sean de naturaleza refractaria, es decir, que soporten altas temperaturas en su horneado y que resistan la presión metalostática que se produce al vertido del metal fundido en su interior. En este caso, el metal fundido, obteniendo así la pieza en metálico. Debe contar con un aglutinante que hace la función de adherente, ligando las partículas de los materiales y obteniendo de esa manera un molde firme, estable y

resistente a la manipulación en el proceso del mismo. Tiene que ser poroso para permitir la salida de gases al mismo tiempo que permeable, soportando la presión metalostática, el choque térmico y la evacuación de gases producidos en su interior al vertido del metal fundido. El modelo y el molde son materiales incompatibles, el modelo está compuesto de materiales grasos y el molde es acuoso, por lo tanto necesitan un material que actúe de pegamento entre ambos materiales, como puede ser la goma laca, el jabón o el alcohol, productos que sirven para aplicar la siguiente capa de contacto, la cual será decisiva en la calidad superficial del modelo y en la buena separación del mismo con el molde. Para ello, se aplica una capa de antioxidante compuesta de materiales como puede ser el carbón o el Grafito.

De sus características concretas, dependerá el método de la técnica empleada para su construcción. Así, podemos clasificarlos dentro de sus diferentes modelos cerámicos, el realizado con la técnica primitiva o molde primitivo, que fue el primer modelo utilizado por el hombre, el de Chamota o modelo italiano, llamado también Renacentista, y el molde más reciente y más utilizado actualmente, el de la Cascarilla cerámica.

Primeros hallazgos de métodos de la fundición a la cera perdida

Seguramente nunca sabremos cuál fue el primer molde construido por el hombre, pudiera ser una huella en la tierra rellena del mineral de cobre líquido caído de la hoguera, o si fuera la obtención de un objeto metálico dentro de un molde de arenisca, pero de lo que si tenemos constancia es

del hallazgo de la estatuilla, “El carro del sol de Trundholm” (Figura 1), cuyo molde cerámico fue realizado con la técnica a la cera perdida.

M.^a Cruz Fernández, nos narra;

“... Sigamos los pasos. Se construyó en capas de arcilla (para así evitar grietas en la combustión) un modelo de caballo elemental (sin orejas, y con cuatro vástagos por patas). Una reproducción más detallada del caballo, en una capa muy fina (1-2 mm) de cera cubrió al modelo de arcilla. El rabo, las orejas, las pezuñas y los detalles de los ojos y el hocico se aplicaron íntegramente en cera. Dos alfileres atravesaron el cuerpo, y cinco pequeñas placas de bronce se fijaron al vientre. El núcleo quedó así fijo. Por encima de la cera, y en grosor progresivo, se aplicaron capas de arcilla que formarían un molde externo agujereado. Así preparado, el caballo pasaría por un horno durante varias horas. La cera quemada, o líquida, dejó paso al bronce fundido. Retirado el molde, quedó el caballo de bronce a la vista, a falta de los necesarios toques de acabado.

El taller del que a mediados del II milenio salió este carro, merece un gran reconocimiento a su obra. Se adelantó en mucho tiempo al inicio de la técnica de la bronceística en hueco en la Grecia clásica (siglos VIII y VII a. c.), y la muestra reseñada es índice de la maestría con la que procedía. Es una cuestión debatida si este taller tenía su sede en Centro Europa o en

Dinamarca. Por encima de esta incógnita, sin embargo, queda la certeza de que el carro de Trundholm requirió las manos más expertas, el taller de mejor reputación, por aspirar a un fin superior, por servir a una causa suprema...”²⁵²



*Fig.1. El Carro Solar deTrundholm.Fuente libre:
[www.google.es.\(www.historiadelararte.us/wp-content/uploads/2011/04/Carro-votivo-de-Trundholm.jpg\)](http://www.google.es/(www.historiadelararte.us/wp-content/uploads/2011/04/Carro-votivo-de-Trundholm.jpg))*

Tenemos pues, constancia de cómo desde la prehistoria se producen las primeras creaciones escultóricas a la cera

²⁵² FERNÁNDEZ CASTRO, M^a Cruz. “La Edad de los Metales”, en: *Historia del Arte*. Historia 16, (Madrid: Historia viva, 1989), 121.

perdida, para la obtención de un objeto hueco, recubriendo modelos macizos con pastas cerámicas que tuvieran, como decíamos, la capacidad de ser refractarias, de aguantar altas temperaturas, con una composición estructural bastante estable para que, añadiendo capas con diferentes y específicas propiedades, se obtuviera un recubrimiento cerámico consistente, que una vez perdida la humedad se introducía en un horno, donde al mismo tiempo se cuece el barro, confiriéndole dureza y se elimina la cera dejando el hueco que posteriormente sería rellenado con el metal.

Los moldes cerámicos para la reproducción de objetos huecos, abre un

“...abanico de posibilidades inmensa, y es cuando verdaderamente se controla el proceso fundición artística. Este hecho permite la realización de obras de formatos mayores, permitiendo así la creación de estatuaria de gran formato. Los moldes cerámicos fueron los que procuraron este hecho sin ninguna duda ...”²⁵³

Los primeros moldes; La Técnica Primitiva

Los primeros moldes eran los más sencillos y simples, estos eran abiertos, huellas dejadas en la tierra, o talladas en una piedra, al que más tarde se le incorpora una tapa del mismo material para solucionar que el metal no se oxide al entrar

²⁵³ VILA MOSCARDÓ, David. *La revolución de la cascarilla cerámica. estudio de dos casos de aplicación en la fundición artística valenciana actual: La Facultad de Bellas artes de Altea, la empresa del artista Jaume Espí*. (España: Universidad Miguel Hernández, 2015), 111.

en contacto con el aire.

Los procesos de elaboración fueron más complejos como los moldes cerrados bivalvos, realizados en arcilla o también en piedra. Mientras que la piedra se utilizaba para realizar objetos en serie, los moldes cerámicos se utilizaban para la obtención de una sola pieza que quedaba sellada en el interior y por lo tanto, acababa finalmente roto para poder extraer la reproducción metálica. Al mismo tiempo, se contempla que la pasta cerámica es muy frágil y por lo tanto no puede soportar más de una reproducción.

A medida que avanza la demanda, sobre todo armamentística, avanzan los métodos, técnicas y procesos para la construcción de modelos de moldes más complejos como el molde cerámico múltiple.

“... El molde de pieza consiste en hacer una impresión a golpes o sellando el modelo dentro de un bloque cuadrado o rectangular de arcilla mojada hasta envolver el modelo entero en ladrillos individuales. El modelo puede ser de arcilla árida o tener un corazón de arcilla.

Se iguala cada pieza de molde individual al próximo por arriba y por debajo, y a ambos lados, por medio de ensamblajes y espigas. Cuando el molde ha sido construido ladrillo a ladrillo, estos se pueden abrir, el modelo se quita, y el molde se vuelve a unir. El modelo de arcilla se puede rascar por debajo para dar el espesor del metal requerido, o puede hacerse un corazón nuevo, pero más pequeño de un

modelo y cocerse en el horno...”²⁵⁴

Las matrices utilizadas solían ser de madera, o de material resistente, pero según la experiencia aportada por Soledad del Pino en su tesis de la reproducción de una espada, titulada “Procesos Metalúrgicos en la Edad del Bronce: la Espada de Peña Negra”, las que mejor funcionaron fueron los modelos realizados en cera, ya que por sus propiedades de flexibilidad, dentro del molde bivalvo cerámico se iban adaptando a los movimientos de contracción producidos en la cerámica hasta que esta deshidratada.

Los componentes de la mezcla variaban con la constitución de los moldes de arcilla, según Dña. Soledad del Pino

“... los metalúrgicos primitivos comprendían funciones básicas de los componentes que después aplicaban. No existía una regla de oro, difería en especificidades según el medio, así se tratará de diferentes barros, arenas, etc...”²⁵⁵

Las propiedades de cada elemento tienen su importancia fundamental, así podemos observar que utilizaban la cerámica rota, la arena o roca triturada, para aportar resistencia, ofrecer cuerpo y evitar que las contracciones fueran excesivas cuando la arcilla pierde el agua al secarse.

²⁵⁴ TYLECOTE, R.F. *A history of Metallurgy*, (London: The Metals Society, 1976).

²⁵⁵ DEL PINO DE LEÓN, Soledad “*Procesos Metalúrgicos en la Edad del Bronce: la Espada de Peña Negra*”, (Santa Cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna, 2015), 24.

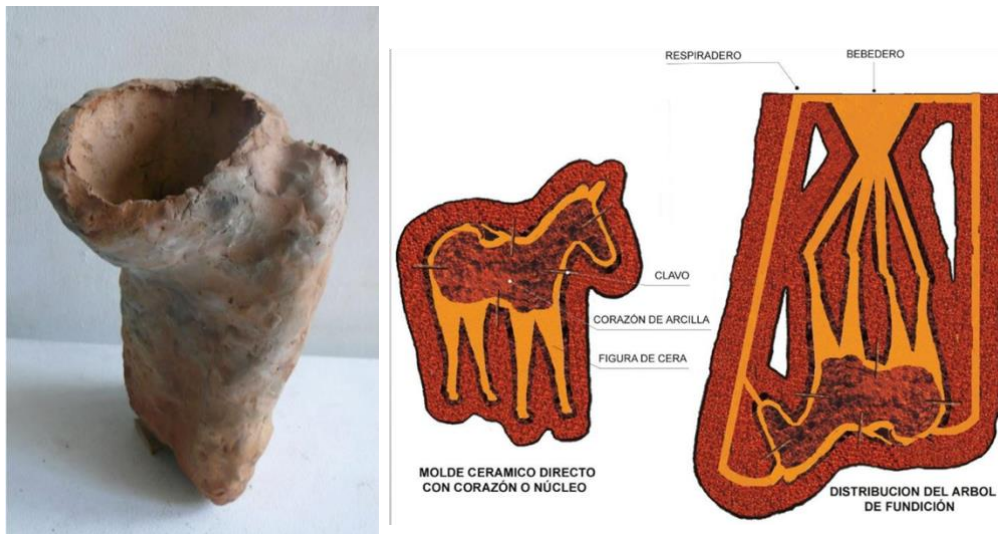


Fig.2. Molde refractario a mano con pasta orgánica. Fuente: Tesis doctoral Moscardó, 2015.
Fig3. Esquema del interior de un molde primitivo. Fuente: Tesis doctoral León, 2015. Fuente:
Fraficos II - Moldes cerámicos primitivos, www.flipsnack.com/AA6F7C58B7A/fukszslm.html,
Autora Soledad del Pino.

El estiércol, actúa en la mezcla como pegamento, la sujeta, le da fuerza, aporta fibra que al quemarse en el horno ofrece porosidad, muy importante para la ayuda de salida de gases. Materias orgánicas vegetales como semillas y granos sirven también para la desgasificación. El serrín aporta ligereza al molde. El carbón vegetal actúa como reductor y desgasificante. Para preparar un molde de arcilla se emplean dos tipos distintos de pastas; el que debía estar en contacto directo con el metal, incorporándose arena muy fina para evitar contracciones bruscas, y la capa exterior de barro más tosco que con frecuencia presenta residuos de

materias orgánicas vegetales. Constanza de ello cita Alfredo González Prats;

“...era frecuente la existencia de dos capas en los moldes de arcilla Más común es el uso de moldes complejos, bivalvos en general (CURLLE, 1933-34; MOHEN, J.P. 1973; IDEM, 1984 RAFTERY, B. 1976; ROWLANDS, M.J. 1976; NEEDHAM, S.1980; EIROA, J.J. 1981) la más externa de las cuales tiene como finalidad envolver ambas valvas y proporcionar un mayor hermetismo a la hora del vertido del caldo metálico, además de soportar el choque térmico y facilitar la expulsión de los gases acumulados (MOHEN, J.P. 1973), habitualmente ambas capas suelen ser de materia prima similar-arcilla-, diferenciándose la externa sólo por estar peor preparada. (NEEDHAM, S. 1980) y contener más desgrasantes vegetal (MOHEN, J.P. 1973; IDEM 1984, ROWLANDS, M.J. 1976) ...”²⁵⁶

Los moldes cerámicos más antiguos utilizados por el hombre están en desuso, aunque todavía son técnicas usadas no muy frecuentemente en nuestra cultura occidental. Estos moldes se elaboran y son protagonistas de la técnica a la cera perdida en algunas partes del mundo como Canmandú (Nepal) o Dokra (India). Actualmente, en estas sociedades contemporáneas del Nepal y la India se

²⁵⁶ PRATS, Alfredo González. *Nueva Luz sobre la Protohistoria del Sudeste*. (Alicante: Universidad de Alicante, 1990).

siguen produciendo objetos de metal con una técnica de 3.000 años de antigüedad (Moscardó 2015). Para el objetivo a conseguir, se utiliza los medios y materiales ofrecidos por la naturaleza en cada territorio, por ejemplo, en el procedimiento de la fundición en Canmandú, la obtención del modelo es parecido a la técnica de la cera perdida con la salvedad que el crisol está cerrado, preparado con el metal que se va a fundir y se comunica con la pieza desde el horno por medio de un tubo. El proceso de descere y fundición del metal se realizan al mismo tiempo. Procedimiento que adoptará la técnica de la cascarilla cerámica. La primera capa alrededor de la pieza está compuesta por carbón, y el procedimiento utilizado es por apretón, a la segunda capa se le añade arroz, queda mucho más gruesa y tosca, la mezcla tiene también elementos orgánicos que desaparecen con el fuego, la siguiente capa contiene más barro, es menos porosa. Las piezas se secan al sol, en una hoguera y dando vuelta a la pieza quitan la cera que reciclan.

Finalmente, los moldes son horneados. Otra curiosidad es el proceso que utilizan para sacar el contenido del crisol caliente: hacen de forma súbita un agujero en el crisol por la parte inferior, la escoria queda en la superficie y la nata líquida limpia sale por la parte inferior.

Técnica Renacentista: La Chamota

La técnica que aquí nos ocupa, genera el núcleo de la evolución de la fundición en torno al arte de la escultura en bronce. Martin Wackernagelen su obra “El medio artístico en la Florencia del Renacimiento” cita;

“... A partir de la obra de PomporioGaurico De Escultura (1504) y de las posteriores menciones y noticias de Benvenuto Cellini y Vasari –pues se ha perdido un tratado de León Battista Alberti, De arte aereria – conocemos más detalles sobre el procedimiento de fundición del Renacimiento y las aleaciones de metal elegidos (Gauricus, Ed Brockhans, pp. 59 ss y 223 ss). También se encuentra algo relativo a esto en el tratado (Della Pirotecna) compuesto entre 1535-1538 por VannocioBiringuccio, un fundidor de cañones y campanas de Siena (reimpresión italiana, Bari, 1914; edición alemana de Johannsen, Braúnschweig. 1925) ...”²⁵⁷

Los tratados y escritos referentes a estas evidencias históricas nos describen el desarrollo tecnológico de la evolución de las técnicas de los moldes con revestimiento refractario, dejando especificidades de la manera de operar de cada época.

En el renacimiento, Benvenuto Cellini nos describe;

“...tomé tierra de la que usan los maestros artilleros y una vez seca, la tamicé muy bien y la mece con tundidura de paños finos y con un poco de estiércol de buey pasado por el cedazo; después lo batí todo junto con grandísimo cuidado... Hecho esto tome trípoli del que utilizan los joyeros para pulir las piedras

²⁵⁷ WACKERNAGEL, Martin. *El medio artístico en la Florencia del Renacimiento*. (Madrid: Akal, 1997).

preciosas, lo triture muy finamente y, utilizándolo como si fuese un color de pintar, lo apliqué sobre mis ceras, en las cuales ya había practicado todas las bocas en la misma cera y todos los respiraderos... lo apliqué sobre dichas obras en capas de grosor de un filo de cuchillo, dejándola secar en ocasión hasta que llegó a tener un dedo de grosor...”²⁵⁸

Paralelamente existe una evolución entre las tecnologías, aunque se van adaptando a nuevas estrategias en el proceso y en los nuevos materiales incorporados. La tierra arcillosa inicial de los moldes primitivos fue sustituida en el renacimiento por el yeso, Cellini nos continúa describiendo en su tratado;

“... tómesese yeso fresco de modelar bien molido y aplastado y un ladrillo de tierra cocida también molido y aplastado; se deben mezclar bien dos tercios de este ladrillo y dos tercios de la cantidad del yeso mencionado, después se diluyen en agua fresca a modo de una salsa...”
“...una vez que este cocida, se le aplicará por encima un sutilísimo barro hecho de hueso molido y ladrillo graso triturado mezclado con un poco de tierra de la tuntidura...”²⁵⁹

Después de sufrir los cambios pertinentes para la mejora del

²⁵⁸ CELLINI, Benvenuto. *Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura*. (Madrid: Akal, 1989).

²⁵⁹ *Ibidem*.

momento, la técnica llega hasta nuestros días transformada en un cilindro macizo hecho a base de materia refractaria, escayola y agua. Los materiales componentes de la mezcla son: un refractario, yeso o escayola y agua.

El refractario puede ser ladrillo o roca metamórfica u otro producto cerámico cocido, tamizados en diferentes partículas y grosores de granos, que van desde el más fino, mediano y pequeño. (Albaladejo Gozález 2010).

Es un molde muy compacto, poco poroso debido al material empleado como es la escayola, y la cantidad de material que se necesita para obtener una forma muy compacta con unas paredes muy gruesas (Figura 4). De las características de la mezcla se puede hacer referencia a su calidad de registro, a sus grandes contracciones durante la cocción, y de un repasado mecánico más arduo que las demás técnicas.

La calidad de un buen registro superficial se debe a la escayola, y al tamizado del refractario que actúa como capa de contacto, que en definitiva será parte decisiva de unos buenos resultados. Todo ello aporta poca porosidad al molde, por este motivo se realiza la técnica indirecta de colada, interactuando un mayor número de bebederos en el diseño de la colada. Al utilizar un sistema indirecto, hace que se originen muchos más bebederos que cualquier otra técnica, por lo tanto, el repasado mecánico y acabado de las piezas son más costosos. En cuanto a las contracciones producidas en el molde durante la cocción, decíamos, se deben a la característica de la mezcla, sobre todo al exceso de agua, produciendo grietas internas y externas en el mismo, causando las llamadas rebabas en la pieza metálica, que están conectadas directamente a la pieza, ocasionando un mayor tiempo para el acabado y de la restauración de la pieza original.



Fig 4. Moldes de Chamota en la Actualidad, 2018. Fuente: Autoría de la investigación.

Técnica de la Cascarilla Cerámica

Se trata de la técnica de actualidad por excelencia, en los procesos de fundición artística. Su procedimiento, añadiendo por capas los diferentes granos para la construcción del molde por revestimiento cerámico, nos remite a los primeros moldes de la antigüedad, que, ya comentado, eran recubiertos con varias capas de tierra humedecida (barro) y otros aditivos para obtener las propiedades idóneas de la composición de la mezcla. Se puede considerar la técnica de la cascarilla cerámica como una adaptación de la tecnología industrial a la fundición artística, esta técnica fue rescatada de la industria (en un principio aeronáutica más tarde pasaría a otras industrias como la farmacéutica, dental, etc.) por Mr. David Reid, químico industrial, a quien podemos considerar como introductor y divulgador de esta técnica en Europa. La cascarilla cerámica es la técnica más utilizada en las universidades, que cuenta con una gran implicación e inclusión en las asignaturas del área de escultura (Aguilar Galea 2002). La misión de divulgar la técnica en las universidades de España está en la figura del catedrático de escultura D. Juan Carlos Albaladejo González, quién viaja a Londres a la *St. Martin's School*, y conoce casualmente la técnica pisando restos de cascarilla que había en el piso de una de las clases donde Mr. David Reid impartía uno de sus cursos de fundición *Ceramic Shell Casting*.

En 1996, Mr. David Reid es invitado a La Facultad de Bellas Artes de La Laguna, en Tenerife, a impartir un curso titulado “Fundición a la Cera Perdida Cascarilla Cerámica. *Ceramic Shell Casting*” dirigido por D. Juan Carlos Albaladejo y organizado por el Departamento de Bellas

Artes de la ULL. Técnicas y Procedimientos escultóricos III, en colaboración con el Vicerrectorado de Investigación Universitaria de La Laguna el momento.

Con la introducción de esta técnica se abre un amplio campo en la investigación de nuevos materiales y procedimientos en la fundición artística. La “*Ceramic Shell Casting*” o Cascarilla Cerámica, como su nombre indica, es una de las variantes de la llamada fundición de revestimiento por capas, proceso heredado como decíamos desde épocas remotas. Es una cascarilla que ofrece, entre otras, ventajas en su modo de aplicación. Se trata de una papilla densa o mezcla que se aplica a base de capas sobre el modelo perdido a reproducir, dejándolo secar se endurece para conformar un molde también perdido. Procedimiento que prima antes de los revestimientos sólidos por su fácil manipulación de moldeo. Hablamos de una técnica de modelo perdido y molde perdido, ya que tanto el modelo, normalmente en cera, se eliminará para obtener su cavidad y el molde una vez llenado se romperá para obtener la pieza fundida. “Está claro, que seguimos fundiendo a base de molde cerámico, pero este se trata de un material muy especial. La cascarilla cerámica tiene forma, material y constitución cerámica, pero no es una cerámica, sino un híbrido final entre cerámica y vidrio”. (Albaladejo González 2006) La cascarilla cerámica se cuece en un intervalo tan breve de tiempo que prácticamente ha perdido todo su carácter cerámico. Apenas conserva de lo cerámico unos tiempos de secado que, comparados con una cerámica común, son mínimos.

Se trata de una mezcla que varía en función de la disponibilidad, economía y factores que adecuan la aleación del metal con el que se va a fundir, pero lo que si

que no varía es que se trata de un componente aglutinante líquido que reforzará la cáscara, el sílice coloidal y un polvo refractario en estado fino o harina para adquirir mayor registro de superficie, conocido en la industria por moloquita (moloचितte).

El sílice y la alternación de la moloquita son las implicadas en el grado de porosidad. Cuando más aglutinante menos poroso es y más rígido, por lo tanto, se debe buscar un equilibrio entre porosidad y resistencia. Ambos componentes conformarán una papilla que aplicaremos sobre el modelo de cera y a la que le proyectaremos, normalmente, manualmente grano del mismo material refractario alternando diferentes granulometrías aportando, como indicábamos, porosidad y resistencia al molde.



Fig. 5: Proceso molde de Cascarilla cerámica. Fuente: Autoriade la investigación.

El sílice, es utilizado como componente fundamental de la cascarilla cerámica y en la mayoría de la fabricación de revestimientos. Aplicado como aglutinante, es un material extraordinariamente abundante en la corteza terrestre, en un gran número de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Su fórmula química SiO_2 (dióxido de silicio). Dña. Carmen Marcos, investigadora en la materia, nos comenta que;

“... El sílice se emplea normalmente en forma de sílice cristal, también llamado sílice fundido (ing. fusedsilica) precisamente por su modo de fabricación, que consiste en fundir arena natural de cuarzo y luego solidificarlo para formar un cristal. Se tritura hasta diversos tamaños de partículas, incluyendo la forma menor de harina, y se tamiza para controlar la distribución de grano y optimizar su empleo como estuco.

Entre sus características destacan su coeficiente de expansión térmica, que es extremadamente bajo, y su reactividad a disoluciones cáusticas, que permite eliminar el material del molde de algunos lugares que sería difícil eliminar por otros medios ...”²⁶⁰

El sílice en estado coloide es, efectivamente, el aglutinante con mayor presencia en las fundiciones que emplean la cáscara cerámica, aunque también se emplea el etil silicato.

²⁶⁰ MARCOS MARTÍNEZ, Carmen. «Fundición a la cera perdida: técnica de la cascarilla cerámica.» *Tesis doctoral*. (Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2001).

El primero está basado en agua y necesita un tiempo de secado relativamente largo y el segundo es un alcohol que evapora rápidamente.

Se presenta en su estado coloide, entendiendo un sistema coloidal o suspensión coloidal como un sistema formado por dos partes: una, fluida normalmente en una sustancia acuosa y otra, dispersa en forma de partículas, por lo general sólidos, es decir, una solución coloidal de alta hidratación molecular de partículas de sílice dispersas en agua.

Para que podamos hablar realmente de un coloide debe haber una sustancia con un tamaño de partícula muy pequeño, y otra diferente al que la contiene. Las partículas que se mantienen en suspensión, que no tienden acumularse ni en superficie ni en el fondo, se debe a que las partículas coloidales tienen carga eléctrica ya sea positiva o negativa, según la sustancia, pero siempre la misma para todas las partículas del mismo material, por lo que se repelen entre ellas y no llegan aglomerarse. En base a estas premisas podríamos también denominar al sílice coloidal como un “vidrio líquido”.

Presenta un mayor índice de refractariedad (temperatura a la cual un material pierde la capacidad de soportar y aguantar el calor sin perder sus características) con respecto a otros aglutinantes. El sílice coloidal empieza a deformarse a 1400°C, temperatura más que elevada para la efectividad en esta técnica.

El tamaño de la molécula es importante porque afecta a la resistencia y dureza de los moldes. Cuanto mayor es la molécula menos unión habrá entre las partículas, por lo tanto menos resistente pero más porosa. La proporción del sílice coloidal más óptima es la solución disuelta al 30% en

agua, el inconveniente que tiene es que tardará más en que se evapore el agua, pero poniéndolo en una atmósfera ventilada y de temperatura constante ayudará.

La moloquita es el refractario utilizado en la mezcla de la cascarilla cerámica, entre los más empleados se encuentran el sílice fundido (ing. fusedsilica), el circón, la arena de sílice y los silicatos de aluminio, entre los que se encuentra la moloquita que, pertenece al grupo de refractarios de los silicatos de aluminio, y se produce por calcinación de caolines especialmente seleccionados. Dña. Carmen Marcos nos hace una detallada introducción sobre el proceso de obtención de la moloquita, nos indica que

“ El proceso de cocción completo dura casi 60 horas, manteniéndolo en la zona principal de cocción 24h. Este comienza con la extracción del caolín de las canteras naturales. La extracción se realiza con chorro de agua de alta presión, manteniendo así suspendido el caolín. Tras retirar el cuarzo de partícula gruesa y la mica de la mezcla, se introduce el caolín en grandes tanques para una posterior mezcla y procesado. Control riguroso de tiempos y temperaturas para someter al caolín natural a los 1525°C que aseguran un producto de calidad uniforme y consistente. Es en este proceso de calcinación donde se produce la transformación de los minerales arcillosos en cristales de mullita y cristales de sílice amorfo, sin presencia apreciable de ningún sílice cristalino, (como cuarzo o cristobalita), mediante las pruebas de difracción rutinarias

efectuadas por rayos X. Presenta un bajo contenido de óxido de hierro, a diferencia de la mayoría de las arcillas secundarias calcinadas, que presentan partículas de escorias ferruginosas.”²⁶¹

Tiene un bajo coeficiente de expansión térmica, buenas propiedades ligantes, es resistente al choque térmico, posee un grado excelente de porosidad y facilita la evacuación de gases. En las industrias se consigue en diferentes tamaños, beneficiando de esta manera, como decíamos, a la porosidad, a la resistencia y a la manipulación en su proceso.

²⁶¹ MARCOS MARTÍNEZ, Carmen, *op. cit.*.



Fig. 6.- Molde de cascarilla cerámica tras la colada. Fuente: Autoría de la investigación.

Características de la técnica

A base de capas se construye el molde cerámico, el proceso consiste en dar baños al conjunto de modelo y árbol de colada en cera, con la mezcla y el rebozado de diferentes granos. Se realizan sucesivamente esperando entre capa y capa el tiempo necesario para la pérdida de humedad y consecuente endurecimiento del molde. El número de capas irá en función del tamaño y complejidad del modelo, controlando la viscosidad de la mezcla que determinará el

grosor de cada capa. El objetivo es generar un equilibrio entre todas las propiedades para obtener un molde lo más fuerte, ligero y poroso posible, así como fácilmente descascarillable.

Una de las características más importantes del molde de cascarilla cerámica es su forma, que se adapta a la del modelo a reproducir delimitando su contorno. Esto hace posible reconocer un molde a simple vista y nos permite realizar cualquier forma por más compleja que sea. Evita problemas ya que podemos observar la pieza en su totalidad para evaluarla detalladamente y corroborar que no hay errores ni fisuras que pueda acarrear mayores problemas durante el proceso, ya sea desde el comienzo de elaboración del molde en cada una de sus capas como durante el descere, cocción y colada del metal, que es el momento límite que verifica la resistencia del molde y evidencia sus puntos más débiles.



Fig. 7: Secuencia procesual de la fundición a la cera perdida, molde de Cascarilla cerámica. Fuente: Autoría de la investigación.

Su aplicación a base de finas capas proporciona al molde una de las características más notables: la alta calidad de registro o reproducción superficial reproduciendo cada detalle del modelo. Por esta razón, el molde de cascarilla cerámica está dentro de los procesos de fundición de alta precisión de ahí, que haya sido una revolución también para el ámbito de la joyería.

Otra de las características que comentábamos, más apreciadas de la cascarilla cerámica es su elevada porosidad, que permite evacuar gases del metal y aire atrapado hasta el punto de permitir la eliminación de respiraderos casi en cualquier tamaño de pieza.

En cuanto al tipo de colada, con el afán de autonomizar la técnica, con el sistema de molde directo podemos diferenciar técnicas distintas como las empleadas en la denominada colada directa, la de microfusión y la de crisol fusible.

En la colada directa, como su nombre indica, el metal ataca a la pieza directamente, entrando por el bebedero principal, una cavidad con un caudal más amplio que distribuirá la colada por cada uno de los bebederos por los cuales fluye hasta llenar la pieza. Es gracias a la resistencia y porosidad que ofrece la cascarilla cerámica por la que se lleva acabo este sistema. A diferencia de los moldes hechos con chamota, en este caso no se les añade respiraderos, ya que el molde en sí respira por toda su superficie y facilita la entrada del metal sin que aparezcan las tan temidas bolsas de aire que aparecen en cualquier vaciado en escultura. La resistencia de la cascarilla hace que los bebederos puedan ser directos y finos según las necesidades de la pieza, además al no tener respiraderos permite un número menor

de bebederos, logrando un ahorro en el tiempo y en el esfuerzo empleado en su repasado y acabado final.

Otra variante que se ha desarrollado en estos últimos años es el sistema de microfusión por volteo, usado en la fundición escultórica para obtener pequeños formatos reproducidos en metal. Este funciona por medio de la gravedad, que, a diferencia de las utilizadas en la joyería actual, que se utiliza entre otros en el sistema de la fuerza centrífuga, el metal caliente por medio de la rotación de unas coquillas dispuestas dentro del sistema desarrollan una fuerza centrífuga que lanza el metal líquido contra las paredes del pequeño molde aumentando la presión, facilitando de esta manera el llenado de los huecos del mismo. En cambio, este sistema se efectúa por el volteo manual de todo el conjunto, el objeto a reproducir y el crisol están unidos en un solo componente, el metal líquido pasa por medio de la gravedad a la cavidad del molde ocupando el volumen del objeto. En un primer momento, cuando David Reid impartió el primer curso de la cascarilla cerámica celebrado en la Universidad de La Laguna(1996), mostró un kit de fundición para pequeñas figuras, ideado por él. Consistía en un pequeño horno construido a base de manta refractaria en forma de iglú y el modelo del sistema de microfusión, donde se apreciaba el objeto y el crisol totalmente cerrado. La técnica es perfecta para piezas muy controladas donde se puede dominar el tiempo de fusión ya que se conoce el peso del metal a fundir. No obstante, en los centros de educación, como en este caso, la universidad, las piezas que se funden son de personalidades muy variadas, son únicas, muy diversas, con pesos y tamaños diferentes, de este modo Juan Carlos Albaladejo ideó el modelo de crisol semiabierto dejando de esta manera

dominar la acción, ya que se puede ver el momento de la fusión del metal. Si es verdad que en el crisol totalmente cerrado no existe la oxidación del metal, por lo tanto se aprovecha la totalidad del metal, en cambio en el crisol semicerrado si entra parte de la oxidación y el metal se recuperacasi todo, la escoria queda en la superficie al hacer la maniobra del volteo manual y no entra dentro de la cavidad de la pieza.



Fig. 8.- Microfusión por volteo. Fuente: Autoría de las investigadoras.

En cuanto al crisol fusible, añadir que el sistema actual es ideado por Juan Carlos Albaladejo, se trata de una fundición como dice él, inteligente. El modelo de crisol y pieza, están unidos por un mecanismo que permite la bajada del metal fundido en su debido tiempo, por lo tanto, no se necesita manipulación alguna. En líneas generales el sistema al que nos referimos está formado por un metal, cuyo punto de fusión es superior al del bronce, son chapas de cobre unidas entre sí (en relación al peso determinado de la pieza así será el número de las mismas) que una vez fundidas facilitarán el paso del bronce líquido, llenando de metal la cavidad vacía existente dentro del molde para obtener de esta manera el objeto a reproducir.

La técnica de la Cascarilla Cerámica por lo tanto se ha posicionado como “La reina” de las técnicas de fundición a la cera perdida: Sus propiedades ofrecen infinitas posibilidades y ha simplificado de manera excelente el proceso de fundición, promoviendo de manera notable su uso en la contemporaneidad.

Bibliografía

- ALBALADEJO GOZÁLEZ, Juan Carlos. «Asignatura de Libre Elección en el Taller de Fundición en la ULL.» *Programa docente*. Santa cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna, 2010.
- CELLINI, Benvenuto. *Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura*. Madrid: Akal, 1989.
- DEL PINO DE LEÓN, Soledad. “*Procesos Metalúrgicos en la Edad del Bronce: la Espada de Peña Negra*”. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna, 2015.
- FERNÁNDEZ CASTRO, M^a Cruz. “La Edad de los Metales”, en: *Historia del Arte*. Historia 16, Madrid: Historia viva, 1989.
- LE THOMAS, P.J. *La Metalurgia*. Barcelona: Martínez Roca, 1969.
- MARCOS MARTÍNEZ, Carmen. «Fundición a la cera perdida: técnica de la cascarilla cerámica.» *Tesis doctoral*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2001.
- GONZÁLEZ PRATS, Alfredo. *Nueva Luz sobre la Protohistoria del Sudeste*. Alicante: Universidad de Alicante, 1990.
- TYLECOTE, R.F. *A history of Metallurgy*. London: The Metals Society, 1976.
- VILA MOSCARDÓ, David. *La revolución de la cascarilla cerámica. estudio de dos casos de aplicación en la fundición artística valenciana actual: La Facultad de Bellas artes de Altea, la empresa del artista Jaume Espí*. Universidad Miguel Hernández, 2015.
- WACKERNAGEL, Martin. *El medio artístico en la Florencia del Renacimiento*. Madrid: Akal, 1997.