Fundición a la cera perdida con molde de cascarilla cerámica. Publicación docente

Mª José Zanón Cuenca
David Vila Moscardó
Juan Fco. Martínez Gómez de Albacete
Imma Mengual Pérez

UNIVERSITAS Miguel Hernández
ESCULTURA UNIVERSITAS Miguel Hernández

Fundición a la cera perdida con molde de cascarilla cerámica. Publicación docente

Autores/as:
Mª José Zanón Cuenca
David Vila Moscardó
Juan Fco. Martínez Gómez de Albacete
Imma Mengual Pérez

ISBN:
978-84-16024-84-1

Fecha de edición:
02/12/2019

Imágenes:
Sus autores

Editorial:
Universidad Miguel Hernández de Elche

Maquetación:
Servicio de Innovación y Apoyo Técnico a la Docencia y a la Investigación UMH

Nota de la editorial:
Los textos de esta publicación y su revisión ortográfica son responsabilidad de los/as autores/as

UNIVERSITAS Miguel Hernández

DEPARTAMENTO DE ARTE

ÍNDICE:

0 - Prólogo----------4

1 - Introducción a la fundición de bronce en la escultura ----------5

2 - La fundición en la Facultad de Bellas Artes de Altea ----------6

3 - El proceso de fundición a la cera perdida con molde de cascarilla cerámica------9

3.1-El modelo para fundición con cascarilla cerámica ----------10

3.1.1 - Los modelos para fundición a la cera perdida----------10

3.1.2 - Ingeniería de las ceras: los árboles de colada----------14

3.2 -El contenedor de la magia: el molde de cascarilla cerámica----------18

3.2.1 –Proceso de realización de los moldes de cascarilla cerámica------20

3.2.2 - El proceso de descere----------28

3.3 - Interacciones sobre el estado de la materia: La fundición ----------33

3.3.1 - Preparativos previos para la colada----------33

3.3.2 - El proceso de fundición y colada del metal----------36

3.4 - Los acabados de las piezas ----------43

3.4.1 - Operaciones de recorte, cepillado y cincelado ----------43

3.4.2 - Ensamblado de piezas: soldadura en bronce----------45

3.4.3 –Los pulidos----------46

3.4.4 - Las pátinas----------47

4 - Resultados del proceso de experimentación en nuestra Facultad ----------51

5 -Bibliografía----------67

0 - Prólogo

La presente publicación forma parte del *Plan Edita 2019* (Plan de Innovación para la Divulgación y la Comunicación) perteneciente a la convocatoria *InDiCo2019* del Vicerrectorado de Investigación e Innovación de la Universidad Miguel Hernández, como actividad conducente a la mejora de la cultura científica y tecnológica de la sociedad a través de la educación, la formación y la divulgación, y cuyo objetivo principal es promover la publicación de libros de carácter docente, de investigación y de divulgación científica en la Editorial UMH, en cuya autoría o edición interviene profesorado UMH.

Por ello, desde el Departamento de Arte de la Facultad de Bellas Artes de Altea, se inicia por una parte del profesorado perteneciente al Área de Conocimiento de Escultura, el compromiso de trasmitir el conocimiento desarrollado en la enseñanza superior, a partir de generar recursos materiales disponibles y válidos para la formación de nuestros alumnos y alumnas, totalmente alineados con los ejes temáticos y contexto curricular, que puedan fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, al entender que la docencia, como la educación, está inspirada en una ética de la responsabilidad que debe tener como base el ofrecimiento, de forma generosa y próvida, de los conocimientos para aquellos y aquellas que desean recibir una formación teórico-práctica de calidad, ajustada a los objetivos profesionales o de iniciación a la investigación, previstos en el título de Grado en Bellas Artes.

Desde el año 2011, se han coordinado numerosas actividades que se engloban bajo los títulos de *"Fusión B3A4"* (2014-2019) y *"De 0 a 100"* (2012-2017) o más recientemente "*ALABASTRO. La Innegable Presencia de lo Espiritual en la Escultura"* (2019) y "*La poética de los procedimientos en la escultura contemporánea*" (2019) dedicadas a mostrar, con carácter de muestra expositiva, la producción artística a partir de la experiencia docente realizada en nuestros talleres. Así como también, a modo de publicaciones docentes previas de interés paralelo, el libro "*SUSTRACCIÓN. Escultura en piedra*" (2018), que sin duda anteceden a este proyecto docente dedicado a la fundición a la cera perdida con molde de cascarilla cerámica, en donde el lector podrá disfrutar de este mágico proceso, experiencia y resultados que caracterizan a nuestra Facultad y Universidad.

1 - Introducción a la fundición de bronce en la escultura

La fundición de bronce es una técnica milenaria de constante utilización para la creación de escultura. Desde las esquemáticas pequeñas piezas Íberas, hasta la monumentalidad de las obras de Barceló, pasando por referentes ineludibles como Roden, Giacometti, Moore, Bourgeois… todas las culturas, sociedades, y vertientes artísticas se han valido de este material para la creación escultórica.

Esto se debe principalmente a las características tanto expresivas, como de perdurabilidad, de un material tan noble como el bronce, que por sus cualidades ha permitido la libre creación de formas complejas, sin los límites por las características físicas de otros materiales utilizados para la creación en tres dimensiones.

El bronce permite la creación de cualquier forma, por compleja que esta sea, en material metálico capaz de reproducir el más mínimo detalle que el artista proyecte en su obra. Es, por tanto, una de las técnicas escultóricas por excelencia.

Desde minúsculas piezas de joyería, hasta auténticas piezas monumentales, el bronce ha materializado la creatividad de los artistas durante milenios, y así seguirá siendo y evolucionando con las sociedades, a medida que estas avancen. Presentamos en esta publicación el proceso desarrollado en el Taller de Fundición de la Facultad e Bellas Artes de Altea – UMH. Un Taller con intensa producción escultórica, que apuesta por acercar este proceso mágico tanto al alumnado como al público en general, y acercar de esta manera la creación de obra en bronce a cualquier interesado en su desarrollo, acercar este complejo proceso a la realidad cotidiana de cualquier creador actual.

Figura 1 -*El Guerrer de Moixent*
Anónimo - S. IV – V a.c.
Bronce - 7 Centímetros
Fuente: Museo de prehistoria de Valencia

Figura 2 -*Gran elefante erguido*
Miquel Barceló - 2010
Bronce - 8 Metros
Fuente: Micronoticias 2.0

2 - La fundición en la Facultad de Bellas Artes de Altea

La fundición de metales, aún siendo una de las técnicas escultóricas por antonomasia, era la gran ausente en los programas docentes de las Facultades de Bellas Artes, debido principalmente a la complejidad del procedimiento, y las costosas instalaciones necesarias para llevarlas a cabo.

Por ello, tardó en incorporarse a los estudios técnicos artísticos, hasta que, fruto de mucho esfuerzo por los investigadores implicados, y ligado a avances técnicos que han conseguido optimizar el proceso y sus resultados, ha desencadenado la incorporación de la fundición de bronce a los estudios especializados en la escultura en la Universidad.

La Facultad de Bellas Artes de Altea es una institución joven, pero desde sus inicios ha apostado por ofrecer al alumnado las más completas instalaciones para desarrollar sus contenidos formativos inscritos en el marco contemporáneo. Cabe destacar la especialidad de Escultura, que cuenta con talleres de los mejores preparados a nivel nacional para el desarrollo de sus estudios.

Un taller destacado es el Taller de Fundición, que desde hace una década funciona a pleno rendimiento para ofrecer la magia y la alquimia al alumnado de este centro.

Figura 3 - El *Taller de Fundición* de la Facultad de Bellas Artes de Altea durante una colada de bronce en moldes de cascarilla cerámica. Propiedad del autor.

En el Taller de Fundición de la Facultad de Bellas Artes de Altea se desarrollan contenidos a distintos niveles:

-Estudios reglados:

La asignatura "Técnicas de Fundición", del Grado en Bellas Artes – Mención Artes plásticas;

- Optativa con una carga de 1,5 créditos teóricos, + 6 créditos prácticos.
- Cuenta con una media de 45 alumnos por curso repartidos en dos grupos prácticos.

La asignatura "Lenguajes experimentales del objeto y el espacio" dentro de la programación del Máster en proyecto e investigación en Arte;

- Insertado como módulo de esta asignatura, se propone la experimentación a través del proceso de fundición para el desarrollo de nuevos lenguajes del objeto escultórico.

-Formación extraordinaria:

De manera extraordinaria y con el fin de ampliar el ratio de trabajo del taller de fundición, se han organizado más de 15 cursos de extensión universitaria organizados desde la aparición del taller y hasta nuestros días, cursos que gozan de gran éxito de matrícula en todas sus ediciones, y que permiten acercar el proceso de fundición a cualquier interesado en la materia que quiera aprender con el fuego y el metal como protagonistas.

-Prácticas profesionales extracurriculares:

El taller de Fundición es además centro de formación especializada y de realización de prácticas profesiones por alumnos destacados, dentro de la oferta del observatorio Ocupacional de le Universidad Miguel Hernández.

-Investigación:

En nuestro taller se desarrollan investigaciones en torno a la fundición artística desde diferentes perspectivas, por un lado desde la dirección de becas de investigación a alumnado destacado, la participación en proyectos de I+D junto a otras universidades, a las propias investigaciones desarrolladas por el PDI vinculado directamente al área de Escultura y al Taller de Fundición.

-Exposiciones:

Con los resultados obtenidos de los procesos de experimentación, desde el taller, se organizan anualmente exposiciones en espacios de reconocido prestigio, donde las obras se enfrentan con el espectador, cerrando de este modo el circulo creativo. De dichas exposiciones se publican periódicamente los catálogos que atestiguan estaos resultados.

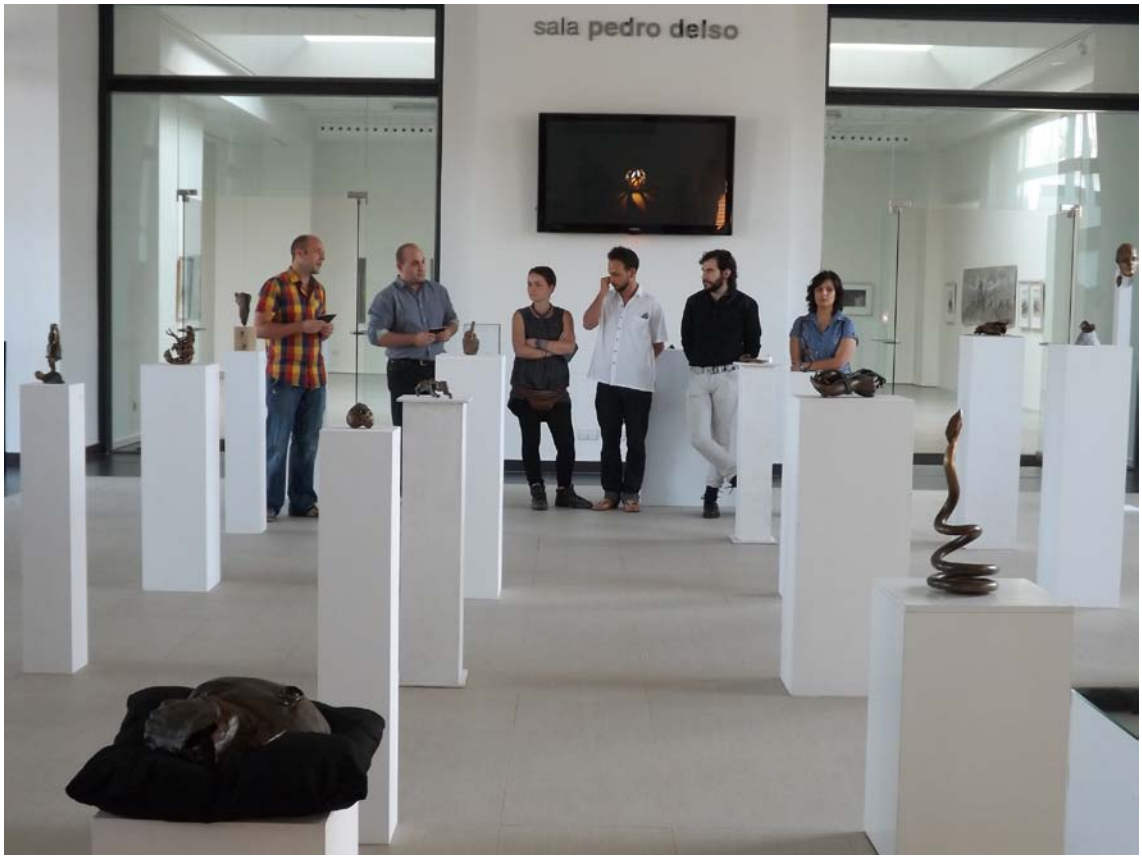

Figura 4 - Vista de la exposición de fundición Fusión, en la Fundación Frax. Propiedad del autor.

Por lo tanto, la Fundición en la facultad de Bellas Artes de Altea cuenta con un importante grado de utilidad, consiguiendo que tanto las experimentaciones de los Investigadores, por un lado, como el desarrollo técnico del alumnado por otro, conviertan la fundición de bronce en un proceso contemporáneo, que se vale de bases técnicas y creativas milenarias, pero adaptada a los lenguajes actuales más innovadores.

El taller por tanto se ha convertido en un Taller de referencia, no solo dentro de la Facultad, si no, y gracias a los cursos de extensión universitaria, a nivel Nacional e Internacional (hemos contado en diversas ediciones de los cursos de extensión universitaria con publico extranjero de diferentes nacionalidades desplazados hasta nuestro taller para realizar los cursos que ofrecemos).

Por todo esto, la Fundición se ha convertido en un proceso técnico de relevante importancia de entre los desarrollados en nuestro centro para la creación escultórica contemporánea, ofreciendo a los interesados unas instalaciones de primera línea, para llevar a cabo un precioso proceso de creación escultórica en el que el fuego y el metal se convierten en material al servicio de la creación escultórica.

3 - El proceso de fundición a la cera perdida con molde de cascarilla cerámica

Existen multitud de técnicas relacionadas con la fundición, y por ello es preciso puntualizar donde se encuentra la técnica de la cascarilla cerámica. Podríamos diferenciar inicialmente dos grandes grupos: Las técnicas a la arena, y las técnicas a la cera perdida.

Las *técnicas a la arena*, muy utilizadas en el ámbito industrial,se basan en la realización de una "huella" en arena compactada, que dará forma al negativo que utilizaremos como molde para crear formas en metal tras su enfriamiento. Estás técnicas limitan de manera considerable las posibilidades a la hora de configurar piezas, por lo que su interés en el ámbitode la escultura ha quedado relegado a otras más versátiles.

Las *técnicas a la cera perdida*, utilizan la cera para generar los modelos que posteriormente serán traducidos a metal.Tras el proceso de realización del molde refractario en torno a este modelo en cera, la eliminación de la cera del interior del molde, y el llenado del mismo con el caldo metálico, dan como resultado el positivo en metal de aquello que hayamos realizado en cera, sin ningún tipo de limitación formal.

La **técnica de la cascarilla cerámica** es una técnica a la cera perdida, evolución de las técnicas cerámicas tradicionales en las que se aplicaban pastas cerámicas alrededor del modelo en cera para generar los moldes refractarios.

La adaptación de esta técnica de origen industrial[1]a la fundición artística ha supuesto una simplificación sorprendente del proceso de fundición.Esta técnica es responsable de que la fundición se haya convertido en un proceso posible de llevar a cabo sin la necesidad de grandes infraestructuras ni aparataje complejo y caro. Sus magníficas posibilidades permiten resolver cualquier tipo de pieza con unas calidades inmejorables, por lo que se ha convertido en una técnica muy utilizada en el ámbito de la fundición artística.

Esta innovadora técnica se pudo llevar a cabo gracias a la aplicación de la moloquita, un material cerámico refractario, y su combinación con el sílice coloidal como aglutinante, cuya mezcla proporciona unas propiedades excelentes para el propósito de la fundición.

El origen de la moloquita es esencialmente industrial, pero ha llegado a nuestras manos gracias a la adaptación de la técnicapor el artista neozelandés Mr. David Reid, quien consiguió aplicarla en el ámbito escultórico, y gracias a Juan Carlos Albaladejo, Catedrático de Escultura de la Universidad de la Laguna quien logró introducirla en la Universidad Española en la década de los 90.

Hemos de apuntar que dentro de esta técnica existen diferentes variaciones a la hora de poder fundir metal, hemos centrado este estudio en la variante para fundición de piezas de formato medio, utilizando un crisol de vertido para la colada del bronce.

[1] La cascarilla cerámica proviene de la industria aeroespacial, quien utiliza estos materiales por sus características de resistencia, porosidad y refractariedad.

3.1 - El modelo para fundición con cascarilla cerámica

El proceso de fundición de metales es un procedimiento indirecto; esto quiere decir que la materia con la cual se trabaja para la obtención de los volúmenes no es la materia definitiva para la escultura, sino un material de transito. Este material lo utilizaremos para la elaboración de un "modelo" que es la resolución formal de nuestra pieza, y una vez terminado, realizaremos un proceso de moldeado para la obtención de la pieza final ya con el material definitivo. En el caso de la fundición a la cera perdida, ese material de transito es la cera, y el material definitivo el metal, en nuestro caso, el bronce.

3.1.1 - Los modelos para fundición a la cera perdida

El proceso de fundición con cascarilla cerámica pertenece al grupo de las técnicas "a la cera perdida". Esto supone que la técnica se caracteriza por la realización de los modelos en cera. Una vez realizado el modelo y puesto a punto con el árbol de colada[2], se elaborará alrededor de éste el molde refractario, y en el proceso de cocción de dicho molde, se eliminará la cera mediante calor. El modelo dejará la huella de la forma que tuvo, para que la ocupe el metal en estado líquido, y que la reproduzca con exactitud al solidificar por enfriamiento.

La cera goza de particularidades físicas que nos permiten trabajar con ella mediante cualquier procedimiento escultórico; Entre sus características destacamos la capacidad de modificar su estado de liquido a sólido mediante calor, hecho que nos proporciona una maniobrabilidad excelente a la hora de configurar un modelo.

Trabajando la cera en estado líquido podemos realizar positivos a través de moldes, controlando su dureza con el enfriamiento podemos utilizar como material para modelar, y trabajándola en estado frío desde un bloque podemos realizar modelos mediante sustracción, es decir, cualquier forma de trabajo de la materia nos permite interactuar con nuestro modelo que será traducido a metal.

Esto permite la proyección de cualquier forma, por compleja que esta sea, sin ningún tipo de limitación, posibilitando imaginar en metal cualquier volumen que seamos capaces de configurar con la cera.

Además, como en el transcurso de la realización del molde refractario este es sometido a calor, se puede experimentar con la utilización de materiales combustibles como modelo, ampliando aún más las posibilidades que la técnica ofrece.

[2] Los árboles de colada son el sistema de canalización del metal en estado líquido para que acceda al hueco del molde y reparta el metal para conseguir rellenarlo y materializar así la pieza en bronce.

Ejemplos de modelos en cera para fundición:

Figura 5 - Modelo en cera por construcción. Propiedad del autor.

Figura 6 - Modelo en cera por sustracción. Propiedad del autor.

Figura 7 - Modelo en cera por adición. Propiedad del autor.

Figura 8 - Modelo en cera por reproducción. Propiedad del autor.

Figura 9 - Materiales alternativos como modelo. Propiedad del autor.

Figura 10 - Modelos en cera para fundición. Propiedad del autor.

3.1.2 - Ingeniería de las ceras: los árboles de colada

Denominamos **árbol de colada o árbol de fundición**, al conjunto de elementos -realizados en cera- que se encargarán de dibujar el recorrido que realizará el metal en estado líquido en el interior de nuestro molde refractario, para abastecer a la pieza de metal en estado líquido, llamado "caldo", y rellenarla así por completo.

Decimos abastecer porque en la técnica de la cascarilla cerámica es lo único que debemos tener en cuenta, ya que este molde tiene la particularidad de ser poroso, por lo que la evacuación de gases producidos por la colada no es preocupante en este proceso.

Por lo tanto, el árbol de colada será el conjunto formado por: la boca de entrada del metal en el molde además de la red de "cañerías" encargadas de la distribución del caldo en su interior, debiendo cumplir la función de llenado por completo.

En todo árbol de colada podemos distinguir los siguientes elementos fundamentales:

El vaso o copa: es el elemento creado con cera que concederá a la parte abierta del molde una forma de embudo por donde verteremos el caldo durante la colada.

Bebedero principal: es la primera "cañería" del conjunto, o la principal. Es de sección bastante gruesa para una primera distribución del caldo metálico acercándolo de manera rápida hacia toda la superficie de la pieza.

Bebederos secundarios: son los puntos de entrada del metal en el hueco del modelo en el molde. Éstos estarán repartidos de manera que nos aseguren el buen llenado del mismo, y serán de una sección lo más parecida posible al espesor de nuestro modelo. Con esto pretendemos evitar rechupes[3].

Respiradero: hemos comentado que el molde de cascarilla cerámica es poroso por lo que no debemos preocuparnos de la evacuación de gases. Puntualizaremos que puede introducirse un respiradero o conducto que ayude a la salida del aire que forma parte del hueco del molde en el momento de la entrada del metal. Este elemento evitará burbujeos del caldo y permitirá una entrada más regular.

[3]Se conoce como rechupes a las deformaciones en la superficie del modelo derivadas de un enfriamiento irregular provocado por cambios de masa en las superficies de la pieza.

Figura 11: Esquema *tipo* de árbol de colada para fundición con cascarilla cerámica. Propiedad del autor.

-Ejemplos de árboles de colada:

Figura 12: Ejemplos de diferentes árboles de colada por vertido. Propiedad del autor.

3.2 - El molde de cascarilla cerámica

La cascarilla cerámica es la evolución, gracias a la aparición de materiales refractarios de gran calidad y de la aplicación de técnicas industriales al ámbito de la fundición artística, de la técnica cerámica tradicional primero, y de la técnica de la chamota después. Todas ellas a la cera perdida.

La técnica de la cascarilla cerámica es posible gracias a dos elementos indispensables: un material cerámico refractario: **LA MOLOQUITA**, y un aglutinante: **EL SÍLICE COLOIDAL**.

-La Moloquita:

La moloquita es un caolín calcinado altamente refractario, manipulado industrialmente para generar unos granulados con los cuales trabajar para confeccionar los moldes refractarios.

Nosotros para la realización de los moldes de cascarilla cerámica de formato pequeño y medio, utilizaremos moloquita en tres granulometrías diferentes. La más fina, (-200) conocida popularmente como “harina de moloquita”, la utilizamos para realizar la papilla con la cual bañaremos los árboles de colada.

Las otras dos “grano fino” (30/80) y “grano grueso” (16/30) las utilizamos como estuco para engordar la capa del molde, según el momento del proceso en el que nos encontremos se utiliza una u otra, como indicaremos al hablar del proceso de creación del molde refractario.

A continuación, ofrecemos unas imágenes identificadas por el tipo de grano de cada una de ellas para apreciar las diferencias.

Figura 13: Granulometrías comúnmente utilizadas en el proceso “tipo” de cascarilla cerámica.Propiedad del autor.

-El sílice coloidal:

La Moloquita es el material refractario para la cascarilla cerámica, pero para poder aplicarla sobre nuestros modelos, necesitamos un aglutinante que nos permita la adherencia sobre el árbol de colada. Este aglutinante para la cascarilla cerámica es el sílice coloidal, que cumple unas funciones refractarias cruciales para el desarrollo de esta técnica.

La materia principal es el sílice (SiO_2), un compuesto de silicio y oxígeno, en estado coloidal, es decir, que las partículas de sílice quedan suspendidas en la base acuosa.

Establecemos que el Sílice coloidal es una suspensión de partículas de sílice en una base acuosa, que actuará de aglutinante del material refractario para la generación del molde.

El aglutinante en esta mezcla tiene un papel fundamental ya que es el responsable de propiedades muy importantes en la técnica que utilizamos, confiriendo a la mezcla extraordinarias características refractarias. Esto es debido a que el sílice coloidal no empieza a deformarse hasta los 1400 Cº, hecho que permite la realización de moldes para fundición de aleaciones que no superen los 1200 Cº, como es en nuestro caso con la fundición de bronce.

Figura 14: Sílice coloidal. Propiedad del autor.

3.2.1 - Proceso para la realización de moldes de cascarilla cerámica

Acontinuación, describimos el proceso “tipo” de realización del molde refractario de cascarilla cerámica, atendiendo a las cuestiones básicas que debemos tener en cuenta para su desarrollo.

Un aspecto importante del proceso es el cálculo de bronce necesario para cada molde, ya que en el momento de preparación de las piezas a fundir necesitaremos saber cuanto metal requiere cada cascarilla para organizar la colada. El cálculo se realiza pesando el conjunto de modelo y árbol de colada, es decir, el peso total de la cera. Realizaremos una multiplicación por 10, **por cada kg de cera, necesitaremos 10 kg de metal** para su llenado. Este cálculo es importante hacerlo antes de comenzar con el proceso de creación del molde refractario.

-Preparación de los árboles de colada para la realización del molde:

Una de las características fundamentales de la cera es su carácter impermeable. Cuando hemos hablado del sílice coloidal hemos establecido que se trata de una suspensión de partículas de sílice en una base acuosa, por lo que las características de estas dos materias las hacen incompatibles.

El material refractario, la moloquita, está aglutinada con el sílice coloidal de base acuosa, y con este producto debemos bañar los árboles de colada. Lo primero es pues tratar de solucionar este carácter hidrófobo de la cera. Este hecho lo conseguimos gracias a la aplicación de una capa superficial de una solución de goma-laca en alcohol sobre la superficie de la pieza.

La **goma-laca** es una sustancia orgánica que se obtiene de la secreción resinosa de un insecto llamado “gusano de la laca”. Este residuo es soluble en alcohol y permite la aplicación sobre la superficie de la cera por medio de pulverización, inmersión, o a pincel, creando una película adherente para que los baños sucesivos con los que generamos la cascarilla no se desprendan.

La goma laca la encontramos en el mercado en forma de escamas anaranjadas, y la mezclaremos con alcohol en una proporción del 30% de volumen de escamas y el 70% del volumen en alcohol.

Figura 15: Proceso de disolución de las escamas de goma-laca en alcohol. Propiedad del autor.

La goma-laca la aplicamos por toda la superficie del árbol de colada. Debemos de bañar tanto la superficie del modelo, por todas sus caras, como todo el sistema de riego, ya que la papilla la aplicamos por toda esta superficie. El único punto que no debemos de bañar es la cara interior del vaso, ya que en esta zona no se realiza molde refractario.

La goma-laca podemos aplicarla tanto a pincel, como con la ayuda de un pulverizador. Lo importante es que nos aseguremos de que toda la superficie de la cera queda impregnada.Al ser una solución realizada con alcohol no tarda demasiado en secar, dejando sobre la superficie de la cera una película que permitirá la adherencia de los baños siguientes.

Figura 16: Aplicación de goma-laca al modelo, con la ayuda de un pulverizador. Propiedad del autor.

-La capa de grafito:

A continuación del baño de goma-laca, y una vez resuelto el problema de adherencia de papilla acuosa sobre la superficie a tratar, aplicaremos una primera capa de una mezcla de grafito en polvo y sílice coloidal.

El grafito es una de las formas en las que encontramos el carbono en estado natural. Tiene propiedades antioxidantes muy importantes y además es un producto muy resistente a altas temperaturas.

Lo utilizamos en polvo, mezclado con sílice coloidal en una proporción aproximada de 40%de volumen de grafito y 60% de volumen de sílice coloidal. Se realiza una mezcla que aplicaremos con pincel a toda la superficie del árbol de colada.

Figura 17: Mezcla de grafito y sílice coloidal. Propiedad del autor.

Esta primera capa cumplirá varias funciones en el molde:

-La primera es la de registro, ya que, al ser la primera capa de nuestro molde, será la que registre las formas más delicadas de nuestro modelo. La segunda función es la de generar una capa que evitará la oxidación del metal en contacto con la porosidad del molde, y esto se produce gracias a la cualidad antioxidante del grafito. La tercera función, muy importante, es que creará una capa separadora entre el metal y la cascarilla que permitirá el fácil descascarillado del molde una vez enfriado el metal.

Aplicaremos la capa y dejaremos que seque, este proceso puede tardar alrededor de 1h.

Figura 18: Aplicación de la capa de grafito. Propiedad del autor.

-Realización del molde:proceso de baños de material refractario.

-La papilla de moloquita y sílice:

Una vez tenemos el árbol de colada con los primeros baños de preparación secos, es la hora de comenzar con el molde refractario propiamente dicho. Antes de abordar los materiales cabe comentar que debemos de atender a la seguridad con los equipos de protección adecuados.

-Equipos de protección individual en el taller de baños:

El sílice coloidal cuando se deshidrata deja un rastro de cristales que son altamente tóxicos y que debido al ambiente del espacio de secado quedan en continua suspensión en el aire. Así también, la moloquita desprende un polvo en el proceso de estucado que no es recomendable su inspiración. Es por ello que los trabajos de realización del molde refractario se deben de realizar con los siguientes equipos de protección individual:

-Guantes de látex o de goma: para proteger nuestras manos ya que el contacto con este tipo de materiales reseca mucho la piel.

-Gafas para proteger nuestros ojos de posibles salpicaduras provocadas durante el proceso de baños.

-Mascarilla contra partículas solidas para proteger nuestras vías respiratorias.

Para preparar los materiales con los que trabajaremos lo primero es la realización de la papilla la cual aplicaremos al conjunto en cada uno de los baños. La papilla de moloquita estará compuesta de “harina de moloquita”, es decir, la moloquita -200, y sílice coloidal, en una proporción aproximada del 50% harina, 50% sílice.

Necesitamos una mezcla que sea lo suficientemente líquida para poder bañar la pieza, y lo suficientemente densa para crear una capa sobre toda la superficie. Como referencia podemos compararla a una densidad como si de yogur líquido se tratara.

Esta densidad iremos modificándola a medida que vamos avanzando en el proceso, variando las proporciones desde el 50% (harina de moloquita) y 50%(sílice coloidal) hasta 15% (harina de moloquita) y 85% (sílice coloidal). El motivo de esta variación es debido a que, una vez aplicado el primer granulado, éste queda en la superficie a tratar absorbiendo parte de la humedad de la mezcla, por lo que la papilla debe ser un poco más líquida en cada baño aplicado.

Para la realización de la papilla verteremos el sílice coloidal en un recipiente, y a continuación la harina de moloquita. Esta mezcla la removeremos constantemente para conseguir una mezcla homogénea.

-Primer baño: la papilla:

Una vez realizada la mezcla iniciamos el proceso de creación del molde refractario propiamente dicho, aplicando una capa de papilla por toda la superficie.Utilizaremos una cubeta como base para recoger los restos de material que se escurren de la pieza, nos ayudaremos con un recipiente que nos permita aplicar la mezcla.

Bañaremos el conjunto, moviendo la pieza para asegurarnos de que toda la superficie ha quedado cubierta por completo. Cuando observemos que está todo impregnado de papilla, apoyaremos la pieza sobre el vaso para dejarla secar. Es conveniente que la zona donde sequemos las piezas esté bien aireada, y la incorporación de un ventilador nos asegura que existe una corriente de aire favoreciendo el secado.

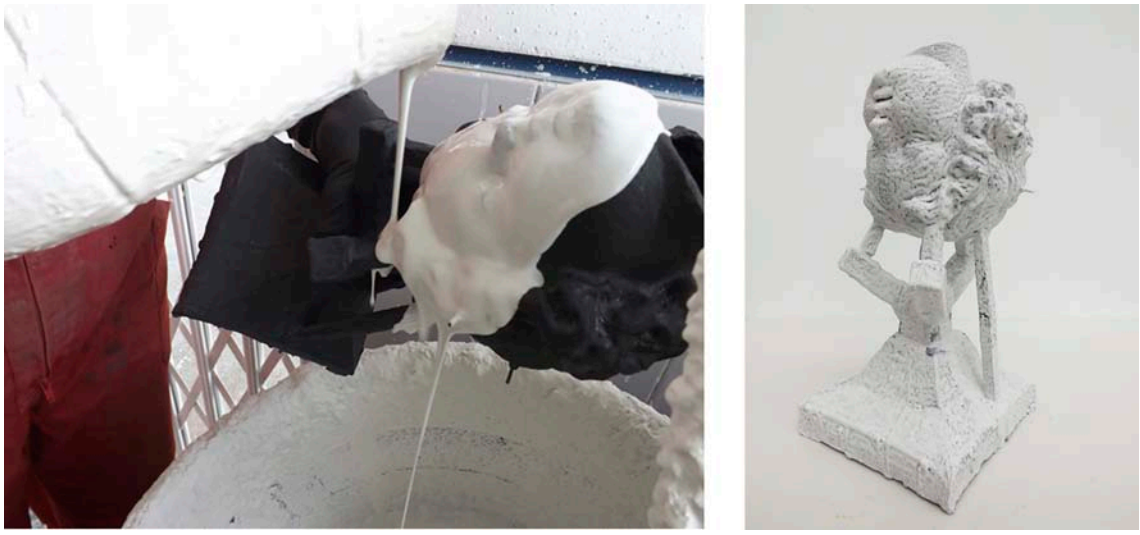

Figura 19: Aplicación del primer baño de papilla. Propiedad del autor.

El secado de las capas de moloquita es fundamental en el proceso, y el tiempo del mismo puede variar según las condiciones de humedad del espacio destinado a tal fin. Como referencia estándar cada capa de moloquita aplicada debe de secar durante al menos 4 horas.

Esta primera capa la aplicamos solo de papilla para crear una corteza más gruesa de moloquita en la zona de contacto del molde con la pieza, asegurándonos que el granulado aplicado posteriormente no alterará el registro de nuestro modelo.

-Baño y estucado de granulado:

Una vez seca esta primera capa de papilla, procedemos a aplicar la siguiente, esta vez con granulado de moloquita además de papilla. Para esta operación, tendremos preparada una cubeta con los granos la moloquita lista para realizar el estucado, como si de un rebozado se tratara.

Para la realización de este proceso, bañaremos de nuevo el conjunto con papilla de moloquita y sílice coloidal, atendiendo nuevamente a que toda la superficie haya sido cubierta. Después de dejar que el exceso de papilla se escurra del molde, apoyaremos la

base del árbol de colada sobre la cubeta preparada con moloquita de grano fino (16-30) y con la ayuda de las manos, espolvorearemos el granulado por toda la superficie, quedando adherido éste a la capa de papilla que acabamos de aplicar.

Figura 20: Realización del primer baño con estucado de moloquita. Propiedad del autor.

Tendremos cuidado de que el conjunto haya sido cubierto por completo, insistiendo si es necesario en algún punto donde no hubiera quedado bañado correctamente, con la ayuda de un pincel para aplicar la papilla y con la mano aplicando el granulado de manera localizada a la zona a tratar. El resultado debe ser que nuestro árbol de colada haya quedado recubierto con el granulado de moloquita fina (16-30) de manera regular por toda la superficie. Esta capa la dejaremos secar durante al menos 4h.

Una vez transcurrido el tiempo de secado, podemos aplicar la segunda capa de granulado, nuevamente con grano fino, tal cual hemos descrito anteriormente.

Debemos tener en cuenta que como la superficie ya esta granulada, la moloquita absorbe parte de la humedad de la papilla. Por ello deberemos incorporar a ésta un poco de sílice coloidal para fluidificarla y evitar que seque repentinamente en contacto con la pieza, creando acumulaciones indeseadas. Esta operación la repetiremos hasta completar la fase de baños, que dependerá según las características de la pieza. Habitualmente para piezas de formato medio se aplican dos estucados con moloquita de grano fino y dos más de grano grueso. Ofrecemos más adelante una tabla resumen del proceso de baños.

Figura 21: Molde refractario con todos los baños dados. Propiedad del autor.

-Refuerzo de la cascarilla:

Con el fin de reforzar el molde de cascarilla cerámica, y prevenir roturas durante el descere, es posible aplicar una capa de papilla de moloquita y fibra de vidrio en zonas frágiles del molde como pueden ser los bordes de piezas huecas. Esta capa creará una retícula que reforzará el molde en esos puntos más débiles, y evitará que se rompa en caso de un craquelado de la cascarilla producido durante el proceso de descere.

La fibra de vidrio es un material a base de poliéster y fibra de vidrio. Estas fibras tienen una alta flexibilidad y dureza, por lo que se convierte en el material ideal para el refuerzo.Existen diferentes variedades de este material, para el refuerzo de cascarilla cerámica utilizaremos normalmente la fibra de vidrio MAT.

La capa de fibra de vidrio se aplica mojando la superficie del molde con papilla y superponiendo a ésta una retícula de fibra de vidrio, que fijaremos sobre el molde con más papilla. Debemos tener en cuenta que la capa de fibra de vidrio puede restar porosidad al molde por lo que no es recomendable el abuso de ésta, puede utilizarse para reforzar ciertas partes de nuestro molde refractario, pero con moderación. La cascarilla cerámica no necesita de la fibra de vidrio para su proceso, aunque este material es útil para la realización de reparaciones y refuerzos.

Figura 22: Aplicación de refuerzo de fibra de vidrio. Propiedad del autor.

Ofrecemos a continuación un cuadro resumen de los baños necesarios para la generación del molde refractario, el método de aplicación, así como el tiempo de secado aproximado recomendado para cada uno de los baños.

Hemos de tener en cuenta que los datos que ofrecemos son orientativos, pudiendo modificar la cantidad de baños necesarios según el tamaño de pieza que vayamos a realizar, así como el tiempo de sacado, dependiendo de las condiciones de humedad de donde se encuentre nuestro secadero de cascarillas.

PREPARACIÓN PREVIA A LOS BAÑOS CERÁMICOS		
MATERIAL	APLICACIÓN	SECADO
Goma – Laca disolución en alcohol	-Pincelado -Pulverizado -Inmersión	Corto tiempo de secado debido a que el alcohol evapora fácilmente 5-20 min
Grafito en polvo + sílice coloidal	- Pincelado	1h
BAÑOS Y ESTUCADO DE MOLOQUITA		
MATERIAL	APLICACIÓN	SECADO
PAPILLA sílice coloidal 50% + moloquita -200 (harina) 50%	Baño	1 - 2 horas
Papilla (s.c.70% m.30%) +moloquita 16-30 (grano fino)	Baño + Estucado	4 horas
Papilla +moloquita 16-30 (grano grueso)	Baño + Estucado	4 horas
Papilla +moloquita 16-30 (grano grueso)	Baño + Estucado	4 horas
Papilla +moloquita 16-30 (grano fino)	Baño + Estucado	4 horas
(Refuerzo opcional si fuese necesario para zonas especialmente frágiles) Papilla + fibra de vidrio	aplicación de la retícula de fibra empapada en papilla a pincel	4 horas

3.2.2 - El proceso de descere

Una vez tengamos el molde refractario completo, pasamos a realizar la primera acción del proceso en la que el fuego es el verdadero protagonista: **el descere**. Este proceso es el responsable tanto de la evacuación de la cera de nuestro molde para dejar libre el hueco que ocupará el metal, como de la cocción del material refractario, que le conferirá la resistencia necesaria para soportar la colada.

Existen distintas posibilidades para realizar este proceso. Una de ellas es la utilización de hornos eléctricos. Este tipo de descere produce una serie de problemas en los moldes cerámicos (como son la ruptura del molde por el aumento de volumen de la cera en el proceso de derretido), por lo que otras alternativas son más convenientes. Actualmente y fruto de las investigaciones de Juan Carlos Albaladejo se está desarrollando tecnología para posibilitar el descere con microondas, aunque esta tecnología está todavía en modo experimental.

A continuación, describimos el proceso de **descere por choque térmico**, este es el proceso de descere original de esta técnica, desarrollado por Mr. David Reid. Este tipo de descere se realiza en un horno diseñado a tal efecto y una fuente de calor producida por una llama.

Una de las importantes características de esta técnica es que parte de la cera utilizada para la creación de nuestro modelo puede ser recuperada para ser utilizada de nuevo, y esto es posible gracias al proceso por choque térmico. Esto permite el reciclaje de parte del material, por lo que a la larga supone un abaratamiento en el proceso ya que la cera es uno de los materiales más caros con los que trabajamos.

En el descere por choque térmico intervienen dos elementos fundamentales:

-**La campana de descere**: es el contenedor donde introduciremos los moldes refractarios para someterlos al calor. Básicamente se trata de una infraestructura que nos facilita el proceso de calentamiento de los moldes y recolección de la cera. En ella diferenciamos tres partes fundamentales:

-Una *campana* en la que el calor es conservado para llegar a la temperatura idónea (unos 700ºC). El diseño de este elemento puede variar, siendo los más utilizados los cilíndricos. Están constituidos por una estructura metálica exterior, forrada con manta cerámica, material retenedor de calor indispensable en esta técnica.

Lo importante es la eficiencia de la concentración del calor, imprescindible para nuestro propósito. Este elemento vendrá articulado por un sistema de poleas y contrapesos que posibilite su elevación para facilitar el acceso a la rejilla.

-Una *rejilla:* donde apoyaremos la pieza en el transcurso del proceso.

-Un *recipiente con agua* en la parte inferior. Que nos permitirá recoger la cera evacuada de nuestro modelo, para poder reutilizarla posteriormente.

-**Un quemador o soplete**: es la fuente de calor que utilizaremos en el proceso. Normalmente el combustible utilizado para este proceso es el gas, tanto propano como butano.

-La manta cerámica:

Introducimos ahora un inciso para hablar de un material indispensable en la técnica que tratamos, ya que todos los equipos que necesitamos que alcancen un alto grado de temperatura, estarán revestidos con ella.

La manta cerámica es una fibra sintética compuesta de sílice y alúmina casi en estado puro. Se caracteriza por una excelente resistencia a altas temperaturas y una gran resistencia a los choques térmicos. Es un material aislante por lo que tiene una baja conductibilidad térmica, es decir, el calor generado en la cara de trabajo se refleja en casi un 70% reduciendo así el calor en la cara fría.

Está clasificado por la directiva europea 97/69/CE como cancerígeno de segunda categoría. El riesgo es debido a que se desprenden finísimas partículas de silicato que se clavan en el aparato respiratorio, por lo que es aconsejable el uso de equipos de protección al manipularla tales como: guantes, y mascarilla facial.

-Preparativos previos al de descere y cocción del molde:

Estos dos aspectos fundamentales de la técnica de la cascarilla cerámica los tratamos de manera única ya que se producen a la vez en espacio y lugar. Durante el proceso de descere, una vez eliminada la cera, se produce también el proceso de cocción del molde, responsable de que este se convierta en un molde cerámico lo suficientemente resistente.

-Equipos de protección individual para el descere:

Cabe introducir en este momento la información referente a los equipos de seguridad que debemos de utilizar en estos procesos en los que el calor es constante y fuerte, por lo que deberemos de trabajar con la siguiente protección:

-Guantes de protección al calor.

-Pantalla de protección facial.

-Mono o ropa de trabajo cerrada, y mandil de cuero para protegernos del calor irradiado durante el proceso.

Figura 23: Equipos de protección para el descere. Propiedad del autor.

-Proceso de descere y cocción del molde:

El proceso de descere se produce por choque térmico, y esto es fundamental para que el aumento de volumen de la cera al calentarse no rompa la cascarilla.

El choque térmico consiste en introducir el molde en la campana una vez ésta haya sido eficientemente precalentada (700ºC aprox). Dicho choque térmico derretirá la capa de cera más próxima al molde, liberando de cera rápidamente una junta de dilatación por toda la superficie interior del molde que evitará roturas durante el calentamiento del conjunto.

Como decimos, este aspecto es crucial ya que un calentamiento suave y progresivo de todo el conjunto de la cera produciría un aumento de volumen que rompería la cascarilla del molde, ya que ésta al no estar cocida todavía no ofrece la resistencia que la caracteriza.

Por lo tanto, el primer paso a seguir es el precalentamiento de la campana, y lo realizamos, con la campana cerrada (el borde inferior de la campana a la altura de la rejilla) aplicándole calor con el soplete durante unos 10 – 15 minutos.

En el momento en el que valoremos que la campana ya está precalentada, la levantamos con la ayuda de las poleas y contrapesos, dejando espacio para introducir la pieza, con el lado de apertura del vaso hacia abajo, sobre la rejilla. Rápidamente cerramos la campana de nuevo (hasta el nivel de la rejilla), y por su parte inferior aplicamos calor con la llama del soplete dirigida hacia la pieza.

Al introducir el molde en la campana precalentada, y aplicarle calor con el soplete, rápidamente la cera empezará a gotear por la parte inferior del conjunto, evacuando la cera de su interior. Debido al calor utilizado y a que la cera es un material combustible, es inevitable la aparición del fuego, quemando parte de esa cera que pretendemos evacuar.

Continuaremos aplicando calor el tiempo que sea necesario hasta que observemos que cesa el goteo de cera, y que no existe llama en nuestro molde. Esta es la señal de que el proceso de descere ha concluido.

Figura 24: Detalles del proceso de descere. Propiedad del autor.

Una vez finalizado el descere, dejamos la pieza introducida en la campana, y continuamos aplicando calor. Observaremos que la cascarilla va adquiriendo una tonalidad anaranjada, en este momento se está produciendo la cocción.

Continuaremos aplicando calor observando que ese color anaranjado va en aumento, hasta que toda la superficie del molde se vuelva de un color naranja brillante. Esta operación puede durar alrededor de 10-15 minutos, según el tamaño de la pieza.

Figura 25: Detalles de cocción del molde refractario. Propiedad del autor.

-Enfriamiento de los moldes:

Cuando el molde de cascarilla ha experimentado el cambio de color indicado anteriormente, de blanco a naranja brillante, hemos terminado el proceso de cocción.

Es aconsejable que el molde enfríe lentamente ya que un cambio brusco de temperatura podría producir un craquelado en la cascarilla, por ello si es posible dejaremos el molde en el interior de la campana para el enfriamiento. Si no pudiera ser porque necesitamos la campana para descerar otra pieza, lo más apropiado es retirar la cascarilla y dejarla enfriar envuelta en manta cerámica, que retrasará el enfriado de la misma.

-Baño de seguridad:

Una vez desceradas las piezas y enfriadas las cascarillas, están casi listas para la colada. Observamos los resultados del proceso volteando el molde. Podremos comprobar cómo la cera ha dejado el hueco que ocupaba el modelo y el árbol de fundición, hueco que rellenaremos con el caldo metálico durante la colada.

Como hemos indicado anteriormente, durante el proceso de descere pueden provocarse craquelados en la cascarilla debido al aumento de volumen de la cera del interior del molde. Para evitar posibles fugas de metal durante la colada realizaremos una última operación: una vez desceradas y cocidas las cascarillas, y después de que hayan enfriado por completo, se les aplicará un nuevo baño de papilla a modo de baño de seguridad.

Este baño de seguridad lo realizaremos con papilla bastante densa para que cubra cualquier craquelado sin que penetre en el interior del molde, esta última capa sellará cualquier grieta sobre la superficie, asegurando una colada sin incidencias.

Figura 26: Moldes refractarios terminados. Propiedad del autor.

3.3 - Interacciones sobre el estado de la materia: la fundición

Una vez preparados los moldes, iniciamos los preparativos para la colada: el esperado momento de fundir el metal y verterlo en las cascarillas. Para esta acción diferenciamos dos procesos que suceden paralelamente: Los preparativos del lecho de colada, y la fundición del metal y vertido en los moldes refractarios.

3.3.1 - Preparativos previos para la colada

- El lecho de colada:

Denominamos lecho de colada a la infraestructura que mantendrá los moldes de cascarilla cerámica en posición de colada, y que los calentará para la recepción del metal.

El lecho de colada es un contenedor donde se colocan las cascarillas en posición vertical, con la abertura del vaso hacia arriba, y donde se calientan previamente a la colada. Este contenedor metálico lleva un recubrimiento interior de manta cerámica y una apertura circular en un extremo donde ubicar la llama de calentamiento.

- Aspirado de los moldes:

Un aspecto importante de los preparativos previos a la colada es elaspirado de los moldes antes de su colocación en el lecho de colada.

Durante el transcurso de las últimas actuaciones del proceso, desde el baño de seguridad hasta su llegada al lecho de colada, puede haberse introducido algún elemento dentro del molde (como granos de moloquita, etc.) que quedaría atrapado en el interior alterando el registro de nuestra pieza.

Prevemos que nada quede en el interior del molde aspirando el interior con la ayuda de un aspirador industrial.Posicionamos la cascarilla con la apertura del vaso hacia abajo e introducimos la boca del aspirador. Realizamos unos pequeños movimientos con las manos para procurar que cualquier elemento depositado en el interior sea aspirado correctamente. Este proceso nos ayudará a que el molde esté completamente vacío.

-Distribución de los moldes y precalentamiento:

La distribución de los moldes es muy importante en la colada, ya que marcará el orden de distribución del metal. Debemos calcular el peso necesario para el llenado de las cascarillas que introducimos, ya que el crisol tiene una capacidad determinada por lo que no podremos exceder la cantidad de metal del que disponemos en la carga del crisol.

Es aconsejable situar las cascarillas de manera que las piezas de sección más fina de metal sean rellenadas primero, puesto que el metal al inicio de la colada es más fluido. Con la ayuda de unas barras de hierro, colocaremos las cascarillas ordenándolas en el

interior del lecho de colada, sujetándolas con dichas barras desde los vasos, de manera que queden colgadas en el interior.

Una vez ordenadas todas las cascarillas en el interior del lecho de colada las tapamos con un trozo de manta cerámica para aislar el interior y mantener el calor. Con el lecho de colada preparado, introducimos la llama de un soplete por la abertura destinada a tal fin, y la mantenemos encendida durante el transcurso de la fundición del metal.

El hecho de precalentar los moldes es importante por dos motivos fundamentales: el primero es que se realiza una re-cocción de la cascarilla, eliminando cualquier resto de humedad que pudiera quedar en ellas tras el baño de seguridad, y que le confiere mayor dureza. El segundo es que, manteniendo los moldes a una temperatura elevada, en el momento de la colada evitamos un enfriamiento del caldo metálico, facilitando así el llenado de las piezas.

Figura 27: Distribución de las cascarillas en el lecho de colada, y precalentamiento. Propiedad del autor.

-Equipos de protección individual para la realización de la colada:

La colada de bronce se puede realizar de distintas maneras, y éstas se diferencian básicamente por la infraestructura que se utiliza. El proceso que nos disponemos a tratar es el de realización de la colada de manera manual, para abordar así el proceso con los mínimos recursos necesarios para su desarrollo.

Como ya hemos indicado, para estas operaciones necesitamos protegernos eficientemente contra el calor producido durante los trabajos. Será necesario equiparse con equipos de protección para los posibles riesgos a los que nos sometemos durante los trabajos de manipulación del caldo metálico. Evidentemente estos equipos también dependen de la cantidad de metal que estemos manipulando por lo que para cada caso particular de estimará cuales son las medidas más convenientes.

En caso de situaciones de riesgo especiales, como la incorporación de elementos mecánicos a la infraestructura utilizada, se recomienda la utilización de equipos aluminizados que ofrecen una mayor protección frente al calor. Para la colada realizada de manera manual, en unas condiciones de seguridad controladas, los equipos de protección que a continuación mostramos serían los mínimos e indispensables para la realización de las operaciones:

-Pantalla de protección facial; Guantes de protección al calor; Mangas de cuero; Mono de trabajo; Mandil de cuero; Polainas de cuero; Botas de seguridad.

Figura 28: Equipos de protección individual para colada manual. Propiedad del autor.

En el caso de utilizar equipos mecánicos como polipasto, los equipos de protección deberán ser adecuados a tal fin, siendo los equipos homologados aluminizados los más adecuados.

Figura 29: Equipos aluminizados de protección individual para colada asistida por polipasto. Propiedad del autor.

3.3.2 - El proceso de fundición y colada del metal

-Elementos que intervienen en el proceso de fundición y colada:

-El horno: Donde introduciremos el crisol, recipiente con el metal para fundirlo. Estará compuesto de una base donde reposará dicho recipiente durante el proceso de fundido del metal, y de una campana extraíble para poder tener acceso a su interior cuando el caldo esté preparado.El horno es un cilindro metálico forrado interiormente de manta cerámica, con una apertura inferior para introducir la llama. En la parte superior consta de una apertura a modo de tiro, que proporciona oxigeno al interior para aumentar la combustión, además de facilitar una ventana con acceso visual al caldo durante el proceso de fundición del metal.

-El quemador: Es la fuente de calor que derretirá el metal, hay distintas posibilidades de combustible: como el gasoil, o el gas. Este último será el más comúnmente utilizado, específicamente gas propano.

-El crisol: Es un recipiente de grafito donde se funde el metal. Según su tamaño podremos fundir una cantidad de metal u otra. En el caso que documentamos a continuación la capacidad del crisol que utilizamos es de 50 kg de bronce.

-Pinzas: Realizadas con hierro para soportar los 50 kg de peso del crisol y diseñadas para que la presión ejercida por el peso las cierre, evitando que puedan abrirse en el transcurso del transporte del crisol desde el horno al maneral.

-El maneral: Es la estructura que soportará el crisol durante la colada. Consta de una barra con un soporte para la fijación del crisol y de dos extremos, uno de ellos ampliado en forma de U que facilita el volteo del crisol para repartir el metal en cada una de las cascarillas.

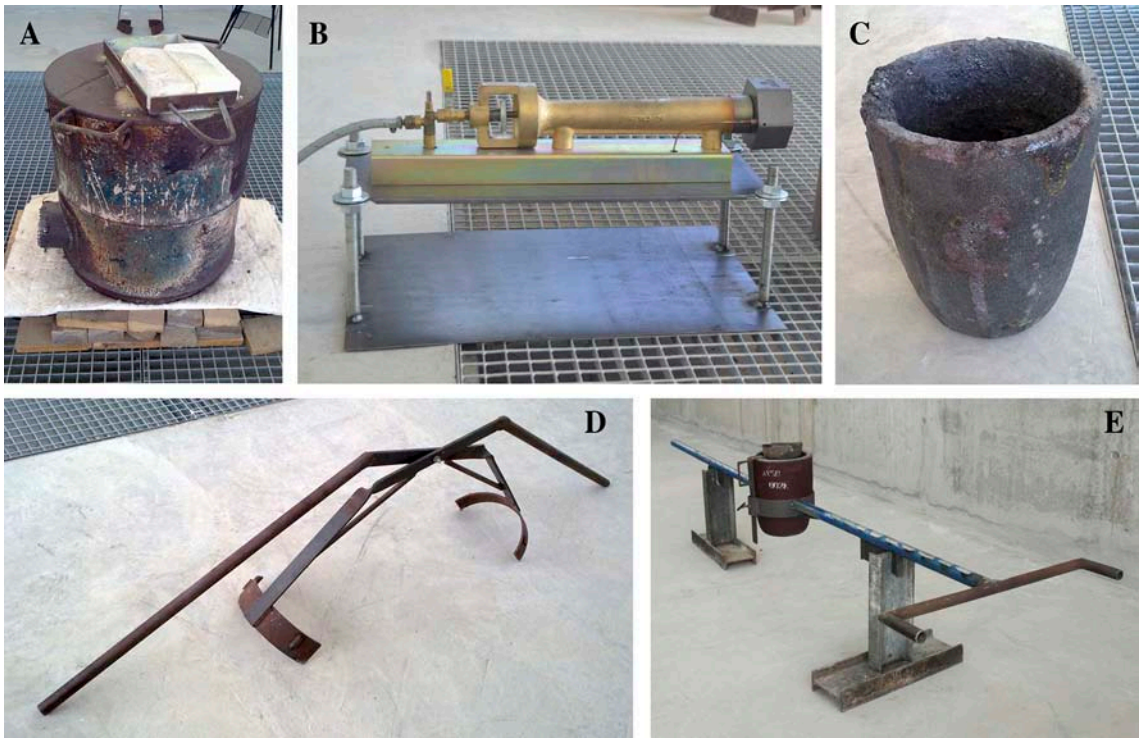

Figura 30: Equipo de colada: A) Horno, B) Quemador, C) Crisol, D) Pinzas, E) Maneral. Propiedad del autor.

-Preparación del crisol:

Lo primero que debemos realizar para la fundición del metal es la preparación de la base donde apoya el crisol. Sobre la base del horno, colocamos dos ladrillos refractarios donde apoyaremos el recipiente para la fundición. Este elemento es conocido como medalla, y tiene como misión levantar el crisol unos centímetros para que la acción del fuego sea más efectiva. Para evitar una posible adherencia del crisol a estos ladrillos, colocaremos encima de ellos un trozo de cartón, que, al quemarse por la acción del fuego, dejará una fina capa de ceniza que impedirá que los ladrillos se peguen a la base del crisol.

Una vez preparada la medalla, colocamos encima el crisol, de manera que quede centrado en el espacio. Con el crisol colocado, introducimos el metal a fundir, ordenándolo sin presionar ni forzar, ya que una presión excesiva podría deteriorar el recipiente.

Figura 31: Medalla y carga del crisol. Propiedad del autor.

-Encendido del horno y control del caldo:

El crisol lo tenemos situado en la medalla, en el centro de la base del horno. Ahora incorporamos la campana del horno dejando el recipiente con el metal en el centro, justo debajo de la ventana superior.

Con el horno cerrado, acercamos el quemador a la boca de éste y encendemos el fuego. El calor debe aumentar en el interior de forma escalonada por lo que empezaremos con una potencia media hasta alcanzar una temperatura en el interior que caliente el metal hasta que adquiera un tono rojizo. Es entonces cuando podemos subir poco a poco la intensidad del quemador para provocar el fundido del mismo.

La medición de la temperatura del interior del horno nos ofrece información importante para valorar el estado de fusión del metal. El metal empieza a calentarse gradualmente hasta conseguir una temperatura de unos 900ºC (el metal adquiere un color rojo vivo), es entonces cuando aumentamos la potencia del quemador (aumentando el caudal de gas) para conseguir una temperatura que rondará los 1100ºC. En este punto, el metal empieza a fundirse, acumulando el caldo en el fondo del crisol.

Con el control visual a través de la apertura superior del horno observamos estos estados. En el momento en que no se aprecien trozos sólidos y la superficie del caldo sea regular, será cuando esté listo el caldo.

Para dichas comprobaciones podemos ayudarnos de una varilla de acero, que previamente a ser introducida en el crisol precalentaremos en la apertura superior del horno. Con esta varilla podemos comprobar si en la superficie del caldo queda algún pedazo macizo, de esta manera nos aseguramos de que el metal esté fundido por completo. Debemos protegernos del calor que emana el equipo, por lo que la pantalla de protección facial resulta imprescindible para la observación del estado del metal en el interior del horno.

El tiempo de fundido del metal variará según la cantidad y según la intensidad del quemador. Con los equipos con los cuales hemos efectuado las pruebas hemos tardado aproximadamente 1h. en fundir 50 kg de bronce.

Figura 32: Horno encendido, situación del pirómetro, y detalle de la apertura superior del horno para el control del caldo. Propiedad del autor.

-Operaciones de movilidad del crisol:

Apertura del horno:

Cuando se considere que el caldo está listo, nos preparamos para la realización de la colada.

Para estas operaciones lo primero es liberar al crisol de la campana del horno, y a continuación lo extraemos hasta el maneral. Para ello, dos personas se encargan de elevarla de manera manual y apoyarla en un lugar del taller donde no entorpezca las siguientes operaciones a realizar.

-Extracción del crisol y desplazamiento hasta el maneral:

Una vez liberado el crisol del contenedor del horno, procedemos a moverlo hasta el maneral. Esta acción la realizamos con las pinzas articuladas diseñadas para este fin. El diseño de estas pinzas posibilita que el propio peso del crisol sea el que realiza la fuerza de cierre de las mismas, por lo que una vez situadas, levantando con los brazos, el crisol quedará atrapado fuertemente para su transporte hasta el maneral.

El proceso es el siguiente: dos personas desplazan las pinzas hasta la situación del crisol y se abren presionando suavemente el extremo de las varas de agarre. Es entonces

cuando se sitúan alrededor del crisol, comprobando que las anillas de sujeción se encuentran a la altura idónea para su agarre. Una vez situadas, se eleva para separarlo de la base del horno, y se desplaza hasta el maneral, previamente situado cerca del horno.

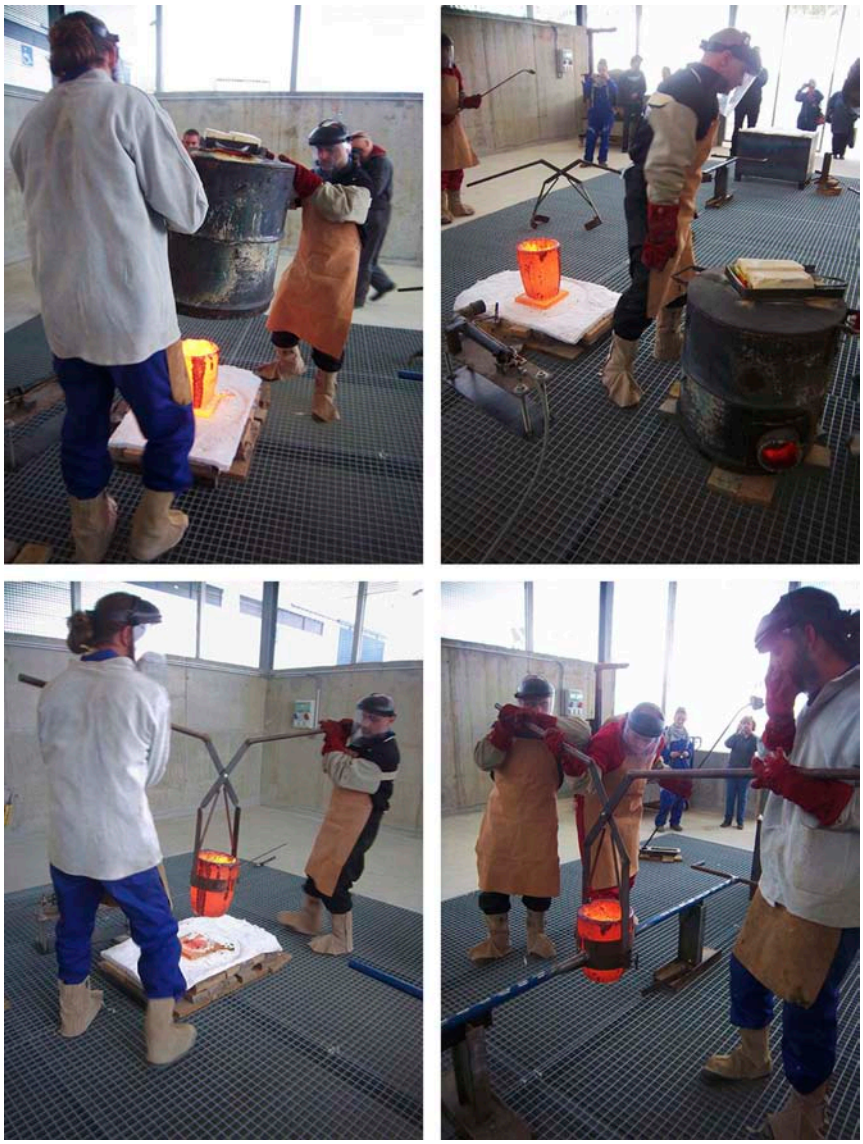

Figura 33: Operaciones de mobilidad del crisol: retirada de la campana del horno, extracción del crisol y apoyo en el maneral. Propiedad del autor.

-Sujeción en el maneral y escoriado:

Una vez situado el crisol en el maneral, incorporamos a este el cierre de seguridad: una pletina que, sujeta al maneral, impide que el crisol se desplace en el momento de la colada.

Cuando el crisol está sujeto, procedemos al escoriado. Llamamos “escoria” a las impurezas y oxidaciones del metal que se producen durante el proceso de fundición. Todos estos restos quedan en la superficie del caldo y es recomendable su extracción previa a la colada para impedir que puedan caer en el interior de los moldes durante el vertido. Para ello utilizaremos una pala de hierro que nos permita su extracción y dejar

el caldo metálico lo más limpio posible.Finalizadas las operaciones de eliminación de la escoria, y con el crisol sujeto al maneral, se levanta liberándolo de sus soportes y se desplaza hasta el lecho de colada.

-Vertido del caldo en los moldes:

Con el crisol sujeto al maneral, lo desplazamos hacia el lecho de colada donde tenemos las cascarillas precalentadas. El soplete que realizaba el calentamiento de las mismas lo apagamos y lo retiramos antes de proceder al vertido.

El maneral lo manejan dos personas, una a cada extremo, y una de ellas será la encargada de realizar el giro con las manetas de control para el vertido del caldo en los moldes. Una tercera persona es la encargada de dirigir la operación y observar el proceso de llenado. Puede ocurrir que quede algo de escoria flotando en la superficie del caldo, por lo que podemos ayudarnos de una pala de hierro para retener dicha escoria y evitar así que caiga con el caldo.

Para realizar la colada acercamos el crisol al borde del lecho de colada, y retiramos la manta cerámica que cubría la apertura de los moldes. Realizamos el vertido del caldo en cada una de las cascarillas y comprobamos que estén llenas observando que el caldo sobresale por la apertura superior de entrada del metal de los vasos.

Figura 34: Vertido de caldo en uno de los moldes de cascarilla cerámica, vista general de la colada. Propiedad del autor.

A continuación del vaciado del crisol, volvemos con el maneral hasta sus soportes. Antes de depositarlo en ellos, nos aseguramos de que no ha quedado adherido nada de metal ni de escoria en las paredes del crisol. En el caso de que sea así, procedemos a su eliminación rascando con la pala de hierro de escoriado las paredes del crisol, para desprender cualquier resto que pudiera quedar.

Es importante realizar estas operaciones antes de que el crisol y la materia adherida enfríen, ya que en caliente se pueden eliminar con relativa facilidad y en frío podríamos dañar la superficie del recipiente. Cuando nos hemos asegurado de que el crisol está completamente limpio, lo sacamos del maneral con la ayuda de las pinzas y lo depositamos de nuevo en la base del horno, de manera que lo dejamos enfriar liberado de cualquier agarre.

-Retirada de las piezas del lecho de colada:

Una vez hemos terminado todas las operaciones referidas al proceso de colada, nos dedicamos ahora al cuidado de las piezas que acabamos de fundir.

Las cascarillas quedan en el lecho de colada mientras realizamos las operaciones finales para dejar apunto el instrumental, durante este tiempo empieza a producirse el enfriamiento del metal, pudiéndose observar con el cambio de color del metal que sobresale por las copas.

El metal no tarda demasiado tiempo en endurecer, pero mantiene la elevada temperatura durante bastante tiempo. Mientras el metal está caliente es demasiado frágil para que lo golpeemos, ya que podríamos producir alguna rotura. Por ello dejaremos las cascarillas reposar en el lecho de colada durante al menos 30 minutos. Cuando haya pasado este tiempo, y con precaución de no quemarnos, ya que como decimos el metal continúa caliente, podemos empezar a extraer las cascarillas del lecho de colada, para dejarlas enfriar un poco más en el exterior.

Esta operación la realizamos con la ayuda de tenazas, y utilizando siempre guantes de protección.

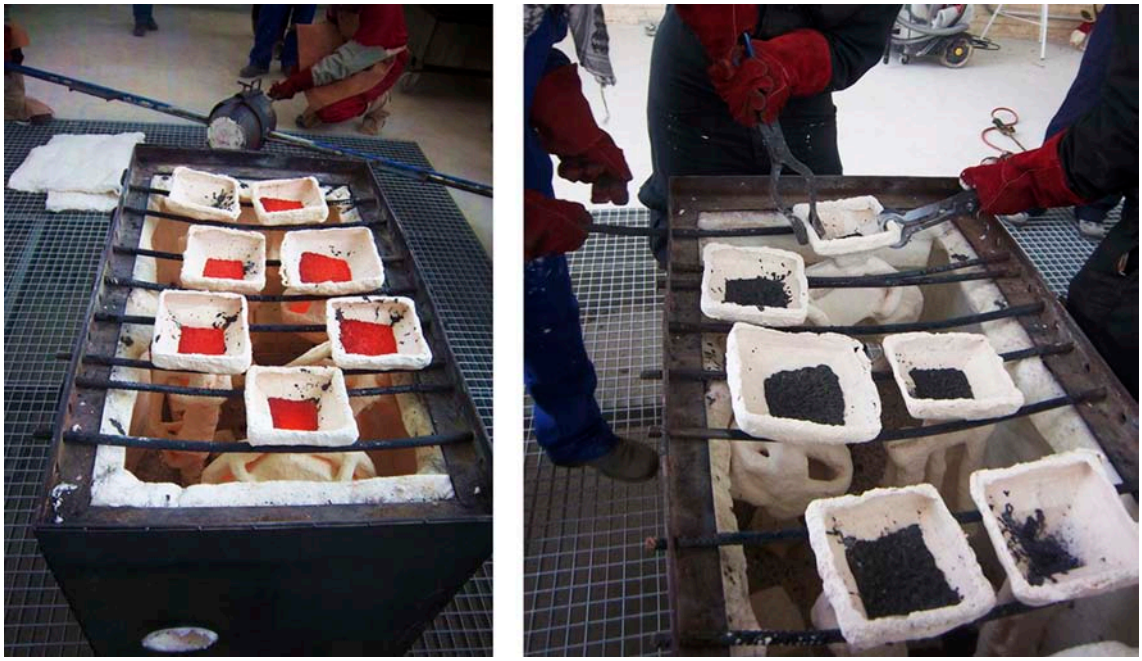

Figura 35: Retirada de las piezas del lecho de colada. Propiedad del autor.

-Descascarillado de las piezas:

Pasado un tiempo prudencial de enfriamiento, podemos empezar a eliminar el molde cerámico refractario de nuestras piezas.

Con el enfriamiento progresivo del metal empezaremos a observar craquelados en los moldes, ya que la contracción producida éste quiebra los rígidos moldes cerámicos.

Cuando las cascarillas están craqueladas podemos empezar con el descascarillado. Para ello nos ayudaremos de una maza y de un cincel.

Con la maza aplicamos unos golpes superficiales a la cascarilla para romperla y desprenderla. Cuando ya hayamos eliminado parte de ella podemos sujetar la pieza con unas tenazas suspendida en el aire y con la maza aplicarle unos golpes a la parte superior del conjunto metálico (al metal que rellenaba nuestra copa). De esta manera producimos una vibración en el metal que favorece dicho descascarillado. Cuando hayamos terminado con la fase “bruta” de descascarillado con la maza, eliminamos los restos de moloquita que hayan quedado adheridos con la ayuda de cinceles.

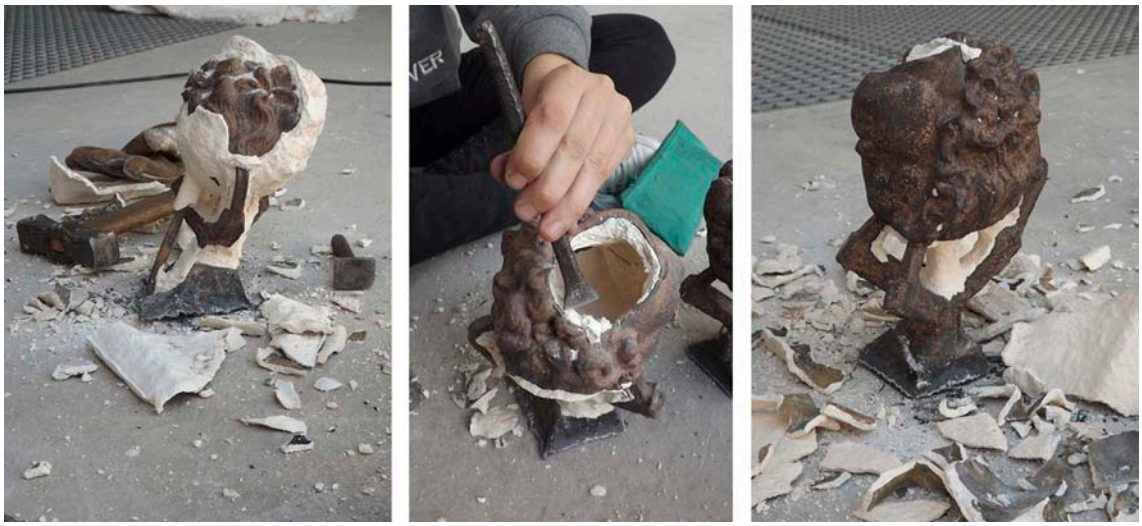

Figura 36: Proceso de descascarillado. Propiedad del autor.

3.4 - Los acabados de las piezas

3.4.1 - Operaciones de recorte, cepillado y cincelado

Una vez las piezas están descascarilladas por completo, procedemos al cepillado de las mismas. Este proceso eliminará cualquier resto de oxidación que cubra la superficie del metal, dejando el bronce limpio.

Para ello podemos utilizar un cepillo de púas de acero latonado, o bien un cepillo sintético, que aplicados con herramientas mecánicas como un taladro nos ofrecen una alternativa idónea para este cometido.

El tratamiento de las superficies con estas herramientas elimina los restos de refractario o grafito que puedan haber quedado adheridos al metal, así como la oxidación que se produce en el transcurso de enfriamiento del metal.

Figura 37: Cepillado mecánico de las piezas de bronce. Propiedad del autor.

Una vez están las piezas cepilladas, recortamos el sistema de riego con la ayuda de una sierra manual o de una radial con disco de corte para metal. Debemos tener cuidado de no dañar nuestra pieza con estas herramientas ya que son bastante agresivas. Realizaremos el corte en un punto próximo a la pieza, pero con margen suficiente para que cualquier desvío del disco no incida en la obra. Las operaciones de retoque las realizaremos a continuación y con ellas eliminaremos cualquier rastro del sistema de riego, dejando la pieza terminada.

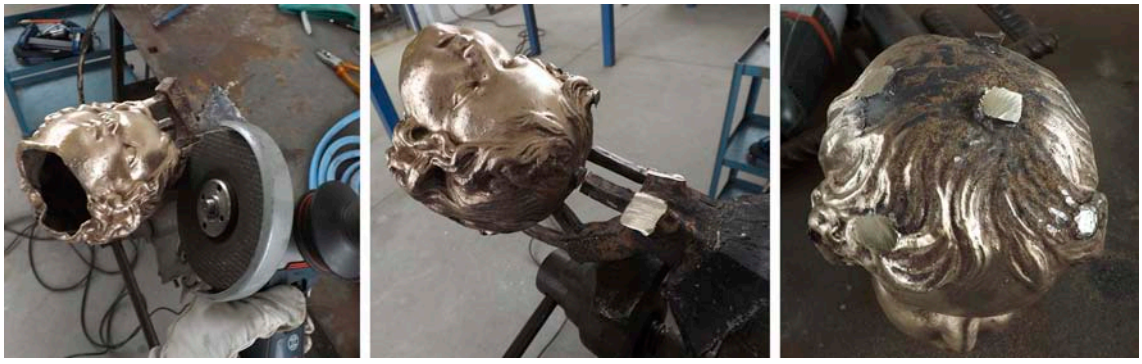

Figura 38: Recorte del metal sobrante procedente del sistema de riego. Propiedad del autor.

Repasado, cincelado, y batido de la superficie del metal:

Todos los procesos que hemos aplicado a nuestras piezas para eliminar el árbol de colada de metal dejan algunos rastros que debemos de trabajar, ahora en frío, para terminarlas.

El cincelado de las superficies es un proceso importante del que se podría hablar largo y tendido, pero simplemente lo vamos a nombrar para no extendernos demasiado en este análisis. El trabajo en frio se realiza con cinceles de distintas características, así como pequeñas herramientas mecánicas como fresas para metal. Otro tratamiento importante del bronce es el “batido”, que consiste en golpear la superficie con un martillo de bola para generar una superficie compactada por la acción compresiva del martillado.

Lo importante es que la superficie de la pieza quede regular y sin rastro de lo que fue el sistema de riego, dejando nuestra pieza tal cual la habíamos realizado en cera al iniciar este proceso tan completo de producción de escultura en metal a través de la fundición.

Figura 39: Repasado de las superficies del metal con fresas, cincel y pieza terminada. Propiedad del autor.

3.4.2 - Ensamblado de piezas: soldadura en bronce

Un proceso habitual en la técnica de fundición es el ensamblado de piezas mediante soldadura.

Para la realización de soldadura de fragmentos de bronce, bien por tratarse de piezas de formato grande, que obligatoriamente hemos tenido que seccionar para poder fundirlas, o bien de piezas que serán huecas a las que les hemos practicado una ventana para poder realizar el molde interior o núcleo, existen diversas posibilidades técnicas, destacando básicamente dos:

La **soldadura MIG** es un proceso mediante el cual la propia maquina de soldar realiza el aporte de metal que necesitamos para el proceso de soldado. Esta maquina lleva incorporada una bobina del material de aporte, que deberemos de proveer de la misma aleación que hayamos utilizado en nuestra pieza (fundamentalmente diferenciamos Bronce RG5 o latón)

La **soldadura TIG** realiza un arco eléctrico el cual calienta tanto el metal de nuestra pieza, como el aporte que nosotros realizamos manualmente a través de una varilla del mismo metal que nuestra pieza.

En cualquiera de los dos casos la pretensión es que los fragmentos queden unidos mediante la fusión de los extremos de las partes, quedando integrados a modo de única pieza.

Tras el proceso de soldadura surge necesario un repasado de la superficie afectada para la eliminación del cordón sobrante y disimular así su existencia en la superficie de nuestra pieza sin modificar sus volúmenes.

Figura 40: Proceso de soldado de una pieza a la cual se practicó una ventana para poder fundirla en hueco. Propiedad del autor.

3.4.3 - Los pulidos

Existen diversas posibilidades de acabados para nuestras piezas en bronce, abrimos ahora este apartado dedicado a las operaciones finales de nuestras piezas hablando de los pulidos de la superficie del metal.Los pulidos conservan el color original del metal con el que hayamos trabajado, además de conferirle un acabado brillante debido al proceso de fricción al que es sometida la superficie del metal.

Para conseguir un acabado pulido brillante, lo ideal es que la superficie del metal esté lo más lisa posible, consiguiendo este grado a través de procesos de lijado, pero como normalmente nuestras obras en bronce tienen un alto nivel de registro y detalle, podemos realizar un pulido de la superficie directamente sobre la pieza tal cual ha salido de fundición y perder así el mínimo detalle posible.

Para las operaciones de pulido primero que nada hay que limpiar bien toda la superficie de la pieza, bien de manera manual, bien a través de herramientas mecánicas como ya hemos explicado en el apartado que habla del cepillado de las mismas. Una vez tengamos la superficie perfectamente limpia aplicaremos una cera con la ayuda de un disco de trapo para taladro de manera que la fricción tanto del trapo como de esta cera conocida como potea, consigamos que el metal de nuestra obra obtenga su brillo.

Esta cera puede dejar rastros oscuros sobre la superficie especialmente si esta tiene alguna textura, este rastro de cera, si no lo deseamos, lo podemos eliminar bien con la insistencia de la aplicación del trapo, bien eliminando con algún tipo de disolvente como el alcohol. Si optamos por esta opción debemos saber que al aplicar el disolvente estamos eliminando la capa de cera que protege la superficie por lo que esta oxidará con el paso del tiempo, recomendamos en este caso utilizar un barniz o laca para metales para proteger la superficie de la corrosión. Si no utilizamos ningún disolvente la capa de cera actuará de protector de la superficie manteniendo el aspecto brillante de nuestra obra.

Figura 41: Proceso pulido del metal mediante potea aplicada a trapo, y pieza terminada.
Propiedad del autor.

3.4.4 - Las pátinas

Existen diferentes posibilidades de acabados para las piezas de bronce, desde dejar el metal en crudo, realizar un pulido superficial, o el más común de los acabados, que es la provocación de la oxidación del metal para producir una pátina superficial.

Conocemos por pátinas a la capa superficial de óxido que colorea las superficies metálicas. Estos óxidos, pueden tener muy diversas coloraciones y texturas dependiendo de los diversos factores que intervengan en su formación, modificando la apariencia final de las piezas sometidas a este proceso.

Figura 42: Piezas de bronce patinadas. Propiedad del autor.

El patinado del bronce es un proceso mágico. Consiste en controlar la coloración de la oxidación del metal acelerando los procesos que generan estas tonalidades. Mediante distintos procedimientos se pueden producir y controlar para manipular el aspecto de las obras.

Las pátinas más perdurables son las naturales, creadas por la degradación del metal con los agentes climatológicos y atmosféricos que incurren a lo largo del tiempo. No obstante, estas oxidaciones pueden ser provocadas por la mano del artista, controlando así su actuación en la superficie de las piezas.

Existen muchas formas de dar una pátina a una superficie metálica, y diversas tipologías de productos tanto orgánicos como inorgánicos actúan para este fin. Lo que nos interesa a nosotros es establecer el proceso mediante el cual conseguimos diversos tonos de

coloración de la superficie del metal, actuando sobre la formación de ésta, mediante el uso de soluciones químicas que nos confieren las oxidaciones que deseemos.

Este proceso, parte fundamental del acabado de la escultura en bronce, llena de posibilidades expresivas la técnica ya que las diferencias de cada uno de los resultados aportan nuevos matices expresivos a la propia pieza, influyendo así pues en su discurso. Las oxidaciones por tanto se convierten en parte del relato.

Existen diferentes formas de patinado. Desde la inmersión, el patinado por vapor, o la más frecuente que es la aplicación y calentamiento localizado con la ayuda de un soplete. La técnica de patinado con soplete es la más utilizada ya que el efecto de patinado es inmediato y la infraestructura necesaria bastante sencilla, necesitando simplemente una fuente de calor localizado como es un soplete. Por ello el estudio que ofrecemos a continuación se centra en dicha técnica de aplicación.

Técnica de patinado con soplete:

Este método de coloreado consiste en aplicar las soluciones químicas al metal, calentándolo previamente con un soplete. Es muy conocida y utilizada por los escultores ya que con este método pueden producirse una amplia variedad de colores desde verdes-azules, marrones, rojos o negros. Todos ellos dentro de las gamas de oxidaciones naturales de los metales.

La técnica es particularmente adecuada para piezas de bronce y es aplicable para piezas grandes y pequeñas debido a que la aplicación se realiza de manera localizada por zonas. El color se consigue gradualmente con el calentamiento alternado de una pequeña área del metal con una llama oxidante y el aplicado de la solución química en el área calentada.

Al aplicar las distintas soluciones, se producen inevitablemente vapores y humos que suelen ser bastante tóxicos por lo que no deben ser inhalados. Las operaciones de patinado deben realizarse en un espacio dotado con una adecuada ventilación, preferiblemente extracción localizada. Además, es necesaria la utilización de equipos de protección individual como mascarilla de nariz y boca con un filtro apropiado para vapores ácidos, gafas de protección, y guantes de látex o goma para aislar nuestra piel de los ácidos con los que trabajamos.

La solución se aplica mojando la superficie del metal con un pincel o con un trapo (en algunos casos es necesario trabajar la solución en la superficie con un cepillo de púas, de esta manera conseguimos una mayor eficacia de contacto). Es esencial aplicar la solución con moderación, en poca cantidad, sea cual sea la técnica de aplicación utilizada.

La temperatura de la superficie del metal en la cual aplicamos la solución es muy importante. No puede ser medida directamente, pero puede ser estimada por la manera en que la solución reacciona cuando es aplicada. Si la temperatura es demasiado alta, la pieza tiende a escupir la solución. A más elevadas temperaturas salta violentamente y no humedece la superficie. Si la temperatura es muy baja, entonces la solución no afecta al metal regularmente, sino que simplemente enfría la superficie.

La temperatura de trabajo correcta no es difícil de saber después de un poco de práctica, pero es necesaria una considerable habilidad para mantener las condiciones correctas en la superficie a medida que aparecen las diferentes coloraciones.

La frecuencia relativa de periodos de calentamiento y aplicación de la solución química dependerá en gran medida de la pieza que estemos patinando. Así pues, una pieza grande tendera a retener más el calor y requerirá menos frecuentes, pero más sostenidos periodos de calentamiento. Una placa fina de metal produce la coloración rápidamente, pero también se enfría rápidamente al aplicar la solución: requiere una más frecuente alternación de llama y ácido.

Una buena patina se consigue cuando la solución reacciona con la superficie del metal caliente de manera uniforme.

La calidad del resultado final depende mucho de la habilidad artística del patinador. Las distintas tonalidades producidas amplían el carácter plástico de las piezas de bronce, enriqueciendo los matices expresivos de la obra acabada.

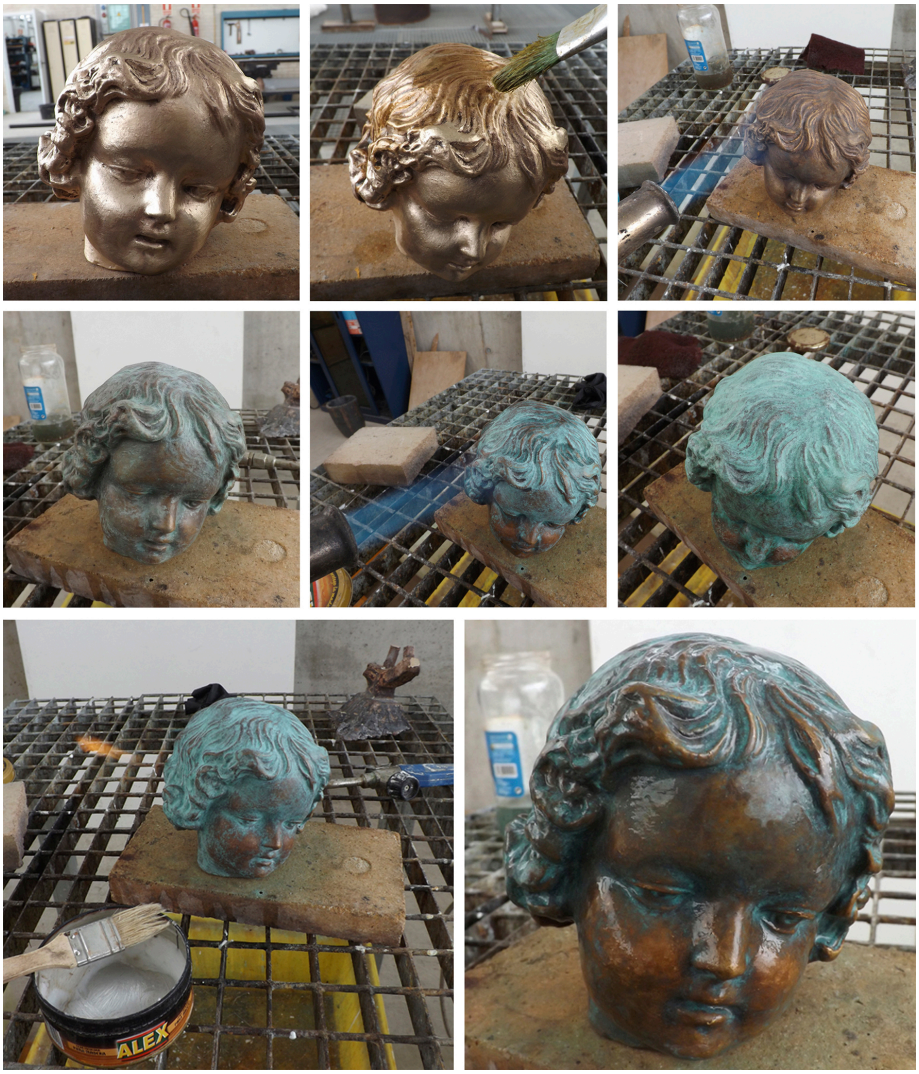

Figura 43: Secuencia del proceso de patinado a soplete. Propiedad del autor.

Cuando la pátina esta completada pasamos al **encerado**. Este proceso final neutraliza el proceso de oxidación para poder pararlo, además de proteger la pieza y conferirle un aspecto con cierto brillo. El proceso de encerado lo realizamos calentando suavemente la superficie de la pieza con el soplete (con mucho cuidado de no insistir demasiado con la llama ya que podríamos quemar la pátina producida), y aplicando cera de ebanista sobre la superficie de la pieza.

La cera oscurecerá el tono que veíamos en la pieza en el final de la aplicación de ácido, por lo que debemos de tener en cuenta este hecho a la hora d e decidir que la pátina está terminada (antes de realizar el proceso de encerado podemos mojar la pieza para observar la tonalidad que tiene mojada, ya que esta se acerca bastante al aspecto de la pátina encerada).

Cuando la pieza y la cera están completamente frías, se frota la superficie con un trapo de algodón o con un cepillo de cerdas (los cepillos que se usan para abrillantar zapatos) y conseguiremos en la superficie del metal el brillo característico de las piezas de bronce acabadas.

Con este proceso damos la pieza en bronce por terminada.

4 - Resultados del proceso de experimentación en nuestra Facultad

Ofrecemos a continuación una selección de obras realizadas por estudiantes de Bellas Artes de la Facultad de Bellas Artes de Altea, siguiendo el proceso que acabamos de explicar.

Figura 44:
Espacio Improbable III
Manuel Sanz Costa
Bronce - 10 x 7 x 32cms.
Propiedad del autor.

Figura 45:
S/T
Leonardo Ahr
Bronce - 20 x 15 x 12cms.
Propiedad del autor.

Figura 46:
La memoria
Mª Victoria Salillas Herrero
Bronce -13 x 13 x 13cms.
Propiedad del autor.

Figura 47:
Efímero versus Perpetuo
Pepe Sart Vallés Bronce
- 13 x 26 x 2cms.
Propiedad del autor.

Figura 48:
Crece
Elena Mora López
Bronce - 54 x 25 x 4cms. Propiedad del autor.

Figura 49:
Nature
Magdalena Mira Gómez
Bronce - 25 x 22 x
8cms. Propiedad del
autor.

Figura 50:
Templo
Miriam Casero Laguna
Bronce - 27 x 18 x
13cms. Propiedad del
autor.

Figura 51:
OurOcean
Alba RujanoMancheño
Bronce y plástico - 30 x 11 x
2,5cms. Propiedad del autor.

Figura 52:
Coño
Nuria Martínez Poveda
Bronce - 25 x 25 x
12cms. Propiedad del
autor.

Figura 53:
Universo
Rosana López-Cano García Bronce
y madera - 30 x 26 x 22cms.
Propiedad del autor.

Figura 54:
2042
Carla Sacullo
Bronce y Hierro - 40 x 50 x
15cms. Propiedad del autor.

Figura 55:
001011110
Catalina Reche Fernández
Bronce y Madera - 50 x 15 x
15cms. Propiedad del autor.

Figura 56:
Tech Súper
Eric Carpe Lomas
Bronce - 25 x 10 x 8cms. Propiedad del autor.

Figura 57: ***Senomorfo***
Ángel HenarejosBlasco
Bronce - 18 x 7 x 2cms.
Propiedad del autor.

Figura 58:
Defiéndeme
Mónica Torres Ribes
Bronce - 35 x 20 x 10cms. Propiedad del autor.

Figura 59:
Adaptaciones
Mª Helena Aguado Andreu
Latón y Pelo Natural - 10 x 10 x
17cms. Propiedad del autor.

5- Bibliografía:

-Albaladejo, Juan Carlos. *Fundición a la cera perdida, técnica de crisol fusible*.

Edita el Departamento de Pintura y Escultura de la Universidad de la Laguna. Primera edición 2003.ISBN: 84-608-0029-6

-Corredor Martínez, Juan Antonio. *Técnicas de Fundición Artística.*

Editorial Universidad de Granada, 1999.ISBN: 84-338-2306-X

-Marcos Martínez, Carmen. *Fundición a la cera perdida: técnica de la cascarilla cerámica*.

Tesis Doctoral, Facultad de Bellas Artes de San Carlos, Universidad Politécnica de Valencia, 2000.

-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.*

Tesis Doctoral, Facultad de Bellas Artes de Altea, Universidad Miguel Hernández, 2015.

-V.V.A.A. *La fundición artística en la universidad española: La investigación, año 2006.*

Edita el Grupo de Investigación Nuevos procedimientos Escultóricos, Universidad Politécnica de Valencia.ISBN: 978-84-611-8323-4

-V.V.A.A. *La fundición artística en la universidad española: La docencia, año 2006.*

Edita el Grupo de Investigación Nuevos procedimientos Escultóricos, Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 978-84-611-8323-4

-V.V.A.A. *I Congreso Nacional de Investigadores en FundiciónArtística, Libro de actas (3 DVD).*

Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.ISBN: 978-84-612-2865-2

-V.V.A.A. *Fusión 18 – fundición artística Contemporánea.* Catálogo de la exposición.

Editorial Fundación Frax de la Comunitat Valenciana.ISBN: 978-84-09-0416-2

WEB:

-Museo de prehistoria de Valencia. *El Guerrer de Moixent.*

www.mueu.ms.com

-Micronoticias 2.0. *Gran elefante erguido, de Miquel Barceló.*

www.periodistafreelance.wordpres.com

DEPARTAMENTO
DE ARTE