

Procesado térmico de moldes para joyería y escultura de pequeño formato mediante tecnología microondas

Autor: Francisco Moreno Candell¹

Dirección: Fátima Acosta Hernández², Itahisa Pérez Conesa³, José Antonio Aguilar Galea⁴

RESUMEN

Esta investigación diseña un método de tratamiento térmico con energía microondas para descerecer y cocer los revestimientos refractarios que se emplean como moldes en joyería tradicional. La fundición a la cera perdida requiere procesar el molde térmicamente para realizar la colada del metal con efectividad, normalmente este procedimiento se entiende como sofisticado. La alternativa que se presenta pretende contribuir hacia la simplificación de este proceso. El origen de la investigación parte de los trabajos del Grupo de investigación Técnicas y Procedimientos Escultóricos (TCPER) de la universidad de La Laguna, el cual investiga en torno a implementar esta tecnología para el proceso de descerecer para cascarilla cerámica (Shell Casting). Este proyecto de tesis doctoral propone

ampliar los estudios hacia el área de la joyería con la hipótesis de que la interacción dipolar microondas con las partículas de agua de los moldes empleados en la técnica de joyería tradicional propiciaría una efectividad óptima para el proceso de secado teniendo en cuenta que éste es un tratamiento implícito en estos moldes. Dado que estos revestimientos refractarios requieren curvas de cocción muy progresivas (no inferiores a 7 horas en hornos eléctricos) puesto que el conocimiento y control de la aplicación por microondas es complejo, para llevar a cabo el estudio que imitara el tratamiento original se han compaginado los trabajos en tres fases hasta el diseño de la técnica (reconocimiento, análisis y verificación). Finalizada la investigación, las microondas han demostrado un acortamiento temporal del tratamiento térmico gracias a la interacción molecular con las partículas de agua contenidas en los yesos y a la excelente transmisión de calor propiciada a partir de la construcción de una mufla microondas para estos negativos, lo que pone en valor la accesibilidad y simplificación de la propuesta. Estas y otras ventajas sitúan las microondas como candidatas idóneas para un tratamiento térmico de bajo coste y sostenible dado que esta irradiación no produce combustión en la cera, mejorando la manipulación, recuperación y control del proceso, ya que la transmisión calórica se sitúa en unos márgenes razonables sin gestionar los residuos propios de las técnicas con combustión.

PALABRAS CLAVE: procedimientos escultóricos, tecnología microondas, joyería, descerecer alternativo.

¹ Autor del trabajo de tesis. Fecha de defensa: 14 de julio de 2022. Universidad de La Laguna, Tenerife. E-mail: pacomorenocandel@gmail.com.

² Profesora titular, Universidad de La Laguna. San Cristóbal de La Laguna, España

³ Profesora ayudante doctor, Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, España.

⁴ Profesor titular Universidad de Sevilla, España.

This research designs a microwave energy heat treatment method for de-waxing and firing refractory linings used as molds in traditional jewelry. Lost wax casting requires thermal processing of the mold in order to cast the metal effectively, and this procedure is normally understood as sophisticated. The alternative presented here aims to contribute to the simplification of this process. The origin of the research comes from the work of the Sculptural Techniques and Procedures Research Group (TCPER) of the University of La Laguna, which investigates the implementation of this technology for the dewax process for ceramic shell casting. This doctoral thesis project proposes to extend the studies towards the area of jewelry with the hypothesis that the microwave dipole interaction with the water particles of the molds used in the traditional jewelry technique, would favor an optimal effectiveness for the drying process taking into account that this is an implicit treatment in these molds. Given that these refractory linings require very progressive firing curves (no less than 7 hours in electric furnaces) and that the knowledge and control of the application by microwaves is complex, in order to carry out the study that imitates the original treatment, the work has been combined in three phases up to the design of the technique (recognition, analysis and verification). At the end of the research, microwaves have demonstrated a time shortening of the thermal treatment thanks to the molecular interaction with the water particles contained in the gypsum and to the excellent heat transmission due to the construction of a microwave muffle for these negatives, which highlights the accessibility and simplification of the proposal. These and other advantages make microwaves an ideal candidate for a low-cost and sustainable thermal treatment, since this irradiation does not produce combustion in the wax, improving the handling, recovery and control of the process, since the heat transmission is within reasonable margins without managing the waste typical of combustion techniques.

KEYWORDS: Sculptural Procedures, Microwave Technology, Jewelry, Alternative Dewax.

1. INTRODUCCIÓN

La temática que aborda el proyecto se centra en la fundición a la cera perdida: una técnica escultórica de tradición milenaria que consiste en realizar el vaciado de un molde mediante la eliminación de la cera y la humedad contenida, para que permita recibir el metal fundido. Este proceso, del que se encuentran referencias históricas fechadas desde el año 1300 a.C, se ha repetido en la mayor parte de las culturas, manifestado de distintas maneras, pero siempre buscando conseguir la forma más efectiva y simple adaptándose a los recursos disponibles en cada período [1]. Actualmente, continúa siendo una técnica ampliamente utilizada en la industria y, por descontado, sigue en ella latente el principio de simplificación técnica. Bajo este paradigma, en este trabajo la tecnología microondas aplicada a esta técnica se presenta como una evolución aplicable a las aulas docentes y talleres profesionales.

La iniciativa de emplear microondas para el descere en fundición artística la tuvo Juan Carlos Albaladejo González, catedrático de Escultura de la Universidad de La Laguna. La idea del profesor parte de la experimentación del ingeniero David Reid, quien había planteado fundir metales en un microondas doméstico [2] utilizando una mufa con susceptor. Sin embargo, el aspecto que Albaladejo entiende como trascendental en el tema de la fundición fue el descere, por lo que incorporó el susceptor en la composición del molde de cascarilla cerámica para posibilitar el calentamiento del mismo [1]. La investigación que inició este profesor tuvo como protagonista al binomio *cascarilla/cera*, dado que el procedimiento de descerado ortodoxo de la cascarilla cerámica, el choque térmico (Flash Dewaxing), debería ser repensado para la seguridad en centros educativos. Una investigación en la que se fundamenta la tesis doctoral es la titulada: *Técnica del descere por Microondas: Identificación, cuantificación y valoración de los susceptores en el estuco de cascarilla cerámica en la fundición artística* [3], que defendió en 2017 la actual profesora de fundición artística de la misma universidad, la Dra. Itahisa Pérez Conesa.

La complejidad de las microondas (en adelante MW) reside en las exigencias del manejo

de varias ramas técnicas para su eficaz uso, condición que demora los tiempos de instauración de la tecnología en los procesos tradicionales [4]. A nivel técnico, la profundidad que alcanza la irradiación de MW en el material para realizar la transformación de energía eléctrica a la térmica varía principalmente en función de las características moleculares de la sustancia a calentar, además de otros factores, como el tiempo de exposición a la irradiación, la potencia, el tamaño, la forma y la densidad del objeto.

En la técnica de joyería tradicional se realiza el árbol de fundición en cera para, posteriormente, recubrirlo de material refractario. Este material se vierte en estado líquido dentro de un encofrado con forma cilíndrica, que alberga el modelo a reproducir. La pasta refractaria se compacta alrededor del árbol de cera registrando a la perfección los detalles de su forma. Una vez fraguado el molde, se debe hornear para evacuar la cera consiguiendo el hueco para rellenar el metal a la vez que se cuece el refractario. Habitualmente estos cilindros son de acero, dado que deben ser termorresistentes al horneado [5]. Si los negativos no finalizan su cocción se pueden manifestar reacciones por ignición durante la operación de inyección del metal fundido deteriorándose irreversiblemente el molde. Estos revestimientos refractarios, al estar confeccionados con un alto porcentaje de agua, requieren que la aplicación térmica sea gradual para no quebrarse durante su calentamiento. Las curvas térmicas empleadas habitualmente tienen una duración de 7 a 12 horas hasta alcanzar 750°C y 850°C para eliminar cualquier resquicio de cera y agua química combinada en el compuesto [5].

Este estudio recae en diseñar programas MW a potencias escalonadas apropiados a las condiciones necesitadas por estos moldes, ligadas al proceso de descere y sinterizado, salvaguardando su integridad y transformando su estructura a un compuesto compacto, resistente y eficaz para colar el metal fundido [6]. La tecnología microondas permite operar con aplicaciones térmicas a bajas temperaturas dado que se puede controlar la emisión de irradiación y, por lo tanto, secuenciar el aumento de la temperatura. Esto permite trabajar a temperaturas constantes apropiadas para los procesos de secado

poco tolerantes a aumentos demasiado rápidos de temperatura, lo cual sería fructífero en su descere [7]. No obstante, a medida que el negativo está expuesto a la radiación, se desarrolla su deshidratación y, con ello, la pérdida de sus propiedades dieléctricas. Para paliar esto, una estrategia eficaz que subsana la deficiencia energética de los materiales transparentes a MW es el uso de materiales eléctricamente activos, los cuales absorben la energía y, por tanto, propician un calentamiento rápido y eficaz. De esta forma, el material comienza su proceso de sinterización, donde llega a la temperatura necesaria para la cocción del molde.

En esta investigación la caracterización de la pasta refractaria procesada térmicamente con MW se evalúa con la colada del metal fundido y por medio del esfuerzo mecánico sometiendo los moldes a fuerza centrífuga, donde deben soportar la presión que ejerce la misma para la inyección del metal.

2. OBJETIVOS

GENERALES:

- Reconocimiento del funcionamiento microondas en los materiales y métodos de la técnica de joyería.
- Simplificación de los procesos de fundición de joyería con una reducción de infraestructura y tiempo de procesado.

ESPECÍFICOS:

- Analizar el calentamiento de diferentes ceras sintéticas bajo la irradiación MW.
- Analizar y controlar el calentamiento de los revestimientos refractarios de joyería.
- Analizar las variables de calentamiento en función de las geometrías, tanto en los árboles de cera como en los pesos y volúmenes de los moldes.
- Diseñar curvas térmicas tiempo/potencia MW para descere y cocción.
- Aplicar el procedimiento a un proyecto artístico personal para viabilizar el estudio científico-técnico a un caso práctico concreto.
- Verificar el método llevado a cabo mediante la repetición de muestras sometidas a la resistencia mecánica con máquina centrífuga.



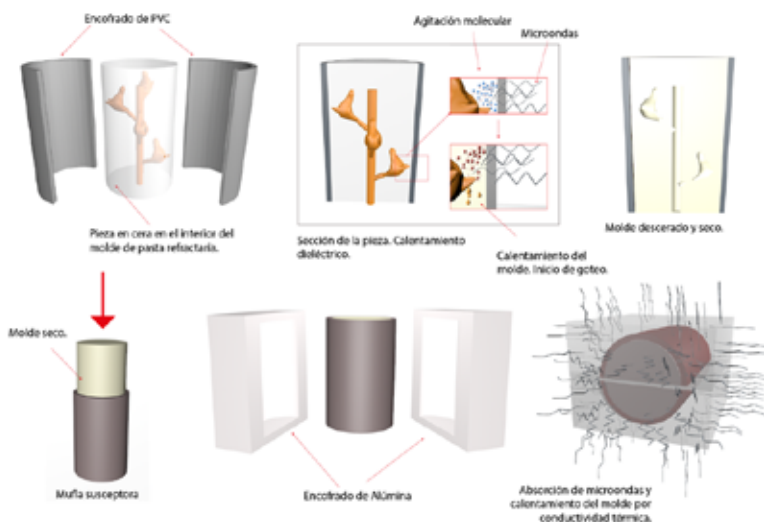


Fig. 1. Dos etapas de calentamiento descritas de izquierda a derecha en dos filas, descere y cocción en la mufla microondas, respectivamente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La técnica experimental llevada a cabo se configura con una metodología por ensayo/error para diseñar un calentamiento por MW hasta conseguir procesar diferentes formas de árbol de fundición y formatos de molde refractario. El proyecto se ha constituido de tres bloques. El esquema seguido en el diseño de adaptación se inicia haciendo un reconocimiento del calentamiento de las ceras sintéticas empleadas en joyería. Posteriormente se hizo un estudio de viabilidad para efectuar el descere de los revestimientos refractarios con árboles de cera, en primer lugar, de formas sencillas y, posteriormente, de formas complejas. Finalizado el descere, se estudia cómo alcanzar altas temperaturas para la cocción de los moldes haciendo un estudio de conductividad térmica asistido por susceptores en este mismo bloque, y finalmente se evalúa esta cocción mediante la fundición.

Para llevar a cabo la operación, el cilindro de acero que se emplea en la técnica original se sustituye por PVC. Dado que al secarse el molde aumenta su transparencia a las MW, se empleó una mufla de carburo de silicio con forma cilíndrica,

aislada por dos lechos compuestos de alúmina y sílice para continuar elevando la temperatura. Este sistema retiene la energía y propicia mejor conductividad térmica al molde, situado en el interior del habitáculo (fig. 1). Es decir, la aplicación térmica diseñada está dividida en dos etapas: la primera supeditada al secado del molde y a la evacuación de la cera. La segunda, tras retirar el PVC e introducir la mufla, consignada a cocer la pasta refractaria. Finalizado el tratamiento térmico, rellena el molde, bien por colada directa de metal fundido, o con inyección de metal en máquina centrífuga.

Para el descere se utilizó un microondas de 700 w con cinco rangos de potencia (105 w - 210 w - 350 w - 525 w - 700 w). El registro de temperaturas de este proceso se realizó con un pirómetro láser *F-62 Max-plus* posicionado a 350 mm de las muestras en un ángulo de 90° (fig.2 ilustración izq.). La etapa de cocción se empleó un microondas de 1000 w con siete graduaciones de potencia (100 w, 270 w, 300 w, 440 w, 600 w, 800 w y 1000 w). Las temperaturas se registraron por medio de una sonda tipo (k) instalada en el interior de la cavidad de la mufla en con-



Fig. 2. Sistemas de medición de temperatura. Pistola láser F-62 y termopar Tipo K de izq. a dcha. respectivamente.

tacto con el molde a una profundidad de 5 mm y conectada a un termopar *RS-42 PRO* (fig. 2 ilustración dcha.).

El vaso cilíndrico susceptor se construyó con SiC verde de granulometría 400 mm, adulterado con 5 a 15 % de bentonita. El aislamiento consiste en dos ladrillos refractarios de Al_2O_3 67% y SiO_2 33%, cuyos huecos practicados conforman dos cámaras semicilíndricas para acomodar el vaso susceptor. La efectividad del descere y secado inicial se evalúa observando la aparición de grietas y cuantificando el peso de cera extraída, así como la pérdida de masa del molde por su deshidratación. Por otro lado, los programas de cocción se determinan a partir de la temperatura y la observación de su eficiencia en aspectos tales como desmoronamientos de polvo, combustión de la fundición o zonas grises del refractario. Atribuyéndose al cuerpo homogéneo y blanco un quemado efectivo para la recepción de la colada. La calidad del proceso se analiza con la comparación del modelo en metal obtenido y el modelo primitivo en cera.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCERE

Con respecto al descere de los revestimientos, se validó la hipótesis de que el alto grado de humedad producía un calentamiento eficaz en MW derritiendo la cera. Presentando la proble-

mática de que los cilindros tienen una sensibilidad extrema a la irradiación. La interacción dipolar con las moléculas de agua se manifiesta de manera instantánea traduciéndose en aumento repentino de la temperatura que provoca explosiones. Con lo cual se requirió un control exhaustivo de la irradiación en bajas y medias potencias para una deshidratación gradual sin deteriorar los moldes.

Se determinó el modo de descere estos moldes con seguridad escalonando la potencia de irradiación. El PVC mostró ser un material óptimo, comportándose transparente a las MW y con una conductividad térmica baja. Características que permiten dejar pasar la irradiación y soportar la aplicación térmica hasta completar el descere, establecido en 112°C de temperatura máxima.

Se diseñaron 4 curvas térmicas en función de los centilitros de agua contenida con programas de 30 a 65 min según volúmenes, recuperando el 90% de cera con árboles formas simples.

Con respecto a las probetas artísticas, determinan que la complejidad de la forma puede aumentar la posibilidad de desprendimientos del negativo en la bandeja recolectora de cera, como los modelos con formas cónicas con huecos profundos, y una sección no superior a 2 mm.

La última fase de pruebas de descere realizada en el final de la tesis sobre los 3 modelos de cera diferentes constata que el funcionamiento de este proceso por MW es óptimo, recolectando el 99% de cera, con un índice de fisuras de tan solo del 2%, acreditado sobre 45 muestras sin



Fig. 3. Árbol de cera cabeza de hipopótamos y árbol de latón cabeza de hipopótamos.

detectar desprendimientos de polvo refractario en la bandeja recolectora de cera.

4.2. COCCIÓN

Con el secado del molde, se verifica que la pérdida de propiedades dieléctricas es exponencial a su deshidratación, mostrándose más transparente a las MW. Se valida el funcionamiento de carburo de silicio verde como *susceptor* con un intervalo de absorción de MW que, ayudado por el aislamiento de alúmina y sílice, consiguió elevar a las temperaturas hasta 750°C. El diseño de este habitáculo resultó apropiado para aplicar irradiación MW de manera gradual para los moldes gracias a la transparencia MW de estos ladrillos de baja densidad y sus pocas pérdidas térmicas. Con el primer prototipo mufla MW, se diseña una meseta para cilíndricos pequeños de 80 g y 3,3 cm de diámetro, estudiando que la energía pase por conducción al molde. Obteniendo 5 árboles de latón con formas simples en tan solo 17 minutos de cocción. Las pruebas de sinterización con los formatos de cilindros superiores testados a lo largo de la tesis verificaron que se puede propiciar la conductividad térmica ajustando el formato de mufla a cilindros superiores preservando sus principios de funcionamiento y obteniendo árboles forma cactus de

mayor tamaño. El paso a un calibre de formato superior se fundamentó en detectar fisuras y zonas grisáceas en el refractario por una aplicación MW demasiado corta para el formato. De esta manera, la investigación determina nuevos programas de cocción apropiados también para modelos complejos con una duración total de 40 minutos de cocción con potencia escalonada. Obteniendo un 42% de muestras sin reacciones permitiendo continuar con la colada. Las cuales fueron eficaces para modelos tipo escultura de pequeño formato capacidad de registro de los moldes.

Para las geometrías con secciones iguales o inferiores a 2 mm se determinó imprescindible la aplicación de fuerzas adicionales que facilitarían la circulación del metal fundido en la cavidad interna de los moldes, así como para reproducir detalles ínfimos superficiales. La inclusión de una máquina centrífuga para conseguir las prestaciones exigidas en la técnica de joyería (secciones inferiores a 2 mm) supuso una reconfiguración de las curvas térmicas de cocción, necesitando aplicar temperaturas de mantenimiento para compactar las pastas hasta soportar el sometimiento termodinámico de la fuerza centrífuga. Finalmente, las curvas térmicas microondas diseñadas se sitúan entre 89 y 132 minutos de cocción en función del tamaño del cilindro pudiendo lograr fundiciones sin filtraciones metálicas con

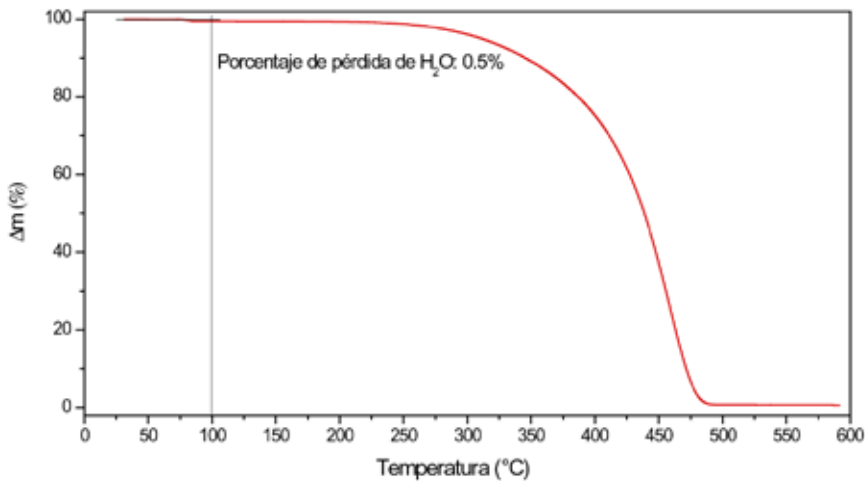


Fig. 4. Ensayo TGA de cera utilizada en la investigación (sintética roja de modelar Iberceras 1950) en un rango de temperatura de 0 a 600°C.

que soportaran el esfuerzo mecánico centrífugo comentado. Ambas etapas, descere y cocción, quedan ajustadas sin detectarse enfriamiento entre ambas, imitando el tratamiento que requieren los moldes con un acortamiento temporal del 66%, situado el proceso en 2 a 3 horas frente las eventuales 8 h que emplearía un horno eléctrico y con calidad de registro contrastada con los originales en cera. De esta manera la investigación logra una propuesta metodológica para llevar a cabo un calentamiento alternativo con MW que ofrece las prestaciones exigidas por los procesos de alta joyería.

Por otro lado, se realizaron análisis termogravimétricos (TGA) sobre las ceras, para conocer su estabilidad térmica en diferentes rangos de temperatura y poder deducir sus diferencias porcentuales en componentes orgánicos y sintéticos.

El conocimiento de la resistencia a la volatilización de la cera –según la temperatura– se empleó para alargar el tiempo de mantenimiento en las temperaturas que indica el termograma con la exposición microondas buscando eliminar cualquier resto de ésta. Los TGA obtenidos en cinco horquillas de temperatura, análisis ter-

mogravimétrico de la cera roja no se encuentra reportado en la literatura de joyería fundida y resulta de interés para la investigación relacionada con la eliminación de cera en moldes cerámico.

Para el diseño del tiempo y potencia microondas adecuado a la cocción de los moldes en la última fase de la tesis se partió del programa de la figura 5, donde la temperatura fue registrada instalando una sonda termopar dentro de la cavidad (fig. 2). Con la selección de esta meseta final se alcanzaron temperaturas progresivas empleando 4 escalones de 6 minutos con potencias de 100 w a 440 w y otros 2 escalones de 8 minutos de 600 w y 800 w para mantener los moldes entre los 280°C y 470°C. El escalón de 18 minutos a 1000 w alcanza los 700°C, temperatura ligada a eliminar el agua química combinada en los revestimientos.

Durante el transcurso de la investigación se buscó la meseta más adecuada, prolongando el tiempo mínimo necesario, hasta conseguir que la transformación estructural de las pastas superara los indicadores: ausencia de fisuras, la calidad del registro y el soporte termodinámico. Estando dentro de los parámetros de temperatura reque-



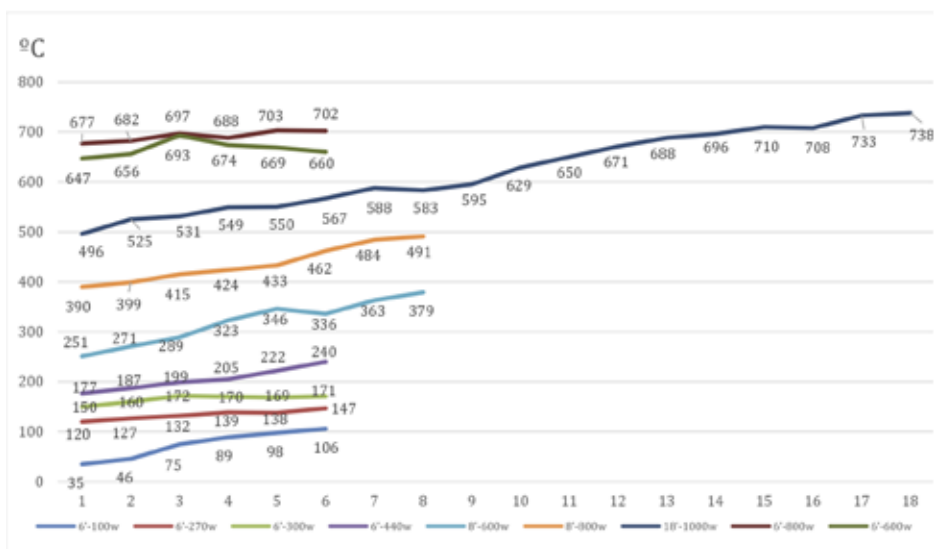


Fig. 5. Registro de temperaturas de la meseta inicial en 5 muestras preliminares, formato C. Medio forma simple.

rida, se prolongaron las mesetas hasta mitigar los inconvenientes. El programa 6' 100 w - 6' 270 w - 6' 300 w - 6' 440 w - 8' 600 w - 10' 800 w - 25' 1000 w - 12' 800 w - 10' 1000 w aplicado a cilindros medios resultó eficaz en el estudio de verificación realizado al final de la tesis. Estableciendo que la meseta con una duración total de 1h 29 min es idónea para figuras de 75 g de latón. Partiendo de los resultados citados, se sometieron al mismo procedimiento moldes homólogos, prolongando el procesamiento a su grado o peso de humedad.

Las mesetas aplicadas en los dos procesos térmicos MW, descere y cocción, mostraron tener una continuidad adecuada, sin detección de enfriamiento en los negativos. Este ajuste entre ambos procesos se considera crucial para no registrar fisuras graves y poder seguir con la cocción de la pasta.

La última fase de pruebas del proyecto verifica el funcionamiento de la técnica diseñada durante la tesis doctoral acreditando su funcionamiento con 15 ejemplares de latón de entre 75 g y 185 g (fig. 6).

5. CONCLUSIONES

Con la finalización de la investigación se concluye que los materiales y métodos implicados en la técnica de joyería son aptos para procesarse con tecnología microondas, siendo ésta una fuente de energía que con el debido estudio puede configurar su aplicación térmica a las particularidades que requiera cada procesamiento térmico.

En base a los resultados obtenidos el proceso de descere de revestimientos refractarios empleados a la cera perdida las MW tienen una excelente compatibilidad con estos moldes, teniendo en cuenta que el secado es un tratamiento implícito en los revestimientos, se reduce sustancialmente el tiempo de procesado y se recupera la totalidad de la cera sin generarse llama, lo que a su vez contribuye a la reducción de emisión de gases del proceso. El efecto de evaporación de agua produce el derretimiento del árbol de cera sin combustión obteniendo una recuperación del 99% de la misma. Dato relevante en la aporta-



Fig. 6. Comparativa de registro superficial del modelo de cera y su reproducción en latón de una «cabeza» perteneciente al árbol de jirafas.

ción de esta alternativa, ya que en los procesos tradicionales se quema casi el total de la cera o en ocasiones se recupera del 30 al 40%.

No obstante, desarrollada la deshidratación de las pastas, en esta primera etapa de descerado, se pierden exponencialmente sus propiedades dieléctricas, comportándose estos moldes como una cerámica transparente a las MW. Sin embargo, con el empleo de la mufia susceptora diseñada y construida en esta investigación se ha logrado completar el tratamiento térmico hasta su cocción superando los 700°C, con una potencia microondas convencional. La calidad de la cocción ha resultado adecuada para culminar el proceso con la fundición, siendo evaluada mecánicamente inyectando metal con fuerza centrífuga. Por lo que se puede afirmar que el método diseñado es eficaz para producciones de escultura de pequeño formato y también de joyería con un microondas doméstico, lo cual contribuye directamente a la reducción de infraestructuras, tiempos y costes en los talleres profesionales y docentes del sector.

Como futuras investigaciones, las pruebas con desceres múltiples realizadas al final de la tesis abren nuevas líneas de trabajo validando la hipótesis de poder procesar un mayor número de moldes,

empleando directamente potencias medias en el primer escalón de la curva de descere gracias a la división de ondas entre cuerpos, lo cual permite el descere de 3 modelos complejos en el mismo tiempo que uno. Esto permitiría en un futuro comparar consumos con las mufias eléctricas.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad de La Laguna, centro donde se ha desarrollado esta investigación. A la Universidad de Sevilla, centro donde se realizaron algunos ensayos. Al Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia, fuente de financiación de algunos equipos utilizados en este trabajo. A través de dos proyectos en esta línea: «Alternativas al descere en la fundición de cascarilla cerámica (ceramic shell casting): técnica por microondas», HAR2010-17570 (fecha inicio 1/1/2011-finalización: 30/4/2014) y «Alternativas al descere en la Fundición de cascarilla cerámica (ceramic shell casting): Técnica por microondas (II)» referencia. HAR2016-77203-P (fecha inicio 30/12/2016-finalización: 29/12/2019). Especialmente, a la actual profesora de fundición artística de la Universi-



dad de La Laguna, Dra. Itahisa Pérez Conesa, Dra. Fátima Felisa Acosta Hernández y Dr. José Antonio Aguilar Galea por dirigir y posibilitar este trabajo. Así mismo, este proyecto siempre será deudor de la iniciativa que el catedrático D. Juan Carlos Albaladejo emprendiera y Dra. Soledad del Pino de León siguiera.

7. REFERENCIAS

- [1] J.A. AGUILAR GALEA, La enseñanza de la fundición artística en las facultades de Bellas Artes Españolas, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2000.
- [2] D. REID, «El primer vaciado fundido (en plata) por microondas se realizó en 1993. Se demostró la técnica en una conferencia sobre microondas en el St. Johns College de Cambridge en 1995», 2018. [En línea]. Available: <https://hackaday.com/2005/01/24/microwave-oven-foundry/>. [Último acceso: 2022].
- [3] I. PÉREZ CONESA, «Técnica del descere por microondas: identificación, cuantificación y valoración de los susceptores», San Cristobal de La Laguna: Universidad de La Laguna, 2017, p. 215.
- [4] P.J. PLAZA GONZALEZ, *Control de la temperatura en sistemas de calentamiento por microondas*, Valencia: UPV, 2015, pp. 8-9.
- [5] J. CORREDOR MARTINEZ, *Técnicas de fundición artística*, Granada: Universidad de Granada, 1997.
- [6] F. MORENO CANDEL, I. PÉREZ CONESA, F.F. ACOSTA HERNÁNDEZ y J.A. GALEA HÉRNANDEZ, «Estudio de producción de piezas de microfundición para joyería utilizando energía microondas». *ArDin, Revista de Arte, Diseño e Ingeniería*, 2021.
- [7] J. MENÉNDEZ y A.H. MORENO, «Aplicaciones del calentamiento con energía microondas, de Secado industrial con microondas», Cotopaxi, Ed. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017, p. 85.
- [8] Y. SEGURA DE JESÚS y G. CARBAJA, «El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas», *Revista de Innovación Sistemática*, pp. 46-56, 2017.

Francisco MORENO CANDEL
Universidad de La Laguna

DOI: <https://doi.org/10.25145/j.bartes.2022.16.06>