Interlínea
Cuadernos de investigación en arte, diseño y educación
ISSN 2530.4968

05 | octubre de 2025

PREMIOS MESTRE A LA INVESTIGACIÓN DOCENTE 2025

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D EN LA FUNDICIÓN ARTÍSTICA: INNOVACIÓN Y OPTIMIZACIÓN EN PROCESOS TRADICIONALES

Adolfo Castaño Martin

Interlínea | 05 2025 | ISSN 2530.4968

Resumen. Este proyecto desarrolla una investigación sobre la integración de tecnologías 3D (escaneado e impresión) en los procesos tradicionales de fundición artística en bronce, dentro de los talleres de la Escuela de Arte y Superior de Conservación y Restauración de Salamanca (Enseñanzas Artísticas Superiores), junto con los alumnos de primero y segundo del Ciclo Formativo de Grado Superior de Fundición Artística y Técnicas Escultóricas. El objetivo principal ha sido investigar sobre la optimización de los procedimientos clásicos de moldeado y fundición, mejorando la precisión, reduciendo tiempos y costes, y minimizando errores. A lo largo del curso escolar se ha experimentado con escáneres 3D, impresoras de filamento y resina, y su aplicación en las técnicas de molde perdido, fundición a la cera perdida, cascarilla cerámica y caja de arena. Los resultados han demostrado que la integración de estas tecnologías no solo mejora los procesos técnicos y pedagógicos, sino que también abre nuevas posibilidades creativas y sostenibles. Además, esta innovación posiciona la formación en fundición artística en un contexto más actual, conectando los oficios tradicionales con las demandas contemporáneas del mercado artístico e industrial.
Palabras Clave: fundición artística, tecnología 3D, bronce, escáner e impresión 3D, materiales

Interlínea es una publicación independiente que tiene por objeto difundir textos originales centrados en la convergencia del arte, el diseño y la educación. Interlínea es una publicación de la Confederación de Escuelas de Artes Plásticas y Diseño.

Interlínea, 2025. Creative Commons

Síntesis del trabajo

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D EN LA FUNDICIÓN ARTÍSTICA: INNOVACIÓN Y OPTIMIZACIÓN EN PROCESOS TRADICIONALES

1. Breve resumen (máximo 25 líneas)

Este proyecto desarrolla una investigación sobre la integración de tecnologías 3D — escaneado e impresión— en los procesos tradicionales de fundición artística en bronce, dentro de los talleres de la Escuela de Arte y Superior de Conservación y Restauración de Salamanca (EASS), junto con los alumnos de primero y segundo del CFGS de Fundición Artística y Técnicas Escultóricas. El objetivo principal ha sido investigar sobre la optimización de los procedimientos clásicos de moldeado y fundición, mejorando la precisión, reduciendo tiempos y costes, y minimizando errores. A lo largo del curso escolar se ha experimentado con escáneres 3D, impresoras de filamento y resina, y su aplicación en las técnicas de molde perdido, fundición a la cera perdida, cascarilla cerámica y caja de arena. Los resultados han demostrado que la integración de estas tecnologías no solo mejora los procesos técnicos y pedagógicos, sino que también abre nuevas posibilidades creativas y sostenibles. Además, esta innovación posiciona la formación en fundición artística en un contexto más actual, conectando los oficios tradicionales con las demandas contemporáneas del mercado artístico e industrial.

2. Objetivos del proyecto

- Optimizar los procesos de vaciado y fundición mediante tecnologías 3D.
- Evaluar distintos parámetros de escaneado e impresión, así como distintas técnicas para obtener reproducciones precisas.
- Analizar la compatibilidad de materiales de impresión (PLA, PVA) con la cera perdida.
- Comprobar la integración de modelos impresos en procesos de fundición tradicionales.
- Potenciar la autonomía del alumnado en el diseño y reproducción de modelos.
- Mejorar la empleabilidad futura de los alumnos al integrar técnicas más novedosas.

3. Metodología

- Formación del profesorado en tecnologías 3D a través del Plan de Formación de la Escuela de Arte.
- Escaneado de modelados escultóricos realizados en barro u otros materiales, o de figuras reales.
- Edición digital de los modelos para su ajuste y mejora.
- Impresión en PLA y/o PVA.

- Aplicación de las impresiones en las técnicas de molde perdido, cera perdida, cascarilla cerámica y caja de arena.
- Comparación de resultados respecto a las técnicas tradicionales.

4. Temporalización o periodos de realización

- Proyecto desarrollado a lo largo del curso escolar 2024-2025, en paralelo con la actividad docente del Ciclo Formativo de Grado Superior en Fundición Artística.
- Formación del profesorado: curso 2023-2024.
- Desarrollo de las pruebas prácticas: a lo largo del curso 2024-2025.

5. Desarrollo y resultados

- Éxito en la reproducción de piezas mediante escaneado e impresión.
- Copia de seguridad digital de su pieza real para posterior reproducción.
- Reducción significativa de errores, roturas de moldes y tiempos de trabajo manual.
- Mejora en la precisión de las piezas y facilidad para escalarlas o modificarlas digitalmente.
- Ligera problemática en la evacuación del PLA durante la fundición a la cera perdida, solventada con técnicas adicionales.
- Confirmada la viabilidad de los moldes impresos en PVA como alternativa sostenible y precisa.

6. Criterios de evaluación del proyecto

- Grado de fidelidad de las piezas reproducidas respecto al modelo original.
- Reducción de defectos en los procesos de vaciado y fundición.
- Ahorro de materiales, tiempo y costes en comparación con la técnica tradicional.
- Nivel de autonomía del alumnado en el uso de herramientas digitales.
- Viabilidad de implementar estas tecnologías en la práctica docente habitual.

7. Posibilidades de generalización a otros niveles y contextos educativos

- Aplicable a otros niveles educativos con talleres de escultura, diseño, restauración, cerámica o joyería.
- Transferible a ámbitos de formación profesional, enseñanzas artísticas superiores y universidades con especialidades en bellas artes, patrimonio o diseño.

- Utilizable también en entornos industriales o de fabricación digital vinculados a la artesanía, el patrimonio y el diseño de producto.

8. Otros aspectos a destacar

- El uso de materiales sostenibles (PLA, PVA) reduce el impacto ambiental frente a moldes tradicionales.
- El proyecto promueve el pensamiento crítico y la resolución de problemas técnicos mediante la tecnología.
- Fomenta la actualización de metodologías docentes, alineándolas con los retos tecnológicos del siglo XXI.
- Abre una línea de investigación permanente sobre la combinación de técnicas artesanales y fabricación digital.

Integración de Tecnologías 3D en la Fundición Artística: Innovación y Optimización en Procesos Tradicionales

Premio Mestre a la Investigación para la Mejora de la Calidad Educativa. Cuarta edición

Resumen

Este proyecto desarrolla una investigación sobre la integración de tecnologías 3D —escaneado e impresión— en los procesos tradicionales de fundición artística en bronce, dentro de los talleres de la Escuela de Arte y Superior de Conservación y Restauración de Salamanca (EASS). El objetivo principal ha sido optimizar los procedimientos clásicos de moldeado y fundición, mejorando la precisión, reduciendo tiempos y costes, y minimizando errores. A lo largo del curso se ha experimentado con escáneres 3D, impresoras de filamento y resina, y su aplicación en las técnicas de molde perdido, fundición a la cera perdida, cascarilla cerámica y caja de arena. Los resultados han demostrado que la integración de estas tecnologías no solo mejora los procesos técnicos y pedagógicos, sino que también abre nuevas posibilidades creativas y sostenibles. Además, esta innovación posiciona la formación en fundición artística en un contexto más actual, conectando los oficios tradicionales con las demandas contemporáneas del mercado artístico e industrial.

Palabras Clave:

Fundición, bronce, escáner 3D, impresión 3D, materiales

Introducción

La fundición artística en bronce es una disciplina artística que combina la creatividad del artista con una gran precisión técnica y un conocimiento extenso de una variedad de técnicas y procesos artesanales, enfocados en la creación de obras de arte duraderas y detalladas con una función práctica, creativa y cultural. Esta técnica milenaria ha sido fundamental a lo largo de la historia del arte, sin embargo, en un mundo en constante evolución, se hace necesario recoger y depurar estas profesiones de larga tradición y preparar a los nuevos profesionales para que no sólo conozcan las diferentes técnicas escultóricas utilizadas a lo largo de la historia, sino que, a su vez, integren progresivamente las nuevas tecnologías en los procesos de artesanía tradicional.

Esta innovación debe ir dirigida no solo a la adaptación de tecnologías y materiales, sino también a la búsqueda de soluciones creativas para problemas antiguos y emergentes,

investigando en nuevas técnicas y procesos que permitan aumentar la eficiencia en el trabajo, reducir costes materiales y de tiempo y minimizar el impacto ambiental. Además, la innovación puede abrir nuevas vías para la expresión artística, permitiendo a los artistas explorar formas y conceptos que antes eran inalcanzables.

La Escuela de Arte y Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Salamanca (en adelante, E.A.S.S.) lleva ofreciendo formación en esta disciplina desde hace más de 30 años, primero como un Grado Medio (Grado Medio en Fundición Artística y Galvanoplastia), y recientemente desde el curso 2016-17 como un Ciclo Formativo de Grado Superior en Fundición Artística. Cabe destacar que esta formación reglada únicamente puede estudiarse en la E.A.S.S. y en otro centro ubicado en la Comunidad Autónoma de Madrid, por lo que recae sobre los docentes de estos centros la responsabilidad de transmitir sus conocimientos a los futuros profesionales.

A raíz de un Plan de Formación de centro iniciado durante el curso 2022-23 en la E.A.S.S., continuado en el curso 2023-24, focalizado en el desarrollo de habilidades TIC en los docentes para su posterior implantación en el aula, los maestros de taller del departamento de Proyectos de Escultura responsables de las materias vinculadas al taller de Vaciado y Moldeado y al Taller de Fundición de dicho Ciclo Formativo iniciaron durante el curso 2023-24 una línea de investigación relacionada con la integración de las tecnologías de escaneado e impresión 3D como complemento de las técnicas tradicionales de la fundición.

Objetivos

Los objetivos que se fijaron fueron los siguientes:

- Aprovechar la formación recibida durante el curso 2023-24 tanto en técnicas de escaneado 3D como en impresión 3D, tanto de filamento como de resina para mejorar los procesos de vaciado tradicional y de fundición en bronce.
- Estudiar los parámetros de configuración de escaneado 3D para obtener los mejores resultados de reproducción de piezas escultóricas.
- Estudiar los efectos de distintos parámetros de impresión 3D (grosores, alturas de capa, soportes, ...) para la reproducción de piezas escultóricas pensadas para la posterior fundición.
- Probar la relación entre los distintos materiales de impresión 3D y la cera empleada durante el proceso de la fundición a la cera perdida.
- Comprobar los resultados de la integración directa de impresiones 3D dentro de los moldes refractarios y su comportamiento dentro de la mufla de descerado y posteriormente al sufrir el proceso de colada del bronce.
- Hacer uso del equipamiento 3D adquirido por el centro: escáner 3D Revopoint POP3, impresora 3D de resina Anycubic X6, así como de equipamiento existente: impresoras de filamento EZT3D, BQ Hephestos2.

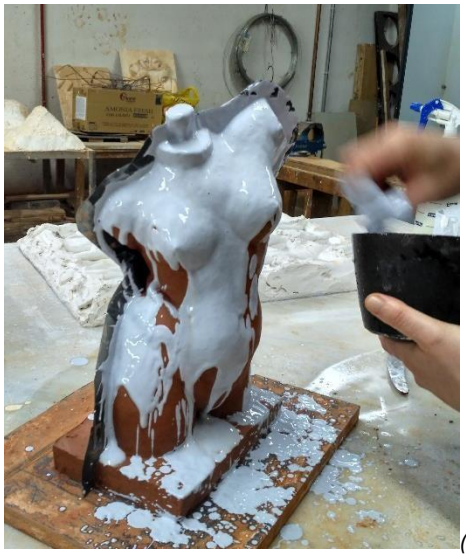
Integración de las nuevas tecnologías en el Taller de Vaciado y Moldeado

Una de las técnicas más comunes dentro de la fundición artística y otros procesos escultóricos es la realización de moldes perdidos. Esta técnica permite obtener una reproducción de una pieza realizada en un material provisional (barro normalmente) en otro material más duradero, normalmente escayola.

Para realizar este molde perdido, se parte de una pieza original que se desea reproducir, la cual se cubre con una capa fina de escayola teñida de azulete, asegurándose de cubrir todos los detalles y evitando la formación de burbujas de aire. Esta primera capa va a permitir detectar cuando nos estamos acercando al modelo en el momento que tengamos que romper el molde para extraer la reproducción. Después, se cubre con otra capa de escayola o con una serie de cordones para facilitar la rotura del molde posteriormente. Una vez seco y endurecido, se abre con ayuda de unas espátulas y se procede a retirar el material del modelo original. El resultado final es una cavidad hueca en la escayola que reproduce con precisión la forma original. Para obtener la reproducción en un material definitivo, se rellena esa cavidad de un material duradero (escayola, cemento...), se espera a que fragüe y se comienza a romper el molde para extraer la copia, generalmente por medios mecánicos, de tal forma que ese molde no puede volver a utilizarse para posteriores copias. Este procedimiento conlleva además el riesgo añadido de que durante el proceso de extracción mecánica de la pieza se produzcan imperfecciones en las figuras, que posteriormente deberán ser arregladas por un proceso lento y meticuloso.

(1)

(2)


(3)

(4)

(5)

Ilustración 1: Modelado en barro

Ilustración 2: Creación del molde perdido

Ilustración 3: Aplicación de la primera capa de escayola con azulete

Ilustración 4: Primera capa del molde de escayola con azulete

Ilustración 5: Extracción de la copia en escayola por medios mecánicos

Escaneado 3D de la figura

Buscando solucionar este problema, se inició este proceso de investigación e innovación escaneando en 3D los modelos primigenios realizados por los alumnos en arcilla. Esta modificación de la técnica tradicional permite en primer lugar el retoque y modelado posterior del modelo escaneado tridimensionalmente con programas de diseño 3D, lo que elimina la necesidad de nuevos modelados una vez que la reproducción en barro es eliminada, y permite adaptar de una forma rápida la obra según las necesidades que vayan surgiendo (impresión de una parte del modelo, diferente escala...). Otra opción que se estudió a la mejorar este proceso fue el escaneado directo de modelos traídos por los alumnos, consiguiendo así una mayor fiabilidad en su reproducción.

Los parámetros de escaneado que se han utilizado son los siguientes:

Parámetros escáner 3D Revopoint Pop 3

Resolución	0.08 mm
Programa utilizado	Revo Scan 5
Otras configuraciones	Luz estructurada infrarroja de doble cámara

	Velocidad de muestreo18 fps
	Volumen máximo de escaneo 2 x 2 x 2 m Sensores de posición IMU de 9 ejes

Tabla 1: Parámetros de configuración del escáner Revopoint Pop 3

Parámetros escáner 3D 3D System Sense 2

Resolución	Resolución de profundidad @ 0.5 m: 1 mm
OTROS IMPORTANTES	Rendimiento máximo de la imagen: 30 fps
Otras configuraciones	Luz infrarroja
Programa utilizado	3D System Sense
	- Volumen de escaneado: Min: 0.2 m x 0.2 m x 0.2 m - Max: 2 m x 2 m x 2 m

Tabla 2: Parámetros de configuración del escáner 3D System Sense 2

El proceso de escaneado 3D se llevó a cabo utilizando un ordenador portátil con las siguientes características:

Parámetros del ordenador portátil

Procesador	Core i7
Tarjeta gráfica	Nvidia 3060TI
Memoria RAM	32 Gb
S.O.	Windows 10
Marca	Lenovo Legion

Tabla 3: Parámetros de configuración del ordenador utilizado

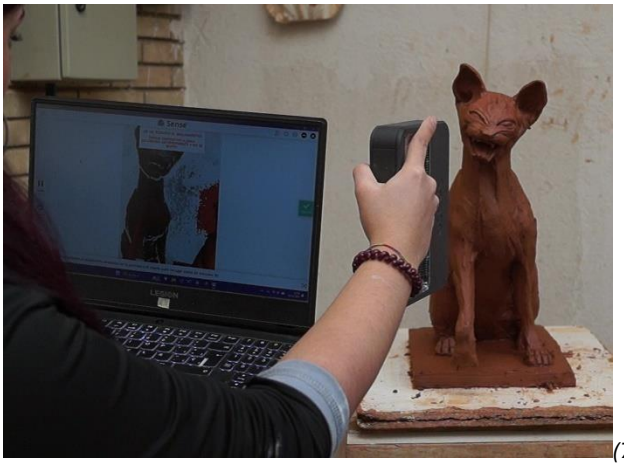
El proceso de escaneado 3D se llevaba a cabo con la ayuda de una base giratoria para piezas pequeñas y de poco peso, colocando el escáner sobre un trípode, o girando alrededor de las mismas en el caso de piezas de gran formato.

El proceso de escaneado comenzaba usualmente capturando la parte frontal de la escultura y rotando posteriormente, variando la altura e inclinación tras cada rotación, buscando capturar todos los puntos. En el caso de figuras de barro escaneadas, el proceso no solía revestir mayor

problema, sin embargo, el escáner 3D tenía mayor problema para detectar ciertos materiales como los que son de color oscuro, como por ejemplo el pelo en el caso de escanear bustos de un modelo en directo.

Una vez capturado, los softwares de captura realizaban un postprocesado de la nube de puntos capturada eliminando aquellos puntos conflictivos y aplicando distintos algoritmos proporcionaba un archivo .STL o .OBJ de la pieza escaneada. Este proceso realizado por el ordenador se demoraba aproximadamente entre 2 y 5 minutos, dependiendo de la complejidad del modelo escaneado.

(6)


(7)

(8)

(9)

Ilustración 6: Escaneado 3D de un modelo en arcilla

Ilustración 7: Escaneado 3D de un modelo en arcilla

Ilustración 8: Escaneado 3D de un modelo en arcilla

Ilustración 9: Escaneado 3D de un modelo en arcilla

Impresión 3D de la figura

Posteriormente, se estudió la impresión 3D de la figura escaneada tanto en una impresora 3D de filamento como en una impresora 3D de resina. Las ventajas de utilización de esta

tecnología es que permite la reproducción seriada de la pieza escultórica, adaptándola además a distintos tamaños según las necesidades del proyecto.

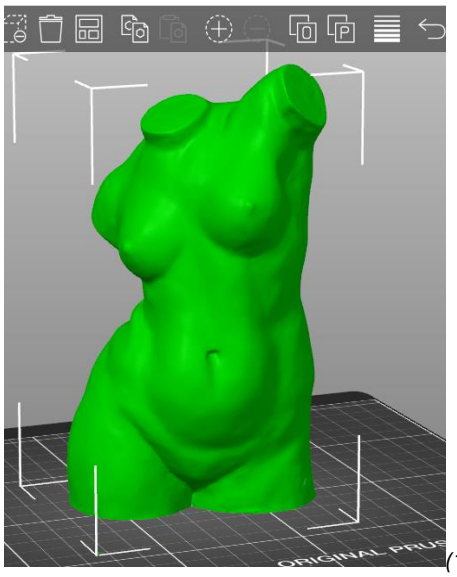
Parámetros impresora 3D EZT3D

Resolución	Nozzel 0,4 mm
OTROS IMPORTANTES	200 x 200 x 400 mm
Otras configuraciones	Altura de capa 0,2 mm
Programa utilizado	PrusaSlicer

Tabla 4: Parámetros de la impresora EZT3D

Uno de los principales inconvenientes que pueden verse a este proceso es el aspecto por capas que se obtiene después de la impresión por filamento caliente. Esto, que a priori podría ser considerada un defecto, puede integrarse dentro de la producción artística dotando a las esculturas de una honestidad que no esconde su origen y que puede integrarse dentro de su diseño.

Si bien es cierto que programas de impresión 3D actuales como Ultimaker Cura, traen algoritmos para el suavizado de sus superficies mediante la introducción de pequeños desplazamientos que generan una microtextura rugosa sobre la impresión, y así se disimulan las capas horizontales, o, dependiendo del plástico de impresión es posible suavizarlo mediante su exposición a compuestos volátiles, estos aspectos no se han trabajado en profundidad en este proyecto.


(10)

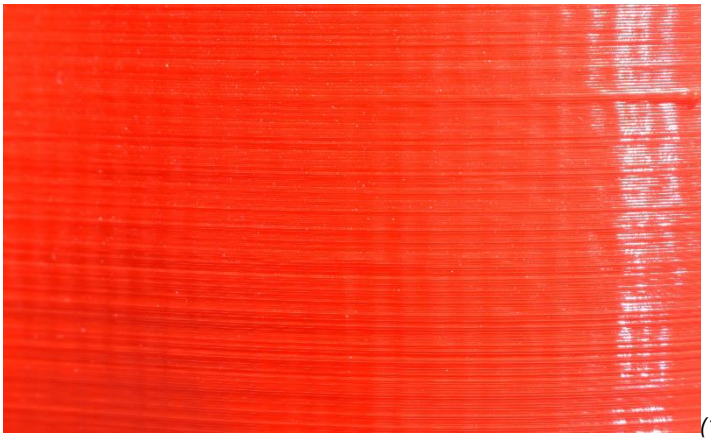
(11)

(12)

Ilustración 10: Escaneado 3D

Ilustración 11: Impresión 3D a tamaño real

Ilustración 12: Comparativa impresión 3D y figura original de escayola



(13)

Ilustración 13: Detalle textura impresión 3D

Impresión 3D del molde

El último aspecto de experimentación llevado a cabo con la impresión 3D fue la realización de moldes perdidos para piezas definitivas utilizando tecnología de impresión 3D, y con los materiales PLA y PVA.

El filamento PLA (ácido poliláctico) es un polímero termoplástico fabricado a base de recursos renovables como el almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar y, a diferencia de otros materiales de la industria que están hechos principalmente a base de petróleo, estos son respetuosos con el medio. El PVA por su parte es un material de impresión 3D soluble en agua que, usualmente, ha servido de soporte a la hora de imprimir objetos con piezas sobresalientes o estructuras complejas en 3D.

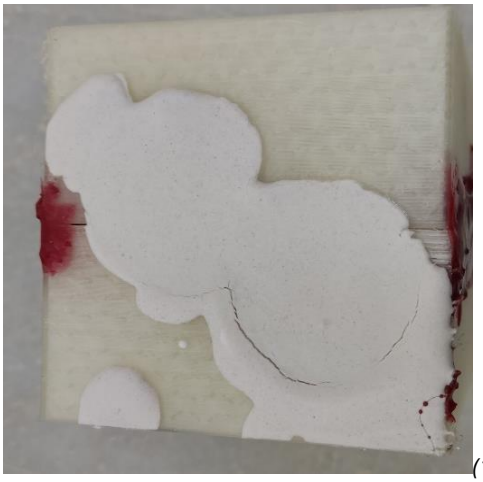
Utilizar el PVA o el PLA para la realización de los moldes de las piezas en sustitución de la escayola permite imprimir moldes resistentes, que permitan luego ser rellenados en cualquier material utilizado frecuentemente en esta disciplina (resina, cemento, escayola), pero eliminando el inconveniente de tener que picarlos para poder extraer el modelo, ya que, en el caso del PVA, al introducirlos en agua, el molde se disuelve, dejando la pieza sin imperfecciones, y en el caso de los moldes realizados con PLA, las figuras se extraen con una pistola de calor que va derritiendo el material, dejando libre la pieza fácilmente. Esto permite obtener infinitas reproducciones sin desperfectos, imprimiendo el molde de nuevo, por lo que el proceso se realiza de forma más rápida y con mejores resultados.

La creación del molde partiendo de la pieza original escaneada se consigue utilizando las herramientas Booleanas de los programas Prusaslicer y Ultimaker Cura. Estos programas permiten además la creación de llaves de encaje para unir las dos piezas del molde después de eliminar los soportes para la impresión creados por estos programas.

(14)

(15)

(16)


(17)

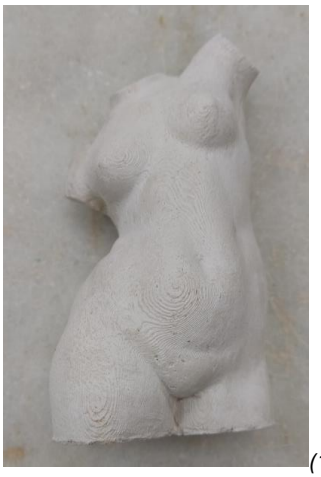
(18)

(19)

Ilustración 14: Molde de dos piezas realizado en PVA con llaves de conexión

Ilustración 15: Molde cerrado; juntas selladas con cera

Ilustración 16: Llenado del molde de PVA con escayola

Ilustración 17: Llenado del molde de PVA con escayola

Ilustración 18: Disolución del molde de PVA en agua

Ilustración 19: Pieza de escayola obtenida del molde de PVA

(20)

(21)

(22)

(23)

(24)

(25)

Ilustración 20: Impresión de un molde de una pieza de PLA

Ilustración 21: Llenado del molde de PLA con escayola

Ilustración 22: Reblandecimiento del molde de PLA con pistola de calor

Ilustración 23: Reblandecimiento del molde de PLA con pistola de calor

Ilustración 24: Reblandecimiento del molde de PLA con pistola de calor

Ilustración 25: Reproducción en escayola de pieza modelada en arcilla, escaneada y con molde impreso en 3D

Integración de las nuevas tecnologías en el Taller de Fundición Artística

La fundición a la cera perdida es una técnica artística utilizada para crear objetos de metal, generalmente bronce, aunque en joyería se emplea también el oro y la plata, a partir de un modelo original elaborado en cera, que ha sido obtenido mediante sucesivos moldes perdidos y/o flexibles de silicona. Una vez obtenida la reproducción del modelo en cera, este se recubre con un material refractario líquido (picadizo o el revestimiento Revest V-90 de Hebör) para crear un molde que posteriormente se endurece. Una vez que esto se ha producido, el molde se calienta hasta 730º en una mufla para derretir evacuar y quemar toda la cera del molde, dejando una cavidad interna con la forma exacta del modelo original. Es en este hueco donde se vierte el metal fundido, y cuando el metal se enfría y solidifica, se rompe el molde exterior para liberar la pieza metálica final, que suele requerir un posterior trabajo de repaso y acabado.

Una gran ventaja de este método reside en la capacidad para reproducir formas muy complejas y detalladas, sin embargo, todos los procesos de modelado que lleva asociados lo convierten en un proceso lento y complejo.

Buscando innovar en este proceso, se inició una investigación para averiguar si las reproducciones 3D impresas de modelo escaneados previamente, podían integrarse dentro del proceso de fundición tradicional a la cera perdida.

Se escanearon varios bustos de alumnos y profesores del centro y se imprimieron en PLA con un grosor de 5 mm, equivalente al posterior espesor final buscado de las piezas de bronce.

(26)

(27)

(28)

Ilustración 26: Impresión de un busto de PLA

Ilustración 27: Bustos de PLA

Ilustración 28: Bustos de PLA

Todas estas figuras se integraron en un único árbol de fundición intercaladas con piezas realizadas con la técnica tradicional de la cera perdida. Esta misma cera fue la que se crearon los bebederos que unieron todas las piezas entre ellas.

La cera utilizada es una cera roja de modelado (IBERCER 1950), con un punto de fusión de 80º, que hace que trabajar con ella sea bastante cómodo.

(29)
(30)

(31)

Ilustración 29: Montaje del árbol de fundición con piezas de cera y de PLA

Ilustración 30: Montaje del árbol de fundición con piezas de cera y de PLA

Ilustración 31: Relleno del molde de picadizo

Una vez montado el árbol se procede al recubrimiento con picadizo, o más recientemente con el preparado Revest V-90, que fragua a los 60 minutos. Ese molde endurecido se introduce en la mufla, que se encuentra precalentada a 200º C. Es importante que el revestimiento no se haya secado, con objeto de que el vapor de agua ayude a la eliminación de la cera. En caso de que el cilindro llevara varios días hecho, sería conveniente humedecerlo antes de introducirlo en el horno. Una vez introducido, se mantiene en los 200ºC hasta eliminar la mayor parte de la cera, y después se procede a aumentar gradualmente la temperatura hasta alcanzar los 730ºC, durante el tiempo necesario para que no queden vestigios de cera.

La velocidad del calentamiento y la permanencia en el horno dependerá del tamaño de los cilindros.

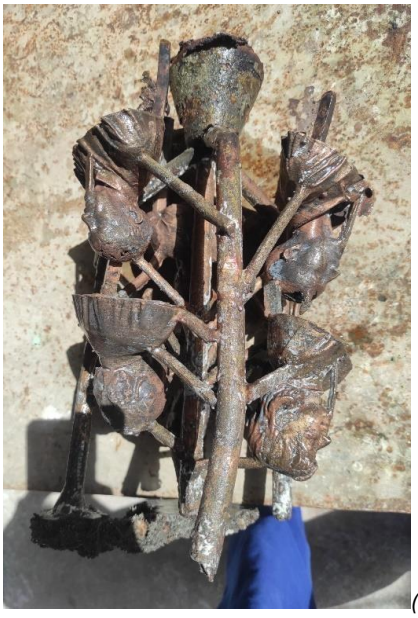
Se deberán tener en cuenta que los principales cambios dimensionales se producen en el intervalo de los 200 hasta los 400ºC. Por este motivo debemos subir lentamente hasta los 300º. En ese momento debería estabilizarse la temperatura hasta conseguir que fuera uniforme en todo el cilindro. Una vez estabilizada, se puede subir de nuevo lentamente hasta los 400º. Se trata de extremar las precauciones, calentando lentamente para evitar tensiones no deseadas. Una vez sobrepasados los 400ºC, puede ser más rápida la velocidad de calentamiento, pero siempre manteniendo una subida gradual de temperaturas sin cambios bruscos hasta alcanzar los 730º.

El proceso de fundición se llevó a cabo en un horno de gas propano utilizando lingotes de bronce (Br-5). Al día siguiente, se picó el molde y se extrajeron las piezas del árbol de fundición. En primer lugar, se detectaron en las partes bajas de algunas piezas restos de plástico que no

se habían evacuado bien. Eso provocó en esas figuras pequeños huecos que tuvieron que soldarse después.

Evidentemente, en las piezas de bronce se siguen apreciando las capas de la impresión. En algunos de los casos se pulieron posteriormente para conseguir una superficie más lisa. Otra solución que se probó fue recubrir en otra fundición las piezas en PLA con cera diluida antes de introducirlo en el árbol de fundición, consiguiendo ahorrarse el pulido posterior.

(32)

(33)

(34)

(35)

Ilustración 32: Extracción del árbol de fundición del picadizo

Ilustración 33: Árbol de fundición en bronce

Ilustración 34: Árbol de fundición en bronce

Ilustración 35: Bustos en bronce a partir de impresiones en PLA

La técnica de la Cascarilla cerámica

La técnica de la cascarilla cerámica es una variación del método tradicional de fundición a la cera perdida, ampliamente utilizado tanto en la industria como en la fundición artística. Consiste en aplicar sucesivas capas de una mezcla cerámica sobre un modelo de cera, que luego se elimina por calor, dejando un molde hueco y resistente. Este molde permite la colada directa del metal fundido, ofreciendo gran precisión en los detalles y una excelente calidad superficial en la pieza final.

Al utilizar esta técnica, las piezas impresas en 3D conforman cada una de ellas un árbol adicional, con un único cono de llenado, varias bocas de llenado, e incluyendo salidas de aire, que aunque no son tan comunes en esta técnica, se han decidido incluir. Estos elementos se realizan en cera y se incorporan a la figura en PLA.

Una vez montados estos árboles individuales, se pasa a cubrirlo con varias capas de cascarilla cerámica, cada una de ellas con los siguientes componentes y tiempos de secado:

Preparación previa a los baños cerámicos

Capas	Material	Aplicación	Secado
1	Laca fijadora	Pulverizado	Corto tiempo de secado debido a que evapora fácilmente
2	40% Grafito en polvo + 60% sílice coloidal	Pincelado	1 H/ capa

Tabla 5: Preparación previa a los baños cerámicos

Baños y estucado de moloquita

Capas	Material	Aplicación	Secado
1ª	**PAPILLA** preparada con 50% sílice coloidal + 50% Moloquita (harina Moloquita 200)	Baño	2 H
2ª	**Papilla** (60% sílice coloidal + 40% Moloquita harina) **+ Moloquita** 50-80 (grano fino)	Baño + estucado	4 H
3ª	**Papilla** (70% sílice coloidal + 30% Moloquita harina) **+ Moloquita** 16-30 (grano fino)	Baño + estucado	4 H
4ª	**Papilla** (80% sílice coloidal + 20% Moloquita harina) **+ Moloquita** 16-30 (grano grueso)	Baño + estucado	4 H

5ª	**Papilla** (85% sílice coloidal + 15% Moloquita harina) **+ Moloquita** 50-80 (grano grueso)	Baño + estucado	4 H
6ª	Refuerzo en zonas frágiles con 1ª **Papilla** (50% sílice + 50% Moloquita) **+ fibra de vidrio**	Pincelado	4 H
7ª	Repetir **capa de refuerzo** después del descere si es necesario. 1ª **Papilla + fibra**	Pincelado	4 H

Tabla 6: Parámetros de la impresora EZT3D

Una vez, los árboles de fundición se han cubierto con estas capas, se lleva a cabo el descere en una campana de descere en algunos casos, y posteriormente se introducen en la misma mufla donde se realiza el descere de los cilindros de picadizo, para finalizar la cocción de la cascarilla.

A continuación, se lleva a cabo el proceso de fundición junto con los moldes de picadizo.

Fundición en caja de arena

La fundición en caja de arena, también conocida como fundición en moldes de arena, es otra técnica tradicional para la fabricación de elementos metálicos. Consiste en crear un molde a partir de una mezcla de arena (generalmente arena de sílice con aglutinantes como bentonita y agua) dentro de una caja o "matriz", donde se coloca un patrón que reproduce la forma de la pieza deseada. Una vez retirado el modelo, queda una cavidad en la arena que se llena con metal fundido. Tras el enfriamiento y solidificación del metal, se rompe el molde para extraer la pieza.

Usualmente, en la docencia de esta técnica, se utilizan objetos reales para la realización de esta técnica, sin embargo, en esta investigación se han integrado tanto el escaneado 3D como la impresión 3D como paso previo al mismo.

El escaneado 3D y posterior impresión en PLA ha permitido realizar fundiciones de objetos muy frágiles, que por su consistencia no habrían podido soportar la presión y la fuerza que se realizan con la arena alrededor suyo para dejar la impronta. Estas copias en plástico pueden ser mucho más resistentes, y se pueden manipular sin miedo a romperse.

Además, en objetos de bulto redondo donde quiera hacerse solamente la fundición de una de sus caras o hacerla hueca, es posible escanear el objeto y mediante el uso de programas de diseño tridimensional, recortar la parte interesada, e imprimirla, ahorrando el gasto de material que hubiera sido necesario para copiar la pieza entera.

En el taller de la E.A.S.S. se cuenta con un horno eléctrico para la fundición de metales con un crisol de grafito de 3 kilogramos donde se calienta el bronce hasta una temperatura de 1150º, y donde se mantiene gracias a su sensor y su termostato.

(36)

(37)

(38)

(39)

(40)

Ilustración 36: Matriz de botón charro realizada sobre arena a partir de impresión en 3D

Ilustración 37: Retirada de modelos de la matriz de arena

Ilustración 38: Fundición de caja de arena

Ilustración 39: Copias en bronce sobre arena

Ilustración 40: Copias en bronce sobre arena

Conclusiones

La integración de tecnologías de escaneado e impresión 3D en los procesos tradicionales de fundición artística ha demostrado ser altamente beneficiosa tanto en términos técnicos como pedagógicos. A partir de la experiencia desarrollada en el taller de la EASS, se pueden destacar las siguientes conclusiones principales:

El uso combinado de escaneado e impresión 3D permite obtener modelos y moldes con una precisión superior a la de las técnicas tradicionales. Esto reduce considerablemente los errores derivados del modelado manual o del desgaste de los moldes tradicionales. El proceso es más

ágil, ya que buena parte del trabajo manual es sustituido por la acción automatizada de la impresora, lo que libera tiempo del artesano o alumno para otras fases del proceso, como el diseño, la experimentación formal o los acabados artísticos.

Se ha observa un ahorro significativo en materiales desechables como escayola, silicona y herramientas de modelado. Además, las tecnologías 3D permiten minimizar el número de errores y piezas defectuosas, lo que impacta directamente en la reducción de costes económicos y medioambientales. Materiales como el PLA o el PVA son biodegradables o solubles, lo que también contribuye a prácticas más sostenibles.

Una de las ventajas más destacadas es la posibilidad de escalar obras con facilidad, adaptando los modelos a distintos tamaños sin pérdida de detalle. Asimismo, la reproductibilidad es prácticamente ilimitada: una vez digitalizado un modelo, este puede imprimirse tantas veces como sea necesario, incluso con modificaciones rápidas para adaptarse a diferentes proyectos.

El uso de estas tecnologías sitúa la formación en fundición artística en un contexto actual, alineado con las demandas de la industria y del arte contemporáneo. Esta actualización metodológica prepara a los alumnos no solo para trabajar en talleres tradicionales, sino también para integrarse en empresas donde las tecnologías de fabricación digital están presentes, ampliando significativamente sus salidas profesionales.

La incorporación de estas herramientas no solo es técnica, sino que abre posibilidades estéticas y conceptuales. Las texturas propias de la impresión 3D, como las marcas de las capas, pueden integrarse conscientemente en el lenguaje plástico de la obra, dotándola de un carácter contemporáneo y reconocible.

A pesar de todas estas conclusiones, durante el desarrollo del proyecto, se detectaron algunas limitaciones que abren nuevas líneas de investigación:

- No se han realizado pruebas suficientes con otros materiales de impresión 3D, como la resina UV, que ofrece superficies con mayor calidad y detalle, ideales para piezas de pequeño formato o joyería.
- Se consideró en su momento el uso de impresoras 3D de doble cabezal, empleado PLA para la pieza escaneada, y PVA para los soportes, lo que permitiría imprimir modelos donde los soportes se disolverían en contacto con el agua, ahorrando tiempo y reduciendo defectos.

Igualmente, los principales problemas detectados son los siguientes:

- Existen problemas a la hora de realizar el descere en las impresiones en PLA, ya que existen zonas donde el plástico no llega a evaporarse completamente, lo que genera pequeños defectos en las piezas de bronce. No obstante, estos problemas son reparables mediante técnicas de soldadura y acabado.

- A pesar de la mejora generalizada, las técnicas digitales no sustituyen completamente el conocimiento del proceso artesanal, sino que lo complementan. La comprensión de la lógica del moldeado, la colada y los procesos térmicos sigue siendo fundamental.

El éxito de esta experiencia sugiere la necesidad de incorporar de manera sistemática estos procesos en el currículo de Fundición Artística. Asimismo, sería recomendable extender la investigación hacia otros ámbitos de las artes aplicadas, como la cerámica, el vidrio o la escultura en piedra, donde el modelado y la fabricación digital pueden tener también un impacto muy positivo.

En conclusión, la combinación de tradición y tecnología no solo optimiza los procesos técnicos, sino que también enriquece las posibilidades expresivas de la fundición artística contemporánea, situando al alumnado en un lugar de vanguardia tanto técnica como creativa.