Cod. 9567 | Tecnología metalúrgica | 3315.04 Fundiciones

Introducción de impresoras 3D y tecnologías digitales en la industria de la fundición artística

Introduction of digital technologies and 3D printers in the art casting industry

José-Luis Saorin, Manuel-Drago Diaz-Alemán, Cecile Meier e Itahisa Pérez-Conesa
Universidad de La Laguna (España)

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9567

La producción escultórica mediante fundición artística se puede considerar un sector situado entre la industria y la artesanía. Como sector industrial aún estaría anclado al uso de técnicas muy tradicionales que han seguido operativas hasta nuestros días, debido a que su modelo de negocio no está tan basado en la cantidad como en la calidad y exclusividad de lo que se produce. Sin embargo, este apoyo en la tradición, puede ser permeable a la incorporación de técnicas basadas en las nuevas tecnologías digitales tridimensionales como el modelado y escaneado 3D y la fabricación aditiva.

En España, sólo el 26,1% de las empresas artesanas combina la producción artesanal con la industrial. Este porcentaje se reduce cuando atendemos a las empresas relacionadas con la bisutería y la joyería [1]. Por otro lado, la industria 4.0 incorpora las nuevas tecnologías digitales de fabricación, acortando los ciclos de innovación/ganancia [2], optimizando, de esta manera, los procesos de fabricación de series cortas. En este sentido, la industria 4.0 y el sector artesano, encontrarían un vínculo de afinidad a través del uso de estas tecnologías.

En España, existen más de 600 empresas relacionadas con el sector de la fundición artística. En su gran mayoría, son empresas de pequeño y mediano tamaño. Con esta condición, es difícil que puedan dedicar recursos a la investigación y desarrollo, orientados a la incorporación de nuevas tecnologías a los procesos de fabricación. Es por ello que la implementación de estas tecnologías y la formación del personal cualificado que las utilice, queda a cargo de entidades formativas como la enseñanza universitaria. En España, la formación sobre los procedimientos y técnicas de fundición artística, corresponde a las Facultades de Bellas Artes. De los 15 centros de este tipo que existen en España, sólo en 8 de ellos se imparten estudios teórico-prácticos de fundición artística, aunque ninguno ha incorporado todavía las nuevas tecnologías digitales e impresión 3D. Dichos talleres son muy parecidos en tamaño, maquinaria y funcionamiento a los talleres profesionales (Fig.1).



Figura 1: Taller de fundición artística de la Universidad de La Laguna

Actualmente, las tecnologías de fabricación aditiva permiten crear un modelo tridimensional, suplantando los modelos de cera que tradicionalmente se realizan a mano y son los que se utilizan en los procesos de fundición artística. En la Universidad de La Laguna se ha realizado un estudio práctico para usar modelos impresos en 3D para su uso en la fundición artística, sustituyendo los modelos de cera [3]. En el taller de fundición artística de la universidad se pretenden incorporar estas nuevas tecnologías y, para ello, en este trabajo, se realiza una prueba piloto para verificar la viabilidad del proceso y colaborar de esta forma a la transformación del sector.

1. ANTECEDENTES

La forma de trabajar en los talleres artísticos de fundición apenas ha cambiado en los últimos años. Los métodos tradicionales de fundición a la cera perdida mantienen la técnica de la reproducción en metal de objetos modelados a mano o conseguidos a partir de moldes [4]. El proceso del modelado de la cera requiere muchas habilidades técnicas y además representa una inversión de tiempo muy grande para cada pieza.

Tradicionalmente una de las metodologías que se usa en la fundición artística, es la técnica de la cera perdida. Es decir, se crea un molde exterior a una pieza de cera modelada previamente y derritiendo a continuación la cera mediante calor para obtener un molde vacío. Este molde se llena posteriormente con el metal fundido. Una de las técnicas para crear ese molde, que se usa habitualmente, es la técnica de la cascarilla cerámica. Se desarrolló en los años cuarenta en la industria aeronáutica para fundir piezas complejas de metal. Esta técnica fue rescatada de la industria por Mr. David Reid químico industrial, considerado como introductor y divulgador de esta técnica en Europa. Posteriormente fue divulgada en España por Juan Carlos Albaladejo [5].

La fundición a la cera perdida mediante cascarilla cerámica se usa regularmente en empresas o centros artesanos que se dedican a hacer estatuaria, monumentos, trofeos o trabajos personales para artistas y también se usa en ambientes de educación artística. Para esta técnica, ya se ha demostrado que los modelos diseñados e impresos en 3D mediante PLA (ácido poliláctico) pueden sustituir a la cera [3, 7] permitiendo obtener ventajas de tiempo y variabilidad de diseños, que no permite el proceso tradicional.

La fundición artística se incorpora en las universidades españolas alrededor de 1984, como parte de las asignaturas de "Técnicas Procedimientos Escultóricos". En

1993 se crea la materia "Fundición" que se mantiene actualmente con ese nombre dentro de las titulaciones. La fundición se trabaja en las universidades en la mayoría de los casos, de manera tradicional, creando modelos de cera u otros materiales a mano, realizando moldes de estos y realizando a posteriori el proceso de fundición.

1.1. USO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA FUNDICIÓN Y CREACIÓN ESCULTÓRICA

Existen algunas empresas de creación escultórica que trabajan con nuevas tecnologías de la industria 4.0, aunque todavía los costes económicos están fuera del alcance de pequeños talleres de fundición. En esas empresas se utiliza la digitalización 3D escáneres de alta resolución, se edita los datos obtenidos y por último se procesa los archivos mediante impresión 3D o fresado CNC para hacer una copia, ampliación o reducción una escultura. Las empresas de fundición artística también están usando estas tecnologías de escaneo, modelado e impresión 3D para sus creaciones [6]. El uso de una réplica digital obtenida por escaneo 3D, es de mucha utilidad en la realización de piezas múltiples que requieren variación en su escala. Para fabricar el modelo se utilizan máquinas de fabricación digital como impresoras 3D o fresadoras industriales. Estos procesos implican el uso de maquinaria de elevado coste y esta parte del trabajo suele quedar al encargo de especialistas en tecnologías y no en mano de los artistas, lo que obliga a las pequeñas y medianas empresas de fundición a realizar grandes inversiones. El último paso de la fundición consiste en transformar el modelo en una escultura de metal, en muchos casos bronce fundido. Este proceso se sigue haciendo mediante técnicas tradicionales.

Para impulsar la industria de la fundición artística es conveniente que los centros de formación superior, implementen los conocimientos básicos sobre las nuevas tecnologías de creación 3D como complemento de los procesos tradicionales de la fundición. Los beneficios de utilizar las tecnologías 3D para la fundición de metales son varios. Por un lado, los modelos diseñados por ordenador permiten una complejidad mayor que la que se puede conseguir con el uso de técnicas tradicionales de modelado a mano. La creación de piezas huecas, la variación de escalas en los modelos y la realización de variantes en formas prediseñadas, suponen un mínimo esfuerzo en modelos digitales, si los comparamos con los realizados de manera tradicional [8]. Además, la estandarización de la fabricación aditiva de bajo coste hace accesible la incorporación de estas tecnologías a talleres pequeños de fundición artística.

1.2. TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DIGITAL EN EDUCACIÓN

Las tecnologías de fabricación digital incluyen el proceso de creación, edición y manejo de ficheros digitales tridimensionales. Hasta hace unos años todos estos procesos necesitaban una formación especializada, habitualmente en el ámbito de la ingeniería y la arquitectura. Sin embargo, con la evolución del software y del hardware, estas tecnologías se han hecho accesibles, tanto en lo económico como en los aspectos formativos, con lo que se pueden realizar todos los procesos ligados a la creación 3D digital de forma sencilla [9].

Por lo tanto, la incorporación de estas tecnologías en entornos educativos es una opción factible. Para la obtención de contenidos tridimensionales digitales se puede optar por su descarga, accediendo a repositorios online gratuitos como Thingiverse o SketchFab. Otra opción, es la creación de los contenidos mediante el modelado 3D digital empleando alguno de los programas sencillos y de bajo coste existentes como Tinkercad, Meshmixer o SketchUp. Por último, cabe la posibilidad de obtener archivos digitales de modelos ya existentes, empleando la reconstrucción fotográfica (fotogrametría) o mediante la digitalización de objetos empleando escáneres 3D.

Actualmente hay muchos modelos y costes de impresoras 3D diferentes que permiten crear modelos con diferentes técnicas y en materiales como acero, aluminio, titanio, resina, polímeros, etc.. Existen impresoras 3D que producen objetos directamente en cera o en metal. Sin embargo, tanto las impresoras que generan modelos en cera como las que fabrican piezas directamente en metal suelen ser inviables en entornos educativos y en pequeños talleres de fundición debido a su precio. Por otro lado, existen impresoras 3D de bajo coste con precios que oscilan entre los 250 y 2500 euros que permiten fabricar piezas en plástico. El material más común que usan las impresoras 3D de bajo coste, llamado ácido poliláctico (PLA) posee algunas características como su baja temperatura de fusión y su carácter biodegradable, que se presenta como una de las alternativas fiables al uso de la cera en los procesos de la fundición artística. También existe la posibilidad de usar impresoras del tipo DLP (Digital Light Processing) que permite obtener piezas más detalladas y más pequeñas que la impresión mediante PLA [10].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se ha desarrollado una prueba piloto con cinco alumnos del taller de fundición artística. El objetivo de esta prueba piloto, es demostrar que es viable y sencillo integrar las nuevas tecnologías en dicho taller con poco dinero, esfuerzo e inversión de tiempo. Con esta propuesta se pretende capacitar a los participantes en la creación 3D y la fabricación aditiva para que ellos puedan impulsar en un futuro próximo la transformación de la industria de los pequeños talleres de fundición artística. Se realizaron sesiones de creación digital, sesiones de impresión 3D y sesiones de fundición artística.

2.1. SESIONES DE CREACIÓN DIGITAL

Se utilizaron dos sesiones para mostrar a los participantes las opciones disponibles para crear una escultura digital: descargas de modelos de internet, utilización de un escáner 3D y manejo de programas de edición de mallas 3D simples. El objetivo consistía en que cada alumno utilizara las tres opciones anteriormente descritas para realizar una escultura digital. Este proceso, permite eliminar la necesidad de crear esculturas artesanales de cera y además los modelos digitales permiten aumentar la complejidad de las esculturas y variar la escala a conveniencia.

En estas sesiones, se utilizó un escáner 3D de la marca 3DSense y su correspondiente aplicación del mismo nombre (Fig. 2a). Es importante señalar que el aparato utilizado un escáner de bajo coste (300 euros) y que existen varias alternativas en el mercado, con precios parecidos. Una vez escaneado el objeto, se crea un modelo digital en formato estándar (STL u OBJ) listo para imprimir en 3D. La aplicación, dispone de algunas herramientas básicas para editar el modelo escaneado o se puede exportar la nube de puntos obtenida para trabajar en programas de edición 3D más avanzados. En este caso, se utiliz**ó** el programa gratuito de edición de mallas 3D, Meshmixer (Fig. 2b). Dicho programa está desarrollado por la empresa Autodesk y es una buena opción para combinar diversos objetos 3D y realizar ediciones sencillas. Cuenta con herramientas de modelado 3D del tipo orgánico, que se utilizan de manera similar al manejo de materiales escultóricos tradicionales como cera, escayola o arcilla.

2.2. SESIÓN DE IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D de las piezas se llevó a cabo en el laboratorio de fabricación digital de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de La Laguna. Dicho espacio está disponible para el alumnado para crear proyectos de fabricación digital. El laboratorio funciona como una reprografía 3D donde se puede materializar los diseños 3D a precios de servicios universitarios. El técnico, maneja los ficheros creados por los alumnos y acaba el proceso de impresión 3D con los parámetros correctos. Las esculturas terminadas de los alumnos se imprimieron en impresoras Witbox mediante el filamento de PLA (Fig. 2c). Las piezas tienen unas dimensiones entre 8 cm y 15 cm y se han impreso por partes o enteras según las condiciones de cada una. Esto último es un avance, también para el procedimiento de fundición, ya que la posibilidad de variar por piezas la impresión facilita la posibilidad de prever la fundición por partes, sabiendo que en muchos casos es necesario para resolver problemas técnicos inevitables en el procedimiento de colada del metal.

2.3. SESIONES DE FUNDICIÓN ARTÍSTICA

Las sesiones de fundición artística se llevan a cabo de la misma manera que si se tratara de una pieza de cera que se trabaja tradicionalmente en la fundición artística. La técnica utilizada en estos formatos en el presente taller de fundición es microfusión a la cascarilla cerámica. Teniendo la escultura digital terminada e impresa en 3D, se procede a diseñar y construir el árbol de fundición con sus bebederos y crisol correspondiente para cada caso. Esto generará un conjunto mixto de ambos materiales, cera y PLA (Fig. 3a). El denominado árbol de fundición es un sistema de riego destinado a la salida de la cera expuesta a altas temperatura y a la entrada del metal fundido. Su diseño varía en función del peso, volumen, morfología y tipología de colada del metal. El árbol de colada se realiza en cera ya que es más rápido y barato que hacerlo impreso en 3D, además, ambos materiales son compatibles y tienen una buena adherencia entre sí.

A continuación, se aplica una solución de gomalaca en escama y alcohol como adherente para el molde de superposición por capas. El primer estuco aplicado tiene como objetivo facilitar el desmoldeo final de las piezas y actúa como antioxidante del primer contacto con el metal fundido. Se trata de una mezcla compuesta de grafito en polvo y como aglutinante sílice coloidal Hispasil (Tamaño de molécula 7h) al 50% de su volumen de ambas partes (Fig. 3b). A continuación se cubre todo con varias capas de cascarilla cerámica, una mezcla con moloquita de grano en harina (-200) y sílice coloidal como aglutinante, disminuyendo su densidad a medida que va aumentando el número de capas. A modo de baño, se cubre el conjunto alternando un espolvoreado de moloquita de diferentes granulometrías (Fig. 3c). La cascarilla cerámica es el molde refractario por excelencia en las fundiciones artísticas desde hace 30 años. Es una especie de cerámica compuesta por caolín cocido previamente hasta llegar a 1500ºC. Esta sucesión de capas deben perder su humedad entre aplicación y aplicación, dejando entre ellas un periodo de tiempo de unas 3 horas aproximadamente. Una vez pasado el tiempo de secado de los moldes, se procede a al descerado, que no es más que hacer desaparecer la cera del interior del molde para que el metal fundido posteriormente, ocupe su lugar. Debido a las características tanto de la cascarilla cerámica como la cera en sí misma, ésta técnica se somete a un proceso llamado Coque térmico o "Flash Dewaxing Shell casting". Esto consiste en calentar un horno previamente a 600ºC y 800ºC e introducir la pieza rápidamente para que la cera en contacto con el molde no le dé tiempo a expandir y evite roturas en el molde. De este

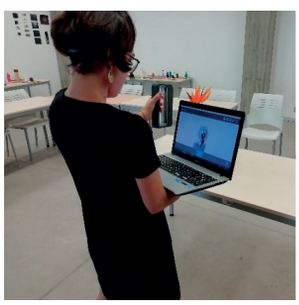
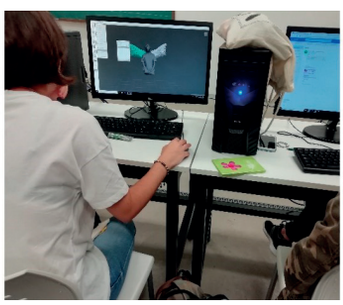




Figura 2a: Alumna utilizando el escáner 3DSense en el aula.
Figura 2b: Edición y combinación de modelos en el programa de edición gratuito Meshmixer
Figura 2c: Pieza impresa en 3D mediante PLA

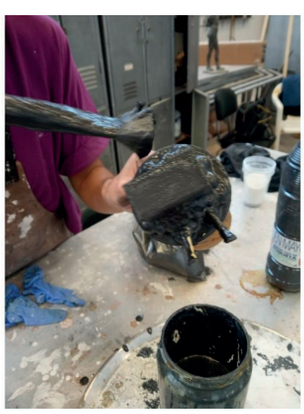




Figura 3a: Añadir el árbol de colada y el crisol de fundición
Figura 3b: Aplicación de la solución de gomalaca en escama y alcohol para mejorar el desmoldeo de la pieza.
Figura 3c: Primera capa de cascarilla cerámica





Figura 4: Pieza con la cascarilla cerámica terminada y con la carga del metal (latón); Fundición del metal y llenado del molde y pieza terminada a falta de cortar el árbol de colada y limpieza final (tamaño aproximado 25 x 8 x 8 cm)

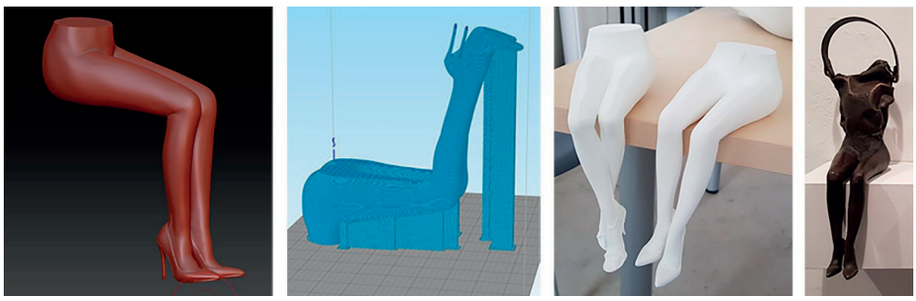


Figura 5: Modelo 3D digital; Preparación para imprimir el modelo en 3D; Piezas impresas en 3D; Escultura final fundida en metal (tamaño aproximado 15 x 10 x 4 cm)

modo, se genera una junta de dilatación que permite al resto de la cera evacuar sin generar presión en el mismo. El PLA se comporta de manera similar y no afecta al procedimiento, pudiéndose descerar sin más problemas que los habituales en la técnica tradicional. Una vez hueco el molde y reparado posibles fisuras provocadas por el choque térmico, se procede a la carga del metal en el crisol y a la fusión del mismo llenando el molde vacío con el metal fundido (latón, en este caso) mediante la técnica de microfusión por volteo (Fig.4). Al usar un modelo en PLA esta técnica debería denominarse fundición al PLA perdido (lost-PLA Shell casting).

3. RESULTADOS

Todos los participantes del taller de fundición consiguieron realizar esculturas mediante el procedimiento indicado anteriormente. Como se puede ver en la imagen, las esculturas creadas permiten realizar detalles que serían más complejos de realizar mediante los procesos tradicionales de fundición a la cera perdida (Fig. 5).

De cara a valorar la percepción de los estudiantes sobre la facilidad de uso de las tecnologías, y su futuro uso en entornos laborales, al finalizar la última sesión, los participantes rellenaron un cuestionario. En dicho cuestionario, se puntúa cada pregunta del 1 al 5 (escala tipo Likert). En dicha escala, el 1 significa totalmente en desacuerdo y el 5 totalmente de acuerdo.

De las respuestas de este cuestionario podemos extraer que todos los participantes consideran que la utilización de tecnologías digitales e impresión 3D les ha parecido muy interesante y que les beneficiará en un futuro tener conocimientos sobre lo aprendido en el curso sobre las herramientas 3D. Por otro lado han podido realizar toda la actividad sin problemas y los participantes puntúan el uso de las tecnologías (escaneado, modelado e impresión 3D) como fácil (4,4/5 y 4,8/5). Además, les ha parecido interesante fusionar una técnica tradicional como la fundición con cascarilla cerámica con el uso de las nuevas tecnologías y que seguirán utilizando las tecnologías digitales en su futuro profesional (4,8/5).

4. CONCLUSIONES

Después de esta experiencia se ha comprobado que es viable incorporar las tecnologías de modelado, escaneado e impresión 3D en el taller de fundición artística con metodologías de bajo coste. Con una inversión de tiempo mínimo, en total 8 horas de clase más 4 horas de trabajo autónomo del alumnado se ha logrado capacitar a los participantes en los procesos digitales del escaneo, modelado 3D y fabricación aditiva. El proceso de fundición ha disminuido los tiempos de una manera notable en comparativa con el procedimiento tradicional de conformación de los modelos en cera. Aunque los pasos del procedimiento sean los mismos, la manipulación del modelo en todo su conjunto, la fiabilidad de la forma final y el aumento de adaptación del modelo a la técnica facilita notablemente el procedimiento. Dicho proceso, el de fundición, ha llevado en total 16 horas. Por lo tanto, los participantes, en un futuro serán capaces de ayudar a transformar la industria de los pequeños talleres de fundición artística. Este tipo de propuestas, detalladas en este artículo, se consideran un primer paso para avanzar en la convergencia de las industrias artesanas que utilizan tecnología y la nueva industria 4.0.

REFERENCIAS

[1] Gobierno de España, «La competitividad del sector artesano en españa,» ipyme, Madrid, 2011.

[2] R. Oliván Cortés, «La Cuarta Revolución Industrial, un relato desde el materialismo cultural,» URBS. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales, vol. 6, nº 2, pp. 101-111, 2016.

[3] M. D. Díaz-Alemán, C. Meier, I. Pérez-Conesa y J. L. Saorin, «Fundición artística de objetos complejos impresos en 3D con PLA (ácido poliláctico) como alternativa al modelo de cera,» Arte, individuo y sociedad, vol. 31, nº 3, pp. 543-556, 2019.

[4] J. Alsina Benavente, La fundición a la cera perdida (microfusión), Barcelona: Alsina, 1992.

[5] J. C. Albaladejo, Fundición a la cera perdida, Santa Cruz de Tenerife: Departamento de Pintura y Escultura. Universidad de La Laguna, 2003, p. 43.

[6] AFA Foundry, «American Fine Arts,» 5 08 2019. [En línea]. Available: https://afafoundry.com/services/#scanning-and-sculpture-enlargements.

[7] C. Mendonsa y V. D. Shenoy, «Additive Manufacturing Technique in Pattern making for Metal Casting using Fused Filament Fabrication Printer,» Journal of Basic and Applied Engineering Research, vol. 1, nº 1, pp. 10-13, 2014.

[8] J. Micallef, «What's possible with 3D printing?,» de In Beginning Design for 3D Printing, Berkeley, CA, Apress, 2015, pp. 1-30.

[9] J. L. Saorín, C. Meier, J. de la Torre-Cantero, C. Carbonell-Carrera, D. Melián-Díaz y A. Bonnet de León, «Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D,» EDMETIC, vol. 6, nº 2, pp. 27-46, 2017.

[10] C. Meier, D. Díaz-Alemán, I. Pérez-Conesa, J. de la Torre-Cantero y J. L. Saorín Pérez, «Electroforming of 3D Digital Light Processing Printed Sculptures Used as a Low Cost Option for Microcasting,» de ICAT 2019: International Conference on Arts and Technology, Amsterdam, The Netherlands, 2019.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por la la Universidad de La Laguna en la convocatoria de proyectos de innovación educativa 2018/2019: "Incorporación de la impresión 3D en el aula de fundición artística como alternativa al modelo de cera", así como por el Programa estatal de investigación, desarrollo e innovación orientada a los retos de la sociedad 2017: "Fundición artística de micro esculturas diseñadas por ordenador, mediante el desarrollo de técnicas de impresión 3D basadas en el procesado digital de luz" Referencia: HAR2017-85169-R.