



GUÍA DE APLICACIÓN

# Introducción a la fundición para patrones de joyería impresos en 3D

La forma de trabajar de los joyeros está evolucionando, y las resinas fotopolimerizables para fundición están a la cabeza en la innovación.

Las técnicas de fabricación digital se están convirtiendo en la clave para expandir con éxito los negocios de joyería, sin importar si se trata de un diseñador independiente que diseña y fabrica prototipos en su estudio o si es una fundición que quiere diversificar su oferta y aumentar su capacidad. En esta guía, aprenderás a fundir piezas de joyería fina a partir de patrones impresos en 3D con impresoras de Formlabs.

# Contenido

¿Qué es la fundición a la cera perdida? .....	3
1. Diseño para fundición.....	4
2. Impresión y preparación de las piezas para fundición.....	6
3. Preparación del árbol de fundición .....	8
4. Preparación del molde.....	9
5. Quemado y fundición.....	10
6. Tiempos de quemado.....	11
Resolución de problemas de fundición .....	12

## Materiales indispensables

### Fabricados por Formlabs

- Impresora 3D (SLA) Form 3
- Castable Wax 40 Resin
- Castable Wax Resin
- Software PreForm (gratis)
- Finish Kit o Form Wash

### Fabricados por terceros

- Revestimiento Certus Prestige Optima
- Horno (732 °C o 1400 °F), inyectora de ceras al vacío y máquina de fundir, como la Neutec J2R
- Para un quemado en interior, un sistema de ventilación activa como [Vent-A-Kiln](#)

## ¿Qué es la fundición a la cera perdida?

La fundición a la cera perdida es una técnica popular de moldeo que puede utilizarse para fabricar piezas pequeñas y grandes en una gran variedad de metales. Con un origen que se remonta a hace más de 5000 años, la fundición permite a los creadores trabajar con una gran variedad de materiales y es uno de los métodos más sencillos para producir piezas de metal.

En la fundición a la cera perdida, se crea un molde hueco a partir de un modelo maestro, que puede esculpirse a mano o imprimirse en 3D. El modelo maestro se sumerge en un material de moldeo (o revestimiento), que se seca y se endurece. El modelo impreso en 3D o de cera se quema y deja un molde negativo del diseño. En esta cavidad hueca se vierte metal para crear la pieza final.

La fabricación a mano de patrones de cera para joyería con detalles muy definidos y complejos resulta difícil; y en un mercado exigente que crece con velocidad, mantener la producción manual puede resultar complejo. Los avances en materiales y las impresoras 3D accesibles, como las de Formlabs, están cambiando la forma de trabajar de fabricantes y diseñadores de joyería. Estas tecnologías llevan la calidad industrial a los estudios y facilitan la producción y prueba de geometrías complicadas que antes requerían horas de meticuloso trabajo.



# 1. Diseño para fundición

Usa un programa CAD, como RhinoGold, JewelCAD o 3Design, para convertir tus diseños en patrones impresos en 3D siguiendo las técnicas recomendadas.

## Hacemos referencia a los siguientes productos:

**Castable Wax 40 Resin:** Una resina para fundición de alto contenido en cera con una fundición más sencilla que nunca, que admite una amplia variedad de elementos de diseño, como orificios para piedras preciosas y grabados.

**Castable Wax Resin:** Una resina de menor contenido en cera y mayor resistencia sin poscurado, apropiada para estructuras muy finas, como la filigrana de alambre.

## CÓMO EVITAR LA ROTURA DEL REVESTIMIENTO

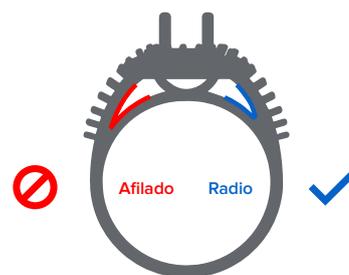
El diseño tradicional de patrones de cera y los patrones de resina impresos en 3D comparten principios clave, como la importancia de que el material fluya por la superficie con delicadeza. Cuando sea posible, evita crear ángulos afilados. Los ángulos afilados no solo aumentan la turbulencia en el metal, sino que también concentran los esfuerzos a los que se ve sometido el molde por la expansión.

El esfuerzo de expansión concentrado provoca la **rotura del revestimiento**, que es uno de los problemas de calidad más comunes en la fundición directa de resina. Una de las señales de la rotura del revestimiento es que en la pieza fundida elementos negativos que deberían estar vacíos están llenos, como los grabados o los orificios para piedras preciosas. La rotura del revestimiento suele estar acompañada por superficies rugosas tras la fundición o corrosión por picadura, provocadas por restos del revestimiento.



Además de los bordes afilados, vigila también la profundidad de los relieves negativos. Una buena regla general es hacer que los canales grabados y los orificios tengan una anchura superior a su profundidad. Esta indicación es más importante si el relieve negativo es pequeño y el revestimiento que rellena el espacio a su alrededor es frágil.

En el ecosistema de Formlabs, la Castable Wax 40 Resin se ha diseñado para minimizar la expansión y la rotura del revestimiento, con lo que se dispone de una fiabilidad mayor en el momento en el que resulte necesario crear relieves negativos.



## BEBEDEROS

Los bebederos más delicados pueden imprimirse en 3D, con lo que se ahorra trabajo y se mejora el llenado del molde en las zonas con detalles finos. Diseña bebederos alimentadores que sean rectos o que se vayan estrechando hacia la pieza.

Los soportes añadidos en PreForm no deben usarse como bebederos. Si quieres imprimir bebederos en 3D, te recomendamos añadirlos al diseño en el programa CAD.

Solo se deben usar bebederos alimentadores impresos en 3D en los casos en los que colocar bebederos de cera resulte difícil. Por ejemplo, cuando un bebedero conecta una zona inaccesible del patrón de resina con otra. Los verdaderos bebederos de cera fomentan una mayor calidad de la pieza fundida proporcionando al patrón un acceso anticipado al oxígeno cuando se derriten.

## PUNTOS DE UNIÓN DE LOS BEBEDEROS

Los patrones de resina no se funden, por lo que a veces las piezas pesadas pueden resultar difíciles de unir (y de mantener unidas) a los bebederos de cera. Si añades un punto de unión para los bebederos en tu modelo CAD, puedes ahorrarte la frustración de encontrarte un patrón impreso en 3D flotando en la caja de moldeo en la que acabas de verter. Esto puede ser tan sencillo como un orificio en la parte inferior de la banda de un anillo o un pequeño poste hueco que se pueda rellenar o rodear de cera al unirlo a una barra para bebedero.



## PIEZAS GRANDES Y GRUESAS

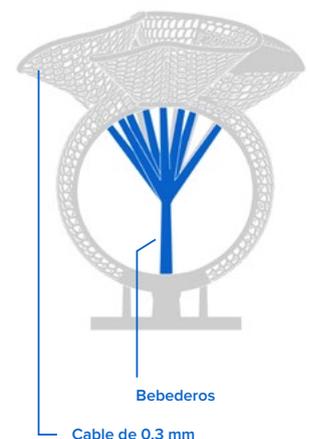
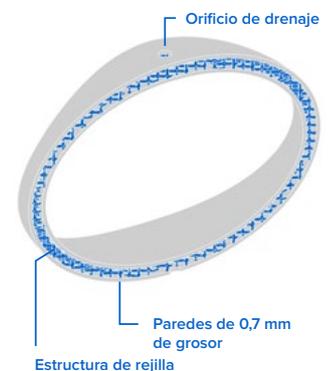
La **Castable Wax 40 Resin** es adecuada para imprimir y fundir piezas gruesas de joyería, como anillos de graduación pesados. Este material puede admitir secciones transversales de hasta 4 mm en la mayoría de lugares del modelo. Las regiones gruesas de un modelo tienden a dar un resultado mejor en la fundición cuanto más cerca estén del bebedero alimentador.

Se pueden llegar a usar paredes más gruesas, de hasta 10 mm, para proporcionar oxígeno a la región. Debido a su baja resistencia sin poscurado, no se recomienda usar la Castable Wax 40 Resin para carcasas grandes y delgadas o para diseños con vanos largos, delgados y sin soportes.

La **Castable Wax Resin** es una alternativa para los diseños que son grandes y de una pieza, como estatuas. Gracias a la mayor resistencia que ofrece la Castable Wax Resin sin poscurado, este material permite ahuecar los diseños hasta convertirlos en carcasas de paredes delgadas. Esta estrategia minimiza las fuerzas de expansión a las que se ve sometido el revestimiento durante el curado. **Se recomienda convertir las piezas con un grosor superior a 3 mm en carcasas y se añadan orificios de drenaje** para permitir que la resina fluya hacia el exterior.

Formlabs recomienda un grosor de paredes de 0,7 mm para carcasas huecas impresas con la Castable Wax Resin. También se puede añadir una estructura de rejilla en el interior para mejorar la resistencia a la manipulación de piezas grandes.

- Cuando se cree un patrón de carcasa fina con la Castable Wax Resin, revisa las zonas del modelo en las que el grosor de las paredes de la carcasa se acerca (o es inferior) al doble del mínimo de 0,7 mm.
- Estas zonas pueden no verse afectadas por la operación de CAD que crea carcasas, con lo que se generan regiones del patrón que son demasiado gruesas para la fundición. Las piezas con un grosor excesivo son propensas a provocar grietas de expansión durante el quemado.



## FILIGRANAS

El nivel de detalle de la Castable Wax Resin te permite crear piezas con filigranas complejas. Estas finas mallas de hilos suponen todo un reto, pero es posible fundirlas con un diseño meticuloso de los bebederos.

Las mallas finas pueden imprimirse con un diámetro de hilo de hasta 0,3 mm. Las filigranas impresas son frágiles y pueden dañarse al retirar los soportes. Diseña las piezas con filigranas con el menor número de soportes posible.

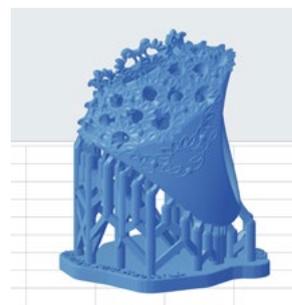
En los diseños con filigranas, los bebederos impresos en 3D pueden tener una doble función, y actuar como soportes que se retiran después de la fundición. Para evitar que el metal se solidifique en estos canales estrechos, añade bebederos que canalicen el metal hacia muchos puntos en el borde de una malla de filigranas.

**Nota:** No se recomienda usar la Castable Wax 40 Resin para imprimir filigranas de alambre, dada la baja resistencia de esta resina sin poscurado.

## 2. Impresión y preparación de las piezas para fundición

### IMPRESIÓN

Los patrones de joyería se pueden imprimir de forma individual o por lotes con la impresora 3D de escritorio Form 3. Para obtener la mejor calidad posible con las impresiones de Castable Wax 40 Resin, recomendamos imprimir con inclinación las piezas que tienen su mayor densidad y peso en su parte superior, en vez de hacerlo de forma vertical. Los diseños para joyería ligeros y las piezas impresas con la Castable Wax Resin se pueden imprimir en vertical.



*Inclina las piezas que tienen su mayor densidad y peso en su parte superior para obtener un resultado óptimo.*

### LAVADO

Lavar las piezas de forma exhaustiva en alcohol isopropílico (90 % o más) es clave para una fundición limpia. El exceso de resina sin curar puede interferir en el curado del revestimiento y causar defectos de fundición.

Deja que las piezas se sequen por completo tras haberlas sacado del baño en alcohol isopropílico. Usa aire comprimido para verificar que el alcohol isopropílico se ha evaporado por completo antes del poscurado y la fundición. Las piezas impresas con la Castable Wax Resin permanecen un poco pegajosas tras el lavado y secado, por lo que es posible que tengas que reemplazar el alcohol isopropílico.

#### CASTABLE WAX 40 RESIN

<b>Form Wash</b>	5 min + lavado final en alcohol isopropílico limpio
<b>Finish Kit</b>	5 min + 5 min (segundo lavado en alcohol isopropílico limpio)

#### CASTABLE WAX RESIN (V1)

<b>Form Wash</b>	5 min + lavado final en alcohol isopropílico limpio
<b>Finish Kit</b>	10 min + 5 min (segundo lavado en alcohol isopropílico limpio)

## CURADO

Las piezas de Castable Wax 40 Resin se pueden someter a un poscurado opcional si observas que las piezas tienden a romperse durante la eliminación de las mazarotas. Si las piezas son frágiles, recomendamos realizar el poscurado después de la eliminación de los soportes. Las piezas sin poscurado son más flexibles y es menos probable que se rompan a medida que se retiren los soportes.

El poscurado no mejorará el resultado de la fundición, salvo si las piezas no se han lavado lo suficiente.

CASTABLE WAX 40 RESIN		CASTABLE WAX RESIN (V1)	
<b>Form Cure</b>	No es necesario (se puede realizar un curado opcional de 30 min sin calor)	<b>Form Cure</b>	No es necesario
<b>Cámara de curado de uñas</b>		<b>Cámara de curado de uñas</b>	

**Consejo:** Realizar un poscurado en las piezas impresas con Castable Wax puede causar un bajo nivel de contracción en el material (<1 %).

**Advertencia:** No poscures las piezas de Castable Wax 40 Resin a una temperatura superior a la temperatura ambiente. Las altas temperaturas pueden fundir el contenido de cera sólida que tiene la resina, con lo que las piezas quedan pegajosas.



Un [dispositivo calentador de cera](#) facilita la unión de los patrones de resina al árbol de fundición.

### 3. Preparación del árbol de fundición

Pega las impresiones ya procesadas a un bebedero de cera principal con cera pegajosa. Derrite la cera para crear puntos de unión lisos entre el patrón impreso y su bebedero alimentador.

Un dispositivo calentador de cera facilita la unión de los patrones de resina al árbol de fundición.

Coloca las partes más gruesas en la base y las más delgadas en la parte superior del árbol. Es posible que haya que dejar un poco más de espacio entre piezas impresas 3D que en un árbol de cera común. Si vas a realizar la fundición de piezas grandes con una "carcasa fina", asegúrate de que llenas cualquier orificio de drenaje con cera para evitar que el material de revestimiento se cuele en la pieza impresa.

#### BARRERAS DE FUNDICIÓN

Formlabs no recomienda recubrir los patrones de Castable Wax 40 Resin con una película de "barrera de fundición". Las películas de barrera de fundición pueden interferir con la capacidad de la resina de perder cera líquida durante el calentamiento.

**Consejo:** Las patrones impresos de resina no se derriten. Si te resulta difícil pegar una pieza al bebedero de cera, usa un poco de pegamento instantáneo o resina epoxi. Añadir al modelo un punto de unión para los bebederos también puede resultar de ayuda.

## 4. Preparación del molde

Los siguientes pasos son un procedimiento estándar para preparar una caja de moldeo para fundición. Una inyectora de ceras al vacío ayuda a mezclar, desgasificar y vierte el revestimiento de forma sencilla y limpia. También se puede utilizar una mezcladora y una cámara de vacío por separado.



1. Fija una caja de moldeo a la base de los bebederos. Si la caja tiene agujeros, envuélvela con cinta de embalaje transparente para contener el material de revestimiento.



2. Mezcla el revestimiento en polvo con agua destilada fría siguiendo las instrucciones del fabricante.

**Consejo:** Disuelve ácido bórico en el agua del revestimiento (en una proporción 1:100) antes de mezclar para incrementar la resistencia del molde.



3. Vertido del revestimiento por el lado de la caja de moldeo, evitando el árbol del patrón. Realizar el vertido de forma fluida reduce la probabilidad de que queden atrapadas burbujas de aire. Usa una cámara de vacío para extraer las burbujas de la caja de moldeo. Permite que el revestimiento se endurezca y se seque.



4. Retira con delicadeza la base de goma de la caja y deja que repose en una superficie sin vibraciones durante 2-6 horas. Sigue las recomendaciones de seguridad del fabricante del revestimiento. Te recomendamos utilizar una máscara para el polvo o un respirador.

### OPCIONES DE MATERIAL DE REVESTIMIENTO

Formlabs recomienda el material de revestimiento Certus Prestige Optima tanto para la Castable Wax 40 Resin como la Castable Wax Resin. La Castable Wax 40 Resin te dará mayor libertad en cuanto a materiales de revestimiento. Si vas a realizar la fundición de piezas más gruesas, considera utilizar un revestimiento aglutinado con fosfato más resistente, como Nobilium Microfire. Cuando utilices revestimientos alternativos, sigue las recomendaciones de quemado del fabricante.

## 5. Quemado y fundición

Coloca la caja de moldeo en el horno de quemado a la temperatura recomendada en el programa de quemado. Realiza los ajustes necesarios en función de las instrucciones del material de revestimiento, el tamaño de la caja de moldeo y la cantidad de material impreso.

Formlabs recomienda utilizar un horno con buena ventilación (con entrada y salida) para que el flujo de aire sea suficiente en toda la cámara y se extraiga todo el material evaporado de resina.

### QUEMADO CORTO

Los quemados notablemente cortos (4-8 h) están limitados a geometrías ligeras y revestimientos aglutinados con fosfato resistentes. Los revestimientos aglutinados con fosfato permiten un quemado más rápido con todas las resinas para fundición de Formlabs.

#### Consejos:

- La ventilación es esencial, pero puede provocar que la temperatura disminuya en el horno. Monitoriza la temperatura del horno y de la caja, y ajusta el proceso a medida que vayas desarrollando un programa de quemado que se ajuste a tu equipo.
- Si usas ventilación activa, aumenta la succión todo lo que sea posible para mejorar el flujo de aire en el horno.
- Si el horno está lleno, el quemado será menos efectivo en cada caja de moldeo. Añade un generador de oxígeno o un conducto de aire de baja intensidad al horno para aumentar el flujo de aire.

### FUNDICIÓN

Retira el molde del horno y vierte el metal. Las máquinas de fundición centrífuga o al vacío, como la Neutec J2R (EE. UU.) y la serie MC de Indutherm (Europa), son sencillas de utilizar y tienen un buen nivel de control.

Tras la fundición, enfría con cuidado el molde en agua y elimina el revestimiento.

### COMPATIBILIDAD CON METALES PRECIOSOS

Formlabs ha realizado ensayos con fundiciones de oro, plata y bronce a partir de patrones con Castable Wax 40 Resin y Castable Wax Resin. La compatibilidad con los metales depende principalmente del revestimiento. Los diferentes metales requieren varios grados de resistencia a la temperatura por parte del revestimiento.

Las resinas de fundición directa de Formlabs requieren una temperatura mínima de 732 °C para completar el quemado. Consulta con el fabricante si tienes dudas sobre la compatibilidad del patrón de resina con un revestimiento específico.



*Coloca las cajas de moldeo en un horno de quemado con buena ventilación.*



*Los métodos de fundición al vacío o fundición centrífuga facilitan el llenado de los detalles finos.*



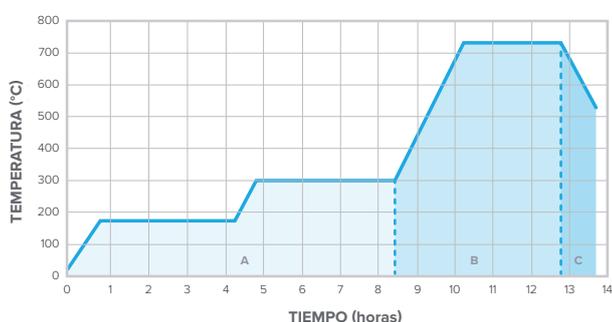
*Enfría y retira la caja de moldeo sumergiéndola en agua.*

## 6. Programa de quemado

Formlabs ofrece la Castable Wax 40 Resin y la Castable Wax Resin para la fundición a la cera perdida de joyería. La Castable Wax 40 Resin se ha diseñado para ofrecer una mayor flexibilidad en cuanto a su programa de quemado y ofrece un margen mayor a quien sea novato en la fundición de resina. La Castable Wax Resin requiere seguir de forma más estricta las instrucciones de quemado y las limitaciones de geometría para obtener resultados de alta calidad en la fundición.

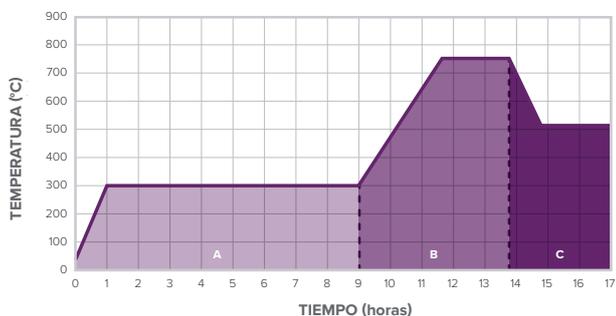
A continuación, se muestran programas recomendados para cada material, para usarlos con Certus Prestige Optima o revestimientos equivalentes.

### Castable Wax 40 Resin



FASE	TIEMPO	PROGRAMA °C
Secado con calentamiento de la caja de moldeo	180 minutos	55 °C
A	Rampa	48 min 2 °C/min
	Mantenimiento	180 min 150 °C
B	Rampa	75 min 2,0 °C/min
	Mantenimiento	180 min 300 °C
C	Rampa	108 min 4,0 °C/min
	Mantenimiento	180 min 732 °C
C	Rampa	44 min -5 °C/min
	Ventana de fundición	Hasta 2 horas Temperatura de fundición deseada

### Castable Wax Resin



FASE	TIEMPO	PROGRAMA °C
A	Insertar cajas de moldeo	0 min 21 °C
	Rampa	60 min 4,7 °C/min
B	Mantenimiento	480 min 300 °C
	Rampa	100 min 4,5 °C/min
C	Mantenimiento	180 min 750 °C
	Rampa	60 min -4,0 °C/min
C	Ventana de fundición	Hasta 2 horas Temperatura de fundición deseada

# Resolución de problemas de fundición

EL PROBLEMA	CAUSA	LA SOLUCIÓN
<b>Orificios y grabados llenos y superficies cercanas con corrosión por picadura</b>	Rotura localizada del revestimiento debido al esfuerzo provocado por la expansión térmica de la resina.	Subida y bajada de temperatura lenta.
		Añade listones a las esquinas afiladas del modelo en CAD.
		Reduce la profundidad del lavado en CAD.
		Cambia a la Castable Wax 40 Resin (si usas la Castable Wax Resin).
		Añade ácido bórico para fortalecer el revestimiento.
<b>Marcas en el metal</b>	El revestimiento es demasiado débil y se ha agrietado por la expansión térmica de la resina.	Subida y bajada de temperatura lenta.
		Aumenta el espacio entre los patrones de resina.
		Reduce la proporción de agua que se añade al material de revestimiento.
		Aumenta el tiempo de reposo tras la fundición.
		Considera cambiar de material de revestimiento.
<b>Superficies rugosas (sin rotura visible del revestimiento)</b>	La resina hierve por un calentamiento excesivo antes de eliminar la cera líquida.	Subida y bajada de temperatura lenta, aumentando el tiempo de mantenimiento de baja temperatura.
	Oxígeno insuficiente para la combustión.	Aumenta el flujo de aire en el horno de quemado.
		Añade un bebedero de cera desde la zona problemática hasta el bebedero alimentador principal.
		Expón la caja de moldeo a un tratamiento ligero de presión y vacío antes de la fundición.
	La sección transversal de la resina es demasiado gruesa para el sistema de resina y la pieza queda constreñida contra la pared del molde durante la combustión.	<b>Castable Wax 40 Resin:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Véase más arriba.</li> </ul> <b>Castable Wax Resin (v1):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Si el grosor de las paredes es &lt;2mm, prueba los pasos anteriores.</li> <li>Si el grosor de las paredes es &gt;10mm, ahueca la pieza hasta convertirla en una carcasa fina.</li> <li>Si el grosor de las paredes se encuentra entre 2-10 mm, considera cambiar a la Castable Wax 40 Resin.</li> </ul>
<b>Burbujas pequeñas en la fundición</b>	El material de revestimiento es demasiado viscoso.	Aumenta la proporción de agua que se añade al material de revestimiento.
	El tiempo de trabajo del revestimiento no es suficiente para desgasificar por completo la caja de moldeo.	Usa agua fría en la mezcla del revestimiento.



Anillo Papilio,  
LACE by Jenny Wu

## Lee más sobre la fabricación digital de joyería

Para saber más sobre las impresoras de Formlabs y las resinas para fundición, ponte en contacto con nuestro equipo:

Contacta con nosotros para más información

La fundición es un proceso complejo, por lo que te recomendamos trabajar con un especialista para conseguir los mejores resultados. Consulta nuestra lista de fundiciones recomendadas en el siguiente enlace:

<https://formlabs.com/es/industries/jewelry/formlabs-recommended-casting-houses/>

*Un agradecimiento especial a Lars Sögard Nielsen y a la Escuela de diseño y tecnología de Copenhague (KEA) por permitir a Formlabs documentar su proceso de fundición.*

### RECURSOS RELACIONADOS

#### [Diseño para la impresión 3D de joyería](#)

Una introducción a la impresión 3D por estereolitografía de escritorio para joyería, trucos y consejos para imprimir y realizar la fundición con éxito con muchos ejemplos detallados.

#### [Moldeo de caucho vulcanizado con moldes impresos en 3D](#)

Aprende a utilizar la Form 2 para producir múltiples piezas de cera en 3D mediante la impresión de un molde maestro para usar en procesos de vulcanización a temperatura ambiente y media.

#### [Venta de joyería personalizada con la impresión 3D](#)

La Form 2 es fácil de utilizar y es adecuada para usarse en un espacio de exposición. Aprende estrategias para usar maquetas impresas en 3D y proporcionar así una mejor experiencia al cliente en trabajos personalizados.

Consultas de ventas en  
Norteamérica  
sales@formlabs.com  
+1 617 702 8476  
Formlabs.com

Consultas de ventas en  
Europa  
eu-sales@formlabs.com  
+34 955 00 33 40  
formlabs.com/es

Consultas de ventas internacionales  
Encuentra un revendedor en tu región:  
[formlabs.com/es/company/partners](https://formlabs.com/es/company/partners)