



LIBRO BLANCO

# Moldeo por inyección rápido de bajo volumen con moldes impresos en 3D

Este libro blanco proporciona métodos y recomendaciones para usar moldes impresos en 3D mediante estereolitografía (SLA) en el proceso de moldeo por inyección para reducir los costes y el plazo de producción. Aprenderás de la mano de estudios de casos reales con empresas como Braskem, Holimaker y Novus Applications cómo este proceso de fabricación híbrido hace posible fabricar moldes bajo demanda para producir rápidamente pequeños lotes de piezas termoplásticas.

# Contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>Método</b> .....	<b>5</b>
Proceso de trabajo.....	<b>5</b>
Recomendaciones de diseño .....	<b>6</b>
Otras buenas prácticas .....	<b>7</b>
<b>Estudios de caso</b> .....	<b>8</b>
Braskem fabricó 3000 tiras de mascarilla en una semana con un inserto para moldes de High Temp Resin .....	<b>8</b>
Holimaker produce cientos de piezas técnicas con moldes de Grey Pro Resin .....	<b>12</b>
Novus Applications inyecta cientos de tapas roscadas con un molde de tres piezas de Rigid 10K Resin .....	<b>16</b>
<b>Conclusión</b> .....	<b>22</b>

# Introducción

## MOLDEO POR INYECCIÓN

El moldeo por inyección es uno de los principales procesos para la fabricación de plásticos. Se usa con frecuencia para la producción en masa de piezas idénticas con tolerancias ajustadas. Es una tecnología rentable y muy repetible que genera piezas de alta calidad para series grandes. Es capaz de producir volúmenes de entre 1000 y más de 100 000 piezas con un coste muy bajo por unidad. El moldeo por inyección tiene un tiempo de ciclo corto y cada máquina es capaz de construir piezas nuevas cada 15-60 segundos. Es un proceso rápido e intensivo en el que se usan altas presiones y temperaturas para derretir un termoplástico y forzarlo a introducirse en un molde.

Debido a estas condiciones de moldeo extremas, las herramientas suelen fabricarse con metal mediante el mecanizado CNC o electroerosión. Son métodos industriales caros que requieren equipo especializado, software de alta gama y mano de obra especializada. Es por ello que la producción de un molde de metal suele llevar entre cuatro y ocho semanas, con costes que oscilan entre 2000 y más de 82 000 €, en función de la forma y la complejidad de la pieza. Estos costes elevados hacen que los fabricantes busquen maneras de minimizar el coste de la producción de herramientas a medida y reducir los plazos de producción para llevar los productos al mercado.

La impresión 3D de escritorio es una potente solución para fabricar moldes para inyección con rapidez y bajos costes. Requiere muy poco equipamiento, con lo que se ahorra en tiempo y operarios expertos de CNC que pueden dedicarse mientras tanto a otras tareas importantes. Los fabricantes pueden aprovechar la velocidad y la flexibilidad de la impresión 3D in situ para crear el moldeo y combinarlo con la potencia de producción del moldeo por inyección para producir varias unidades a partir de termoplásticos comunes en cuestión de días. Incluso pueden obtener moldes de formas complicadas que serían difíciles de fabricar de forma tradicional, con lo que los equipos de desarrollo pueden ser más innovadores. Además, el desarrollo de productos se beneficia de la capacidad de realizar iteraciones del diseño antes de invertir en utillaje pesado.

Aunque los moldes impresos en 3D pueden ofrecer estas ventajas si se usan de forma apropiada, no están exentos de limitaciones. No debemos esperar el mismo rendimiento de un molde impreso en 3D a partir de polímero que de uno mecanizado en metal. Es más difícil cumplir con las dimensiones críticas, el tiempo de enfriamiento es más largo porque la transferencia térmica es más lenta en el plástico y los moldes impresos pueden romperse fácilmente bajo el efecto del calor y la presión. No obstante, algunas empresas han conseguido producir series de cientos de piezas con moldes impresos y hasta miles de unidades en el caso de diseños muy simples. Los moldes de inyección para series cortas son una herramienta excelente para que los ingenieros puedan fabricar lotes limitados de piezas de uso final o prototipos con el plástico final, para ensayos previos a la producción.

## FABRICACIÓN RÁPIDA DE MOLDES DE INYECCIÓN PARA SERIES CORTAS

La tecnología de impresión por estereolitografía (SLA) es una buena elección para el moldeo. Se caracteriza por un acabado de la superficie liso y una alta precisión que el molde trasladará a la pieza final y que también facilita el desmoldeo. Las impresiones 3D que se realizan mediante SLA tienen enlaces químicos que las hacen totalmente densas e isotrópicas. De ese modo,

se producen moldes funcionales con una calidad imposible para el modelado por deposición fundida (FDM). Las impresoras SLA de escritorio, como las que ofrece Formlabs, simplifican el proceso de trabajo, ya que resultan fáciles de instalar, usar y mantener.

Para favorecer el moldeo por inyección para series cortas, Formlabs desarrolló la High Temp Resin, un material una temperatura de flexión bajo carga de 238 °C a 0,45 MPa, la más alta entre las resinas de Formlabs y una de las más altas entre las resinas del mercado. La High Temp Resin puede soportar altas temperaturas de moldeo y minimizar el tiempo de enfriamiento. Este informe repasará un estudio de caso con [Braskem](#), una empresa que realizó 1500 ciclos de inyección con un inserto de moldeo imprimido con la High Temp Resin para producir tiras de mascarilla. La empresa imprimió el inserto y lo colocó dentro de un molde de metal genérico integrado en el sistema de inyección. Se trata de una solución eficaz para producir rápidamente series de volumen medio. El inserto impreso se puede reemplazar a medida que evolucione el diseño o si hay algún fallo. Permite crear moldes bajo demanda con geometrías complejas que serían difíciles de fabricar de forma tradicional sin dejar de generar varias piezas.

Sin embargo, la High Temp Resin es bastante frágil. Si las formas son más intrincadas, se deforma o se rompe con facilidad. Con algunos modelos puede ser difícil llegar a realizar más de una decena de ciclos. Para eliminar este obstáculo, la empresa emergente francesa [Holimaker](#) recurrió a la Grey Pro Resin. Tiene una conductividad térmica menor que la de la High Temp Resin, que conlleva un tiempo de enfriamiento más largo, pero es más blanda y puede soportar cientos de ciclos.

Hace poco, Formlabs lanzó la Rigid 10K Resin, un material industrial con alto contenido en vidrio que proporciona una solución capaz de adaptarse a una mayor variedad de geometrías y procesos de moldeo por inyección. La Rigid 10K Resin tiene una temperatura de flexión bajo carga de 218 °C a 0,45 Mpa y un módulo de tracción de 10 000 MPa, lo que la hace resistente, extremadamente rígida y térmicamente estable. [Novus Applications](#) ha inyectado cientos de tapas roscadas muy detalladas con un único molde de Rigid 10K Resin. Nuestra previsión es que a medida que más empresas se hagan con la Rigid 10K Resin, se convertirá en una herramienta excelente para imprimir moldes sofisticados para el moldeo por inyección.

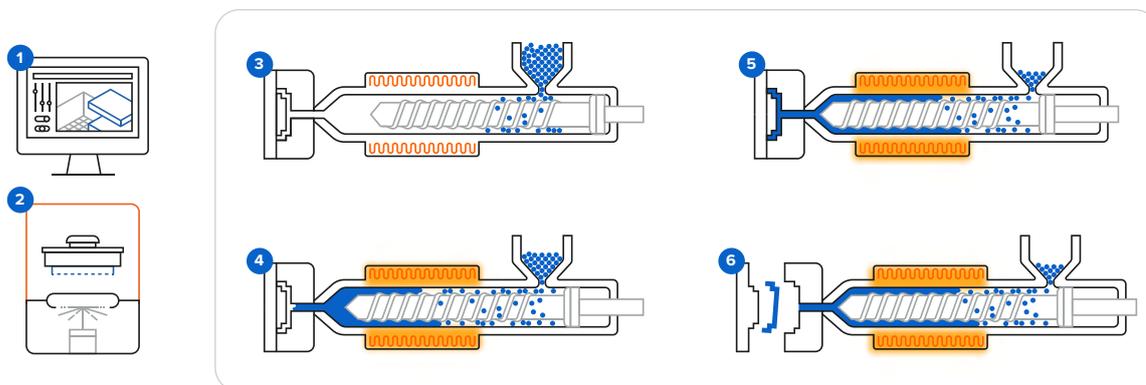
Este libro blanco empezará por dar una información general del proceso de trabajo, las recomendaciones de diseño y las buenas prácticas para imprimir en 3D moldes para el moldeo por inyección. A continuación, entrará en detalle tratando tres estudios de caso que muestran cómo cada empresa alcanzó el éxito con su molde impreso en 3D.



# Método

## PROCESO DE TRABAJO

### PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN CON MOLDES IMPRESOS EN 3D



- 1** Diseño del molde    **2** Impresión 3D del molde    **3** Sujeción del molde    **4** Inyección    **5** Enfriamiento    **6** Desmoldeo

Estos son algunos de los problemas más comunes que nos encontramos con los moldes impresos en 3D:

- La precisión dimensional del molde: es importante tener en cuenta que la precisión dimensional de un molde impreso en 3D no es tan buena como la de un molde metálico mecanizado. Sin embargo, el posacabado de las impresiones generará variaciones de tamaño más cercanas a las de un molde mecanizado.
- Ruptura o agrietamiento del molde al verse sometido a presión y temperatura.
- Tiempo de ciclo: el tiempo de enfriamiento es más largo que con un molde metálico, porque la transferencia térmica es más lenta en el plástico.
- Proceso de desmoldeo:
  - La adhesión de la pieza al molde puede provocar un deterioro del molde durante la extracción.
  - Puede aparecer una rebaba que ralentice el paso de desmoldeo. Se trata de un exceso de material que sale del molde durante la inyección si se llena el mismo más de la cuenta o si el plano divisorio no es perfectamente plano.

Estos problemas se pueden mitigar reduciendo la presión de inyección, adaptando el archivo CAD y mediante el proceso de desmoldeo. Estos tres parámetros son las principales influencias en el éxito de la operación.

La complejidad del proceso de moldeo por inyección se debe en gran medida a la complejidad de la pieza y a la estructura del molde. Los moldes impresos en 3D se pueden inyectar con una gran variedad de termoplásticos como el polipropileno, el elastómero termoplástico, el poliuretano termoplástico, el poliacetal o la poliamida. Un material de baja viscosidad ayudará a reducir la presión y alargar la vida útil del molde. El polipropileno y los elastómeros termoplásticos son fáciles de procesar con una gran cantidad de ciclos. En contraposición, plásticos más técnicos como la poliamida permiten un número menor de series. Manipular un agente de desmoldeo ayuda a separar la pieza del molde, sobre todo en el caso de materiales flexibles como los poliuretanos termoplásticos y los elastómeros termoplásticos.

El tipo de prensa de inyección no tiene una gran influencia en el proceso. Si tienes poca o ninguna experiencia con el moldeo por inyección y te interesa probarlo con una inversión limitada, usar una máquina de moldeo por inyección de trabajo como la [Holipress](#) o la [Galomb](#)

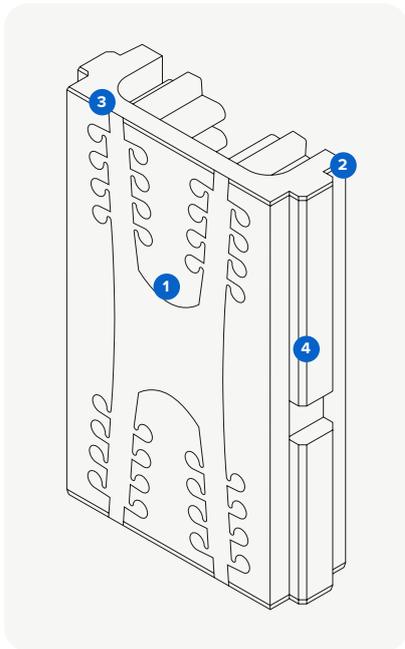
[Model-B100](#) puede ser una buena opción. Las moldeadoras automatizadas como la línea de productos de [Babyplast](#) son buenas alternativas para la producción en serie de piezas pequeñas.

## RECOMENDACIONES DE DISEÑO

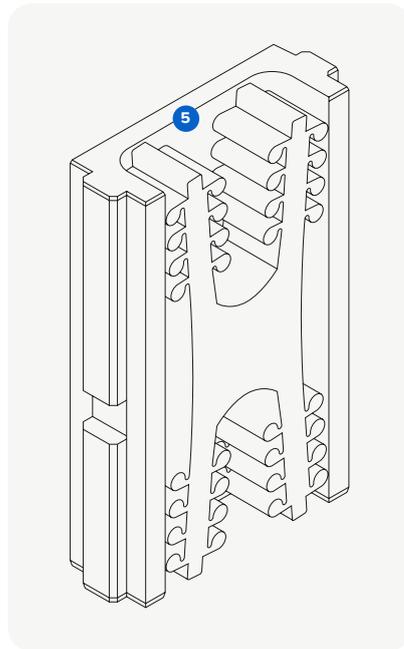
Recomendamos respetar las reglas del diseño orientado a la fabricación aditiva, así como las [reglas generales de moldeo por inyección](#), como incluir dos o cinco grados de ángulo de desmoldeo, mantener un grosor uniforme de las paredes en toda la pieza o redondear los bordes. Estos son algunos consejos útiles de usuarios y expertos, pensados específicamente para moldes impresos de polímero:

### Para optimizar la precisión dimensional:

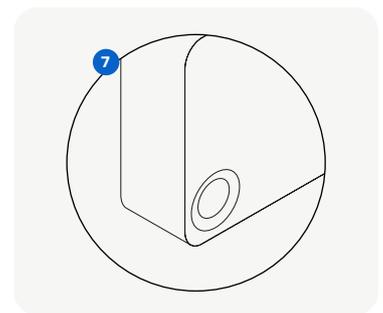
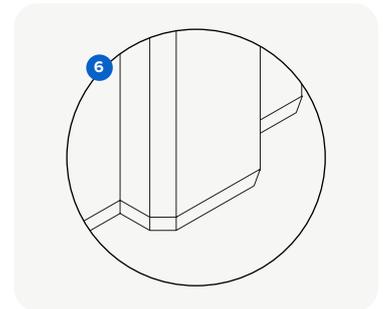
- Planifica un margen de tolerancia estándar en el molde para el posacabado y para ajustar el tamaño.
- Imprime un conjunto de moldes para tener controladas las desviaciones dimensionales y compénsalas en el modelo CAD del molde.



Parte frontal del molde



Parte posterior del molde



### Métodos para maximizar la vida útil del molde:

1. Abre el canal para reducir la presión del interior de la cavidad.
2. Cuando sea posible, diseña un lado de la pila para que sea plano, mientras que el otro lado lleve el peso del diseño. De este modo, se reduce la probabilidad de que los bloques queden mal alineados y el riesgo de rebaba.
3. Incluye grandes conductos de aire desde el borde de la cavidad hasta el borde del molde, para que el aire pueda escapar. Esto genera un mejor flujo hacia el interior del molde, minimiza la presión y mitiga la rebaba en la zona del canal para reducir el tiempo de ciclo.
4. Evita las secciones transversales delgadas: un grosor de superficie de menos de 1-2 mm puede deformarse con el calor.

### Para optimizar la impresión:

5. Ajusta la parte posterior del molde para minimizar el material que contiene: reduce la sección transversal en las zonas que no sirvan de soporte para la cavidad. Ahorrará costes en cuanto a resina y disminuirá los riesgos de fallo de impresión o deformación.
6. Añade un chaflán para retirar la pieza impresa de la base de impresión.
7. Añade pernos de centrado en las esquinas para alinear ambas impresiones.

## OTRAS BUENAS PRÁCTICAS

### Para optimizar la precisión dimensional:

- Imprime los moldes al ras, directamente en la base de impresión y sin soportes para reducir la deformación siempre que sea posible. No usar soportes también ahorra tiempo de impresión, mano de obra y resina.
  - Elige una superficie de base que minimice las proyecciones.
  - Si tu diseño requiere soporte, evita el contacto en las caras de moldeo para mejorar la calidad de la superficie.
- Realiza el posacabado del molde impreso: fresarlo o lijarlo a mano ayudará a encajar las dos mitades del molde y a evitar que se genere rebaba.

### Métodos para maximizar la vida útil del molde:

- Mantén bajas la presión de inyección y la velocidad.
- Proporciona soporte a los machos colgantes, concretamente los de diámetro pequeño.
- Coloca el molde impreso dentro de un armazón metálico o imprime el inserto y mecaniza el exterior del molde para contar con un soporte contra la presión descendente y el calor del inyector. Los marcos de aluminio estándar se pueden obtener de fabricantes de moldeadores por inyección. Otra opción sería usar un sistema de bases para moldes modulares y metálicas, como el [Master Unit Die Quick-Change](#) o soluciones similares, que permiten cambiar y reemplazar con rapidez de insertos impresos para moldes.

### Para facilitar el proceso de desmoldeo y reducir el tiempo de ciclo:

- Usa moldes apilados intercambiables para llevar a cabo nuevos ciclos mientras las otras series se enfrían para reducir el tiempo de enfriamiento, que compensa la baja conductividad térmica de un molde de plástico.
- El enfriamiento se puede acelerar con la aplicación de aire comprimido para enfriar el molde.
- Algunos termoplásticos técnicos requieren un agente de desmoldeo. Los agentes de desmoldeo son fáciles de conseguir y los agentes de desmoldeo de silicona son compatibles con la Grey Pro Resin, la High Temp Resin y la Rigid 10K Resin de Formlabs. Novus Applications usa soluciones de [Slide](#) y Braskem usa el agente de desmoldeo alimentario de silicona MR303 de [Sprayon](#).
- Imprime con una altura de capa pequeña, ya que la superficie lisa ayuda a separar la pieza de plástico del molde (de 50 micras o incluso de 25 micras con la High Temp Resin, si el modelo presenta detalles muy precisos). También mejorará la precisión dimensional.

## ELECCIÓN DE LA RESINA ADECUADA

A partir de estos estudios de caso, te sugerimos que elijas la resina de impresión en función de los criterios de la tabla que incluimos a continuación. Tres estrellas significan que la resina es muy eficaz y una estrella significa que es menos eficaz.

CRITERIOS	HIGH TEMP RESIN	GREY PRO RESIN	RIGID 10K RESIN
Alta temperatura de moldeo	●●●	●	●●
Tiempo de enfriamiento corto	●●●	●	●●
Alta presión	●	●●	●●●
Aumento del número de ciclos para geometrías complejas	●	●●	●●●

# ESTUDIOS DE CASO

En este apartado, examinaremos los estudios de caso de Braskem, Holimaker y Novus Applications.

## Braskem fabricó 3000 tiras de mascarilla en una semana con un inserto para moldes de High Temp Resin

Este caso es un ejemplo de una geometría de inserto muy sencilla, plana y sin detalles finos, con la que reducir el tiempo de enfriamiento era crucial para producir miles de piezas de polipropileno en un tiempo corto.

### CONTEXTO Y DESAFÍOS

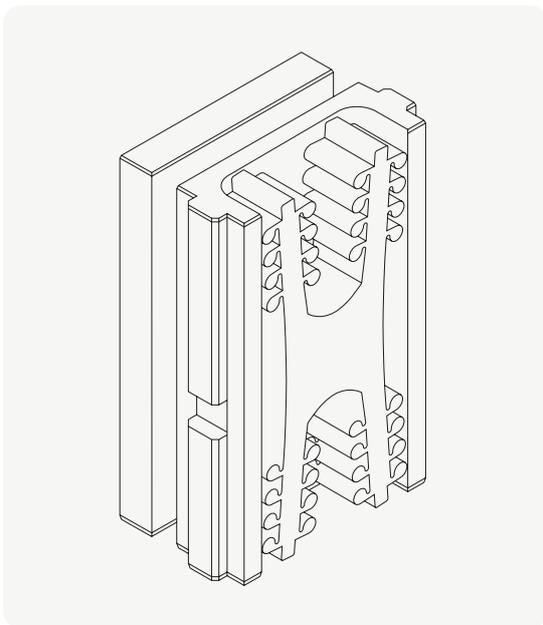
Al ser una de las principales compañías petroquímicas del mundo, Braskem tiene mucha experiencia con el moldeo por inyección. Michelle Sing, Jake Fallon, Collins Azinger y Fabio Lamon exploran oportunidades con la fabricación aditiva para los clientes de Braskem. Uno de sus intereses es ayudar a su comunidad a acceder a herramientas temporales y obtener flexibilidad en la producción con la fabricación de moldes bajo demanda. La necesidad urgente de mascarillas durante la crisis de la COVID-19 hizo que sometieran a ensayo la viabilidad de usar un molde impreso en 3D para el moldeo por inyección. Necesitaban diseñar y producir miles de tiras para mascarillas en una semana para distribuir las a los empleados de Braskem, lo que habría resultado imposible con el moldeo por inyección tradicional.

### PROCESO DE DISEÑO

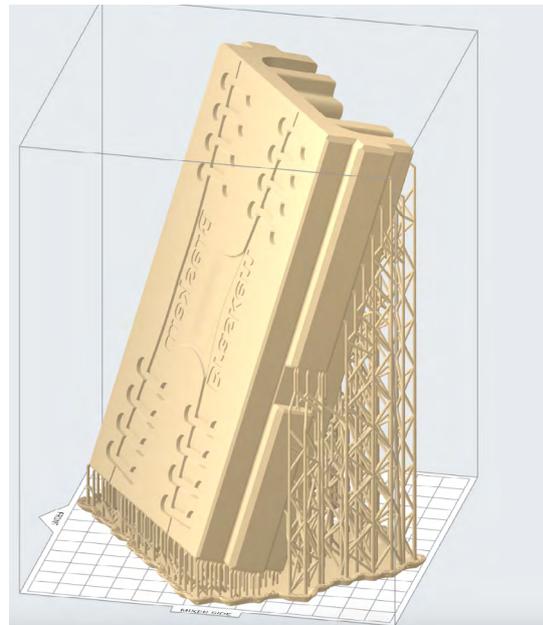
Fallon realizó tres iteraciones de diseño con este inserto para aumentar el número de ciclos antes de romperse, reducir la rebaba para acortar el tiempo de desmoldeo y ahorrar resina.

A continuación, información general sobre las modificaciones:

	MOLDE V1	MOLDE V2	MOLDE V3
<b>Elementos de diseño</b>	Ángulos de desmoldeo	Ángulos de desmoldeo Se ha agrandado el canal	Ángulos de desmoldeo Se ha agrandado el canal Se han añadido grandes respiraderos (para la rebaba) Se ha reducido la sección transversal en algunas zonas
<b>Resultados</b>	500 ciclos	1500 ciclos	1500 ciclos Se ha mitigado la rebaba 28 % de ahorro de resina



*El inserto del molde de un lado bloqueado directamente con una placa metálica*



*El archivo CAD final del inserto cargado en PreForm, el software de preparación de impresiones de Formlabs. La pieza se ha imprimido inclinada, con soportes. Los moldes pequeños también se pueden imprimir directamente en la base de impresión para minimizar el tiempo de posacabado.*

## PROCESO DE IMPRESIÓN

El equipo realizó las impresiones en la Form 3 con la High Temp Resin (V2). Gracias a la función de impresión remota de la Form 3, Fallon pudo trabajar en el archivo CAD desde casa e iniciar la impresión a distancia, para que la pieza estuviera impresa para cuando volviera a la oficina por la mañana. Optó por una altura de capa de 50 micras para obtener un buen equilibrio entre minimizar el tiempo de impresión, obtener un buen acabado de la superficie y favorecer el desmoldeo.

La resina se eligió por su alta temperatura de flexión bajo carga, capaz de soportar una temperatura de moldeo media de 230 °C con un tiempo de enfriamiento corto. La Rigid 10K Resin de Formlabs también podría soportar esta temperatura durante una exposición tan corta, pero el tiempo de enfriamiento sería ligeramente mayor. Las piezas tardaron unas 24 horas en construirse, se lavaron en alcohol isopropílico durante seis minutos, se poscuraron durante 120 minutos a 80 °C, se sometieron a un poscurado térmico durante tres horas a 160 °C y por último se lijaron a mano para adaptarlas al sistema.

## PROCESO DE MOLDEO

El equipo usó una presa completamente eléctrica Cincinnati Milacron Roboshot de 110 toneladas. Braskem estaba usando un inserto impreso por un lado, introducido en el sistema y bloqueado directamente con una placa metálica que ayudó a resistir la alta presión. Inyectó polipropileno genérico, que tiene una buena flexibilidad y tenacidad. Eligió un polipropileno con un alto flujo de fusión para obtener una baja viscosidad y así minimizar la presión de inyección, prolongar la vida útil del molde y evitar la rebaba. Para conseguir una presión de inyección mínima, se mantuvo más alta la temperatura en el cañón con el fin de reducir la viscosidad del plástico fundido. Algunas de las condiciones de moldeo eran las siguientes: un presión de sujeción de 5 toneladas, un tiempo de ciclo de 30 segundos, una velocidad de inyección de 0,5 in/s (1,3 cm/s) y una presión de mantenimiento de 500 psi (35,15 kg/cm<sup>2</sup>) durante ~8 segundos.



## RESULTADOS

El equipo realizó 1500 ciclos de inyección con un molde impreso antes de que se rompiera. Con un ritmo de producción de cuatro tiras por minuto, usaron dos moldes en total para la producción y fabricaron más de 6000 tiras para mascarilla que se distribuyeron entre los miembros de los equipos de Braskem en EE. UU., México y Brasil. El gran número de ciclos se debe en gran medida a la simplicidad estructural de este inserto: es plano con un canal grande, sin relieves complejos y sujeto en un armazón metálico. En este proyecto, Braskem pasó de la idea a la producción en menos de una semana.



El inserto de molde impreso con la High Temp Resin junto a las dos tiras inyectadas en polipropileno.

## ANÁLISIS DE COSTES

Braskem consideró tres posibilidades para producir estas mascarillas. Al elegir el moldeo por inyección con moldes impresos en 3D en sus propias instalaciones obtuvieron un ahorro de tiempo de un 90-94 % y un ahorro de costes de un 80-97 % respecto a las otras opciones.

	IMPRESIÓN 3D DIRECTA IN SITU	MOLDEO POR INYECCIÓN CON MOLDE METÁLICO EXTERNALIZADO	MOLDEO POR INYECCIÓN CON MOLDES IMPRESOS EN 3D IN SITU
<b>Equipo</b>	Impresora FDM	Máquina de moldeo por inyección, polipropileno	Impresora Form 3, High Temp Resin, máquina de moldeo por inyección, polipropileno
<b>Tiempo de producción del molde</b>	Cero	30 días	Un día
<b>Costes de producción del molde</b>	Cero	8200 - 12 330 €	164 €
<b>Tiempo de producción, incluyendo el plazo de fabricación del molde</b>	13 minutos/tira	5-7 minutos/tira	30 segundos/tira
<b>Costes de producción</b>	0,21 €/tira	1,04 €/tira	0,04 €/tira

## Holimaker produce cientos de piezas técnicas con moldes de Grey Pro Resin

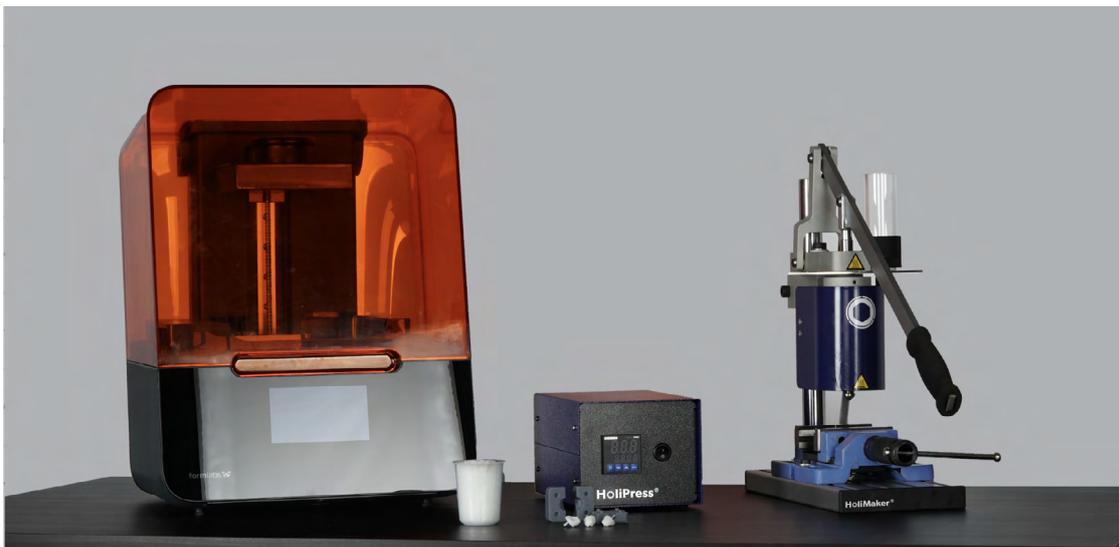
Este caso muestra cómo la Grey Pro Resin puede ser una alternativa a la High Temp Resin en caso de fallo del molde a causa de formas exigentes. Si el tiempo de enfriamiento no es una prioridad, la Grey Pro Resin es una buena opción para incrementar la longevidad de los moldes.

### CONTEXTO Y DESAFÍOS

La empresa emergente francesa Holimaker quiere hacer la fabricación de plásticos más accesible fabricando microherramientas industriales para el procesamiento de plásticos. Su producto estrella, la Holipress, es una máquina de moldeo por inyección manual que permite a los ingenieros y a los diseñadores de productos procesar plástico en su escritorio para crear prototipos o fabricar con bajos volúmenes de producción.

La empresa ofrece estudios de viabilidad a sus clientes para darles la posibilidad de evaluar la tecnología antes de comprarla. En estos estudios, el equipo de Holimaker suele producir un lote pequeño de piezas con la Holipress para someter a ensayo los diseños de los moldes y los materiales inyectados y para realizar demostraciones del proceso de producción general antes de expandirlo a la fabricación de alto volumen de producción.

Holimaker usa moldes impresos en 3D en el 80-90 % de su actual proyecto. Nos reunimos con el director gerente Aurélien Stoky y el director de marketing Vivien Salamone para saber cómo combinan ambas tecnologías.



*La Holipress junto a la impresora Form 3*

"El principal obstáculo del moldeo por inyección es fabricar el molde. Para democratizar el moldeo por inyección y hacerlo accesible para todo el mundo, debíamos encontrar una tecnología complementaria capaz de producir nuestro molde. La impresión de sobremesa era perfecta para hacerlo. Combinamos la flexibilidad de la impresión 3D con la productividad y la calidad del plástico moldeado por inyección", nos contaron Stoky y Salamone.

Holimaker ha investigado alternativas para la fabricación de moldes. Para los pedidos de más de mil piezas, usan un molde de aluminio mecanizado, pero para cantidades más pequeñas, usan moldes impresos en 3D con su prensa. En algunos casos combinan los dos tipos de una forma parecida a la de Braskem: para grandes volúmenes de producción con geometrías exigentes, mecanizan el exterior del molde e imprimen en 3D el inserto, que se reemplaza con el tiempo.

## PROCESO DE DISEÑO

Por lo general, el equipo realiza iteraciones de tres o cuatro modelos en cada proyecto para optimizar el diseño. Siguen las recomendaciones generales de moldeo, como incluir ángulos de desmoldeo. La mayoría de su trabajo es con piezas pequeñas y añaden respiraderos de 0,1 mm y canales de salida de 0,5 mm. Además, respetan algunas reglas de impresión como incluir chaflanes que ayuden a extraer la pieza de la base de impresión, algunos pernos de centrado para alinear ambas impresiones y muescas que faciliten la apertura con un destornillador. Suelen usar moldes de 10 mm de grosor y evitar las secciones transversales delgadas. Las piezas que tienen solo 1-2 mm de grosor no pueden soportar las altas temperaturas.

## PROCESO DE IMPRESIÓN 3D

El equipo de Holimaker imprime los moldes directamente sobre la base de impresión, con una altura de capa de 50 micras. Esta orientación no solo ahorra tiempo de impresión y resina prescindiendo de estructuras de soporte, sino que el equipo también observó una mejor precisión dimensional en las superficies del molde tras el curado. Si se producen errores dimensionales, suele ser en la parte exterior del bloque que se posacaba mediante un lijado a mano para encajar en los armazones.

Holimaker prefiere la Grey Pro Resin para la mayoría de sus estudios. Este material presenta una menor resistencia a la temperatura que la High Temp Resin, pero es menos frágil y permite un mayor número de ciclos para geometrías difíciles. La Grey Pro Resin también se puede perforar y manipular repetidamente, además de usarse en una prensa industrial estándar.

## PROCESO DE MOLDEO

El equipo usa la máquina de moldeo por inyección [Holipress](#) en todos sus estudios. Es una pequeña prensa manual fácil de usar y disponible por una décima parte del coste de una prensa industrial. Los moldes se colocan en un armazón prefabricado de aluminio que soporta mejor la presión y asegura que la boquilla de inyección no entre en contacto directo con el molde impreso.

Con los moldes impresos de Formlabs, Holimaker inyecta una amplia gama de termoplásticos con diferentes niveles de dureza Shore (desde 40A a 90A) y un tiempo de ciclo de tres a cinco minutos. El número de ciclos por molde varía desde alrededor de 10 piezas con una poliamida inyectada a 270 °C hasta cientos de piezas con un polipropileno, elastómero termoplástico o poliacetal inyectado a temperaturas menores. Holimaker está desarrollando un sistema de enfriamiento integrado para ayudar a reducir el tiempo de enfriamiento antes del desmoldeo.



*Tacos de fútbol inyectados en la Holipress con moldes impresos mediante la Grey Pro Resin.*

## RESULTADOS

El equipo eligió la impresión 3D por SLA de Formlabs la calidad de las piezas y su facilidad de uso. "La calidad de nuestras piezas inyectadas es muy buena gracias a los moldes de alta calidad. Y cuando inicio una impresión por la noche, estoy casi seguro de que habrá un buen molde esperándome al día siguiente", según ellos.

Stoky y Salamone habían usado antes otra tecnología de impresión de escritorio, pero habían observado demasiada deformación en las impresiones.

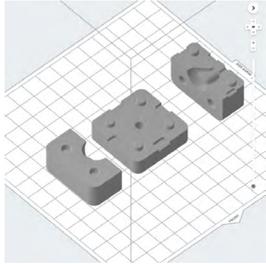
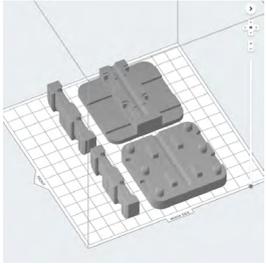
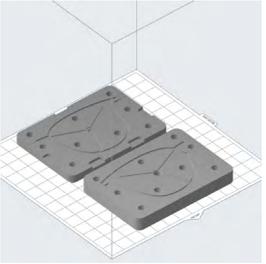
"Las piezas de Formlabs ofrecen una precisión dimensional y un acabado de la superficie excelentes. Si hay algún error dimensional, es muy leve, y al ser uniforme en los tres ejes, podemos predecirlo y posacabarlo. Con otras impresoras de escritorio no podíamos controlar la deformación", afirma Stoky.

El equipo también agradece el proceso de trabajo sencillo, que es fácil de aprender y de usar y abarca la Form Wash y la Form Cure, que automatizan completamente el proceso de lavado y curado. Pueden pasar desde el diseño a piezas moldeadas en un día laborable y realizar además iteraciones del diseño para optimizar del modelo.

*"No es raro que diseñemos el molde por la mañana y lo imprimamos durante el día, y podemos probar la inyección por la tarde para modificar el modelo CAD e iniciar una segunda impresión por la noche",*

**Aurélien Stoky**

Holimaker nos mostró algunos casos de sus clientes para darnos una idea mejor de las piezas, las condiciones de moldeo y los resultados de sus estudios de viabilidad.

EMPRESA	SMART POWER	FERME 3D	FABRICANTE DE GAFAS
Producto	Tacos de fútbol	Hebilla de pantallas de protección facial	Marco de gafas
¿Qué necesitaban?	Prototipos de preproducción en distintos termoplásticos para someterlos a ensayo y elegir el material final para la producción en serie.	Someter a ensayo una solución para producir una serie de decenas de miles de piezas en un tiempo reducido.	Someter a ensayo la compatibilidad de los materiales para gafas con los moldes impresos para producir una serie de 200 marcos de gafas.
Molde en CAD			
Pieza inyectada			
Materiales inyectados	Poliacetal (180 °C), Poliamida 6.6 (270 °C), Polipropileno (210 °C)	Polipropileno (de tipo alimentario, 220 °C)	Acilonitrilo estireno acrilato (240 °C), Poliamida 6.6 (270 °C)
Número de piezas para un molde	60	100	70
Tiempo de ciclo	Dos minutos	Dos minutos	Dos minutos
Plazo de producción del proyecto	Una semana	Una semana	Dos semanas

## ANÁLISIS DE COSTES

	MOLDE DE METAL MECANIZADO EXTERNALIZADO	MOLDE IMPRESO EN 3D IN SITU
Equipo	Holipress, termoplásticos	Holipress, termoplásticos, impresora Form 3, Grey Pro Resin
Tiempo de producción del molde	De tres a cinco semanas	Una semana
Costes de producción del molde	4-5X	1X

## Novus Applications inyecta cientos de tapas roscadas con un molde de tres piezas de Rigid 10K Resin

Este caso investiga el comportamiento del último material para ingeniería de Formlabs, la Rigid 10K Resin. Gracias a su gran rigidez y resistencia térmica, la Rigid 10K Resin aumentará la longevidad de los moldes más intrincados que soporten altas presiones y temperaturas.



*El molde de tres piezas impreso con las tapas inyectadas en polietileno.*

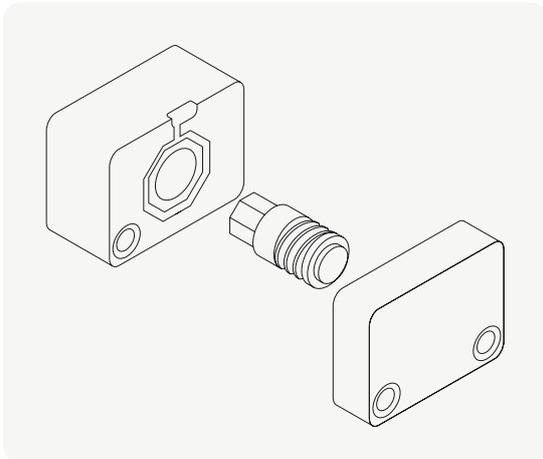
### CONTEXTO Y DESAFÍOS

Novus Applications es una empresa de desarrollo de productos centrada en bienes de consumo. Con la ayuda de su experiencia en moldeo por inyección e impresión 3D, llevan a cabo estudios de diseño orientado a la fabricación y de moldeabilidad para sus clientes. La velocidad es crucial para el equipo, ya que necesita fabricar rápidamente series de prototipos de bajo volumen de producción. Realizaron un estudio interno para poner a prueba la viabilidad de usar un molde impreso en 3D en el proceso de moldeo por inyección para fabricar un pequeño lote de tapas. Estaban examinando específicamente la estabilidad dimensional y la longevidad de los moldes impresos, es decir, cómo se comportarían bajo el calor y la presión del proceso y cuántos ciclos de impresión se podían esperar de un molde.

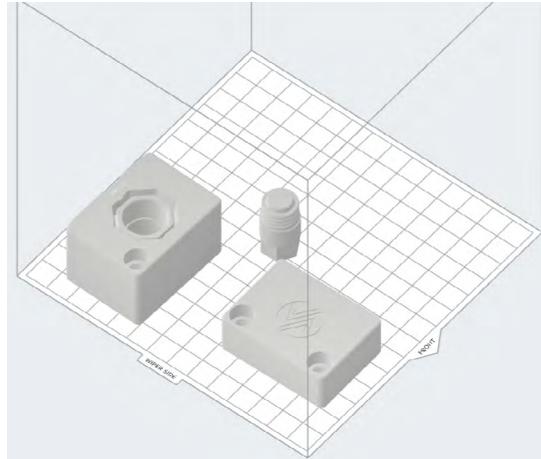
### EL PROCESO DE DISEÑO

Mark Bartlett, fundador y presidente de Novus Applications, quería que su equipo creara una tapa genérica con una rosca interna, aplicable tanto a tubos como a botellas. Requiere un complejo molde múltiple de tres piezas con un macho dinámico y roscado, que se puede trasladar a aplicaciones complicadas del moldeo por inyección. Bartlett siguió las recomendaciones habituales para diseñar un molde para el moldeo por inyección. Concretamente, incluyó ángulos

de desmoldeo para facilitar el proceso de separar la pieza del molde, añadió soportes a los machos colgantes siempre que fue posible y evitó que quedaran secciones transversales muy delgadas. En un esfuerzo por reducir la presión en la cavidad, diseñó canales amplios e incorporó respiraderos para sacar el gas del molde. Por último, previó usar material extra para refinar los bloques en un paso del posacabado.



*Esto es un molde de tres piezas con una cara B móvil (izquierda), un macho roscado de movimiento lateral (centro) y una cara A estática (derecha).*



*El archivo CAD final del molde cargado en PreForm, el software de preparación de impresiones de Formlabs.*

## EL PROCESO DE IMPRESIÓN

Bartlett estaba buscando una pieza impresa lo suficientemente rígida como para soportar la presión del proceso sin perder la capacidad de reflejar los detalles precisos del diseño. Dado que ya había usado antes la tecnología de impresión FDM, necesitaba la mayor resolución que podía ofrecerle la tecnología SLA. Eligió la Rigid 10K Resin de Formlabs por su extraordinaria rigidez, su gran resistencia a la rotura por tracción y módulo de tracción y su excelente estabilidad dimensional. También se tuvo en cuenta la High Temp Resin de Formlabs, pero no ofrecía un rendimiento tan bueno para los detalles pequeños y necesitaba más las propiedades mecánicas de la Rigid 10K Resin que las propiedades térmicas de la High Temp Resin.

Los moldes se imprimieron por la noche en la impresora Form 3 con la Rigid 10K Resin, a una altura de capa de 50 micras. Se imprimieron machos adicionales de acción lateral por si había algún fallo durante el desmoldeo. A continuación, se lavaron dos veces durante 10 minutos en un baño de alcohol isopropílico y se poscuraron. Recomendamos poscurar las piezas de Rigid 10K Resin en la Form Cure durante 60 minutos a 70 °C y calentar después la pieza a 125 °C durante 90 minutos para obtener una mayor temperatura de flexión bajo carga. Después, se posacabaron las piezas para alcanzar el tamaño deseado. Mark preparó los moldes con márgenes de tolerancia adicionales para que las superficies y elementos clave del molde se pudieran refinar mediante operaciones de posacabado y conseguir un encaje perfecto dentro de la prensa. Las operaciones comunes de posacabado incluyen taladrar o escariar orificios y lijar o fresar las caras para obtener las tolerancias ajustas necesarias para reducir los defectos de impresión.

## EL PROCESO DE MOLDEO



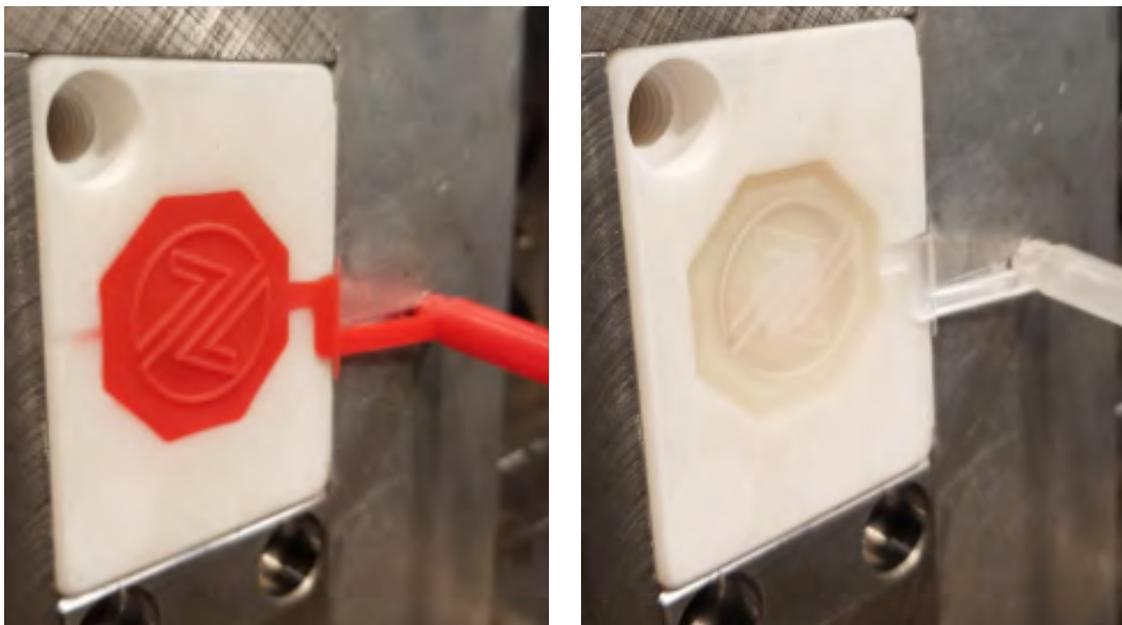
Los moldes impresos se colocaron en un armazón metálico antes de la inyección. El macho con movimiento lateral se introdujo en la cara B (izquierda), que se bloqueó con la cara A estática (derecha).

El equipo usó una presa completamente eléctrica Sumitomo de 50 toneladas. Los moldes impresos se colocaron en un armazón metálico prefabricado antes de la inyección. Se inyectaron tres materiales distintos: un polipropileno de baja fusión (P5M6K-048 Rojo), un polipropileno de alta fusión (PP1013H1 Blanco), y polietileno de alta fusión (Marlex 9018 HDPE). El polipropileno es muy fácil de procesar y no requiere una presión muy alta. La tabla de abajo muestra las condiciones de inyección usadas para un molde impreso.

MATERIAL INYECTADO	P5M6K-048 ROJO	PP1013H1 BLANCO	MARLEX 9018 HDPE
Índice de fusión	35	7,5	20
Temperatura de la boquilla	199 °C	210 °C	204 °C
Presión inyectada	6800 psi	9500 psi	7200 psi
Tiempo de ciclo	48 s	50 s	68 s
Número de ciclos de inyección	30	30	30
Presión de fallo		11 500 psi	

Los tiempos de ciclo eran más lentos que en un proceso de moldeo por inyección tradicional, incluida la inyección, el enfriamiento y el desmoldeo manual. La velocidad de impresión se redujo para mantener la presión baja. Con el fin de acortar el tiempo de enfriamiento del molde de plástico, Bartlett imprimió múltiples machos y no trabajó de forma consecutiva para dejar aparte los que se estuvieran enfriando. No disponía de canales de refrigeración de agua, pero el armazón de aluminio podía absorber una parte del calor. El proceso de desmoldeo es un paso arriesgado, ya que el molde puede resultar dañado durante la operación. El equipo extraía y desenroscaba la pieza del macho de movimiento lateral de forma manual y debía tener cuidado para no romper el macho durante la separación. En primer lugar, se aplicó un agente de desmoldeo para facilitar el proceso, pero no resultó necesario, ya que los ángulos de desmoldeo eran suficientes. No se constató que hubiera ninguna reacción química entre la resina imoresa y los materiales inyectados.

## RESULTADOS



*La cavidad del molde tras la inyección de los materiales P5M6K-048 Rojo (izquierda) y PP1013H1 White (derecha).*

El equipo mantuvo la presión de inyección por debajo de 11 500 psi (808,5 kg/cm<sup>2</sup>) y realizó aproximadamente cien ciclos de inyección con un molde. El plazo de producción de este proyecto fue de en torno a dos días, desde la idea hasta la producción. El equipo diseñó el molde en unas pocas horas, lo imprimió por la noche, inyectó las piezas e invirtió otro medio día en el desmoldeo. Se usó solo un modelo de CAD, pero piezas más complicada requerirían unos días más para realizar iteraciones de diseños.

La siguiente tabla muestra mediciones sobre la pieza final inyectada en tres materiales distintos. En cada caso, el equipo midió 20 diámetros del interior de las tapas roscadas para evaluar la repetibilidad de este proceso. Podemos observar una desviación media respecto al diámetro medio de  $\pm 0,04$  mm en esas 60 tapas, lo que refleja una buena estabilidad dimensional.

MATERIAL	P5M6K-048 ROJO	PP1013H1 BLANCO	MARLEX 9018 HDPE
Media	13,072 mm	13,207 mm	13,134 mm
Número de ciclo	Desviación (mm)	Desviación (mm)	Desviación (mm)
1	0,009	0,052	-0,003
2	0,060	0,027	0,048
3	0,034	0,001	-0,053
4	0,136	0,027	0,099
5	0,009	-0,024	0,074
6	-0,017	-0,024	-0,003
7	-0,017	-0,100	-0,028
8	-0,042	0,052	-0,028
9	-0,042	-0,050	-0,003
10	0,009	-0,075	0,023
11	0,009	0,103	-0,028
12	-0,067	0,027	-0,028
13	0,009	-0,024	0,048
14	-0,042	-0,024	0,048
15	0,085	0,077	-0,053
16	0,009	0,052	-0,028
17	-0,042	-0,050	-0,053
18	-0,067	-0,075	0,023
19	0,009	0,052	-0,003
20	-0,042	-0,024	-0,053
Media de la desviación absoluta	0,038	0,047	0,036

## ANÁLISIS DE COSTES

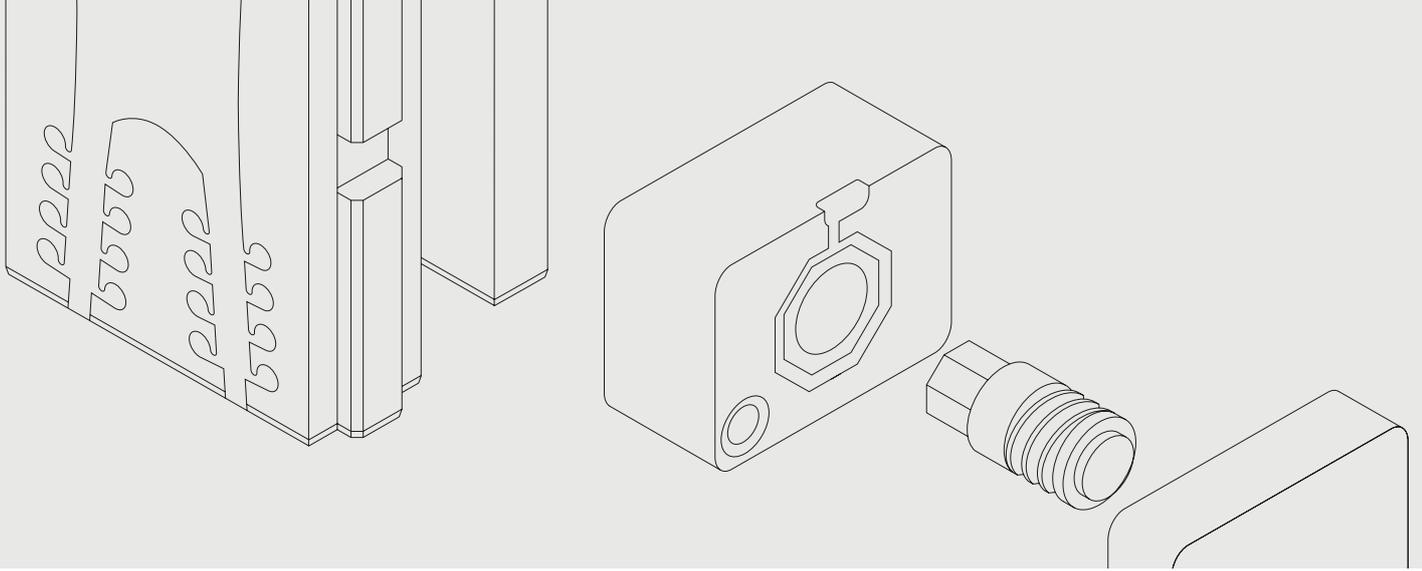
*“¿Si mi cliente solo necesita 20 piezas, por qué debería necesitar un molde de aluminio? Con la tecnología de impresión 3D, el equipo muestra una curva de aprendizaje mucho más rápida y la producción requiere menos atención. Es algo que debemos específicamente a la facilidad de uso de la Form 3.”*

**Mark Bartlett**

Con este proceso de trabajo, Novus ha ahorrado mucho tiempo y simplificado un proceso que antes era complejo. Normalmente, la empresa habría mecanizado el molde in situ a partir de un bloque de acero o de aluminio, lo que resultaría mucho más laborioso. Llevaría unos días más hacerlo y requeriría software de alta gama con usuarios bien formados. Debido a que el equipo y los materiales que se usan son caros y el coste de producción del molde resultaría mucho más elevado. Bartlett calcula que para este proyecto, imprimir en 3D el molde costaría menos de la mitad que mecanizarlo in situ.

“Siempre depende de la pieza en la que se trabaje. Puedo imprimir formas complejas con precisión, en mucho menos tiempo del que tardaría en fabricarlas de forma mecánica”, dijo Bartlett.

	MOLDE DE METAL MECANIZADO IN SITU	MOLDE IMPRESO EN 3D IN SITU
Equipo	Máquina y software CNC, máquina de moldeo por inyección, polipropileno, PEAD	Impresora Form 3, Rigid 10K Resin, máquina de moldeo por inyección, polipropileno, PEAD
Tiempo de producción del molde	Dos días	Un día
Coste de producción del molde	2X	1X



## Conclusión

Normalmente hablamos de la impresión 3D y del moldeo por inyección como dos técnicas opuestas, pero no siempre tienen que competir la una con la otra. Al imprimir las piezas directamente en 3D o al utilizar moldes impresos en 3D para el moldeo por inyección para la creación de prototipos y la producción de bajo volumen, tu empresa puede aprovechar los beneficios de ambas tecnologías. Gracias a esto, ahorrarás tiempo y dinero con tu proceso de fabricación y podrás lanzar al mercado los productos con más rapidez. Con este proceso híbrido es posible acortar el tiempo que hay entre el concepto y la producción, generando una serie de piezas con termoplásticos tradicionales.

Con el reciente lanzamiento de la Form 3L, la impresora 3D SLA de gran formato, puedes expandir este proceso hasta usar moldes mayores y trabajar con muchas más aplicaciones. Los usuarios también están explorando técnicas como el galvanizado o el montaje de un molde múltiple con varios materiales para expandir las capacidades de los moldes de series cortas.

Gracias al moldeo por inyección, los ingenieros y los diseñadores de productos pueden producir series cortas de piezas de uso final o prototipos con los que someter a ensayo el primer material que se adoptará en la producción en serie. Con la impresión 3D por SLA de escritorio, ahora pueden lograr que sea rentable en unos pocos días.

¿Tienes dudas acerca de cómo utilizar una impresora SLA para el moldeo por inyección u otras aplicaciones de ingeniería y fabricación? Ponte en contacto con uno de nuestros especialistas en soluciones o solicita una muestra gratuita de uno de los tres materiales que aparecen en este libro blanco.