

# El efecto de la presión y la temperatura en la calidad y dimensiones de la parte

Por Jeremy Williams, Consultor/Entrenador

El moldeo por inyección es un sistema complejo de maquinaria, dinámica de fluidos y conductividad térmica. Y eso es solo la punta del iceberg. Vamos a simplificarlo. Dividamos el molde en dos partes simples, el intercambio de calor y el recipiente de presión, y revisemos cómo pueden afectar la calidad y las dimensiones generales de la parte.

## Intercambio de calor

Primero, revisemos cómo el plástico hace un viaje desde la forma de gránulos a un líquido o un sliquid (un término semi-científico que identifica una sustancia que no es un líquido o sólido verdadero) en la unidad de inyección.

Para aquellos que no están familiarizados con las unidades térmicas británicas (BTU), representa la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua líquida pura en un grado Fahrenheit. Para derretir el plástico, hay una cierta cantidad de contenido de BTU que debe agregarse a un semicristalino, como el polipropileno, para romper esa estructura y convertirla en un líquido real. Romper estas estructuras cristalinas requiere una enorme cantidad de energía en comparación con la resina amorfa. Los materiales amorfos, como el policarbonato, técnicamente nunca se funden, solo se vuelven más suaves.

La mayoría de nosotros no pensamos en procesar plástico en contenido de BTU, sino que pensamos en la temperatura de fusión y de desviación de calor (HDT). Esa es la temperatura a la que una muestra de polímero o plástico se deforma bajo una carga específica. Desde una perspectiva dinámica térmica, solo necesitamos eliminar aproximadamente el 40% de las BTU requeridas para derretir o ablandar el plástico antes de que sea expulsado del molde. El 60% restante del

contenido de BTU se pierde en la atmósfera durante el enfriamiento posterior al molde. No entraremos en las ecuaciones necesarias para comprender la energía que se necesita para derretir los plásticos, pero a continuación, en la Figura 1, podemos ver la diferencia en el enfriamiento basado únicamente en la selección del material.

*t* enfriamiento

$$= \frac{h^2}{2\pi \times \alpha} \times \text{plg} \left[ \frac{4}{\pi} \times \left( \frac{T \text{ derretimiento} - T \text{ molde}}{T \text{ expulsión} - T \text{ molde}} \right) \right]$$

$$\text{Difusividad térmica } (\alpha) = \frac{\text{Conductividad térmica } (\lambda)}{\text{Densidad } (\rho) \times \text{Calor Específico } (C_p)}$$

	Polipropileno	Policarbonato
h (grosor pulg.)	0.100	0.100
Fusión (°F)	425	545
Molde (°F)	80	180
Expulsar o HDT (°F)	122	284
Conductividad térmica (BTU/hr·pie·°F)	0.116	0.108
Densidad (lb/pie <sup>3</sup> )	55.69	74.88
Calor específico (BTU/lb·°F)	0.683	0.438
Tiempo de enfriamiento (segundos)	28.90	18.1

Figura 1: Semi-Cristalino vs. Comparación del tiempo de enfriamiento amorfo

Cuando se revisa la temperatura del plástico fundido en comparación con la temperatura de expulsión, hay una disminución promedio de 62% en la temperatura (que se muestra en la Tabla 1). Durante el desarrollo del proceso, es mucho más fácil medir las temperaturas de fusión y de expulsión de partes.

	Polipropileno	Policarbonato
Expulsar o HDT (°F)	122	284
Fusión (°F)	425	545
Porcentaje eliminado	72%	52%

Figura 1: Semi-Cristalino vs. Comparación de temperatura amorfa

La eficacia con la que se elimina el 40% se basa en última instancia en el lugar donde se colocan las líneas de agua, el tipo de metal utilizado en el molde y la capacidad de la parte de plástico de ceder su calor

(conocida como conductividad térmica). En este escenario, el plástico es un aislante y es el factor primordial para lograr la eficiencia. Mientras mejor trabajemos como ingenieros para diseñar el molde (que se muestra a continuación en la Imagen 1), más rápido será el tiempo del ciclo. En un mundo ideal, no habría variación de temperatura en la parte cuando se expulsa del molde.

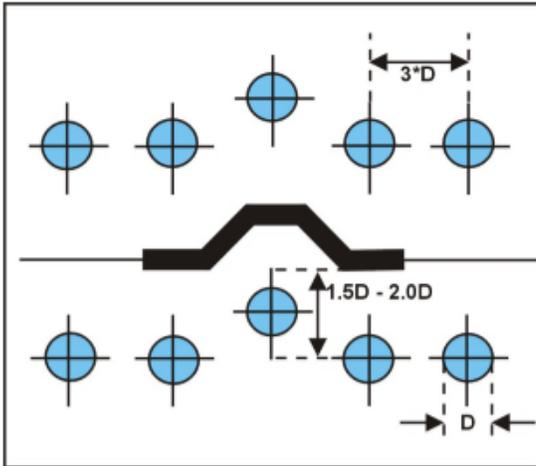


Imagen 1: Punto de partida para el diseño del canal de enfriamiento

Sin embargo, sabemos que en la mayoría de los casos esto no es factible. En cambio, un diferencial de temperatura razonable de menos de 20°F producirá resultados aceptables. En la mayoría de las circunstancias, los hundimientos, huecos y la variación en el nivel de brillo serán detectables inmediatamente después de la expulsión. Cuando la temperatura de la pieza después de la expulsión supera los 20°F, existe la posibilidad de que termine con deformación. Con ciertos materiales como el polioximetileno, debemos ser conscientes de que este congimientto posterior al molde a veces puede tardar días o semanas en estabilizarse. A continuación (en la Imagen 2), una parte con secciones gruesas muestra un considerable diferencial de temperatura en la expulsión.

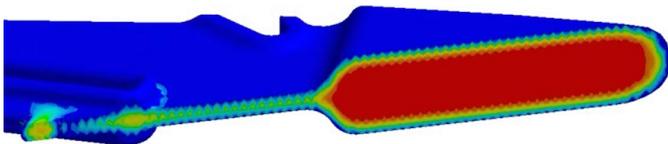


Imagen 2: Fuselaje de avión de juguete

### Recipiente de presión

El molde es un recipiente a presión, y su influencia en la calidad de la parte es enorme. Vamos a dividir este sistema en secciones: el sistema de suministro de masa

fundida y la cavidad. Dado que la primera interacción que tiene el plástico con el molde es el sistema de entrega de masa fundida, vamos a comenzar aquí.

Cuando observamos el sistema de suministro de masa fundida, es importante no reducir el tamaño del sistema para garantizar que solo haya una pérdida de presión mínima desde la máquina de boquillas hasta la compuerta. En la mayoría de los casos, el semicristalino necesita el tamaño más pequeño, seguido de amorfo, y la parte posterior sería de vidrio o fibra de cualquier tipo. A un nivel alto, podemos comenzar a observar el índice de flujo de fusión (abrev. en inglés: MFI) (que se muestra en la Tabla 2) de estas resinas. Podemos ver en general una viscosidad de cada resina particular y los rangos de MFI. Cuanto más baja sea el MFI, más grande será el tamaño del sistema para un llenado y empaque efectivo de la cavidad.

Resin	Low Viscosity	Medium Viscosity	High Viscosity
ABS		14	1
CAP	*		
HDPE	68		1
LDPE	23	2	
PC			25
PEI			18
PETG		*	
PMMA		24	1
PPA			*
PPO		18	3
PSU	40	2	
PUR	*		20
TPE	*		
PVC		20	3
SAN		27	4
TPO		41	2
LCP		*	
PA	*		
PBT		*	
PET		*	
POM		23	1
PP	53	2	
PPS			*
PBT/PC		15	5
PC/ABS		25	2

Tabla 2: Rangos de viscosidad y MFI

Al diseñar el sistema de entrega de masa fundida, se recomienda trabajar desde la parte hacia la máquina de moldeo. Las compuertas son el punto de partida; si son demasiado pequeñas, aumenta la presión de llenado y reduce la capacidad de empaquetar la cavidad. También puede aumentar la velocidad de corte, lo que puede conducir a la degradación de la cadena de polímero.

Las partes con alta viscosidad y bajo MFI probablemente necesitarán más de una compuerta para garantizar que la pérdida de presión a través de la cavidad no sea demasiado grande. Una vez que se determine el tipo, tamaño y cantidad correctos de la puerta, el viaje de regreso a la boquilla de la máquina continúa. Las longitudes del canal, la caída o el colector deben mantenerse lo más cortas posible entre las cavidades,



asegurándose de que todavía haya un espacio adecuado para las líneas de agua, como se mencionó anteriormente. Cuanto más alta sea la cavitación, tanto más difícil será manejar la pérdida de presión.

Por último, es aconsejable mantener una longitud de entrada del canal frío o de la entrada del canal caliente por debajo de 2.000 pulgadas. A continuación (en la Imagen 3) hay un ejemplo de múltiples cavidades familiares, que exhibe longitudes de flujo muy diferentes que resultan en grandes cambios en la presión y en la velocidad de enfriamiento en la cavidad del molde.

Jeremy Williams tiene más de 19 años de experiencia en la industria de los plásticos al servicio de las industrias médica, automotriz, de muebles y electrodomésticos. Anteriormente, trabajó como ingeniero principal, llevando proyectos desde el concepto de diseño hasta los productos vendibles. Jeremy obtuvo su certificación Master Molder II (Moldeador Maestro II) en 2011, se convirtió en RJG Certified Trainer (Entrenador Certificado) en 2012 y comenzó en RJG en 2015. Además de su amplia experiencia en la fabricación, posee títulos en plásticos y negocios. Actualmente Jeremy es un Consultor/Entrenador con TZERO®. TZERO®.

Sabemos que la presión más alta en el proceso de moldeo por inyección está en la boquilla de la máquina, mientras que la más baja se encuentra al final del llenado dentro de la cavidad del molde. Para minimizar los defectos como hundimiento, vacío, deformación, disparos cortos e inestabilidad dimensional, nosotros, como ingenieros, tenemos que gestionar la pérdida de presión en todo este sistema.

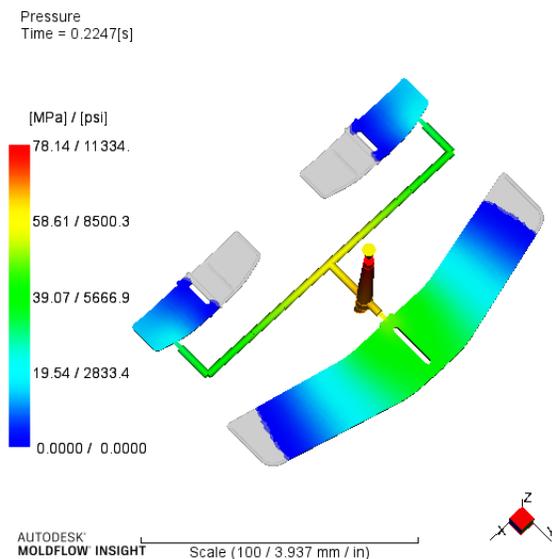


Imagen 3: Familia de cavidades múltiples

## Conclusión

Como podemos ver a través de estos pocos ejemplos, es fundamental controlar la pérdida de presión y la temperatura desde la punta de la boquilla de la máquina de moldeo hasta el final de la cavidad. De lo contrario, podría provocar variación dimensional e inestabilidad.