

Estudio de caso: Predicción de simulación vs. real

Por Jeremy Williams, Consultor/Entrenador de RJG®

Con la tecnología actual, hay muy pocas razones por las que no somos capaces de poder predecir con cierto grado de certeza el resultado de casi cualquier cosa. Para las piezas moldeadas por inyección, queremos obtener una mirada interior antes de cortar acero ¿Por qué? Afrontemos la realidad: Una vez que las rebabas de acero comienzan a volar, casi todos tienen miedo de hacer un cambio debido al costo y al tiempo que tomará hacerlo. Pero, ¿quién no desea mejorar el diseño y la selección de materiales para evitar problemas dimensionales y estéticos a la vez que ahorra dinero sobre tiempo?

Las simulaciones han avanzado mucho en las últimas 3 décadas, pero si buscamos evitar la variación dimensional, debemos entender qué proporciona el nivel más alto de precisión para poder tomar buenas decisiones de ingeniería.

La precisión de la simulación se basa en 7 factores:

1. Malla
2. Algoritmos
3. Caracterización de Materiales
4. Diseño de Moldes
5. Máquina de Moldeo
6. Procesamiento y Usuario
7. Tipo de análisis

Revisemos cada uno de estos 7 factores y veamos qué tan cerca podemos obtener la realidad para que coincida con la simulación.

Malla

Primero, debemos definir qué es el mallado y cómo funciona. Una forma fácil de describir esto sería lanzar un cubo de 1 "x 1" x 1" en el software y realizar los algoritmos en una sola entidad.

El problema inherente con esto es que el cubo no se ha dividido en partes lo suficientemente pequeñas como

para proporcionar un alto nivel de precisión. Para mejorar la precisión, debemos cortar el cubo en pedazos más pequeños. Cuando separamos el cubo en partes más pequeñas (como se muestra en la Figura 1), podemos aumentar dramáticamente nuestra precisión, ya que el software ahora está realizando cálculos en 27 componentes individuales en lugar de en una sola entidad.

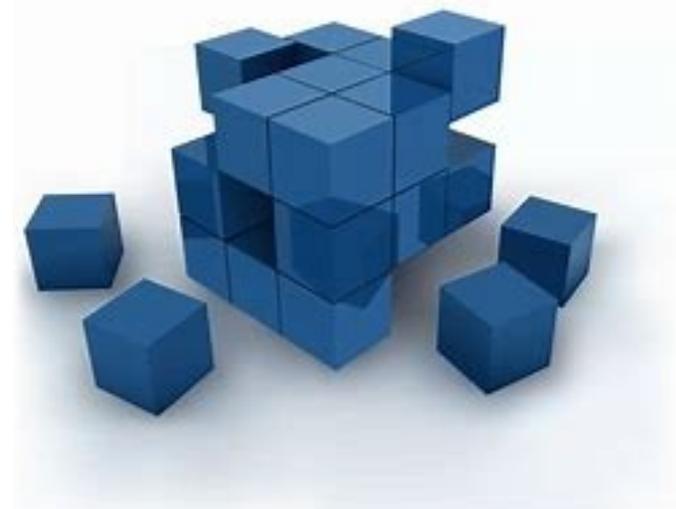


Figura 1: Ejemplo de mayor número de mallas

Al crear una malla, existe un equilibrio entre la precisión y el tiempo que la computadora requiere para realizar los cálculos. En la mayoría de los casos, 500,000 elementos de malla pueden proporcionar resultados en varias horas, mientras que 12,000,000 de elementos pueden tardar casi 36 horas en completarse.

A continuación, en la Figura 2, la iteración de simulación de Pod de Diseño (Design Pod) se ejecutó en 6 horas. Solo tenga en cuenta que el tiempo de cálculo se basa en las CPU disponibles y en la computación en la nube; estos valores pueden reducirse drásticamente.

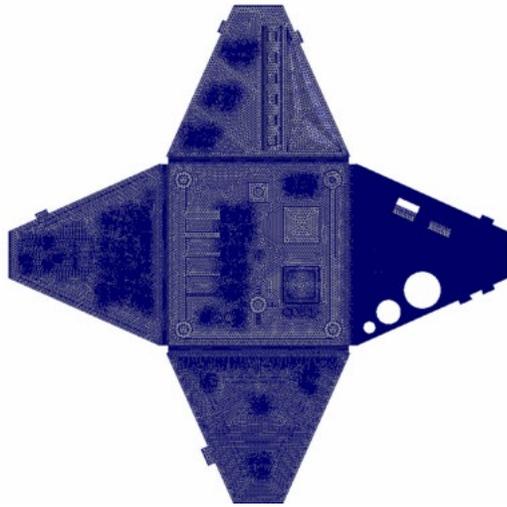


Figura 2: Pod de Diseño con 1.5 millones de elementos. Se pueden omitir los radios pequeños o los filetes, pero es crucial modelar todas las características dentro de la parte para asegurar que no se produzcan disparos cortos en pestañas de sujeción o hilos.

La Figura 3 muestra las capas dentro del grosor del Pod de Diseño. Estos son críticos para lograr una mayor precisión dentro de la simulación, lo que evita el cambio dimensional durante el proceso de enfriamiento. Las temperaturas del plástico disminuyen rápidamente debido al contacto directo con un molde frío durante la producción. Las capas de la pieza moldeada se forman muy rápidamente, y las tasas de transferencia de calor cambian dramáticamente con el grosor de cada capa, impactando directamente los gradientes de presión, las tasas de encogimiento y las dimensiones, por nombrar unos cuantos.

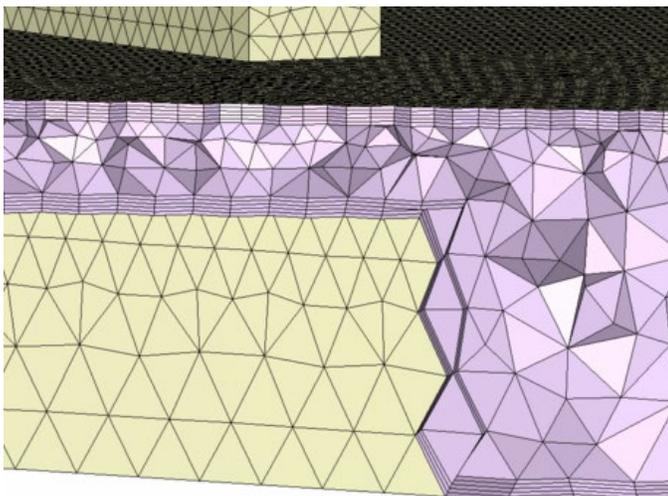


Figura 3: Pod de Diseño con 10 capas de contorno (5 por lado)

Algoritmos

Dentro del software, hay cantidades masivas de cálculos que ocurren en paralelo para proporcionar resultados

precisos. Estos incluyen (pero no se limitan a) la presión, temperatura y velocidad. La Figura 4 es un cálculo relativamente simple para el enfriamiento que no toma en cuenta todas las variables requeridas para una simulación de calidad.

Antes de analizar las ecuaciones, primero debemos aclarar las variables:

C_p : calor requerido para elevar la temperatura de

la unidad de masa de una sustancia dada por una cantidad

λ : capacidad del material para conducir el calor.

ρ : compacidad de una sustancia

h : Grosor de pared

t : tiempo

T : temperatura

t enfriamiento

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

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

Figura 4: Ecuaciones de Enfriamiento y Difusividad Térmica

Debemos recordar que hay varias ecuaciones realizadas en el mismo elemento varias veces a lo largo del análisis. A medida que la parte continúa enfriándose, la capa de la piel se vuelve más gruesa y la capacidad de transferir calor se vuelve cada vez más difícil.

Caracterización de Materiales

Cuanto más se sepa sobre el comportamiento del material bajo diferentes presiones, velocidades y temperaturas, tanto mejores serán los resultados. Hay cientos de propiedades de materiales que impactarán en la precisión y cientos de miles de materiales en el mercado. Por lo tanto, no siempre es probable que el material que usted está moldeando esté disponible dentro del software de simulación. En general, cuando nuestro grupo TZERO® trabaja en un proyecto, el software que utilizamos tiene una gran importancia en cuanto a si tiene o no el material seleccionado disponible.

Un material completamente caracterizado es aquel que se ha probado en todas las entradas de datos requeridas por el paquete de software **con** todos los aditivos incluidos. Sin aditivos como el color, los agentes de deslizamiento, los estabilizadores térmicos, etc., la precisión puede disminuir. En ocasiones, no se realizarán todas las pruebas requeridas y las compañías de software agregarán valores genéricos de la familia base de resinas. Esto no es necesariamente una mala práctica, pero existe la posibilidad de que los resultados tiendan a ser altos o bajos.

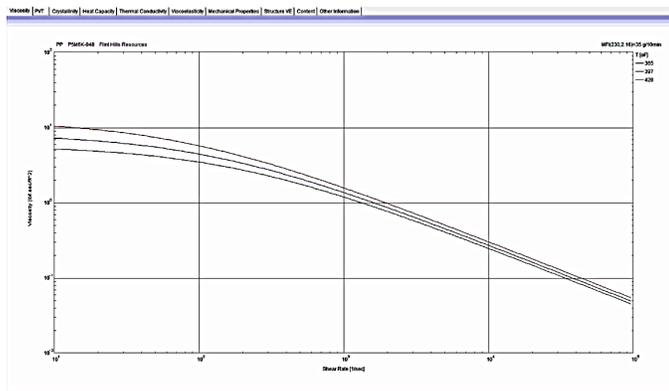


Figura 5: Archivo de material de software de simulación

Diseño de Moldes

Muchas veces, los analistas usan nodos para representar la ubicación de la entrada, pero esto tiene desventajas dramáticas. No reproduce completamente la trayectoria del flujo que el material tomará desde la boquilla de la máquina de moldeo hasta el extremo de la cavidad. El uso de un modelo como el que se muestra a continuación en la Figura 6 que tiene el sistema completo de suministro de masa fundida (canal frío o caliente), canales de enfriamiento y selección de metales es imprescindible para lograr la precisión.

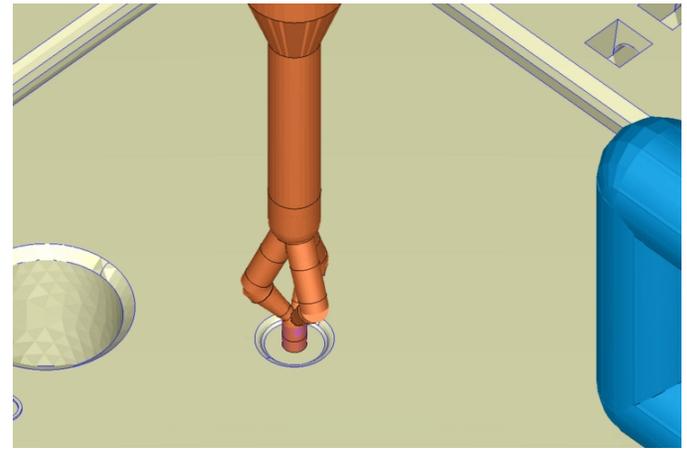


Figura 6: Pod de Diseño con gota caliente detallada

Sin el sistema de guía, es muy difícil predecir la pérdida de presión, lo que puede generar un proceso de presión limitada y piezas que se contraen más que la tasa de reducción seleccionada. La falta de pequeños detalles dentro de la geometría de inserción de la entrada del sistema de canal caliente puede tener un gran impacto negativo en los resultados.

Como casi todo lo demás en moldeo, no hay una sola regla que se aplique a todo. Hay muchas circunstancias en las que se requieren simulaciones, pero no hay un diseño de molde disponible. En este escenario, el usuario debe entender bien el diseño de moldes y la fabricación.

Máquina de Moldeo

La gran mayoría de los moldes deben funcionar dentro de un determinado conjunto de parámetros que deben considerarse al ejecutar una simulación adecuada. En el caso del Pod de Diseño, necesitábamos recopilar las variables que afectan la coincidencia entre molde y máquina. Una vez que tengamos los datos de cada máquina, debemos diseñar el molde y el proceso para la máquina menos capacitada. La tabla I a continuación muestra el parámetro de la máquina limitadora resaltado en amarillo.

	Machine 1	Machine 2	Units
Injection Pressure	27,018	31,473	PSIp
Injection Volume	3.8	3.8	oz
Injection Flow Rate	14.39	17.1	in ³ /sec
Tonnage	85	84	US Tons
Platen Size (V x H)	25.39 x 23.62	22.83 x 22.83	in.
Tie Bar Spacing (V x H)	18.11 x 16.14	16.14 x 16.14	in.
Ejector Pattern	Center, 7x7 V	Center, 7x7 V & H	
Ejector Stroke	3	3.15	in.
Minimum Mold Height	5.91	6.3	in.
Maximum Mold Height	21.65	16.4	in.
Maximum Open Stroke	13.78	11.81	in.

Tabla 1: Máquina virtual menos capacitada

Si un analista no toma esto en consideración, es posible que las instalaciones de producción no puedan producir piezas en el tiempo de ciclo, la tasa de desecho o los criterios de calidad requeridos. Esto obliga a la compañía a aceptar márgenes de ganancia más bajos o mover el molde a una máquina más capaz, si existe una en sus instalaciones con capacidad abierta.

Además del parámetro de la máquina de moldeo, el usuario de la simulación debe proporcionar al moldeador los caudales de cada circuito para garantizar que el mundo virtual y el mundo real se repliquen entre sí.

Procesamiento y Usuario

El software de simulación proporciona valores para conectarse a las ecuaciones, pero algunas de esas entradas deben ser generadas por el analista. La mayoría de las veces, el software utilizará por defecto la configuración promedio para la temperatura de fusión y molde, lo cual es excelente. Sin embargo, ¿cómo determinamos la velocidad de llenado, la presión de retención, etc.?

La rapidez con que se debe llenar la cavidad se basa en la calidad de la pieza requerida al final. En ciertas circunstancias, como las piezas de pared delgada, el flujo debe ser tremendamente rápido para garantizar que la cavidad esté llena antes de que la pared se congele. En otros casos, como el moldeo de lentes, el flujo debe ser el inverso completo, casi de manera que la pared se congele, pero no del todo.

Esto se debe a la tensión ejercida sobre el material durante la fase de llenado. Con una lente, debemos mantener la tensión lo más bajo posible para garantizar que el rendimiento no se vea afectado. Además de los caudales lentos para las aplicaciones de lentes, las temperaturas de fusión y molde son generalmente más altas junto con las presiones de retención. Estos parámetros ayudan a garantizar que el rendimiento de la lente no se vea afectado negativamente.

A veces, el software puede ayudar con la selección de la entrada. El software actual no tiene en cuenta las dimensiones críticas para la función o el proceso que deben ser controladas y/o monitoreadas de manera estricta. Por lo tanto, el analista debe entender cómo interpretar los dibujos y trabajar con el marketing para

comprender dónde se puede(n) colocar la(s) entrada(s). Además, comprender cómo se puede colocar el enfriamiento en el molde a través de pasajes de agua estándar, deflectores, burbujeadores o una tubería de calor requiere un amplio conocimiento.

En el caso del Pod de Diseño (figura 7), había secciones de pared muy finas que dictaban que se utilizara una alta tasa de flujo para asegurar que la cavidad pudiera llenarse antes de que la pared se congelara y creara disparos cortos.

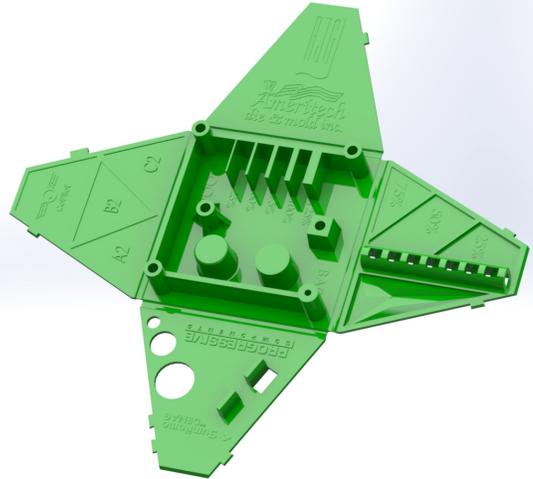


Figura 7: Pod de Diseño con geometría compleja.

Tipos de análisis

Hay cuatro tipos diferentes de análisis para ejecutarse con cientos de resultados disponibles para cada uno. No se preocupe, no hablaremos sobre todos ellos, solo sobre algunos de nivel superior.

El primer tipo es un análisis de llenado que mostrará el calentamiento por fricción, las tasas de estrés por fricción, la tensión de fricción, las trampas de aire, las líneas de punto/ fusión, los tonelajes de sujeción y la presión de inyección para enumerar algunos.

Luego tenemos el análisis de empaque que proporcionará el tonelaje de sostenimiento, el sello de la compuerta, los posibles hundimientos superficiales y los vacíos.

El enfriamiento ayuda a determinar el tiempo total del ciclo según el grosor de la pared y la sección del material (metal y plástico), así como la ubicación de la línea de enfriamiento.

La deformación es inherente a la mayoría, si no a todas, las piezas moldeadas de plástico. Es sólo una cuestión de escala.

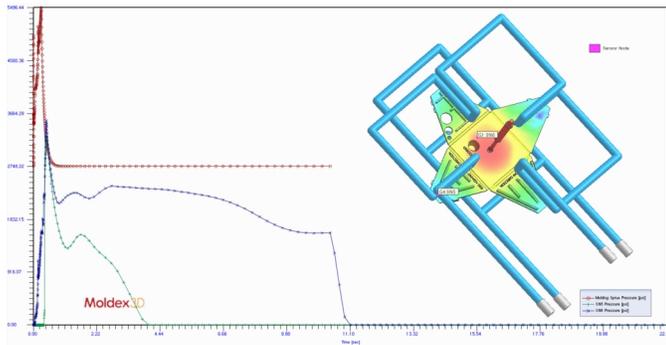


Figura 8: Predicciones de presión de cavidad de Pod de Diseño

Transferencia de plantillas y resultados

Ahora que hemos hecho nuestra tarea y entendemos todo lo que implica precisión, revisemos los resultados.

Con los paquetes de simulación, RJG tiene la capacidad de crear una plantilla basada en la ubicación correcta del sensor y generar una curva de presión de cavidad dentro de un sistema eDART®.

Tomamos introducciones de datos del software de simulación y los colocamos directamente en la máquina de moldeo para evaluar la realidad pronosticada. En la Figura 9 a continuación, podemos ver que la línea de puntos es la plantilla de la simulación, mientras que la línea continua es una curva de presión de cavidad en tiempo real.

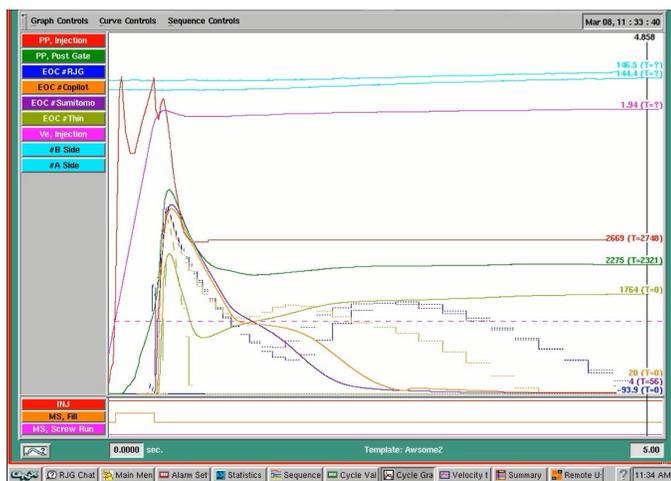


Figura 9: Predicho vs real

El tiempo de llenado estuvo dentro de los 0.05 segundos de los valores pronosticados, y la presión máxima de la cavidad para el final de la cavidad se redujo en solo 300 PSIp. La velocidad de enfriamiento de lo real frente a lo

predicho es donde la simulación sigue teniendo problemas. Esto refuerza la importancia de asegurar que sus algoritmos sean altamente precisos.

Conclusión

El tener una comprensión profunda de cómo las 7 de estas variables interactúan entre sí puede aumentar considerablemente la efectividad y el valor de una simulación. Sin embargo, tenga cuidado de no pasar por alto cualquier cosa, ya que es probable que el informe de simulación nunca se vuelva a ver ni escuchar, ya que su lugar de descanso final es el archivo circular.



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®.