

LA SIMULACIÓN REOLÓGICA EN EL DISEÑO DE PIEZAS Y MOLDES DE INYECCIÓN

50064

Guerau Carné i Carbonell
Departamento de Ingeniería del Centro
Tecnológico de ASCAMM

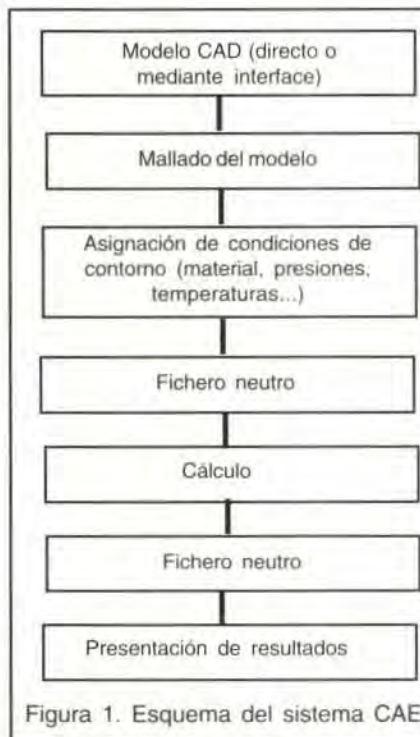
INTRODUCCIÓN

El diseño de piezas de plástico y de moldes de inyección se ha basado, en forma tradicional, en dos aspectos: la experiencia del diseñador y el ciclo prueba-error de los diseños.

A partir de la aparición de los ordenadores y gracias a su rápida evolución, en los últimos años han surgido una serie de técnicas de Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) que, unidas a los conocimientos necesarios del diseñador, permiten reducir los ciclos prueba-error de las piezas y los moldes.

Los sistemas CAE son, en general, un conjunto de programas que permiten la simulación del comportamiento de una pieza, mecanismo o producto ante un fenómeno físico determinado. La gran ventaja de estos sistemas estriba en que no se debe disponer de la pieza o producto, ni se debe producir, en forma física, el fenómeno para saber cuál va a ser su comportamiento. En el caso de los análisis reológicos, permiten simular el comportamiento del plástico y del molde durante el proceso de inyección.

El ámbito de aplicación de los sistemas CAE es muy amplio y aumenta día a día; sin embargo, entre los más utilizados se podrían



mencionar los siguientes:

- Cálculo estructural (lineal y no lineal).
- Transferencia de calor (régimen estacionario y transitorio).
- Cinemática y dinámica de mecanismos.
- Electromagnetismo
- Vibroacústica
- Fluidodinámica
- Reología de materiales termoplásticos.

En este artículo, se tratará sólo la simulación del proceso de moldeo por inyección de piezas de termoplástico.

EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

La mayoría de los sistemas CAE utilizan la Técnica del Moldeo y Análisis por Elementos Finitos (FEM/FEA). Esta técnica es anterior a los sistemas CAD/CAM y nació a principios de la década de los 50 como una necesidad de la industria aeronáutica (Figura 1).

El concepto del que parte este método es muy sencillo. Aunque no es posible predecir, de modo exacto, la respuesta de un sistema complejo ante un fenómeno físico, sí se puede predecir el comportamiento de una pequeña parte del sistema frente a un fenómeno sencillo. Para centrarnos en el caso de la Inyección de Termoplásticos, no es posible calcular, de manera directa, la temperatura a la que llega el material al final de su recorrido, pero sí se puede predecir con exactitud el calentamiento o enfriamiento del plástico al pasar por un pequeño canal recto a una velocidad determinada.

La idea es dividir el sistema en partes lo suficiente pequeñas (elementos finitos) como para que puedan ser tratadas de modo individual con base en fenómenos conocidos. Una vez discretizado el modelo en dichos



Figura 2. Malla del conjunto de elementos finitos

elementos y sumando el comportamiento individual de cada uno de ellos, se obtiene una aproximación al comportamiento global del sistema.

Volviendo al ejemplo de la temperatura del termoplástico, se divide el recorrido complejo del plástico en pequeños tramos rectos. Entonces, conociendo la velocidad y la temperatura del material en la entrada, se puede calcular el aumento de temperatura en cada uno de los pequeños tramos rectos finitos. Conocida la temperatura de entrada se puede calcular la temperatura a la salida del primer tramo finito. Ésta será la temperatura de entrada al segundo tramo. Ahora, es posible calcular la temperatura de salida del segundo tramo, que será la de entrada del tercero, y así sucesivamente, hasta llegar al final de la pieza, con lo que tendremos la temperatura del material al pasar por cada punto de la cavidad del molde.

Se ve con claridad que el primer paso para utilizar este sistema será la discretización del modelo en elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una malla del modelo original (Figura 2).

Una vez obtenido el modelo mallado, se asignan una serie de condiciones de contorno que definen el proceso físico que se desea simular. En el caso de la Inyección de Termoplásticos, puede ser la temperatura de entrada del material, la velocidad de inyección, la disposición del molde, los canales de refrigeración, etc.

Con estos datos, se efectúa el cálculo de todos los resultados necesarios siguiendo el esquema comentado. Obtenidos los resultados, éstos se visualizan para que los diseñadores puedan analizarlos y, en caso necesario, variar alguno de los parámetros para volver a efectuar los cálculos hasta obtener los resultados deseados (Figura 3).



Figura 3. Presentación de resultados

LA APLICACIÓN DEL FEM/FEA EN LOS ANÁLISIS REOLÓGICOS

Para el caso concreto de los análisis reológicos de piezas de inyección de termoplásticos, se parte del modelo en CAD 3D de la pieza, de las coladas en caso que ya estén definidas y del diseño del molde.

El diagrama de flujo utilizado para estos análisis es el que se muestra en la Figura 4.

Los sistemas de análisis reológicos trabajan sobre mallas planas bidimensionales de elementos triangulares. Es decir, cada elemento de la malla es un triángulo unido por sus lados con los triángulos adyacentes. Estos triángulos no tienen espesor como tal, sino que el espesor está asignado al elemento como un parámetro. Los modelos CAD en 3D, para cada pared de la pieza, tienen la superficie situada en el centro de las dos superficies que forman las paredes de la pieza. Es lo que se ha dado en llamar la *fibra neutra*.

En el caso de que la información de partida sean planos 2D, se modela en directo la fibra neutra, pero en el caso de disponer del modelo en CAD 3D, éste debe, primero, simplificarse para obtener la fibra neutra de la pieza. Modelada la fibra neutra, ya puede procederse a su mallado.

Para simular la inyección, es fundamental tener caracterizado el termoplástico que se utiliza. Los datos necesarios incluyen: temperatura de fusión, viscosidad en función de la temperatura y la velocidad de cizalla, densidad, calor específico, diagrama de presión-volumen-temperatura, etc.

La mayoría de programas comerciales de simulación incorporan una librería interna de materiales donde se encuentran caracterizados los más

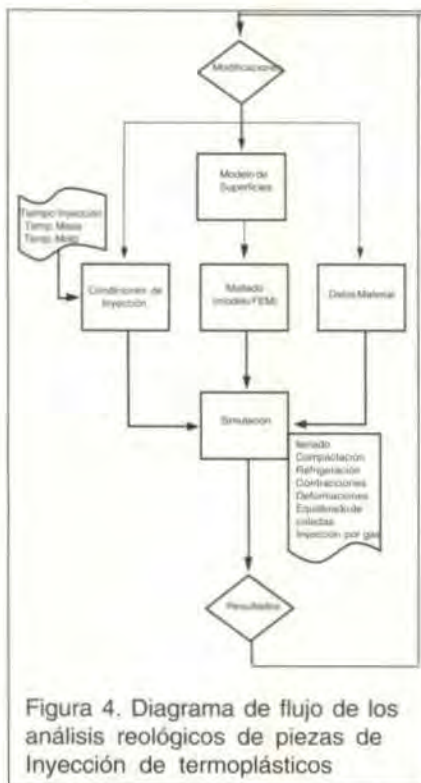


Figura 4. Diagrama de flujo de los análisis reológicos de piezas de Inyección de termoplásticos

utilizados. Estos datos suelen ser proporcionados por los fabricantes de materia prima. Es obvio que cuanto más se acerquen los datos al comportamiento real del material, más fiables podrán ser los resultados de la simulación.

Además de la pieza y del material, es necesario dar al programa las condiciones de contorno del análisis. Estas condiciones varían en función del tipo de análisis que se vaya a efectuar. Por ejemplo, para un análisis de llenado de la pieza, las condiciones de contorno incluyen: el punto de inyección, la temperatura de la masa, la temperatura del molde y el tiempo de inyección.

Con todos estos datos, el ordenador simula el comportamiento del material termoplástico en el interior del molde y escribe unos archivos de resultados.

Una vez obtenidos estos resultados, viene la fase importante del estudio que es la de interpretar y analizar los

mismos para efectuar las modificaciones necesarias, ya sea en el diseño de la pieza, en el molde o en los parámetros de inyección. Con estas modificaciones, vuelve a iniciarse el análisis para comprobar si se ha producido el efecto deseado y así sucesivamente.

En este sentido, es fundamental que los resultados y las diversas alternativas posibles sean analizados y discutidos con el moldista y el transformador, con el fin de llegar a una solución lo más optimizada posible.

APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN POR ORDENADOR DE LOS ANÁLISIS REOLÓGICOS

Los análisis que se pueden realizar con los distintos software son diversos, siendo los más usuales:

- Análisis del llenado de la pieza.
- Dimensionado y equilibrado de las coladas.
- Análisis de refrigeración
- Simulación de la fase de compactación.
- Análisis de contracciones.
- Análisis de deformaciones.
- Análisis de tensiones.

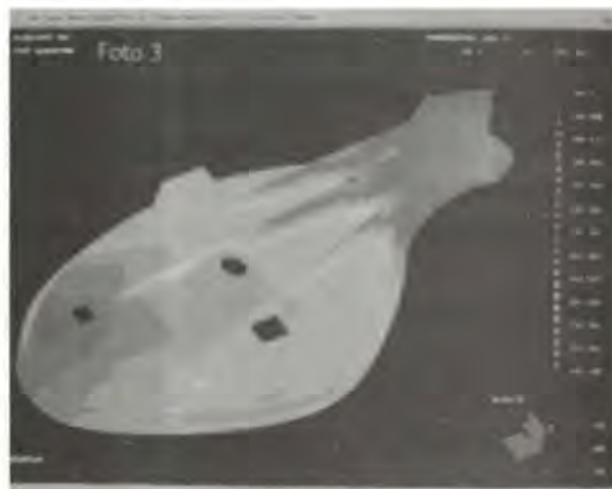


Figura 5. Velocidad de cizalla del material

Es preciso destacar que estos análisis son correlativos, es decir, que para realizar uno hace falta que se hayan hecho los anteriores (excepto el Equilibrado de Coladas que se hace sólo para moldes multicavidad).

A continuación, se detallan todos los datos que proporciona cada uno de estos análisis, así como la utilidad que tienen para el correcto diseño del molde y de la pieza.

Análisis de llenado de la pieza

Esta fase de análisis simula el comportamiento del plástico durante el llenado de la cavidad, es decir, durante la fase primera presión.

Los datos más relevantes que proporcionan estos análisis son:

- Temperatura del frente de avance en cada punto de la cavidad.
- Temperatura de cada punto de la pieza en el momento final de la fase de llenado.
- Tensión de cizalla durante la inyección de la pieza en el momento final de la fase de llenado.
- Tensión de cizalla durante la inyección en cada punto.



Figura 6. Equilibrado de coladas

- Distribución de presiones en la cavidad durante el llenado.
- Recorrido del frente de avance a lo largo de la pieza.
- Localización de los atrapamientos de aire.
- Localización de las líneas de unión.
- Tiempo aproximado de enfriamiento a temperatura del molde constante.
- Velocidad de cizalla del material al pasar por cada punto (Figura 5).

Todos estos datos obtenidos del análisis del llenado permiten:

Establecer el número, la forma y la localización óptima de los puntos de inyección en función del llenado para solucionar problemas de líneas de unión, atrapamientos de aire, temperaturas, etc.

Establecer las condiciones óptimas de inyección:

- Tiempo de inyección.
- Temperatura del termoplástico
- Temperatura del molde.
- Presión de inyección necesaria.
- Determinar la fuerza de cierre necesaria y, por tanto, la

máquina a utilizar.

- Localizar las zonas críticas de refrigeración.

Dimensionado y equilibrado de las coladas

En el caso de moldes multicavidad, proporciona las dimensiones de los canales de distribución para que todas las cavidades se llenen al mismo tiempo, con las ventajas de compactación igual para todas las cavidades y control de las medidas finales de la pieza.

Si el molde está equilibrado, todas las piezas tienen las mismas dimensiones y, por tanto, es más fácil controlar la calidad final de las piezas. (Figura 6).

Análisis de la refrigeración

En este caso, además del modelo de elementos finitos de la pieza, es necesario un modelo de los canales de refrigeración del molde para poder simular el intercambio de calor entre la pieza y el molde.

Los resultados que se derivan de este análisis son:

- Tiempo de refrigeración.
- Temperatura de las dos caras

del molde durante la refrigeración.

- Caída de presión aproximada en los circuitos de refrigeración.
- Temperatura máxima en la sección de la pieza en cada punto al final del tiempo de enfriamiento.
- Grosor de la pieza solidificada al final del tiempo de enfriamiento, así como la diferencia entre la capa solidificada de las dos caras de la pieza.
- Número de Reynolds de refrigerante en cada punto del circuito de refrigeración (Figura 7).

Estos datos permiten comprobar la eficacia de los circuitos de refrigeración, así como sugerir modificaciones para mejorar las condiciones de enfriamiento.

Con este análisis se puede determinar el circuito de refrigeración óptimo y el ciclo de inyección, incluyendo el tiempo de inyección y refrigeración.

Simulación de la fase de compactación

Esta simulación permite afinar el perfil de segunda presión y es muy útil en aquellas piezas que necesiten una compactación muy precisa para compensar contracciones y conseguir elevadas precisiones dimensionales.

Los resultados que se obtienen de este análisis incluyen:

- Contracción volumétrica en cada punto.
- Presión efectiva a la que se compacta cada punto de la cavidad.
- Momento en el que se ha conseguido la presión máxima de compactación.
- Densidad aparente del material en cada punto.

- Situación y profundidad aproximadas de los rechupados.
- Contracción en los tres ejes de cada punto.
- Diagrama de temperaturas durante el tiempo de compactación.

Los resultados permiten encontrar cuál es el perfil de presión de compactación que consigue una contracción más uniforme en toda la pieza.

- Deformación de cada punto en las tres direcciones (x,y,z).
- Deformación total de la pieza para cada punto.
- Direcciones principales de tensión de la pieza.
- Tensiones en las dos direcciones principales del material.
- Orientación del material.
- Contracción: paralela y perpendicular a la dirección del flujo.
- Contracción volumétrica (Figura 8).

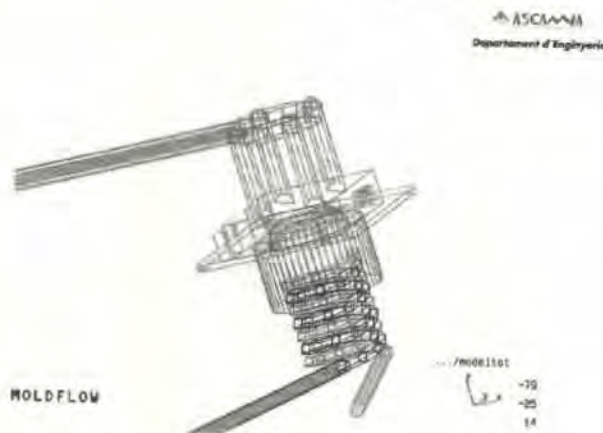


Figura 7. Canales de refrigeración

Análisis de contracciones

El Análisis de Contracciones permite estimar la contracción de cada punto de la pieza en cualquier dirección. Además, se obtiene la corrección para la contracción que debe darse en el molde para que la pieza final consiga las tolerancias indicadas. Analiza, también, si unas cotas determinadas cumplirán una tolerancia indicada.

Análisis de deformaciones

El Análisis de Deformaciones tiene en cuenta las tensiones internas acumuladas durante la inyección para dar los siguientes datos.

Las deformaciones obtenidas del programa de simulación pueden cuantificarse según el factor que las provoca:

- Diferencias en la refrigeración
- Diferencias en la orientación
- Diferencias en la contracción

Este análisis permite predecir la deformación final de la pieza y, además, a qué es debida la deformación. Esto permite variar la geometría de la pieza, el material o las condiciones de inyección, compactación o refrigeración, para conseguir minimizar las deformaciones.

Análisis de tensiones

Este análisis permite predecir las tensiones que se crean en la pieza, debidas a tensiones internas, así como a cargas externas.

Hay que añadir, entonces, al modelo, la localización y magnitud de las cargas externas.

Los resultados que nos da la simulación son:

- Deformación en los tres ejes en cada punto.
- Tensiones máximas.
- Deformación total.
- Tensiones en las direcciones principales del material.
- Tensiones residuales principales (direcciones y magnitudes).
- Deformación relativa.

Las tensiones y deformaciones que se producen en una pieza de plástico durante su uso, dependen tanto de las tensiones internas derivadas del proceso de fabricación como de las cargas externas que se le apliquen. Este Módulo tiene en cuenta ambos componentes.

Esta simulación es útil cuando se conocen con exactitud las cargas externas a la que es sometida la pieza a la que, ya, se le se ha hecho el Análisis de las Deformaciones.

CONCLUSIONES

La Simulación por Ordenador del proceso de Inyección de Termoplásticos (análisis reológicos), es una herramienta de probada utilidad y aplicabilidad en el diseño y fabricación de piezas de plástico, que incide tanto en el diseño de la pieza y el molde como en la optimización del proceso de inyección.

Diseño de la Pieza: Diseñar para fabricar. La simulación permite predecir problemas tales como deformaciones, rechupes, líneas de

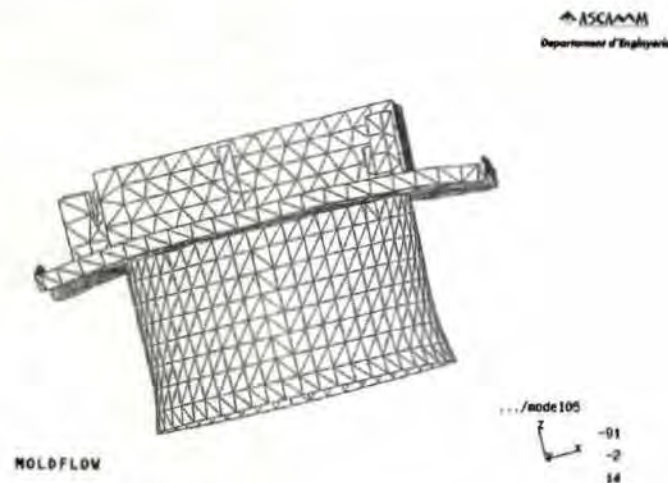


Figura 8.. Análisis de Deformaciones

unión, atrapamientos de gases, etc., con lo cual es posible, ya, en la fase de diseño de la pieza, hacer las modificaciones necesarias con tal de eliminar o minimizar dichos problemas.

Diseño del Molde: Garantizar la calidad del diseño del molde. Es posible optimizar el diseño del molde en aspectos como determinación del punto o puntos de inyección, diseño de coladas, diseño de los canales de refrigeración, equilibrado de moldes multicavidad, etc.

Proceso de Inyección: Productividad y calidad de pieza inyectada. Permite optimizar parámetros de transformación, como tiempos de ciclo, temperaturas del molde y del plástico, fuerza de cierre, velocidad

de inyección, perfil de compactación, etc.

El nivel de utilización de este tipo de sistemas como herramienta cotidiana durante las fases de diseño y fabricación de moldes y piezas es todavía incipiente. No obstante, se observa un crecimiento no espectacular, pero, sí, constante en su aplicación dentro de las industrias transformadoras y fabricantes de moldes.

Tras más de dos años de utilización de estos sistemas en el Centro Tecnológico de ASCAMM, hemos observado que las empresas que empiezan a usarlos no dejan de hacerlo. La rentabilidad económica, aunque demostrada con creces en la

mayoría de los casos, no es el factor principal a tener en cuenta. Desde nuestro punto de vista, lo fundamental es el nivel de calidad del producto, tanto del molde como de la pieza inyectada, que es posible alcanzar con la ayuda de estos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

Reproducido de la Revista FETRAPLAST No. 17 julio, agosto, septiembre de 1996, páginas 48-52, con la autorización expresa del Editor

