



DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN MEDIANTE CFD

Maria del Carmen Cisneros-Rivas ^a, Edilberto Murrieta-Luna ^{a,*}, Mario Alberto Rodríguez-Angeles^a

^a Departamento de Ingeniería en Plásticos, Universidad Politécnica de Juventino Rosas, calle Hidalgo 102, Comunidad de Valencia, Santa Cruz de Juventino Rosas, Gto., C.P. 38253, México.

emurrieta_ptc@upjr.edu.mx

Resumen

El sistema de refrigeración en un molde de inyección es muy importante para la productividad en el proceso de moldeo por inyección, ya que influye directamente en la calidad de la pieza moldeada. El soporte teórico para el diseño del sistema de enfriamiento aún se está desarrollando, por lo que muchos trabajos de investigación, diseño y optimización se siguen realizando. El sistema de enfriamiento debe ser eficiente y no debe interferir con los demás componentes del molde. En este trabajo de investigación se propone un sistema de enfriamiento en forma de serpentín, el cual es utilizado para un molde de producción de vasos de polipropileno de grado alimenticio. Mediante análisis de CFD utilizando el software comercial ANSYS Fluent se obtuvieron los valores de temperatura, tiempo de enfriamiento y calor extraído, mediante datos numéricos y gráficos de color. La disminución de temperatura en la pared del vaso reportada al final de la simulación fue de 397 K.

Palabras clave: CFD, moldeo por inyección, sistema de enfriamiento, serpentín, polipropileno.

DESIGN OF THE COOLING SYSTEM OF AN INJECTION MOLD USING CFD

Abstract

The cooling system of an injection mold is very important to the productivity in the injection molding process, inasmuch as it directly influences the quality of the molded part. Theoretical support for the cooling system design is still developing, so a lot of research, design and optimization investigation is being done. The cooling system must be efficient and not interfere with the other components of the mold. In this research work, a cooling system in the form of a serpentine is proposed, which is used for a mold for the production of polypropylene alimentary degree cups. Through CFD analysis using



the ANSYS Fluent commercial software, the values of temperature, cooling time and heat extracted were obtained, using numerical data and temperature contour. The temperature decrease in the cup wall reported at the simulation was 397 K.

Keywords: CFD, injection molding, cooling system, coil, polypropylene.

1. Introducción

En la actualidad se conocen diferentes procesos para la elaboración de piezas de plástico, siendo la inyección el proceso mayormente utilizado, debido a su alta eficiencia y rapidez en la producción en serie. El proceso consiste en calentar un polímero termoplástico hasta fundirlo, para después inyectarlo a altas velocidades y altas presiones por pequeños orificios a un molde donde se le dará la forma deseada. Ahí se enfriará y la pieza formada será retirada del molde, terminando el ciclo de producción de una pieza, Renkó y col. (2019).

Cada ciclo en el proceso de inyección incluye tres etapas principales: la etapa de llenado, la etapa de enfriamiento y la etapa de desmoldeo. La etapa de enfriamiento ocupa el 75 % del tiempo total del ciclo aproximadamente. Un diseño adecuado del sistema de enfriamiento podría reducir el tiempo en el cual se puede desmontar la pieza, aumentando la productividad.

Además, se podrán reducir defectos como: marcas de hundimiento, contracción, tensión residual y deformación Hong-Seok y Xuan-Phuong (2017), Li y Li (2008).

El proceso de enfriamiento del molde se lleva a cabo mediante canales que se encuentran distribuidos dentro del cuerpo del molde. El calor extraído no puede ser reutilizado en otro proceso, pero se necesita mejorar la eficiencia en el proceso de transferencia de energía, basándose en el diseño de equipo y la selección de materiales, cuidando la configuración de la cavidad de la pieza.

2. Estado del arte

El sistema de enfriamiento en los moldes de inyección de plástico representa una parte vital dentro del proceso, con ello se puede acortar el tiempo del ciclo de inyección y se mejora la calidad del producto. El tiempo de enfriamiento del molde puede ser entre el 70% y el 80% del



tiempo total del ciclo de inyección, Sun y col. (2004).

Dahmen y col. (2013) realizaron pruebas en sistemas de enfriamiento de ranuras individuales, utilizando flujos supersónicos, además, realizaron experimentación numérica para poder estudiar el proceso y buscar nuevas aplicaciones. Por su parte, Deepika y col. (2020) estudiaron los tiempos de ciclo como un parámetro importante en el proceso de producción en inyección de plástico, ya que afecta directamente la tasa de producción y la calidad del producto. Basaron su trabajo en el posicionamiento de los canales y los efectos que tiene sobre las piezas fabricadas. Probaron diferentes tipos de canales y lograron reducir en 18 % el tiempo de enfriamiento con un canal tipo U.

Moldes con sistemas de enfriamiento especial han sido diseñados para la fabricación de piezas automotrices o productos especiales, esto mediante el uso de técnicas CAD, CAE y CFD, utilizando software comercial, Li y Li (2008), Hong-Seok y Xuan-Phuong (2017), Wu y col. (2017). Ellos desarrollan diseños innovadores en los que involucran canales

de formas irregulares, de forma helicoidal o circuitos de enfriamiento. El método BEM es utilizado por Zhou y col (2009) y Zhang y col (2015) para modelar sistemas de enfriamiento en forma de canales en serie y paralelos en estado estacionario y transitorio, obteniendo resultados con un error de 0.5 °C.

En este trabajo de investigación se realiza el análisis a un sistema de enfriamiento aplicado un molde de inyección de plástico para la producción de vasos de grado alimenticio. Se elaboró la geometría representativa del sistema utilizando el software SOLIDWORKS y las simulaciones se realizaron con el uso del software ANSYS Fluent R2 2022 en su versión estudiantil. Se determinó el calor extraído, el tiempo de enfriamiento del vaso, la temperatura final del molde, del agua y del vaso. Se realizaron experimentos variando la velocidad de alimentación del agua de enfriamiento.

3. Metodología

Se generó en CAD el modelo de un molde para producir vasos de plástico de grado alimenticio mediante el proceso de inyección de plásticos. El vaso tiene un diámetro superior de 0.095 m, 0.066 m de



diámetro inferior, una altura de 0.120 m y un espesor de 0.001 m, lo cual se puede apreciar en la Figura 1.

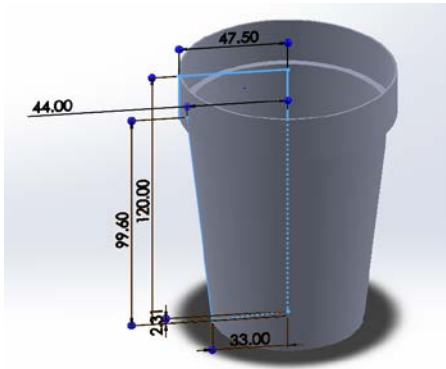


Figura 1. Modelo en CAD del vaso.

El molde tiene una altura de 0.25 m y ancho de 0.266 m, con hendiduras para las guías donde se colocan los pernos que fijan las dos partes del molde y lo alinean. El modelo generado en SOLIDWORKS se presenta en la Figura 2.

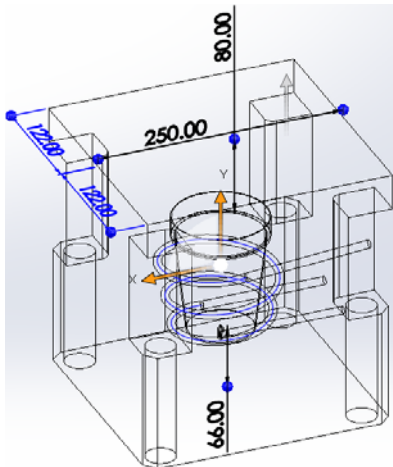


Figura 2. Modelo del molde generado en SOLIDWORKS.

El sistema de enfriamiento consiste en un helicoide que rodea al vaso y está colocado en la parte hembra del molde y tiene un diámetro de 0.007 m. En la parte inferior del vaso se coloca la boquilla de inyección.

El modelo se exportó al software ANSYS DESIGNMODELER para definir los sólidos interiores como canales huecos. Se generó una malla tetraédrica híbrida en ANSYS MESH, la cual consta de 310193 elementos, los cuales se pueden apreciar en la Figura 3.

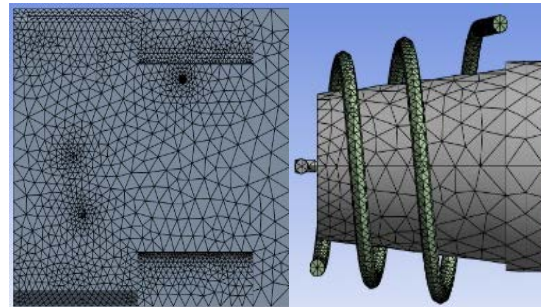


Figura 3. Modelo mallado.

El refrigerante utilizado es agua a temperatura de 293.15 K y el material de fabricación para el vaso seleccionado es el polipropileno (PP). Se diseñaron seis experimentos en los cuales se varió la velocidad de alimentación del agua, estos casos abarcan velocidades de alimentación baja y velocidades altas, esto con el fin de comparar los efectos provocados con estas variaciones. Los casos analizados son



mostrados en la Tabla 1. La experimentación numérica fue realizada en estado estacionario.

Tabla 1. Casos de estudio.

	V [m/s]	T _{win} [K]	T _{vin} [K]	T _{min} [K]
Caso 1	0.2	293.15	473.15	308.15
Caso 2	0.4	293.15	473.15	308.15
Caso 3	0.8	293.15	473.15	308.15
Caso 4	1	293.15	473.15	308.15
Caso 5	1.5	293.15	473.15	308.15
Caso 6	2	293.15	473.15	308.15

Donde T_{win} es la temperatura de entrada del agua, T_{vin} es la temperatura inicial del vaso y T_{min} es la temperatura inicial del molde.

Las ecuaciones gobernantes fueron acopladas mediante el esquema de discretización SIMPLE. El modelo de turbulencia utilizado fue el K-ε realizable. Se modeló la transferencia de calor y el sistema fue resuelto en estado pseudo estacionario.

4. Resultados

El análisis del proceso de inyección de plástico y su enfriamiento, es un problema complejo, ya que involucra muchas variables como la temperatura del molde, la temperatura del refrigerante, el material con que se fabrique las piezas, el material del molde, entre otros. Para poder realizar experimentación sin correr ningún riesgo,

se recurre a técnicas numéricas que pueden ayudar a conocer este proceso.

4.1. Análisis de la Temperatura

La Figura 4 muestra la distribución de temperatura en el molde de inyección. El agua se alimenta a 293.15 K. En el caso 1 la temperatura en la salida del agua es de 298 K, promediando una temperatura de 295.9 K. La temperatura promedio en el vaso fue de 397.3 K, por lo que se disminuyó 75.85 K. La temperatura reportada en la salida del serpentín para el caso 3 y caso 4 fue de 295 K y 294 K respectivamente, siendo estos casos los más recomendables para la operación del molde. Se puede apreciar que la distribución de temperaturas es uniforme por todo el molde, lo que significa que el sistema de enfriamiento es adecuado.

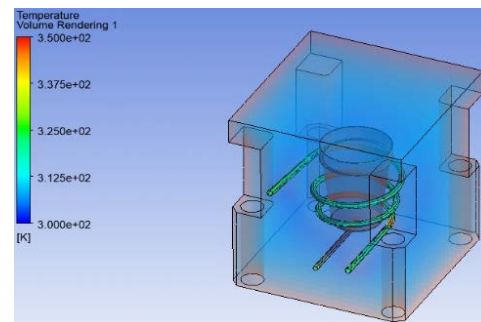


Figura 4. Contornos de temperatura en el molde.

El gráfico mostrado en la Figura 5 muestra las mediciones de las temperaturas



obtenidas al final de las simulaciones realizadas en los 6 casos. Se puede apreciar que en el caso 1 se presenta la temperatura más alta, esto es debido a que la velocidad es baja, lo que hace que el agua enfriamiento se mantenga más tiempo dentro del canal, incrementando la extracción de calor. La temperatura promediada más baja reportada en el refrigerante se presenta en el caso 6, lo que indica que a esta velocidad la extracción de calor no es suficiente debido a que el agua permanece poco tiempo dentro del canal. La temperatura medida en todo el cuerpo del molde presenta variaciones menores a 1 K, lo que significa que el sistema de enfriamiento es adecuado, solo en el caso 1 no se obtuvo disminución de temperatura en el molde, mientras que para los otros casos disminuyó en 2 K.

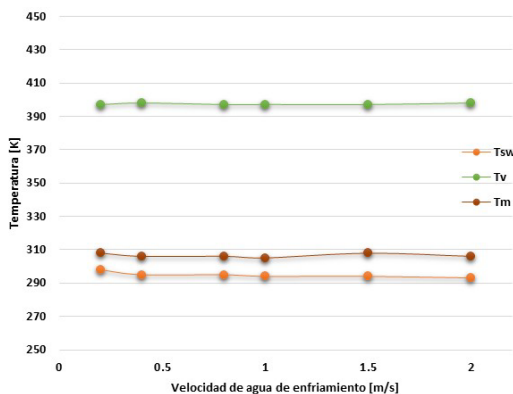


Figura 5. Gráfico de velocidad de agua de enfriamiento vs temperatura.

En el vaso, la distribución de la temperatura muestra que en la parte inferior la temperatura es mayor, esto debido a que es por donde se realiza el llenado de la pieza, reportando una temperatura en esta zona de 402 K. De la misma manera, en la parte superior la temperatura reportada es de 401 K, lo cual se debe a que esta zona es la más alejada del sistema de enfriamiento. La zona media del vaso, la cual está rodeada del serpentín, reporta una temperatura promedio de 395 K, esto se puede apreciar en la Figura 6.

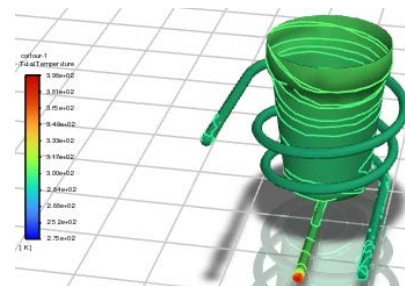


Figura 6. Contornos de temperatura en el vaso y el serpentín.

4.2. Análisis de flujo de calor

La velocidad de alimentación del agua de enfriamiento contra el flujo de calor se presenta en la Figura 7, en la cual se puede apreciar que el caso 3 y el caso 4 son donde más se extrae calor, reportando 53 W y 56 W respectivamente. El caso 6 fue donde se extrajo la menor cantidad de calor (28 W),



lo que se debe a que la velocidad de alimentación es demasiado elevada.

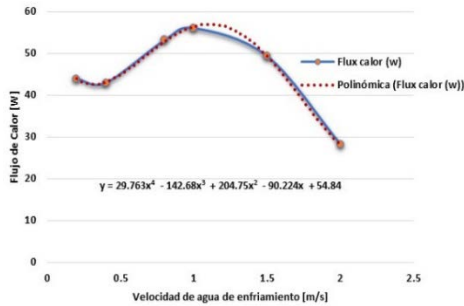


Figura 7. Gráfico de velocidad de agua de enfriamiento contra flujo de calor.

4.3. Tiempo de enfriamiento

Al concluir la inyección del plástico, se inicia el proceso de desmoldeo. Para que se proceda a la apertura del molde se requiere esperar a que la temperatura disminuya, lo que provoca que el fluido cambie de fase a estado sólido, para así poder ser retirado del molde. El tiempo aproximado de enfriamiento se calcula mediante la ecuación (E1).

$$t_f = \frac{e_m^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{8(T_m - T_{molde})}{\pi^2 (T_v - T_{molde})} \right] \quad (E1)$$

En los experimentos realizados se obtuvo un promedio de 1.01s. Los tiempos para cada caso son mostrados en la Figura 8, la cual presenta un gráfico de velocidad de la alimentación del refrigerante contra el tiempo de enfriamiento. El tiempo de

enfriamiento calculado para el vaso, se realiza a partir de que el molde está lleno de fluido. Los tiempos de llenado son muy aproximados, la diferencia es inferior a una décima de segundo.

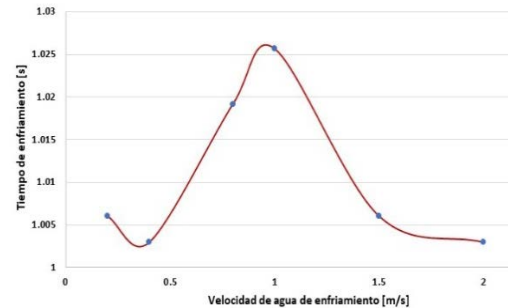


Figura 8. Gráfico de velocidad de agua de enfriamiento vs tiempo de enfriamiento.

4.4. Análisis de la presión

Se graficaron los contornos de presión, los cuales se muestran en la Figura 9.

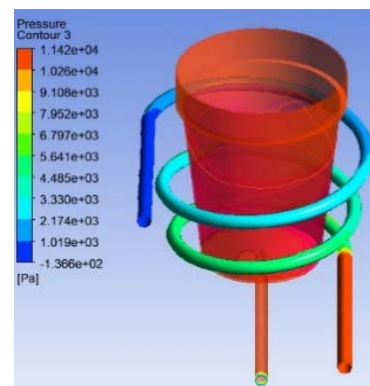


Figura 9. Contornos de presión.

La presión disminuye conforme el agua asciende por la tubería. Para el caso 1 se presentó la presión más baja con un valor de 355 Pa, mientras que para el caso 6 la



presión calculada fue de 19106 Pa. La diferencia de presiones entre el caso 1 y el caso 3 es de 3143 Pa, mientras entre el caso 3 y el caso 4 es de 1800 Pa. Entre el caso 4 y el caso 5 existe una diferencia de presiones de 5858 Pa. De acuerdo al análisis de diferencias de presiones se sugiere que el equipo trabaje en condiciones según el caso 3 y caso 4.

El comportamiento de la presión respecto al número de Reynolds se puede apreciar en la Figura 10. Se realizó una línea de tendencia, obteniendo una ecuación cuadrática la cual se ajusta a la gráfica original.

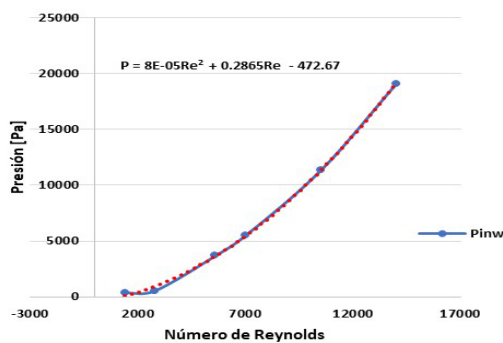


Figura 10. Gráfico de número de Reynolds vs Presión.

El caso 1 se trabajó en un régimen laminar, pues se obtuvo un Reynolds de 1400. En el caso 2 se trabajó en un perfil de flujo intermedio ($Re=2800$) y del caso 3 al caso 6 se registraron regímenes turbulentos, con

valores de Reynolds calculados de 5600 hasta 14000.

5. Conclusiones

En este trabajo de investigación se presentó el análisis de un sistema de enfriamiento de un molde para la fabricación de vasos de polipropileno de grado alimenticio. El canal de enfriamiento fue de tipo serpentín y se obtuvieron resultados satisfactorios ya que la pieza se enfrió 75.8 K en un tiempo aproximado de 1 s.

Se analizaron diferentes casos de estudio, obteniendo que el caso 3 y el caso 4 son los más adecuados para la operación del molde de inyección, pues la diferencia de presión no es elevada y la temperatura en la salida es igual en ambos casos en la superficie del vaso y de 0.5 K en la salida del agua de enfriamiento.

La distribución de la temperatura en el molde, en el vaso y en el serpentín se presenta de forma homogénea, lo que significa que el sistema de enfriamiento propuesto es adecuado para este tipo de molde.

6. Referencias bibliográficas



- Dahmen, W., Gotzen, T., Melian, S. & Müller, S. (2013). Numerical simulation of cooling gas injection using adaptive multiresolution techniques. *Computers & Fluids*, 71, 65–82. doi:10.1016/j.compfluid.2012.10.003.
- Deepika, S. S., Patil, B. T. & Shaikh, V. A. (2020). Plastic injection molded door handle cooling time reduction investigation using conformal cooling channels. *Materials Today: Proceedings*, S2214785319340027–. doi:10.1016/j.matpr.2019.11.316.
- Hong-Seok, P. & Xuan-Phuong, D. (2017). Development of a Smart Plastic Injection Mold with Conformal Cooling Channels. *Procedia Manufacturing*, 10, 48–59. doi:10.1016/j.promfg.2017.07.020.
- Li, C.G. & Li, C.L. (2008). Plastic injection mould cooling system design by the configuration space method. *Computer-Aided design* 40(3), 334–349. doi:10.1016/j.cad.2007.11.010.
- Renkó, J. B., Kemény, D. M., Nyiro, J. & Kovács, D. (2019). Comparison of cooling simulations of injection moulding tools created with cutting machining and additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 12, 462–469. doi:10.1016/j.matpr.2019.03.150.
- Sun, Y.F., Lee, K.S. & Nee A.Y. (2004). Design and FEM analysis of the milled groove insert method for cooling of plastic injection moulds. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 24 (9–10) (2004) 715–726.
- Wu, T., Jahan, S. A., Zhang, Y., Zhang, J., Elmounayri, H. & Tovar, A. (2017). Design Optimization of Plastic Injection Tooling for Additive Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 10, 923–934. doi:10.1016/j.promfg.2017.07.082.
- Zhang, Y., Huang, Z., Zhou, H., & Li, D. (2015). A rapid BEM-based method for cooling simulation of injection molding. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 52, 110–119. doi:10.1016/j.enganabound.2014.11.020.
- Zhou, H., Zhang, Y., Wen, J. & Li, D. (2009). An acceleration method for the BEM-based cooling simulation of injection molding. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 33(8-9), 1022–1030. doi:10.1016/j.enganabound.2009.04.001.