

# **REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CICLO EN UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS IMPLEMENTANDO SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO CON SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR Y RECTANGULAR**

*CYCLE TIME REDUCTION IN A PLASTIC INJECTION MOLD BY IMPLEMENTING COOLING SYSTEMS WITH CIRCULAR AND RECTANGULAR CROSS SECTION*

**Jonathan Salvador López López**

Tecnológico Nacional de México en Celaya  
*jony14xtreme@hotmail.com*

**Jesús Enrique Ramírez Morales**

Tecnológico Nacional de México en Celaya  
*vida.jerm93@hotmail.com*

**Francisco Javier Cervantes Vallejo**

Tecnológico Nacional de México en Celaya  
*francisco.cervantes@itcelaya.edu.mx*

**Karla Camarillo Gómez**

Tecnológico Nacional de México en Celaya  
*karla.camarillo@itcelaya.edu.mx*

**José Francisco Louvier Hernández**

Tecnológico Nacional de México en Celaya  
*francisco.louvier@itcelaya.edu.mx*

**Carolina Hernández Navarro**

Tecnológico Nacional de México en Celaya  
*carolina.hernandez@itcelaya.edu.mx*

## **Resumen**

El presente artículo muestra la importancia del diseño de los canales de enfriamiento del molde para obtener una reducción en el tiempo total del ciclo de inyección, mediante una comparación entre cuatro tipos diferentes de sistemas de enfriamiento. Dos con sección transversal circular, uno con canal recto (tipo I), y el otro canal sigue la trayectoria de la pieza moldeada (tipo II). En los dos restantes se propone un cambio en la sección transversal, uno con sección cuadrada y otro

con sección rectangular, en ambos la distancia es la misma entre los canales de enfriamiento y la superficie de la cavidad del molde. La pieza moldeada presenta una geometría con curvaturas suaves para tener un cierto grado de complejidad. Los resultados muestran que el diseño del canal circular tipo II, reduce el tiempo de ciclo, presenta flujo de calor uniforme y la pieza inyectada presenta contracción volumétrica uniforme.

**Palabra(s) Clave(s):** Canales, Conductividad, Inyección, Molde, Tiempo.

## **Abstract**

*The importance of the design of cooling channels to obtain a good quality in the molded part with a reduced cycle time is presented in this work by comparing among 4 types of cooling channels. Two of them with circular cross-section, one of these with straight channels (type I), and the other with the channels that follows the path of the molded part (type II). The last two have square and rectangular cross section each one, both with the same distance between the cooling channels and the surface of the mold cavity. The mold presents a geometry with smooth curvatures to introduce some complexity. The results show that the type II circular channel design, reduces the cycle time, have a uniform heat flow and the injected part presents uniform volumetric contraction.*

**Keywords:** Channels, Conductivity, Injection, Mold, Time.

## **1. Introducción**

El moldeo por inyección es una técnica muy importante para la fabricación de artículos de plástico, algunos de los ejemplos de empresas que utilizan este proceso son una gran cantidad de industrias como automotriz, aeronáutica y aeroespacial. La importancia de este proceso de fabricación se debe a la versatilidad de piezas, la rapidez de fabricación, el diseño, altos niveles de producción y bajos costos, así como geometrías complicadas que serían imposibles de fabricar usando otros métodos de fabricación.

El proceso de inyección de plástico en un molde consiste en varias etapas, en la primera se inyecta un polímero fundido en un molde cerrado y frío, a través de un

orificio pequeño llamado compuerta, posteriormente en la segunda etapa, ocurre un proceso de contracción plástica en la que el material se solidifica, en un proceso de enfriamiento debido a los canales de refrigeración que se encuentran alrededor del molde, comenzando a cristalizar o endurecer en polímeros semicristalinos, obteniendo así una pieza final rígida al abrir el molde y la tercera etapa consiste en sacar de la cavidad, la pieza moldeada. Es importante remarcar que la etapa de gobierno que afecta la calidad y productividad de las piezas moldeadas es el enfriamiento (Dimla, 2005; Li, 2006). Este proceso implica entre el 70 y el 80% del tiempo de ciclo. La eficiencia de los canales de enfriamiento resulta de una distribución térmica uniforme, ya que una distribución térmica no uniforme causará un largo tiempo de ciclo, contracción diferencial y defectos de deformación sobre las piezas moldeadas (Park & Dang, 2010). Así la proximidad de los canales de refrigeración con el molde, ofrece una solución práctica para garantizar la calidad de la pieza moldeada.

## **2. Métodos**

### **Canales de enfriamiento**

A través del tiempo, desde que existe la inyección de plástico en moldes, varios investigadores han optimizado el proceso y se dieron cuenta de la importancia del diseño de los canales de enfriamiento (que incluyen forma, tamaño y ubicación), para la calidad de las piezas moldeadas. Por ejemplo en la Universidad Simón Bolívar, en Venezuela, los autores Candal y Pelliccioni (2013) realizaron un análisis comparativo entre los materiales poliméricos tales como, el polioximetileno (POM), poliamida (PA) y polipropileno (PP), para un diseño de un pie protésico y obtuvieron resultados relacionados con tiempo de llenado del molde de cavidad, tiempo de ciclo, contracción volumétrica, alabeo y marcas de hundimiento de la parte moldeada (Candal, Pelliccioni, M. Bermeo, & Müller-Karger, 2013).

En otro estudio Santhosh y Babu (2013) hicieron el diseño de un molde de inyección de plástico para la producción de un componente eyector, usaron software de diseño e hicieron un análisis de deformación, sus resultados

mostraron que es probable que ocurra una contracción más pronta en la región cerca de los canales de refrigeración en comparación con otras regiones. El enfriamiento ocurre más rápido en la ubicación más cercana a los canales de refrigeración que en la ubicación más alejada de los canales de refrigeración, esta temperatura diferente hace que el material experimente una contracción diferencial provocando tensiones térmicas, concluyen que el esfuerzo térmico puede causar problemas de deflexión y que mediante los análisis la deformación se puede predecir.

En un estudio de Himasekhar, et al. (1992), se enfocaron en el diseño de sistemas de refrigeración en el moldeo de inyección, debido a que el enfriamiento afecta tanto a la productividad como a la calidad de las piezas moldeadas. Utilizaron herramienta de análisis CAE, para mejorar sistemáticamente el rendimiento de un sistema de refrigeración en términos de rapidez, uniformidad e incluso enfriamiento. Incluyeron una implementación numérica de la aplicación de un esquema híbrido que consiste en un método modificado, frontera-elemento para la región de molde y un método de diferencia finita con una malla variable para la región de masa fundida. Estos dos análisis se acoplan de forma iterativa a fin de que coincida con la temperatura y el flujo de calor en la interfaz de molde por fusión.

Fauzun et al. (2008), presentaron una fórmula basada en resultados de simulación usando software ANSYS Fluent para determinar el tamaño y la posición de un canal de enfriamiento en espiral. En la formulación realizaron 5 etapas de simulación y la validez de su fórmula es debida a que fue desarrollada a partir de resultados de simulación que cumplen con criterios de convergencia, un alto porcentaje en el factor de corrección (por arriba del 97%) para todas las interpolaciones realizadas y un buen nivel en la uniformidad (aproximadamente del 9%).

### **Modelado Físico Matemático**

Con respecto a la relación física, la transferencia de calor en la fase de enfriamiento en el proceso de moldeo por inyección, es un problema complejo.

Así, algunos supuestos son aplicados para simplificar el modelo matemático (Lin, 2002) (Rao N. S., 2002). Después varios ciclos, el proceso de moldeo alcanza el estado estacionario en el que la temperatura media del molde es constante. Esta temperatura media se utiliza a menudo para el molde y el análisis de transición para las piezas moldeadas (Lin, 2002) (Park & Kwon, 1998). El equilibrio térmico se alcanza cuando el flujo de calor del plástico fundido transferido al molde se equilibra con el flujo de calor del molde. El equilibrio térmico es expresado por la ecuación 1.

$$\dot{Q}_m + \dot{Q}_c + \dot{Q}_e = 0 \quad (1)$$

Donde  $\dot{Q}_m$ ,  $\dot{Q}_c$  y  $\dot{Q}_e$  son el flujo de calor desde el plástico fundido, el flujo de calor con el refrigerante, y el flujo de calor con el ambiente, respectivamente. El calor del plástico fundido que se transfirió al molde es eliminado por la circulación del refrigerante (convección), transferido a la placa del molde (conducción), y el ambiente (convección y radiación). La pérdida de calor a través de las superficies exteriores tiene una aplicación real que es inferior al 5 % por lo que estas caras se consideran adiabáticas (Park & Kwon, 1998; Zhou, 2005).

Al desprestigiar el calor perdido con el entorno circundante,  $\dot{Q}_e$ , la ecuación de equilibrio energético puede simplificarse como en la ecuación 2.

$$\dot{Q}_m + \dot{Q}_c = 0 \quad (2)$$

El flujo de calor transferido al refrigerante desde el plástico fundido puede calcularse con ecuación 3 (Park & Kwon, 1998).

$$\dot{Q}_m = 10^{-3}[(T_M - T_E)c_p]\rho_m \frac{s}{2}x \quad (3)$$

Donde  $T_M$  es la temperatura de fusión,  $T_E$  es la temperatura al momento de la eyección,  $c_p$  es el calor específico del material plástico,  $\rho_m$  es la densidad de la masa fundida,  $s$  es el espesor de la pieza, y  $x$  es el paso de la sección transversal de los canales de enfriamiento, como se muestra en la figura 1. El tiempo de enfriamiento  $t_c$ , que es el tiempo relacionado al flujo de calor con el refrigerante se expresa con ecuación 4 (Park & Kwon, 1998).

$$\dot{Q}_c = 10^{-3} t_c \left( \frac{1}{10^{-3} \alpha \pi d k_{st} S_e} \right)^{-1} (T_W - T_C) \quad (4)$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de transferencia de calor del agua o fluido refrigerante,  $k_{st}$  es la conductividad térmica del acero del molde,  $T_W$  es la temperatura del molde, y  $T_C$  es la temperatura del refrigerante.

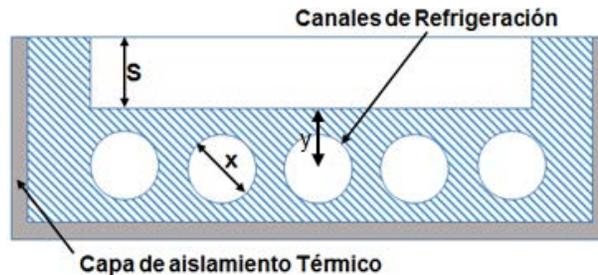


Figura 1 Unidad celular simplificada del molde y sus canales de refrigeración.

El efecto de la posición de los canales de refrigeración en la conducción de calor se considera aplicando el factor de forma  $S_e$ , ecuación 5.

$$S_e = \frac{2\pi}{\ln \left[ \frac{2x \text{Senh}(2\pi y/x)}{\pi d} \right]} \quad (5)$$

Donde  $x$  es el paso de los canales de refrigeración,  $y$  es la distancia desde el centro de los canales de enfriamiento hasta la superficie del molde, y  $d$  es el diámetro de los canales de refrigeración. El coeficiente de transferencia de calor del agua se calcula mediante ecuación 6 (Rao N. , 2004).

$$\alpha = \frac{31.395}{d} R_e^{0.8} \quad (6)$$

El número de Reynolds  $R_e$  se define mediante ecuación 7.

$$R_e = u \frac{d}{\nu} \quad (7)$$

Donde  $u$  es la velocidad del refrigerante, y  $\nu$  es la viscosidad cinemática del refrigerante. El tiempo de enfriamiento de la pieza moldeada se calcula mediante ecuación 8.

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[ \frac{4}{\pi} \left( \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \right] \quad (8)$$

Dónde  $\alpha$ , se determina mediante ecuación 9.

$$\alpha = \frac{k_m}{\rho_m C_p} \quad (9)$$

$\alpha$  es la difusividad térmica, y  $k_m$  es la conductividad térmica del material plástico, el tiempo de enfriamiento,  $t_c$ , es calculado iterativamente del balance térmico, ecuación 10.

$$Q_m = Q_c \quad (10)$$

Mediante la combinación de las ecuaciones 2 a 9, tenemos:

$$\frac{[C_p(T_M - T_E)]\rho_m \frac{s}{2} x}{T_W - T_C} \left\{ \frac{1}{2\pi k_{st}} \ln \left[ \frac{2x \operatorname{Senh}(2\pi \frac{y}{x})}{\pi d} \right] + \frac{1}{0.03139\pi R_e^{0.8}} \right\} = \frac{\rho_m C_p s^2}{\pi^2 k_m} \ln \left[ \frac{4}{\pi} \left( \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \right]$$

Al despejar, tenemos que, el tiempo de enfriamiento, se determina mediante ecuación 11.

$$t_c = \frac{[C_p(T_M - T_E)]\rho_m \frac{s}{2} x}{\pi d} \left\{ \frac{1}{2\pi k_{st}} \ln \left[ \frac{2\pi \operatorname{Senh}(2\pi \frac{y}{x})}{\pi d} \right] + \frac{1}{0.03139\pi R_e^{0.8}} \right\} \quad (11)$$

Es importante comprender la reacción del comportamiento físico y matemático en la inyección de plástico en moldes. El tiempo de enfriamiento de la pieza moldeada en la ecuación 8 muestra que la configuración de los canales de enfriamiento no afecta directamente al tiempo de enfriamiento. Sin embargo, si afecta la temperatura de la superficie del molde, afectando el tiempo de enfriamiento de manera indirecta. La ecuación 11 expresa la relación entre el tiempo de enfriamiento y las variables relacionadas con la configuración de los canales de enfriamiento, el cual,  $x$ , es la pendiente de los canales de refrigeración,  $y$ , es la distancia desde el centro del enfriamiento de la superficie del molde, y,  $d$  es el diámetro de los canales de refrigeración mejorado. La ecuación 11 solo es adecuada para calcular el tiempo de enfriamiento en un solo

punto. En este estudio, la ecuación 8 se utiliza para calcular el tiempo de enfriamiento para el frente como referencia para comparar los resultados de simulación.

### **Análisis (Simulación mediante software de volúmenes finitos)**

El análisis se realizó mediante simulación por volúmenes finitos en el software Moldex3D R14 sp2. La figura 2 muestra la pieza propuesta para inyectar la cual presenta una curvatura suave en los bordes de los cambios de sección con la intención de incluir un cierto grado de complejidad.

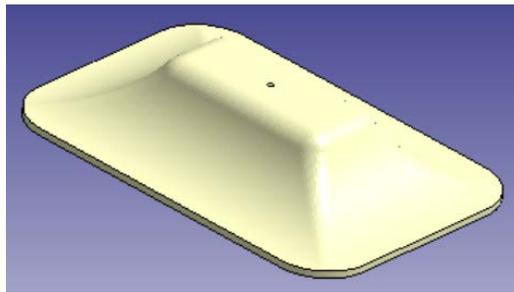


Figura 2 Geometría propuesta para evaluación de canales de enfriamiento.

En figura 3, se observa la configuración de los canales de refrigeración implementados en la pieza a inyectar. La diferencia entre los sistemas de refrigeración tipo I y II es que en el tipo I (figura 3a) los canales son completamente rectos y el tipo II (figura 3b) los canales siguen la trayectoria de la pieza moldeada a una distancia constante. La distancia de todos los canales de refrigeración a la superficie del molde es de 16 mm, el diámetro de los canales de refrigeración con geometría circular es de 8 mm y una distancia entre canales de 16 mm. Los canales de refrigeración tipo II mostrados en la figura 3c y figura 3d están diseñados considerando el área transversal equivalente de la forma circular, esto se expresa en las ecuaciones 12, 13 y 14 para la sección cuadrada.

$$P_{\text{circular}} = 2\pi r = 2(4)\pi = 25.13272 \quad (12)$$

$$P_{\text{cuadrada}} = 4L = 25.13272 \quad (13)$$

$$L = \frac{P_{\text{Cuadrada}}}{4} = \frac{25.13272}{4} = 6.28318\text{mm} \quad (14)$$

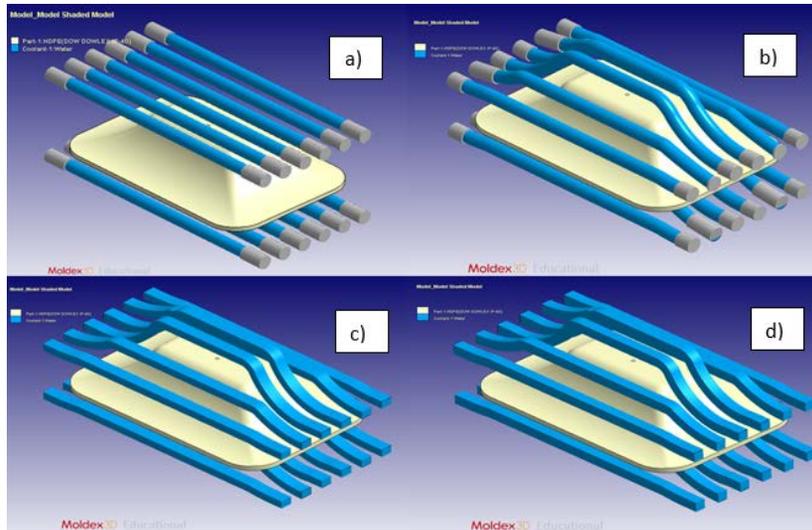


Figura 3 Sistemas de canales de enfriamiento.

Es decir, la medida de cada lado para la geometría cuadrada es 6.283 mm y para la sección transversal rectangular se obtiene mediante las ecuaciones 15, 16, y 17:

$$P_{circular} = 25.13272 = 2L + 2(1.5L) = 25.13272 \quad (15)$$

$$L_1 = \frac{P_{rectangular}}{5} = 5.026 \text{ mm} \quad (16)$$

$$L_2 = 1.5L = 1.5(5.026) = 7.539 \text{ mm} \quad (17)$$

Por lo tanto, para la geometría rectangular el lado menor es de 5.026 mm y para el lado mayor tenemos 7.539 mm.

El polímero implementado en el análisis es HDPE DOW IP 40 suministrado por la empresa DOW, con las propiedades mostradas en la tabla 1.

Tabla 1 Características y modelos para el HDPE-DOWLXIP-40.

Propiedad	Modelo y/o Magnitud
Índice de fluidez	Constante
viscosidad	Modelo Croos 2
PVT	Modelo Tait 2
Capacidad calorífica	Tabulado
Conductividad térmica	Tabulado
Visco-elasticidad	White-Metzner modificado
Propiedades Mecánicas	Constante

La función del refrigerante es absorber calor del polímero fundido a medida que fluye a través de los canales de refrigeración. Así la temperatura del refrigerante aumentará, y logrará un enfriamiento constante.

Las condiciones de frontera establecidas para la simulación de la inyección del polímero se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros de Proceso de inyección.

Parámetros de Proceso de inyección	Magnitud
Tiempo de llenado (s)	1.1
Temperatura de fusión (°C)	250
Temperatura de Molde (°C)	40
Presión de inyección máxima (MPa)	100
Volumen de inyección (cm <sup>3</sup> )	53.5935
Tiempo de empaque (s)	10
Presión máxima de embalaje (MPa)	100
Tiempo Enfriamiento (s)	10
Tiempo de apertura del molde (s)	5
Temperatura de expulsión (°C)	89.85
Temperatura del aire (°C)	25
Tiempo del ciclo (s)	26.1

Las figuras 4a Tipo I-geometría circular, 4b Tipo II-Geometría circular, 4c Tipo II-Geometría rectangular y 4d Tipo II- geometría cuadrada muestran la temperatura del polímero en la etapa de solidificación, es decir en el proceso de enfriamiento, se observa que los canales tipo II presentan una temperatura menor, lo que indica que se requiere menor tiempo para su enfriamiento.

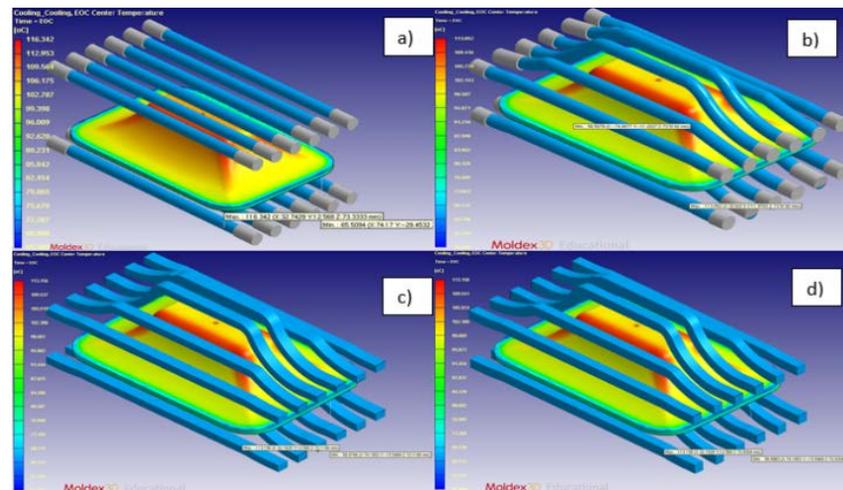


Figura 4 Temperatura de la pieza moldeada en la etapa de enfriamiento.

La figura 5 Tiempo máximo en la etapa de enfriamiento: 5a Tipo I-geometría circular, 5b Tipo II-Geometría circular, 5c Tipo II-Geometría rectangular y 5d Tipo II- geometría cuadrada, muestran el tiempo de enfriamiento para los cuatro tipos de canales, se muestra que los canales tipo II son los que presentan menor tiempo de enfriamiento.

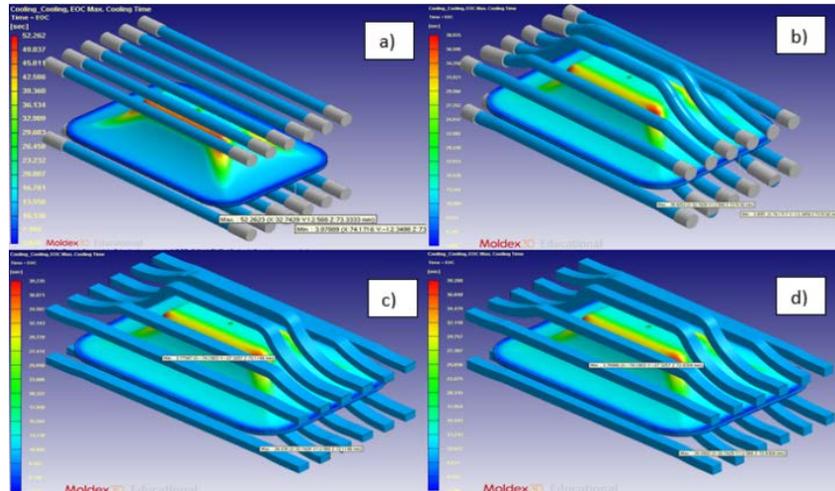


Figura 5 Tiempo de enfriamiento para los cuatro tipos de canales.

En las figuras 6a Tipo I-geometría circular, 6b Tipo II-Geometría circular, 6c Tipo II-Geometría rectangular y 6d Tipo II-geometría cuadrada, se observa el flujo de calor para los cuatro tipos de sistemas de enfriamiento, la figura 6a el mayor flujo de calor se presenta entre la parte más cercana entre la pieza y los canales de enfriamiento, lo que ocasiona un flujo de calor distinto en diversos puntos de la geometría, consecuencia del acomodo de los canales de enfriamiento.

Por otro lado, en los canales tipo II con geometría circular (figura 6b) se presenta un menor flujo de calor, pero con una distribución más uniforme en toda la pieza caso contrario de la geometría cuadrada y rectangular (figura 6c y 6d) donde el flujo es mayor con menor uniformidad en la perdida de calor.

La figura 7 a Tipo I-geometría circular, 7b Tipo II-Geometría circular, 7c Tipo II-Geometría rectangular y 7d Tipo II-geometría cuadrada, muestran los desplazamientos totales con los cuatro diferentes sistemas de enfriamiento, en la figura 7b se puede observar una menos contracción total menor que los demás

casos, consecuencia de una transferencia de calor uniforme sobre la pieza inyectada.

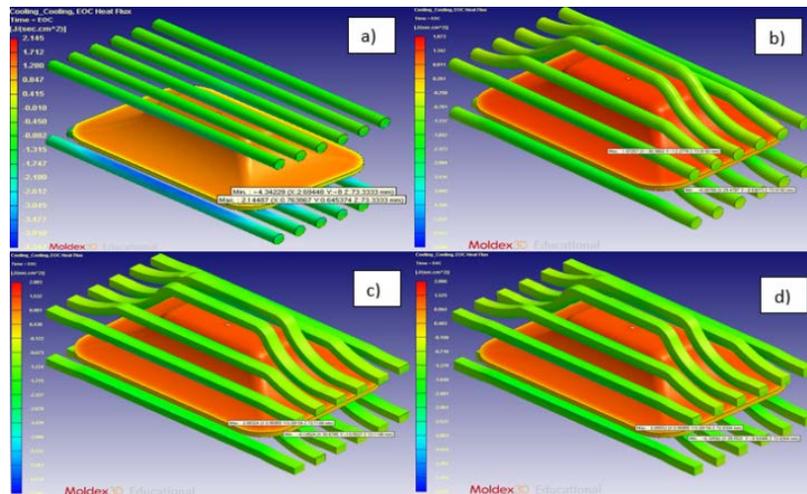


Figura 6 Flujo de calor en la etapa de enfriamiento.

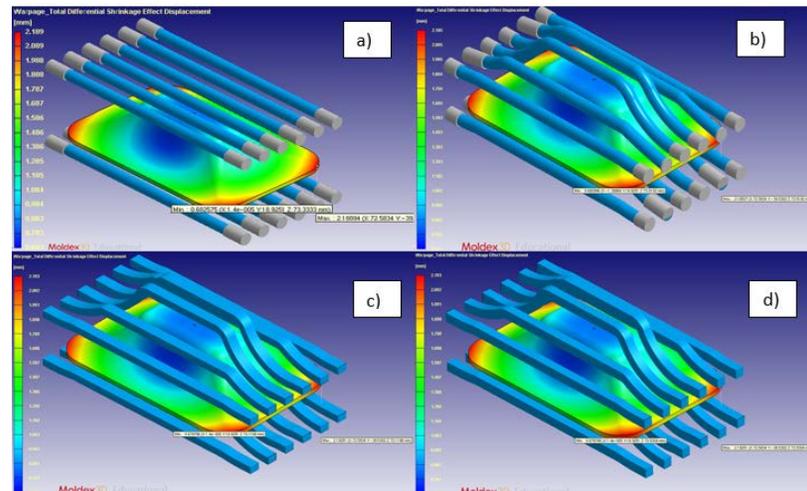


Figura 7 Contracción Diferencial total.

### 3. Resultados

Los resultados a detalle de tiempo para alcanzar el enfriamiento del molde, la variación de temperatura y la contracción se resumen en la tabla 3.

Con base en el resultado presentado en la tabla anterior, el tiempo de enfriamiento se redujo notablemente entre los dos tipos de canales, puede verse que la distancia desde la superficie del molde hasta el centro de los canales de

refrigeración es el factor principal que favorece un flujo de calor uniforme y un tiempo de enfriamiento más corto. El mayor flujo de calor se muestra en el sistema tipo I, pero solo en la parte superior de la pieza, que es cercana a los canales de enfriamiento, a su vez, los canales tipo II presentan una mejor distribución térmica, siendo el de geometría circular el que tiene un menor flujo de calor, pero más uniforme en toda la pieza inyectada.

Tabla 3 Resultados de tiempo para enfriamiento y la variación de temperatura.

<b>Configuración de los canales de refrigeración</b>	<b>Tiempo de enfriamiento (segundos)</b>	<b>Flujo de calor en la etapa de enfriamiento (J/(s.cm<sup>2</sup>))</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Contracción diferencial total (mm)</b>
<b>Tipo I Geometría circular</b>	52.262	2.1448	116.342	2.189
<b>Tipo II Geometría circular</b>	38.925	1.873	113.052	2.185
<b>Tipo II Geometría cuadrada</b>	39.200	2.083	113.158	2.193
<b>Tipo II Geometría rectangular</b>	39.235	2.086	113.156	2.193

Consecuencia de lo mencionado anteriormente, el sistema tipo II con sección transversal circular presenta la menor contracción total de la pieza inyectada, lo que le brinda una mejor estabilidad dimensional al producto final del moldeo por inyección, esto representa una ventaja en parámetros de calidad.

Los resultados del análisis son favorables para los canales tipo II, ya que ofrecen una mejor distribución térmica y menor tiempo de enfriamiento, en comparación con los canales tipo I.

#### **4. Discusión**

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis realizados en este estudio, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Hoy en día, gracias a la manufactura avanzada es posible fabricar las dos opciones mostradas de sistema de refrigeración teniendo las opciones de maquinado por tornos de control numérico o en un futuro mediante impresión 3D.

- El enfoque de usar canales de enfriamiento que se adapten a la superficie del molde es una solución alternativa para mejorar flujo de calor y reducir el tiempo de enfriamiento en proceso de moldeo por inyección en comparación con canales de refrigeración rectos.
- Aunque los canales de refrigeración tipo I y tipo II muestran muy pocas variaciones de temperatura, teniendo en cuenta la variación de la temperatura global en la cavidad, las ventajas siguen estando en el sistema de refrigeración tipo II.

Por lo tanto, las industrias de moldeo no deben subestimar las capacidades de los canales de refrigeración ya que un diseño apropiado puede ofrecer una distribución térmica uniforme y reducir el tiempo de enfriamiento. Para mejorar la calidad y la productividad de las partes producidas, el diseño de los canales de enfriamiento debe optimizarse mediante alguna técnica de diseño de experimentos o algoritmos genéticos.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a CoreTech System Co., Ltd. (Moldex3D) por su generoso suministro de licencias para esta investigación a través de su distribuido en el Estado de Guanajuato Lic. Salvador López de 3DCAD.

### **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Candal, Pelliccioni, M. Bermeo, & Müller-Karger, C. (2013). Comparative analysis of materials during design process of prosthetic foot by using plastic injection molding simulation FE tool. Pan American Health Care Exchanges (PAHCE), 11 (6), pp. 879-890.
- [2] Dimla, D. C. (2005). Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools. Journal of Materials Processing Technology, 1294-1300.
- [3] Fauzun, Hamdi, Tontowi, & Ariga. (2008). Formulation of the size and position of spiral cooling channel in plastic injection mold based on Fluent

- simulation results. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp.1728-1733.
- [4] Himasekhar KK, Lottey JJ, & KK., W. (1992). CAE of Mold Cooling in Injection Molding Using a Three-Dimensional Numerical Simulation. ASME, 213-221.
- [5] Li, C. (2006). Part segmentation by superquadric fitting-a new approach towards automatic design of cooling system for plastic injection mould. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 35(1-2), pp.102-114.
- [6] Lin, Z. a. (2002). Design of the cooling channels in nonrectangular plastic flat injection mold. Journal of Manufacturing Systems, pp.167-186.
- [7] Park, & Kwon. (1998). Optimal cooling system design for the injection molding process. Polymer Engineering & Science, pp.1450-1462.
- [8] Park, H., & Dang, X. (2010). Optimization of conformal cooling channels with array of baffles for plastic injection mold. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 11(6), pp.879-890.
- [9] Rao, N. (2004). Design formulas for plastics engineers (Vol. 2nd ed). Munich: Hanser Verlag.
- [10] Rao, N. S. (2002). Optimization of Cooling Systems in Injection Molds by an Easily Applicable Analytical Model. Journal of Reinforced Plastics and Composites, pp.451-459.
- [11] Santhosh, & Babu. (2013). Design and wrapage analysis of plastic injection mould. National Conference on Challenges in Research & Technology in the Coming Decades (CRT 2013), pp. 1-5.
- [12] Zhou, H. a. (2005). Mold cooling simulation of the pressing process in TV panel production. Simulation Modelling Practice and Theory, pp.273-285.