

EL MOLDEO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS PARA EL LOGRO DE OBJETIVOS EMPRESARIALES ¹

THE MOLDS IN THE PLASTIC INJECTION PROCESS FOR THE ACHIEVEMENT OF BUSINESS OBJECTIVES

O MOLDE NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO PARA ALCANÇAR OS OBJETIVOS DE NEGÓCIOS

Ricardo Prada Ospina ²

Julio César Acosta-Prado ³

FORMA DE CITACIÓN

Prada, R. & J.C. Acosta-Prado (2017). El molde en el proceso de inyección de plásticos para el logro de objetivos empresariales. *Dimensión Empresarial*, 15(1), 157-168

JEL: M11, M21.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15665/rde.v15i1.1002>

RESUMEN

La inyección de plásticos es un proceso que se ha venido abriendo paso en la industria, debido a los beneficios técnicos y económicos obtenidos en referencia a otros procesos de transformación de materiales. Actualmente, piezas con requerimientos específicos han encontrado en este proceso la mejor solución, desplazando a materiales tradicionales (bronce, aluminio, fundición de hierro gris o de acero, etc.) en aplicaciones industriales. El nivel de complejidad, la calidad de los materiales y el número de cavidades inciden en el costo del molde. Para poder establecer una relación adecuada entre costos de producción y el molde se deben definir bien, la figura a inyectar, el número de piezas y el costo del molde. Este artículo pretende realizar una aproximación de los cálculos teóricos y económicos aplicados al molde del proceso de inyección de plástico. Finalmente, se encontró que el molde, no solo presenta una fuerte incidencia con la rentabilidad del proceso, sino que de su adecuado diseño depende la posición competitiva de las fábricas de plásticos.

Palabras clave: Proceso de inyección de plásticos, cavidades de moldes, rentabilidad.

1 Artículo resultado de investigación adelantado en la Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas de la Universidad Escuela de Administración de Empresas, EAN, Bogotá, www.ean.edu.co Fecha de recepción 11/07/16. Fecha de aceptación 3/12/2016.

2 PhD en Ciencias empresariales; Doctor en Gestión, Magister en Administración. Profesor Investigador, Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas de planta en Universidad EAN. Email: rpradao@ean.edu.co

3 Post-PhD en Administración, PhD en Dirección y Organización de Empresas. Profesor Asociado, Universidad Externado de Colombia, Bogotá, www.uexternado.edu.co. Email: julio.acosta@uexternado.edu.co

ABSTRACT

The injection molding is a process that has been emerging in the industry, due to the technical and economic benefits obtained with reference to other processing of materials. Currently, parts with specific requirements found in this process the best solution, displacing traditional materials (bronze, aluminum, gray cast iron or steel, etc.) in industrial applications. The level of complexity, the quality of materials and the number of cavities affect the cost of the mold. In order to establish an appropriate relationship between production costs and the mold must be defined well, figure to be injected, the number of parts and the cost of the mold. This article aims to make an approximation of the theoretical and economic calculations applied to mold plastic injection process. Finally, it was found that the mold, not only has a strong impact to the profitability of the process, but its proper design depends on the competitive position of the plastics factories.

Key Words: plastics injection process, mold cavities, profitability.

RESUMO

Injeção de plástico é um processo que tem vindo a surgir na indústria, devido aos benefícios técnicos e econômicos em referência a outro processamento de materiais. Atualmente, as peças com requisitos específicos encontrados neste processo a melhor solução, deslocando materiais tradicionais (bronze, alumínio, ferro fundido cinzento ou aço, etc.) em aplicações industriais. O nível de complexidade, a qualidade dos materiais e o número de cavidades afetar o custo do molde. A fim de estabelecer uma relação adequada entre os custos de produção e o molde deve ser bem definida, a figura a ser injetado, o número de peças e o custo do molde. Este artigo tem como objetivo fazer uma aproximação dos cálculos teóricos e econômicas aplicadas para moldar processo de injeção de plástico. Finalmente, verificou-se que o molde, não só tem um forte impacto para a rentabilidade do processo, mas o seu design adequado depende da posição competitiva das fábricas de plástico.

Palavras-chave: Processo de plástico cavidades do molde de injeção, a rentabilidade

1. INTRODUCTION

La globalización implica que los sectores productivos cambien completamente sus estrategias de trabajo centrando sus esfuerzos en mejorar su calidad, productividad y plazos de entrega, con el objetivo de lograr competitividad tanto nacional como internacionalmente (Guarín & Páramo, 2002).

El proceso de inyección de plásticos ha crecido en la industria, debido a los beneficios técnicos y económicos obtenidos con referencia a otros procesos de transformación de materiales. El moldeo por inyección es una de las técnicas de procesamiento del plástico más usada. Muchas de las contribuciones vienen dadas por las técnicas herramientas y métodos de trabajo. En la actualidad, piezas con requerimientos específicos en el comportamiento mecánico, reducción de peso, resistencia al desgaste, aislamiento eléctrico, alta estabilidad dimensional y estabilidad química en presencia de medios agresivos, han

encontrado en este proceso la mejor solución, desplazando a materiales tradicionales (bronce, aluminio, fundición de hierro gris o de acero, etc.) en aplicaciones industriales (Pulido, 2004).

El proceso de moldeo por inyección, complementado con una correcta aplicación de criterios de selección de materiales, es uno de los procesos más comunes para la obtención de productos plásticos, ofreciendo a la industria buen resultado de rentabilidad y tiempos de ciclo más cortos. De todas las características que intervienen en el diseño de un producto confeccionado mediante la inyección de plásticos, sin duda, una de las más determinantes es el diseño del molde, especialmente cuando se trata de disminuir costos de inyección.

Para llevar a cabo el desarrollo empírico del trabajo nos hemos basado en una revisión teórica donde se relaciona la fabricación de moldes de inyección a partir de los materiales de fabricación del molde, los tipos de acero empleados en su ma-

nufactura, así como los componentes del molde. Con ello pretendemos sintetizar en el conocimiento y en la relación de algunas variables en el proceso de decisión del número de cavidades del molde para inyección de plástico.

Con este objetivo de investigación estructuramos el trabajo de la siguiente forma: a partir de esta breve introducción, en el siguiente apartado se revisan los principales enfoques que sobre los materiales para fabricar moldes de inyección de plástico se encuentran, así como los tipos de aceros utilizados en los principales estudios. Seguidamente se profundiza en la revisión de los cálculos teóricos que para el diseño de las cavidades del molde existen. Finalmente, se exponen las conclusiones derivadas del estudio.

2.MARCO TEÓRICO

Para fabricar piezas en plástico se acude a diversos procesos, tales como, inyección, soplado, extrusión, termoformado, rotomoldeo e inmersión, siendo la inyección el proceso que se utiliza para la fabricación de productos con altas propiedades mecánicas y gran estabilidad dimensional, requiriendo de una máquina inyectora, un molde, periféricos y materia prima.

El moldeo por inyección es, hoy por hoy, una de las técnicas más comunes en el procesamiento de plásticos. Este proceso consiste en fundir el polímero y hacerlo fluir bajo presión y temperatura en un molde, en el cual la pieza solidifica y duplica su forma (García, 2012). El material, previamente calentado hasta alcanzar su punto de fusión, se introduce en el interior de un molde cerrado, a alta presión donde se enfría adquiriendo la forma deseada. La gran ventaja de este proceso es la posibilidad de fabricar piezas de geometrías complejas a altas velocidades de producción (Albarrán, 2014).

De acuerdo con Boroat (2009), la importancia del proceso de inyección ha provocado que diversos autores hayan realizado una gran cantidad de trabajos e investigaciones para comprender los efectos de las variables del proceso por inyección sobre las propiedades finales de la pieza moldeada, entre los que se pueden recopilar los trabajos de Juárez, D., Balart, R., Peydró, M.A., y Ferrándiz, S. (2012), quienes coinciden en la existencia

de estudios previos que tratan de entender el proceso de inyección mediante el análisis de la influencia de determinados parámetros de proceso con respecto a ciertos efectos que afectan a las piezas inyectadas.

Así mismo, Williams, G. & Lord, H. A. (1975) estudian el llenado del molde de inyección para materiales termoplásticos centrándose en el flujo de material en los canales circulares de pared fría y de pared caliente.

Por su parte, Cox, H. W. & Mentzer, C. C. (1986) analizan la influencia directa de la velocidad de inyección con aspectos relacionados con la pieza final, como las características mecánicas, el acabado superficial y las dimensiones, incluyendo la influencia de las cargas de materiales de refuerzo sobre el polímero. Kamal, M. R., Varela, A. E. & Patterson, W. I. (1999), analizan la influencia de pérdida de peso de la pieza en moldeo por inyección de termoplásticos amorfos.

Bushko, W. C. & Stokes, V. K. (1995), plantean un modelo para cuantificar las interacciones entre varios parámetros, como son: el molde, la temperatura de fusión del polímero, el espesor de la geometría y la presión de compactación aplicada sobre los esfuerzos residuales y la contracción de piezas planas.

Kalay, G. & Bevis, M. J. (1997), relacionan las condiciones de procesado con las propiedades físicas de las piezas obtenidas, concluyendo con un control de los parámetros de proceso para controlar la rigidez de la pieza obtenida sin tener pérdidas de resistencia.

Bigerelle, M., Van Gorp, A. & Lost, A. (2008), caracterizan la influencia de cuatro parámetros de proceso sobre la rugosidad de las piezas finales obtenidas por inyección, como parámetro de control para garantizar la funcionalidad e integridad de una superficie.

Cheng, J., Feng, Y. X., Tan, J. R. & Wei, W. (2008), proponen una optimización de moldeo por inyección basada en la evaluación difusa de la moldeabilidad, logrando un modelo válido, factible y superior a los demás por su capacidad de modelar la dinámica de la lógica difusa en la toma de decisiones de humanos expertos.

2.1. Definición del proceso de inyección

Para procesar materiales poliméricos⁴ a través del sistema de moldeo por inyección se requiere de un molde acorde a la figura deseada. Es un proceso de fabricación semi-continuo que consiste en inyectar un polímero⁵, un metal o, un material cerámico en estado de fusión, en el interior de un molde cerrado a presión y en frío. Al enfriarse la pieza moldeada se obtienen las dimensiones deseadas. Este material se solidifica obteniéndose la pieza final al abrir el molde y eliminar los posibles restos de material solidificado en mazarotas y canales de alimentación del molde (Albarrán, 2014).

Se estima que el 33% de las piezas de plástico fabricadas, se hacen actualmente, mediante la inyección por moldeo, que tiene varias ventajas frente a otros procesos:

- Altos volúmenes de producción
- Costos bajos de operación
- Automatización del proceso
- Las piezas no requieren de ningún acabado o muy pocos
- Elaboración de piezas de geometría muy compleja, imposible por otros métodos.
- Obtención de diferentes colores y acabados superficiales
- Buena tolerancia dimensional

2.2. Materiales de fabricación del molde de inyección

En la fabricación por inyección de plástico es importante la calidad de los moldes. Para esto, la clave está en la geometría de la pieza a fabricar, con una durabilidad que mantenga la calidad de fabricación en el tiempo. Usualmente los moldes de inyección se fabrican en acero pre-templado (acero P20), y aceros de temple, dependiendo de las exigencias a las que será sometido el molde.

El tipo de acero empleado en la fabricación del molde lo deter-

mina el costo, y teniendo en cuenta detalles importantes como la geometría de la pieza a fabricar, el material plástico utilizado, las presiones de cierre del molde, el número de piezas a fabricar y el tiempo de ciclo. La elección del acero para la fabricación del molde de inyección se basará en sus propiedades mecánicas, ya que será sometido a esfuerzos durante el proceso de inyección. Las propiedades que se deben tener en cuenta son:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia térmica
- Tenacidad
- Buena mecanibilidad
- Facilidad para electro-erosionado o fotograbado
- Resistencia al impacto y deformación
- Buena resiliencia
- Resistencia al desgaste

Resulta casi imposible obtener un acero que cumplan con todas estas exigencias al mismo tiempo y a un nivel suficientemente elevado, por lo que usualmente se emplean aceros aleados con diferentes elementos, para equilibrar las propiedades requeridas.

2.3. TIPOS DE ACERO UTILIZADOS EN MOLDES DE INYECCIÓN

Hay gran variedad de aceros, según su finalidad y exigencias mecánicas. En el caso de los moldes de inyección, se destacan aquellos con una mayor resistencia a la abrasión, corrosión, tenacidad y compresión.

2.3.1. Aceros de nitruración

Son aquellos a los que se ha adicionado nitrógeno (N₂) mien-

⁴ Los materiales poliméricos sintéticos o conocidos comúnmente como "plásticos" forman parte de la mayoría de los accesorios o dispositivos que utilizamos en nuestra vida diaria.

⁵ Macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

tras es calentado, lo que incrementa la dureza superficial, y la resistencia a la corrosión y fatiga. Para llevarlo a cabo, el acero es introducido en un horno con una atmósfera llena de amoníaco (NH₃) donde se calienta hasta 500°C. El NH₃ se descompone en nitrógeno e hidrógeno y, el nitrógeno al entrar en contacto con la superficie del acero reacciona, produciendo un recubrimiento de nitruro de hierro. Este tratamiento produce piezas de gran dureza, pero como inconveniente, su velocidad de penetración (1mm en 100 horas de tratamiento) es lenta. Puliendo luego la pieza, se obtiene el punto de mayor dureza, el cual se encuentra unas centésimas de milímetro por debajo de la superficie.

2.3.2. Acero de temple

Las características mecánicas que se obtienen dependen de la velocidad y rápido enfriamiento. Al formarse con este proceso moléculas de martensita, se logran piezas de gran dureza, debido al rápido enfriamiento. Se usan básicamente tres agentes refrigerantes: Agua, aceite y aire, siendo el agua el medio más eficiente y donde se obtiene la máxima dureza; sin embargo, este cambio brusco de temperatura puede producir deformaciones y grietas en la pieza. Por ello se puede optar por el aire o el aceite, que son más suaves. Tras el proceso de temple se debe realizar un revenido de la pieza para mejorar su tenacidad y eliminar tensiones internas de la pieza producidas por el rápido enfriamiento.

2.3.3. Acero pretemplado

Es el acero de uso general en la fabricación de moldes. Se conoce como P20 y no suele requerir de tratamiento térmico adicional, aun cuando para incrementar la dureza, se puede templear o someter a procesos de nitruración o cementación. Es fácil de pulir, lo que simplifica el desmolde de la pieza de plástico.

2.3.4. Acero inoxidable

Es un tipo de acero con elevada resistencia a la corrosión. Se obtiene por adición en su composición (del acero) de al menos 12% de cromo (Cr). Posee gran afinidad con el oxígeno (O₂), evitando así la oxidación del hierro.

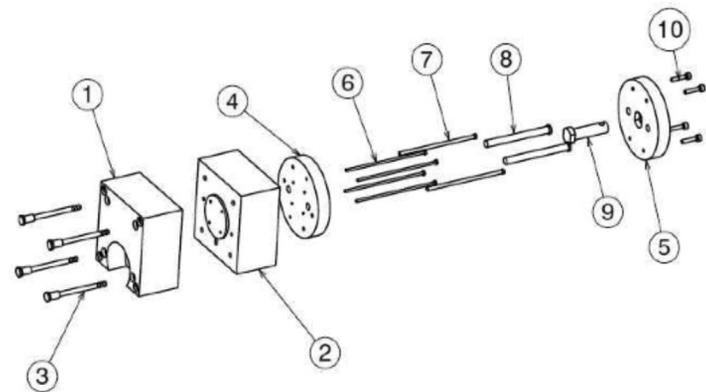
2.4. COMPONENTES DEL MOLDE

El molde está compuesto principalmente por dos placas o se-

mimoldes que unidas dan forma a la cavidad que será llenada de material polimérico para producir la pieza. El conjunto completo está formado por 10 elementos identificados en la figura 1:

1. Placa fija
2. Placa móvil
3. Columna guía
4. Placa de expulsión
5. Placa de apriete
6. Aguja de expulsión
7. Columna separadora
8. Guía de expulsión
9. Tirante de expulsión
10. Tornillo Allen M3x16

Figura 1. Desglose del molde para inyección



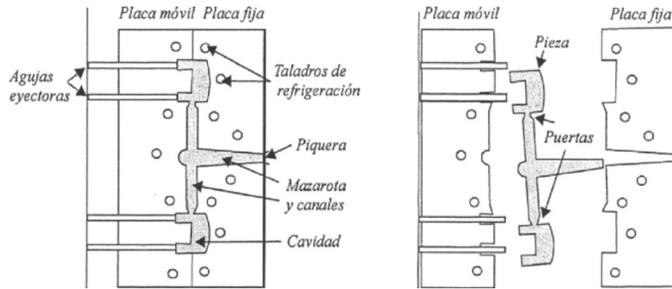
Fuente: Albarrán (2014).

2.5. ESTUDIO DEL NÚMERO DE CAVIDADES

Para poder cubrir el volumen de fabricación demandado, se hace necesario el estudio del número apropiado de cavidades del molde. Dentro del costo final de producción de una pieza inyectada el número óptimo de cavidades en el molde, es un factor clave, ya que determina qué tan complejo será el molde de inyección, permitiendo conocer el volumen de producción a

fabricar, así como la cantidad de materia prima desperdiciada por llenado de canales. Este volumen de fabricación se cumple teniendo en cuenta criterios económicos. Un molde dividido en dos semimoldes o más partes, puede contener una o varias cavidades para fabricar varias piezas a la vez.

Figura 2. Vista interior del molde para inyección



Fuente: Albarrán (2014).

El número de cavidades del molde incide directamente en el tiempo de proceso y en el costo final de la pieza. Por esto, se debe analizar el número de cavidades en la búsqueda de minimizar el tiempo de proceso y para precisar la rentabilidad de la fabricación del molde. Los moldes deben diseñarse con el mayor número de cavidades posible, o mejor aún, con el número óptimo de cavidades. Un molde con pocas cavidades puede subutilizar la máquina de inyección y aumentar el tiempo de producción (Isaza, E., Salazar, E. & Moreno, Y., 2010); sin embargo, demasiadas cavidades traen como consecuencia moldes más costosos, complejos y con mayores requerimientos en capacidad de inyección.

3. CÁLCULO DEL NÚMERO DE CAVIDADES DEL MOLDE

Una vez definido el material de fabricación, se debe considerar el número de cavidades del molde. Es deseable tener el mayor volumen producido en cada ciclo de inyección por lo que se desea también tener el mejor número de cavidades posible; sin embargo, no siempre es conveniente, por la complejidad de los sistemas de llenado, refrigeración y expulsión en el molde de grandes dimensiones, lo que hace que difícil de controlar su

operación y las piezas obtenidas pueden alcanzar defectos asociados a problemas en el llenado de algunas cavidades. A medida que aumenta el número de piezas a inyectar por ciclo, crece la probabilidad de tener diferencias dimensionales, de acabado superficial o de propiedades mecánicas entre productos.

Por otro lado, un número alto de cavidades puede elevar sustancialmente el costo de fabricación del molde o complicar innecesariamente el control del llenado de los canales. Además, el número posible de unidades a producir por ciclo está restringido por parámetros técnicos de la máquina inyectora, tales como capacidad de plastificación (cm³/seg), capacidad de inyección (cm³) y fuerza de cierre (kN).

3.1. Cálculo del número teórico de cavidades

Según Rol (2011), el número teórico de cavidades, puede ser calculado de 3 maneras diferentes, todas ellas teniendo en cuenta parámetros de la máquina de inyección y de la pieza:

a) Relacionando la fuerza de cierre de la máquina (expresada en Ton), con la fuerza expansiva (expresada en Ton) que se produce en el interior del molde, producto de la presión interna por el área proyectada, con la siguiente expresión:

$$N_1 = \frac{\text{Fuerza de cierre de la máquina}}{\text{Fuerza expansiva en el molde}}$$

b) Mediante la relación entre volumen máximo de inyección de la máquina (expresado en cm³) y el volumen de la parte o pieza a inyectar (expresado en cm³), con la siguiente expresión:

$$N_2 = \frac{\text{Volumen máximo de inyección de la máquina}}{\text{Volumen de la parte a inyectar}}$$

Conocer las características de la máquina inyectora (presión de cierre, tamaño de disparo, capacidad de plastificación, relación L/D de husillo, y distancia entre barras guía de platinas) es fundamental para estimar adecuadamente el número de cavidades del molde. Para determinar la capacidad de la inyectora, en

este caso, el tamaño de disparo, se aplica la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ estimado de cavidades CTD} = \frac{\text{Tamaño de disparo (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen total de piezas y colada estimada (cm}^3\text{)}}$$

c) Con la relación existente entre el rendimiento de plastificación del cilindro de la máquina (expresado en cm³/min) y el número de inyecciones/minuto multiplicado por el volumen de la unidad (expresado en cm³/min), con la siguiente expresión:

$$N_3 = \frac{\text{Rendimiento de plastificación de la máquina}}{\text{(N}^{\circ} \text{ de inyecciones/minuto) (Volumen de la unidad)}}$$

Para determinar la capacidad de plastificación de la inyectora,

igualmente se puede aplicar la siguiente fórmula, donde el rendimiento de plastificación se expresa en cm³/min y el volumen de pieza y colada estimada en cm³:

$$N^{\circ} \text{ estimado de cavidades CRP} = \frac{\text{Rendimiento de plastificación}}{\text{(N}^{\circ} \text{ inyecciones) (Volumen de la pieza y colada estimada)}}$$

3.2. Cálculo económico del número rentable de cavidades

De acuerdo con Pulido (2004), el número rentable de cavidades es un cálculo que tiene en cuenta todos los factores implicados en el proceso para poder dar el resultado más favorable. Dentro de los factores implicados en el proceso, están el tiempo del proceso, el número de cavidades del molde y los costos de máquina, materiales, mano de obra y molde. Los aspectos principales que influyen en el costo de fabricación se listan en la tabla 1:

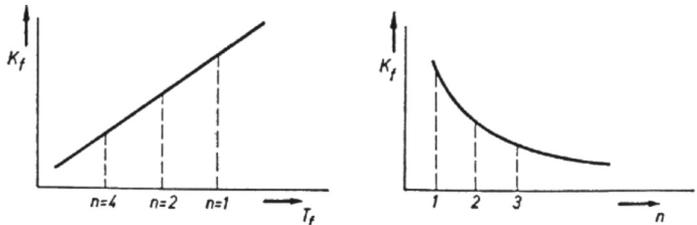
Tabla 1. Algunos aspectos que afectan el costo de una pieza inyectada

Costo de materia prima	Este rubro incluye el costo de la resina base, aditivos modificadores de propiedades, pigmentos. Es necesario evaluar el nivel de desperdicios generado, que se relaciona con el número de cavidades.
Control de calidad	Es deseable evitar procesos de mecanizado posteriores a la inyección pueden incrementar el precio del producto final.
Complejidad del producto	Este factor es importante en el costo del molde: dependiendo del espesor de pared y de los recorridos del flujo se requerirán una, dos o más entradas de material.
Costos fijos	La renta del espacio ó bodega, además de gastos tales como depreciación de maquinaria, servicios públicos y gastos administrativos.
Mano de obra	Se relaciona directamente con la cantidad de tiempo empleado por colada continua más enfriamiento en el proceso de inyección.
Tiempo de ciclo	Normalmente está determinado por la capacidad de enfriamiento del molde, que a su vez depende del espesor de la pieza y de las temperaturas del proceso.
Costo del molde	En suma, depende del material, especificado según requerimientos de resistencia mecánica y conductividad térmica. La complejidad de los sistemas de expulsión, llenado, enfriamiento y venteo dependen de la forma de la pieza y el número de cavidades.

Fuente: Elaboración propia

Según Rol (2011) existen gráficas que relacionan estos parámetros de 2 en 2, las cuales permiten observar cómo influyen estos parámetros en el costo de la pieza:

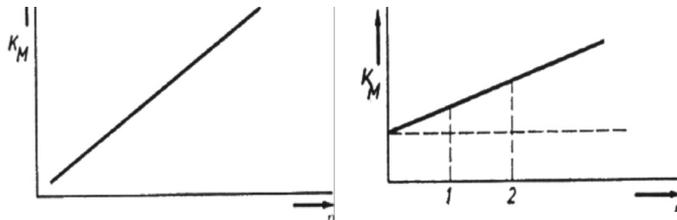
Figura 3. Relación entre el costo del proceso y tiempo de producción (Dcha.). Relación entre costo del proceso y número de cavidades del molde (Izq.).



Fuente: Rol (2011).

El costo crece cuando se tiene un número reducido de cavidades en el molde, en consecuencia, también crece el tiempo de proceso (Rol, 2011). Igualmente, a medida que aumenta el número de cavidades, el costo de proceso se reduce.

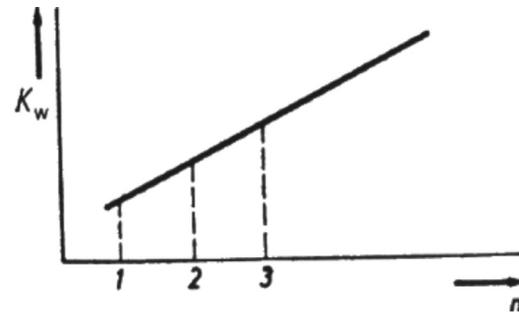
Figura 4. Relación entre costo del material y el número de cavidades (Izq.). Relación entre costo del material y costo por pieza en función del número de cavidades (Dcha.).



Fuente: Rol (2011).

De la gráfica de la izquierda se puede observar, que el costo del material aumenta linealmente con el número de cavidades. En la gráfica de la derecha se nota que debido a los canales de alimentación de moldes multicavidad, la pendiente es menos inclinada (Rol, 2011).

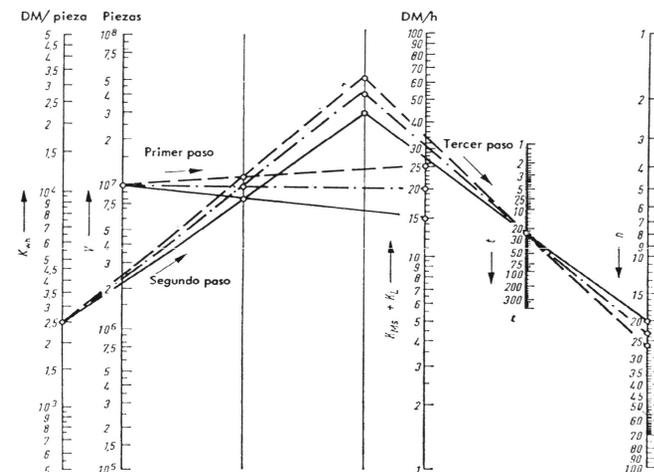
Figura 5. Relación entre costo del molde y el número de cavidades.



Fuente: Albarrán (2014).

Debido a los costos de fabricación, el precio del molde aumenta directamente con el número de cavidades. Dado que es difícil manejar todas las gráficas a la vez, y basado en años de experiencia se desarrolló un nomograma empírico (Figura 8), el cual según Rol (2011) permite encontrar el número rentable de cavidades de un molde.

Figura 6. Nomograma para la determinación del número rentable de cavidades.



Fuente: Rol (2011).

Este nomograma para obtener el número de cavidades, funciona en primer lugar, ingresando el valor de volumen de fabricación en la gráfica, a través del trazo de una línea hasta el costo de máquina más costo de mano de obra. En segundo lugar, se une mediante una línea trazada desde el costo estimado de una cavidad hasta la intersección en la primera columna sin valores con la línea previamente marcada. Este segundo trazo se prolonga hasta la segunda columna sin valores. Luego se une el punto demarcado de la columna sin valores con el tiempo del ciclo, llevando este trazo final hasta la columna que marca el número de cavidades, con lo que se obtiene el número óptimo de cavidades rentable, el cual, en lo posible, no debe ser superior a 4 cavidades.

De acuerdo con Isaza, E., Salazar, E., & Moreno, Y. (2010) existen también algunos modelos matemáticos para determinar el número de cavidades de un molde basados en magnitudes dependientes de la máquina, como la fuerza de cierre, la capacidad máxima de inyección y las dimensiones físicas de la máquina.

Siguiendo a Isaza et al. (2010) se considera que el número de cavidades más rentable está relacionado con el tiempo de producción invertido en el pedido, costo de la hora-máquina, costo del material, costo/ hora de mano de obra, costo/ cavidad del molde y el número total de piezas a producir, y se relacionan de acuerdo a las siguientes fórmulas que determinan el número de cavidades del molde:

Costo de Producción (C_{pro}): determinado por la relación entre el tiempo total de producción, los costos de mano de obra y de operación de máquina, para lo cual proponen la siguiente ecuación:

$$C_{pro} = (C_{mq} + C_{mdo}) * T_{pro} \quad (1)$$

donde C_{mq} : Costo de la máquina inyectora (\$/hora)

C_{mdo} : Costo de la mano de obra (\$/hora)

T_{pro} : Tiempo de producción (hora)

Tiempo Total de Producción (T_{pro}): se determina relacionando el tiempo del ciclo y la totalidad de las piezas a producir con el número de cavidades del molde, dado que a mayor número

de cavidades se producen más piezas por ciclo, para lo cual proponen la siguiente ecuación:

$$T_{pro} = \frac{P * t}{3600 * n} \quad (2)$$

donde P: número de piezas

t: tiempo de ciclo (S)

n: Número de cavidades del molde

Costo del Material (C_{mat}): Determinado por el valor del material/unidad multiplicado por la cuantía del pedido, y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$C_{mat} = P * C_{pz} \quad (3)$$

donde P: Alcance del pedido (Número de unidades)

C_{pz} : Costo del material por unidad (\$/unidad)

• *Costo del Molde (C_{molde}):* Se determina por la sumatoria entre el costo de cada cavidad más el costo del material empleado en el molde más el costo de los accesorios del molde más el costo de fabricación. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$C_{cav} = C_{man} + C_{mt} + C_{acc} \quad (4)$$

donde C_{cav} : costo de una cavidad (\$)

C_{man} : costo de manufactura (\$)

C_{mt} : costo de material del molde (\$)

C_{acc} : costo de accesorios del molde (\$)

Se puede estimar el costo de fabricación de una cavidad utilizando la siguiente ecuación que describe el procedimiento antes mencionado:

$$C_{man} = \sum_1^m C_{pmi} * T_i \quad (5)$$

donde C_{pmi} : Cada proceso relacionado con la manufactura de la cavidad

T_i : Tiempo que toma cada proceso en la fabricación del molde

m: N° total de procesos de manufactura relacionados con la cavidad

El costo de cada proceso de fabricación, puede desglosarse utilizando la siguiente expresión:

$$C_{pm} = C_{hh} + C_{heq} \quad (6)$$

donde C_{pm} : costo del proceso de manufactura (\$/hora)

C_{hh} : costo de la hora-hombre (\$/hora)

C_{heq} : costo de la hora del equipo (\$/hora)

Por tanto, el costo del molde se expresa como:

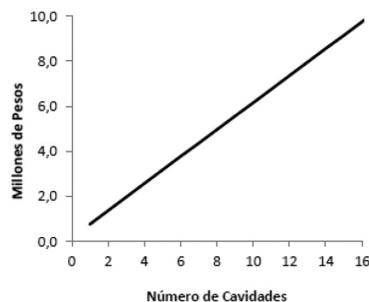
$$C_{mold} = C_{cav} + F * (n - 1) * C_{cav} \quad (7)$$

donde F: factor de reducción de costo de la cavidad adicional ($F \leq 1$).

n: Número de cavidades del molde

Básicamente, el costo de un molde se representa según la ecuación (7), sin embargo, el costo total del molde depende principalmente del número de cavidades. Un molde que posea el doble o el triple de cavidades, no necesita el doble o triple de materiales para su elaboración. Esto aplica para los accesorios del molde, los cuales estando estandarizados no se comportan en una relación directa al número de cavidades (Isaza et al. 2010). El costo del molde es un factor que expresa el costo de cada cavidad adicional como una parte del monto encontrado al deducir el precio de la cavidad inicial (ecuación 7), lo que justifica el factor F en esta expresión. El comportamiento en el costo total del molde se deduce en la figura 9:

Figura 7. Comportamiento del costo del molde en relación con el número de cavidades



Fuente: Isaza et al. (2010)

En la actualidad, los accesorios de los moldes de inyección se encuentran estandarizados. Los tamaños de las bases de moldes y los accesorios están designados en intervalos discretos, lo cual hace que estas dependan de manera escalonada del número de cavidades del molde. El costo del molde se puede reajustar teniendo el número de cavidades adecuado, llegando así de forma iterativa a una estimación más aterrizada del costo del molde.

Costo Total (Ctotal): este costo viene dado por la suma de los diversos costos:

$$C_{total} = C_{pro} + C_{mat} + C_{mold} \quad (8)$$

Finalmente, el costo total del molde se expresa como la suma de los costos de producción, más el costo de los materiales empleados en el molde, y el costo del molde.

4. CONCLUSIONES

La fuerte competencia y la reducción de las barreras comerciales por la globalización, han hecho cada vez más difícil para las organizaciones mantener la participación creciente en el mercado. Desde el descubrimiento del plástico, este material se ha convertido en uno de los principales materiales para la fabricación de multitud de artículos, característica clave para entrar en un gran número de mercados y aplicaciones, sin disminuir el dinamismo que siempre ha poseído este sector. un factor clave en el desarrollo social e industrial de la humanidad.

El análisis del proceso de inyección de plástico y sus fases tiene en la actualidad un conjunto de herramientas disponible que permiten determinar las condiciones idóneas para el procesamiento de materiales poliméricos. El proceso de inyección destaca sobre otros procesos de transformación (extrusión, soplado y vacío, etc), en razón a un mejor tiempo de respuesta productivo, logrando superar incluso a otros materiales (metales, maderas y vidrios).

El proceso de moldeo por inyección de plásticos se presenta como una de las alternativas más viables para alimentar la futura demanda global de productos de todo tipo, acorde con la producción en masa de productos sostenibles, ligeros y, cada vez, con mayor complejidad. El objeto de este estudio ha sido

analizar los SGC y su influencia en la mejora de la rentabilidad de las empresas fabricantes de productos plásticos, con base en el proceso de inyección por moldeo. Para esto, se realizó un análisis de las bases teóricas que fundamentan la investigación, reconociendo el papel del molde, y dentro de su diseño, el del número de cavidades óptimo y más rentable.

El número óptimo de cavidades debe hallarse desde el punto de vista técnico y económico. El posicionamiento teórico producto de la revisión de literatura sirvió para encontrar la articulación de conceptos que han conllevado una mejora tecnológica en la aplicación del plástico en la inyección por moldeo.

Esta investigación ha intentado contribuir a resolver la controversia respecto al cálculo del número adecuado de cavidades en el molde, como parte integral de una decisión gerencial para la manufactura óptima de piezas y partes plásticas. Como resumen del resultado obtenido es probable que esta revisión teórica permite discernir mejor a la hora de decidir por la cuantía relevante de cavidades en un molde específico, a la hora de costear una futura fabricación de determinada pieza plástica. En otras palabras, la aplicación de cálculos teóricos mediante fórmulas propuestas por diferentes autores conduce a un mayor incremento de la productividad y por ende, en una mejora de la rentabilidad.

REFERENCIAS

Albarrán, J.M. (2014). PFC: *Diseño y fabricación de un molde para inyección en plástico*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Universidad Pontificia Comillas.

Bigerelle, M. A. Van Gorp & A. Lost (2008). Multiscale roughness analysis in injection-molding process. *Polymer Engineering & Science*, 48 (9), 1725-1736, doi: 10.1002/pen.21131

Boroat, T. (2009). *Estudio y modelización de la procesabilidad mediante moldeo por inyección de materiales termoplásticos reciclados*. Tesis Doctoral Universidad. Politécnica de Valencia (España). 2009-05-21, doi:10.4995/Thesis/10251/5024.

Bushko, W.C. & V.K. Stokes (1995). Solidification of thermo-viscoelastic melts. Part II: Effects of processing conditions on

shrinkage and residual stresses. *Polymer Engineering & Science*, 35 (4), 365-383, doi: 10.1002/pen.760350410

Cox, H.W. & C.C. Mentzer (1986). Injection-molding - the effect of fill time on properties. *Polymer Engineering & Science*, 26 (7), 488-498, doi: 10.1002/pen.760260707

Cheng, J., Y.X. Feng, J.R. Tan & W. Wei (2008). Optimization of injection mold based on fuzzy moldability evaluation. *Journal of Materials Processing Technology*, 208 (1-2), 222-228, doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.114

Chiang, H.H., C.A. Hieber & K.K.A. Wang (1991). Unified simulation of the filling and postfilling stages in injection-molding. Part I. Formulation, *Polymer Engineering & Science*, 31 (2), 116-124, doi: 10.1002/pen.760310210

Chiang, H.H., C.A. Hieber & K.K.A. Wang (1991). Unified simulation of the filling and postfilling stages in injection-molding Part II. Experimental verification, *Polymer Engineering & Science*, 31 (2), 125-139, doi: 10.1002/pen.760310211

Chiang, H.H., K. Himasekhar, N. Santhanam & K.K. Wang (1993). Integrated simulation of fluid-flow and heat-transfer in injection-molding for the prediction of shrinkage and warpage, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 115 (1), 37-47, doi:10.1115/1.2902155

Chun, D.H. (1999). Cavity filling analyses of injection molding simulation: bubble and weld line formation, *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90 (May), 177-181, doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00052-7

García, S.M. (2012). *Diseño de un molde de inyección y elaboración de diagramas de moldeo para la empresa Unión Plástica*. Informe Final de Cursos de Cooperación. Universidad Simón Bolívar (Venezuela), 2012-05-21.

Guarín, A. & G.J. Páramo (2002). Estudio del estado del arte de moldes de inyección en Colombia. *Revista Universidad EA-FIT*, 38 (128), 53-66.

Johannaber, F. (1985). *Injection Molding Machines. A User's Guide*. Germany: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, doi: 10.3139/9783446450110

Juárez, D., R. Balart, M.A. Peydró & S. Ferrándiz (2012). Estudio y análisis del moldeo por inyección de materiales poliméricos termoplásticos. *Revista 3ciencias*, 3, 1-14.

Kalay, G. & M.J. Bevis (1997). Processing and physical property relationships in injection molded isotactic polypropylene. Part I: Mechanical properties, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 35 (2), 241-263, doi: [10.1002/\(SICI\)1099-0488\(19970130\)35:2<241::AID-POLB5>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0488(19970130)35:2<241::AID-POLB5>3.0.CO;2-V)

Kamal, M.R. & S. Kenig (1972). Injection molding of thermoplastics. Part I: Theoretical model. *Polymer Engineering & Science*, 12 (4), 294-301, doi: [10.1002/pen.760120408](https://doi.org/10.1002/pen.760120408)

Kamal, M.R., A.E. Varela & W.I. Patterson (1999). Control of part weight in injection molding of amorphous thermoplastics, *Polymer Engineering & Science*, 39 (5), 940-952, doi: [10.1002/pen.11483](https://doi.org/10.1002/pen.11483)

Menges G. (1974). *Moldes para inyección de plásticos*, México: Editorial Calypso.

Menges, G., W. Michaeli & P. Mohren (2001). *How to Make Injection Molds*. Germany: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, doi: [10.3139/9783446401808](https://doi.org/10.3139/9783446401808)

Isaza, E., E. Salazar & Y. Moreno (2010). Modelo para la determinación del número óptimo de cavidades en moldes de inyección de plásticos. *Revista Scientia et Technica*, X (200), 1-6.

Pulido, A.M. (2004). ¿Cómo calcular la cantidad de cavidades en moldes, equilibrando aspectos técnicos y económicos? Recuperado de Tecnología del plástico www.plastico.com_imprimir_Como-calculat...spectos-tecnicos-y-economicos_3031016 [2016/06/24]

Williams, G. & H.A. Lord (1975). Mold-filling studies for injection molding of thermoplastic materials. Flow of plastic materials in hot-walled and cold-walled circular channels, *Polymer Engineering & Science*, 15 (8), 553-568.