

X CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA “COMEC 2019”

Título: Procedimiento de cálculo, modelación y caracterización geométrica para molde de inyección a presión de metal para pieza tipo soporte

Title: Method of calculation, modeling and geometrical characterization of mold for injection to pressure of metal for part support type

**Autores: Dr. Ángel Rafael García Martínez.¹, Dr. Norge I. Coello Machado²
Ing. Anyel Lemos Armengol³, Ing. Alejandro Almeida Espinosa⁴**

¹ Centro de Investigación y desarrollo “Perspectiva”. Carretera Cumanayagua, km12, Manicaragua, Villa Clara, Cuba. agmartinez@uclv.cu

² Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara. Cuba. norgec@uclv.edu.cu

³ Centro de Investigación y desarrollo “Perspectiva”. Carretera Cumanayagua, km12, Manicaragua, Villa Clara, Cuba. alamengol@uclv.cu

⁴ Centro de Investigación y desarrollo “Perspectiva”. Carretera Cumanayagua, km12, Manicaragua, Villa Clara, Cuba. almeida@persp.reduim.cu

Resumen

La obtención de piezas metálicas inyectadas por presión, es un método de elaboración mecánica ampliamente extendido en la industria actual. En el siguiente trabajo, se presentan los resultados de la investigación, donde utilizando técnicas CAP, se actualiza un procedimiento, que mejora la calidad de los procesos de cálculo y diseño de moldes para inyección de aleaciones metálicas. Se organiza, información dispersa y se hace un análisis, que tiene en cuenta diferentes variables durante el diseño de estos herramientas. Se realizan recomendaciones sobre el comportamiento de la contracción. Proponiéndose, expresiones para el número de cavidades, área proyectada, fuerza de cierre, así como la relación entre la masa de la porción vertida y el diámetro interior del vaso. Presión específica sobre la aleación fundida, y recomendaciones para el diseño de los canales de alimentación a las cavidades del útil. Permitiendo, al especialista investigador, decidir con mayor rapidez y acierto durante el proceso de creación de la herramienta.

Finalmente, con la aplicación del método, utilizando Autodesk Inventor Professional 2018 y sus bibliotecas de contenido, se realizó la modelación simulación y caracterización geométrica de un molde para una pieza tipo soporte.

Abstract:

The obtaining of metallic pieces injected by pressure, is a method of mechanical elaboration extended in the current industry. In the following work, are presented the results of the research, where using Computer Aided Planification techniques, is updated a procedure, which improvement the quality of they process of calculation and design of metal injection molds. It is organized information and make and analysis, in which takes into account different variables during the design of these tooling. Beside, makes recommendations of the behavior of the contraction. They proposed, expressions for the number of cavities, projected area, closing force, as well as the relationship between the poured portion mass and the inner diameter of the vessel. Specific pressure on the alloy, and recommendations for the design of the metal feeding channels to the tool cavities. Allowing, the research decide with quickly and certainty during the process of creation of the tool.

Finally, with the application of this method and using Autodesk Inventor Professional 2018 its content libraries, the modeling, simulation was done as well as geometric characterization of a mold for a support type piece

Palabras Clave: Molde; Procedimiento; Modelación; Aleaciones metálicas

Keywords: *Mold; Procedure; Modeling; Metal Alloys*

1. Introducción

Los procesos de obtención de piezas fundidas por presión de aleaciones metálicas consisten, en la inyección de fundiciones en estado líquido, con una temperatura recomendada, en un molde con la geometría de la pieza a fabricar. Empleando, un ciclo de moldeo que tiene en cuenta, el enfriamiento, solidificación y finalmente la extracción, previamente calculado y establecido en una tecnología.

Con la utilización de este método de elaboración mecánica, se pueden realizar producciones seriadas sin arranque de virutas, facilitando la amortización de los costos por manufactura del utillaje y la obtención de piezas con elevada precisión y resistencia mecánica. Lograr, excelentes acabados y aspectos superficiales con un mínimo de rechazos, que además pueden ser reciclados[1, 2]. Permitiendo, obtener geometrías complejas e integrar tecnologías de maquinados dentro de las cavidades de los moldes. Ahorrando tiempo de fabricación y repercutiendo, directamente en ahorros de energía.

Según Belopujov [3], los moldes para inyección de metales por presión, se pueden fabricar por dos métodos, con ajuste durante el proceso de ensamblaje o con piezas fabricadas con elevadas precisiones que garantiza intercambiabilidad entre las partes.

Para desarrollar esta investigación, se tuvo en cuenta, la necesidad de contar con un procedimiento mejorado, que permita obtener utillajes sin carencias conceptuales de diseño. Además, modelar y diseñar un molde, capaz de dar respuesta a las demandas planteadas por los clientes, de aumentar la producción. Para lograr, menores costos por mecanizado y mejor calidad durante el proceso de fabricación de la pieza soporte.

Se proponen, como objetivos para el presente trabajo: establecer, un procedimiento actualizado de ayuda al diseñador, para organizar y posibilitar el diseño de moldes para inyección de metales. Calcular, los parámetros constructivos y modelar y caracterizar geoméricamente el sistema de partes y piezas, que componen el utillaje para obtener una pieza tipo soporte.

2. Metodología

2.1 Aspectos teóricos tratados en el diseño de moldes para inyección de metales

Al iniciar el diseño de un molde para inyección de metales, se analizan dos elementos fundamentales: el artículo que se desea obtener y el tipo de molde a emplear. Estos dos factores, estrechamente relacionados, deciden directamente sobre la calidad final del proyecto.

La correcta concepción del útil, garantiza eficiencia, productividad y durabilidad en la herramienta. Repercutiendo directamente en menores costos y períodos de paradas por averías.

En la figura 1, se propone una metodología, que permite planificar por pasos y de manera ordenada el diseño de moldes para aleaciones metálicas por presión[1-4]. Al acceder, el especialista podrá contar con recomendaciones útiles de proyecto, permitiendo calcular e ir dando forma a la tarea de diseñar este tipo de herramental[1-3, 5].

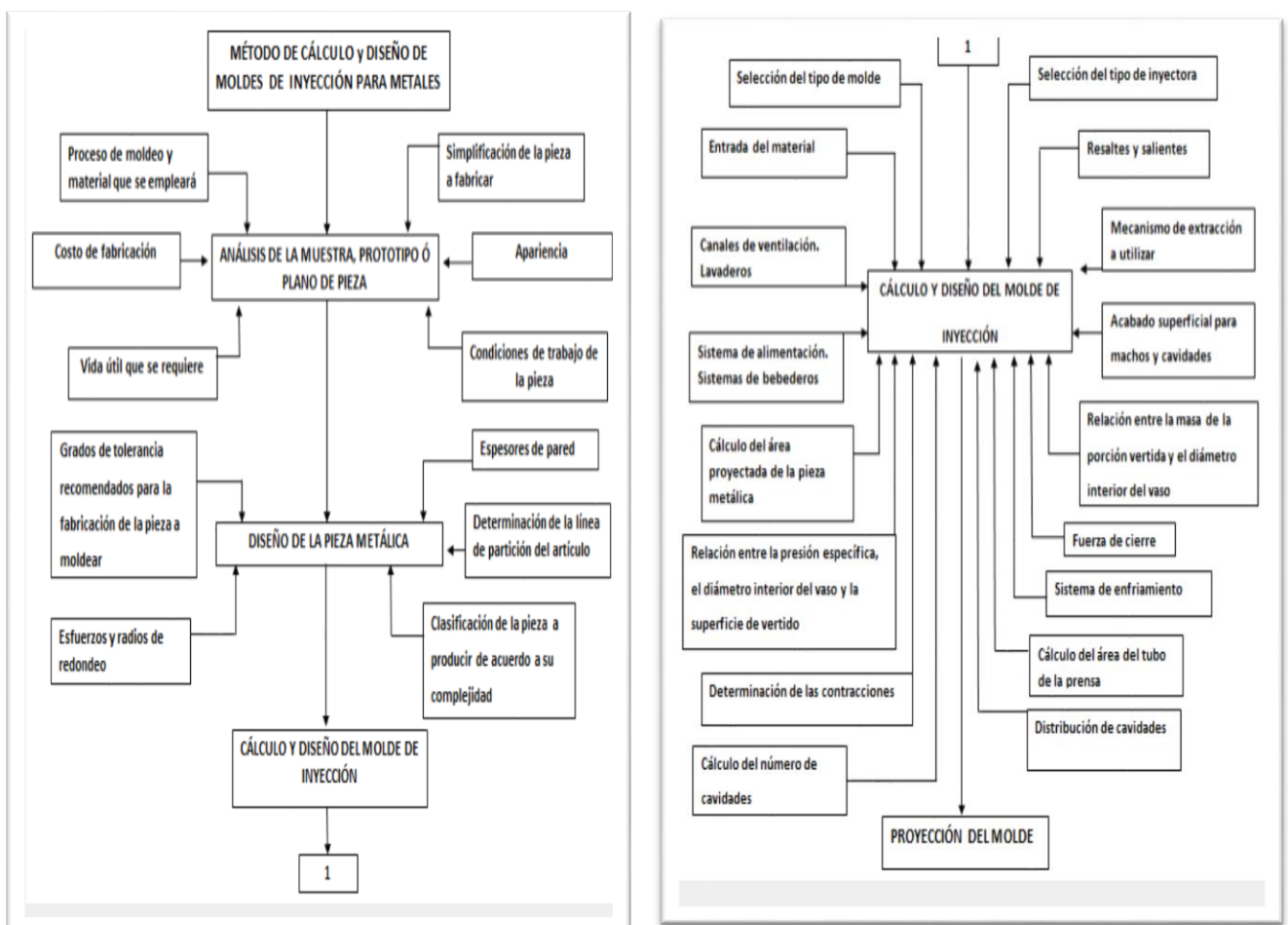


Figura 1 Procedimiento de cálculo y diseño de moldes para la inyección de metales

A continuación, se realiza el análisis de algunos aspectos del procedimiento propuesto.

2.1 Diseño de la pieza metálica

Se recomienda caracterizar geométricamente la pieza metálica. Homogeneizar espesores, establecer ángulos de salida y reforzar con nervios las zonas de mayores sollicitaciones.

Utilizar el proceso de simulación numérica para determinar el comportamiento de las cargas sobre las zonas críticas durante la designación de servicio.

2.2 Determinación de la línea de partición del artículo

En la concepción de la colada se recomienda establecer un plano recto y uniforme para el desacoplamiento. Dependiendo, de la configuración de la pieza, las cavidades y machos deben distribuirse en las dos mitades, no deben tener rebajes interiores ni exteriores opuestos al sentido del moldeo. Se recomienda, tener la mayor superficie del macho en la mitad móvil del molde, garantizando ángulos de salidas para disminuir las tensiones durante la extracción.

Los machos laterales aumentan los costos por mecanizado, haciendo más compleja y encareciendo la herramienta considerablemente.

2.3 Mecanismo de extracción

El mecanismo de extracción debe garantizar la extracción segura del artículo del interior de las cavidades. La posición de los expulsores debe disponerse de manera, que durante la ejecución de la extracción no surjan tensiones adicionales por cizallamiento. Colocándose lo más cercano posible a las machos fijos o [1-3].

2.4 Cálculo del número de cavidades

El cálculo del número de cavidades (N) se puede realizar por capacidad de inyección, ver ecuación (1):

$$N = V_{\text{imax}} / V_p \quad (1)$$

Dónde:

V_{imax} - Volumen de inyección máximo de la máquina (m^3)

V_p - Volumen de la pieza (mm^3)

Se recomienda, disponer las cavidades de manera simétrica en el plano de desacoplamiento[1-3].

2.5 Fuerza de cierre

El esfuerzo de cierre en el útil, debe alcanzar el máximo, en el momento de la culminación de la segunda fase del prensado, y después que en el metal líquido surge el golpe hidráulico.

El cálculo tecnológico, de esfuerzo máximo de cierre, contempla el aumento de la presión con el golpe hidráulico, ver ecuación (3).

$$F_c = A_{\text{emb}} \cdot p_m \quad (2)$$

F_c - Fuerza de cierre

A_{emb} - superficie del émbolo hidráulico (mm^2)

p_m - presión registrada en el manómetro (MPa)

Presión específica de cierre del molde [1-3]

$$P_{espc} = 110 \frac{pm}{d^2} \quad (kg/mm^2) \quad (3)$$

2.6 Canales de ventilación. Mazarotas

El sistema de ventilación, está constituido por un conjunto de canales por donde se extraen el aire y los gases que se forman por la combustión en el interior de la cavidad.

Las mazarotas, sirven para la recepción de las porciones del metal, contaminadas con inclusiones gaseosas y de aire. El espesor de los canales de unión, se seleccionan igual o mayor que el del alimentador, con el objetivo de facilitar la solidificación del metal [1-3].

El ancho de los canales depende del volumen de los gases extraídos. Se determina por cálculos y no mayor que 30 mm.

Se recomienda elaborar los canales de ventilación sobre los planos de desacoplamiento, en los insertos móviles y fijos o sobre los expulsores.

2.7 Cálculo del área proyectada sobre el molde

Durante el cálculo del área proyectada es necesario incluir la superficie de los canales de alimentación, [1-3], ver ecuación 4.

$$A_F = A_P N + A_B + A_R \quad (mm^2) \quad (4)$$

A_P – superficie transversal de la pieza

N – números de cavidades del molde

A_B – superficie transversal del sistema de bebederos y canales

A_R – superficie transversal de la rebaba

2.8 Cálculo del área del tubo de prensa

La ecuación (5), describe el cálculo del área del tubo de la prensa. Este valor determina el diámetro del pistón a seleccionar.

$$A_{tp} = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (mm^2) \quad (5)$$

d – diámetro del tubo (cm)

2.9 Relación entre la masa de la porción vertida y el diámetro interior del vaso

Durante el proceso de carga de la prensa se hace necesario calcular una cantidad óptima y aproximada de material. Volumen necesario de metal líquido, que se establece en la tecnología según las ecuaciones (6) y (7), [1-3].

Cantidad óptima a verter:

$$C_{opt} = \frac{2}{3} \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) (24 + x) \gamma \quad (6)$$

Cantidad aproximada a verter:

$$C_{aprox} = [36 - (6 + 2)] \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \gamma \quad (7)$$

d - diámetro interior del vaso (mm^3)

γ - peso específico (g/cm^3)

2.10 Sistema de enfriamiento

El diseño, de un adecuado sistema de enfriamiento decide sobre la productividad, la calidad de las piezas fundidas y en la durabilidad del molde. Su finalidad, es evacuar el calor disipado por la aleación fundida, hasta que los productos moldeados se hayan solidificado lo suficiente y puedan ser extraídos sin peligro de deformaciones. Además, estabiliza la temperatura del molde e impide, que las inyecciones sucesivas incrementen la espiral de temperatura en el interior. Lo cual, puede ocasionar problemas y defectos durante la producción.

Entre las sustancias utilizadas como refrigerantes, la más difundida es el agua [3]. Se recomienda emulsionar con aceite mineral u otras sustancias sintéticas y evitar la formación de vapor en el interior de los canales. Son muy utilizados canales de enfriamiento con diámetros entre 8-12 mm. Seleccionados, partiendo de un cálculo previo de transferencia de calor, que incluyen los fenómenos de radiación y convección

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cálculo de los parámetros geométricos del molde para inyección de metales de la pieza soporte

Diseño de la pieza metálica

- Material del artículo: Al- 9
- Clasificación de la pieza a producir: Se puede clasificar como una pieza compleja.
- Espesores de pared: Se homogenizan los espesores de pared a 6.5 mm.
- Determinación de la línea de partición: La línea de partición del artículo se coloca en la zona de apertura del molde, teniendo en cuenta, que no existan contrasalidas, permitiendo una correcta extracción de la pieza y una adecuada ubicación de los canales de alimentación, ver Figura 2.

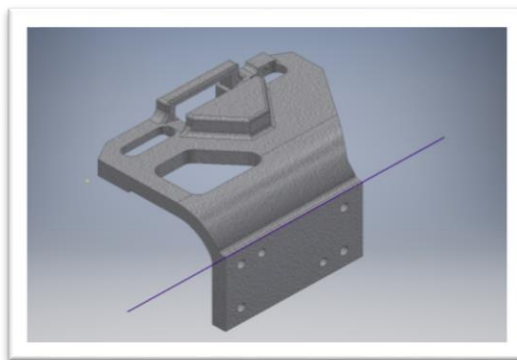


Figura 2 Representación de la línea de partición del artículo

- Selección del tipo de procedimiento de inyección: Moldeo por cámara fría[3].

- Selección del tipo de molde: Se clasifica como un molde de inyección de aluminio, horizontal con bloques universales para producciones de medianas series, multicavidades, automático y bebedero lateral, de dos placas y espaciadores que permiten colocar el sistema extractor.
- Selección del tipo inyectora: La prensa de inyección a utilizar Modelo GK280, COMM.11828, con alimentador robotizado.
- Entrada del material: La entrada debe facilitar el aumento de la densidad de las piezas durante el prensado y garantizar una disminución de los gases y de las porosidades.
- Mecanismo de extracción: Se recomienda utilizar pines, los cuales permiten extraer las piezas de manera uniforme, ver Figura 3 (a).

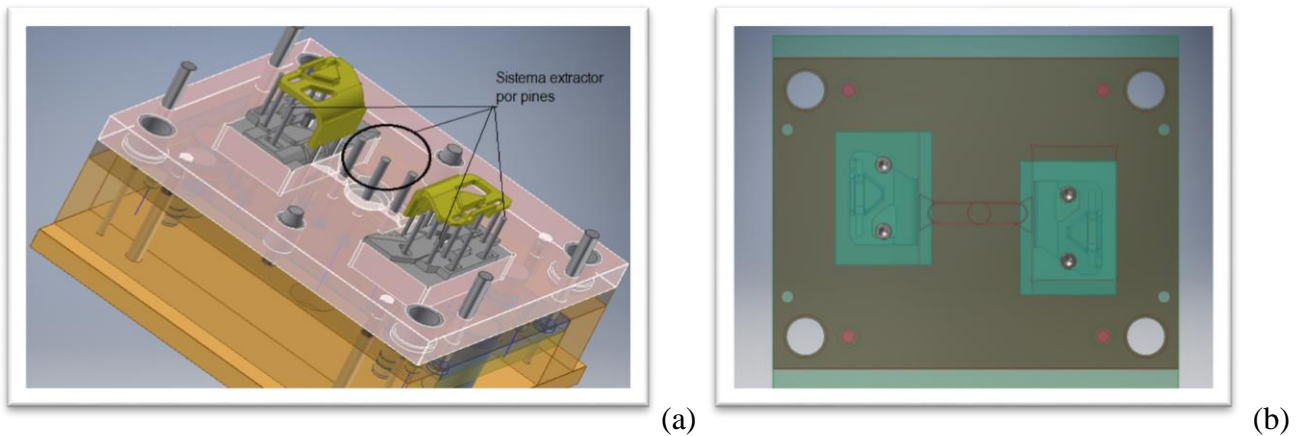


Figura 3 a) Representación del sistema extractor, (b) Distribución de las cavidades en el molde

- Determinación del número de cavidades, según (1):

$$N = \frac{v_{imax}}{v_p} = \frac{2 \text{ kg}}{0.546 \text{ kg}} = 3.66$$

Se recomienda la fabricación de un molde con 2 cavidades, dispuestas de manera simétrica. Considerando, que la capacidad máxima de inyección de la máquina es de 2 kg, satisfaciendo el volumen de llenado requerida, ver figura 3 (b).

- Cálculo por fuerza de cierre, según (2)

$$F_c = A_{emb} \cdot pm = 19.6 \times 400 = 7840 \text{ kg} = 7,8 \text{ t}$$

$$A_{emb} = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 5^2 / 4 = 19.6 \text{ cm}^2$$

$$pm = 400 \text{ kg/cm}^2$$

Fuerza de cierre de la máquina según catálogo $F_c = 274.6 \text{ t}^*$

$$F_c \text{ calculada} < F_c \text{ máquina}$$

$$7,8 \text{ t} < 274.6 \text{ t}$$

Por tanto, la máquina garantiza el llenado de las cavidades sin aperturar el molde

Presión específica de cierre que se requiere, según (3)

$$P_{esp.c} = 110 \frac{pm}{d^2} = 110 \left(\frac{35}{5^2} \right) = 1760 \text{ kg}$$

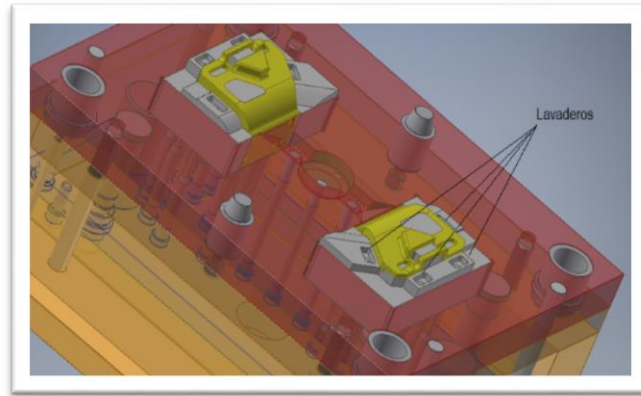


Figura 4 Disposición de las mazarotas o lavaderos en el macho

- Sistemas de alimentación, (bebedero) [3]: Para esta colada se recomienda el sistema de alimentación con bebedero exterior.

Para los moldes de varias cavidades, este sistema de bebederos, resulta el más apropiado de transmisión del metal a la pieza.

A continuación, se calculan los parámetros de los canales de alimentación, Ver Figura 5.

Área del alimentador

Dónde:

Profundidad del canal de trasmisión (Bt):

$$Bt = \frac{At}{St} = \frac{60}{5.96} = 10 \text{ mm}$$

Ancho del canal de transición S_{trans}

$$S_{alim} = 50 \text{ mm}$$

Profundidad del canal alimentador b_{alim}

$$b_{alim} = 1.2 \text{ mm}$$

Ancho del canal de alimentación S_{alim}

$$S_{alim} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{alim} = s_{alim} \cdot b_{alim} = 50 \times 1.2 = 60 \text{ mm}$$

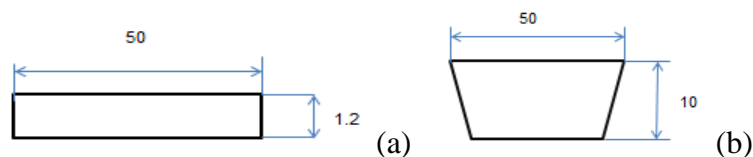


Figura 5 Dimensionamiento de los canales de alimentación, (a) Canal alimentador, (b) Canal de transmisión

Cálculo del área proyectada de la pieza

$$A_F = A_P N + A_B + A_R = (219 \times 2) + 43 = 481 \text{ cm}^2$$

$$A_P = 219 \text{ cm}^2$$

$$N = 2$$

$A_B = 43 \text{ cm}^2$. Se recomienda para el bebedero, el 20 % del área de la pieza

$$A_R = 0$$

- Cálculo del área del tubo de la prensa:

$$A_{tp} = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 50^2 / 4 = 1963.5 \text{ mm}^2$$

- Relación entre la masa de la porción vertida y el diámetro interior del vaso:

- Cantidad óptima a verter:

$$C_{opt} = \frac{2}{3} \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) (24 + x) \gamma = \frac{2}{3} \left(\frac{\pi \cdot 5^2}{4} \right) (24 + 1) 2.5 = 818.1 \text{ g} = 0.818 \text{ kg}$$

- Cantidad aproximada a verter:

$$C_{approx} = [36 - (6 + 2)] \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \gamma = [36 - (6 + 2)] \left(\frac{\pi \cdot 5^2}{4} \right) 2.5 = 1374.5 \text{ g} = 1.37 \text{ kg}$$

- Determinación de las contracciones: Se consideró un coeficiente de contracción isotrópico de un 3.6%.

Sistema de enfriamiento: Se recomienda emplear agua con emulsión de aceite mineral para extraer el calor del interior del molde

3.2 MODELADO DEL MOLDE. SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO

La figura 6 (a) y 6(b) muestra el modelo del molde.

Se puede observar, la disposición de cavidades, el sistema de enfriamiento, el montaje de las placas y columnas, que conforman el útil[6]. Además, de otros componentes tenidos en cuenta durante el modelado[1-4, 7-14].

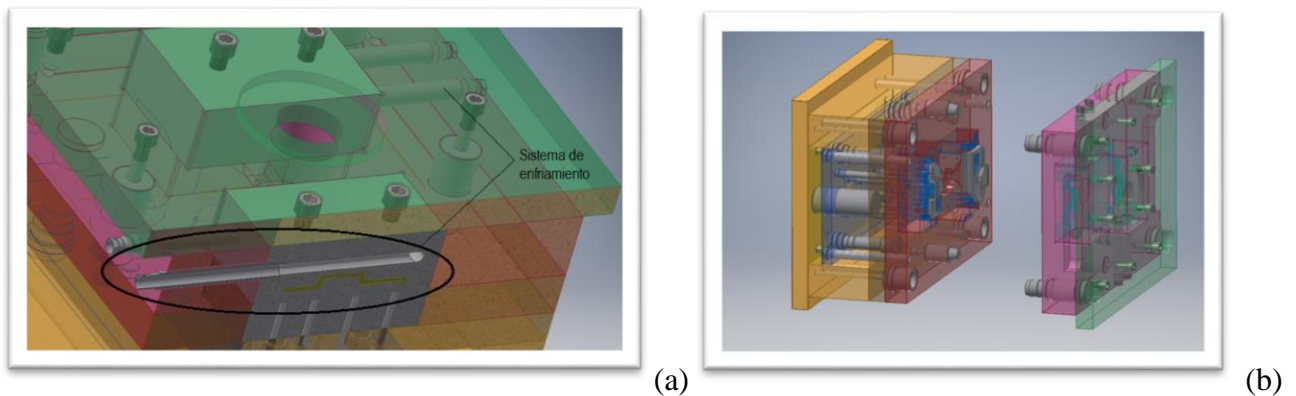


Figura 6:(a) Representación del sistema de enfriamiento, (b) Simulación de movimiento

Durante el proceso de simulación, se comprobó la apertura y cierre del molde. Comprobando las dimensiones generales del útil con las características técnicas del bloque de moldeo de la inyectora seleccionada

CONCLUSIONES

1. Como resultado de la búsqueda y del análisis bibliográfico se desarrolló y actualizó un nuevo procedimiento, que contribuye en la preparación y toma de decisiones durante las etapas de proyectos de desarrollo de moldes para inyección a presión de aleaciones metálicas.

2. Teniendo como base, la necesidad real de incrementar la producción, abaratar la fabricación, se calculó, modelo y caracterizó geoméricamente un molde para inyección de metales por presión, para una pieza tipo soporte, que permite obtener partidas de pequeñas series de piezas con elevados estándares de calidad.
3. El empleo de la modelación y la simulación de movimiento, empleando software de última generación, permitió representar el proceso de apertura y cierre de los sistemas de partes que componen el útil. Y comprobar, la caracterización geométrica realizada con los parámetros técnicos del bloque de moldeo de la inyectora.

REFERENCIAS

1. Armengol, A.L., *Procedimiento de cálculo, modelación y caracterización geométrica de molde para inyección a presión de metal para pieza tipo soporte*. 2018, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
2. Orrantia, D.M., *Diseño de moldes de inyección de aluminio*. 2013, Universidad Central de las Villas.
3. Belopujov, A., M. Beccer, y P. Moskvín, *Colada a presión*. 1975: Construcción de maquinarias.
4. Kalpakjian, S. and S.R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 2002: Pearson Educación.
5. Ruiz, J.A., *Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería*. 2009.
6. HASSCO, *CATÁLOGO DIGITAL HNMI 3D UNIVERSAL MODULE*. 2005.
7. *NC16-32 Ajustes y Tolerancias. Zonas de tolerancia y desviaciones límites para piezas de material plástico*. 1981.
8. *NC:06-18, Pin guía*. ,Consultada abril 2018.
9. *NC:06-52, Tornillos Allen*.,Consultada abril 2018.
10. *NEFA: 45-50-93, Buje para columna guía*.,Consultada abril 2018.
11. *NEFA: 45-78, Casquillo de centraje*.,Consultada abril 2018.
12. *NEFA: 45-87, Expulsor*.,Consultada abril 2018.
13. *NEFA: 45-89, Guía*.,Consultada abril 2018.
14. GULIÁEV, A.P., *METALOGRAFÍA*. Vol. 2. 1977.