



# Análisis del sistema de alimentación de un molde permanente para pistón de aluminio fundido

## Gating system analysis of permanent molds for aluminum piston

Victor M. Mir-Labrada<sup>1, \*</sup>, Tiel García-Hernández<sup>1</sup>, Andrés Parada Expósito<sup>1</sup>, Felix R. Saucedo-Zendejo<sup>II</sup>, Alberto Menéndez-Pérez<sup>III</sup>, Adrián Díaz Romero<sup>1</sup>

I. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Dpto. de Tecnología y Construcción de Maquinaria. La Habana, Cuba.  
II. Universidad Autónoma de Coahuila; Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas; Saltillo; México.  
III. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables; CETER. La Habana, Cuba.

\*Autor de correspondencia: [vmir@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:vmir@mecanica.cujae.edu.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 3 de octubre de 2021

Aceptado: 30 de noviembre de 2021

### Resumen

Los métodos de modelado y simulación de procesos de fundición se realizan a través de softwares. Esto permite una reducción de tiempo y costos en pruebas tecnológicas. Como parte fundamental de cualquier molde de fundición está el sistema de alimentación, componente del diseño del cual depende el correcto llenado y solidificación de la pieza. El objetivo de este trabajo fue evaluar el sistema de alimentación de un molde permanente metálico por fundición a gravedad para la obtención de un pistón de aleación de aluminio de motor de combustión interna, usando los softwares CAD/CAE para su modelación y simulación por

elementos finitos. Se evaluó, simuló y planteó una modificación para dar una solución viable y económica, obteniendo un satisfactorio ciclo de llenado y solidificación que permite reducir al mínimo los rechazos actuales del molde original. La simulación de la propuesta está en correspondencia con los experimentos realizados físicamente.

**Palabras claves:** pistón de aluminio fundido; molde permanente; sistema de alimentación; método de elementos finitos.

### Abstract

The methods of modelling and simulation of casting processes are carried out by means of software. This allows a reduction of time and costs in technological tests. As fundamental part of any casting mould is the feeding system, a component of the design on which the correct filling and solidification of the part depends. The aim of this work was to evaluate the feeding system of a permanent metal mould by gravity casting to obtain an aluminum alloy piston for an internal combustion engine, using CAD/CAE software for its

modelling and simulation by finite elements. A modification was evaluated, simulated and proposed to provide a viable and economical solution, obtaining a satisfactory filling and solidification cycle that minimizes the current rejects of the original mould. The simulation of the proposal is in correspondence with the experiments carried out physically.

**Key words:** aluminum piston casting; permanent molds; filled system; Finite Element Method.

### Cómo citar este artículo:

Mir Labrada Victo M., García Hernández Tiel, Parada Expósito Andrés, et al. Análisis del sistema de alimentación de un molde permanente para pistón de aluminio fundido. Ingeniería Mecánica. 2022;25(1):e636. ISSN 1815-5944.

## Introducción

La fundición por moldes permanentes es un método usado para obtener un producto o parte fundida usando un molde permanente o un molde no gastable diferente a la fundición con arena, donde se usa solo la fuerza de gravedad para introducir el fluido. El beneficio del empleo de los moldes permanentes es su elevada productividad debido a una mayor velocidad de enfriamiento, también producen un producto con elevada precisión dimensional, cercana a la forma deseada y usando menor material fundido. Según Roni Sahroni, et al [1], «...el diseño de los moldes permanentes para fundición puede ser considerado como arte y ciencia. »; en su trabajo diseñaron y optimizaron los alimentadores y el sistema de alimentación, usando los softwares de análisis, de un molde permanente metálico para obtener una abrazadera cuello de ganso.

Los científicos durante años estudiaron la ciencia de la fundición y la metalurgia, desarrollaron teorías y modelos matemáticos para explicar las propiedades de los metales mientras ocurría el proceso de solidificación. Los programas de simulación fueron desarrollándose a partir de estos métodos los cuales son útiles prediciendo como resultará la fundición. Los defectos y problemas pueden ser descubiertos antes que el producto sea fundido, evitando costos en pruebas y previniendo defectos. Ferhathullah Hussainy, et al [2] emplearon los software SOLIDCast y FLOWCast para estudiar y simular un molde permanente metálico de una pieza de aleación de aluminio, variando las temperaturas de precalentamiento del molde, obteniendo diferentes tiempos de solidificación, gradientes de temperatura y criterios de Niyama, para así valorar los diferentes defectos y minimizarlos, corroborando el resultado con la posterior validación experimental físicamente.

Dučić, et al [3] realizaron el análisis de un molde permanente para obtener un racimo de 8 bolas de hierro fundido para el proceso de beneficio por flotación del mineral de cobre. Por medio del análisis virtual que permiten los actuales softwares, en este caso el MAGMASOFT, visualizaron el proceso y analizaron la influencia de la temperatura de precalentamiento del molde y la temperatura del agua del sistema de enfriamiento; para evaluar el criterio de la porosidad y el volumen de esta en el centro de las bolas. Luego elaboraron el molde y corroboraron los resultados físicamente con las bolas fundidas en el mismo.

Yang, et al [4] usaron el software ProCast para la simulación de procesos de fundición por gravedad y centrífuga. La verificación experimental indicó que los resultados de la simulación estuvieron muy acordes con los resultados experimentales.

Dučić, et al. [5] presentaron la optimización de los procesos de fundición en arena usando el software MAGMASoft. Simulando los procesos de fundición, los autores verificaron la validez del sistema de alimentación para fundición diseñado (mazarotas, alimentadores, tragadero, copa de colada, etc.).

Otros autores como Kwon Kwon [6] y Jeong Kang H [7], en una publicación reciente, mostraron una simulación empleando el software AnyCasting a fin de optimizar el diseño de partes del sistema de alimentación en la fundición de partes de automóviles.

Según Khan y Sheikh [8] en su estudio comparativo entre los diferentes softwares de simulación para fundición, el ProCAST es uno de los paquetes de software que más posibilidades tiene y que prácticamente simula todas las características deseadas con buena precisión. En este trabajo se usó este en su versión 2019.

Olurotimi Akintunde, et al [9] diseñaron un molde permanente metálico de acero AISI 1065, para la obtención de un pistón de aleación de aluminio de un pequeño generador eléctrico. Analizaron los defectos y la transferencia de calor en el molde y en el núcleo o macho metálico, y obtuvieron la respuesta térmica, la distribución de temperatura y la disipación en ambos, brindando un tiempo de llenado y solidificación adecuado para obtener un pistón sin defectos. Construyeron el molde y realizaron doce experimentos, en cuatro de los cuales no obtuvieron resultados satisfactorios, no se produjo el llenado completo del molde.

El proceso más empleado para la obtención de estos elementos es la fundición en molde permanente (coquilla), tanto para sistemas de vaciado por gravedad como por presión, definiéndose separadamente estos dos últimos en inglés como *Permanent Mold Casting* y *Die casting* respectivamente.

Según Bao Quoc, D, et al. [10], los productos más destacados de la tecnología de fundición en moldes permanentes son los pistones para motores de automóviles. Plantean que el tema del recubrimiento de los moldes es un simple factor significativo que influencia en el desarrollo de la microestructura, a pesar de desaparecer su efecto inmediatamente después de formada la capa de aire entre el molde y la cara sólida inicial de la pieza fundida.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el sistema de alimentación de un molde permanente metálico por fundición a gravedad, para la obtención de un pistón de aleación de aluminio, para motor de combustión interna (MCI). El problema fundamental radica en los defectos mostrados en el pistón obtenido, por lo que necesita ser evaluado para encontrar una solución y brindar las recomendaciones que requiera para lograr resultados satisfactorios. De ser necesario podría ser remanufacturado para disminuir los defectos. La única solución al problema no es el rediseño del sistema de alimentación, pueden existir otras variantes geométricas o externas al diseño del molde que pueden dar solución. La solución brindada no será una optimización del molde, siendo esta la limitante fundamental del estudio.

Este trabajo proporciona un enfoque novedoso para el diseño del proceso de fundición de metales sin llevar a cabo excesivos experimentos y podría ser transferido y aplicado a varios sistemas de aleaciones y diferentes procesos de fundición.

## Métodos y Materiales

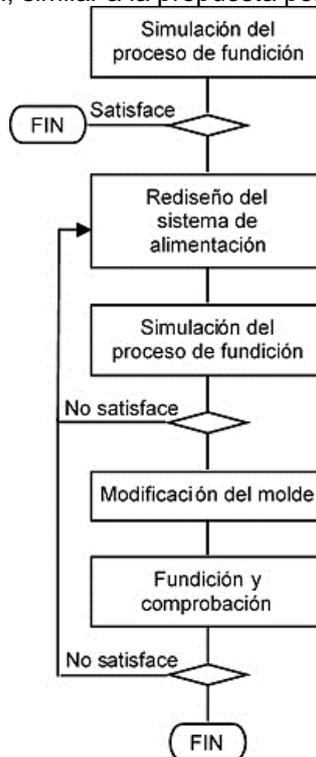
Para realizar el estudio propuesto se consideró, como aspecto fundamental, el empleo de un software para la simulación de los procesos de fundición, partiendo de las dimensiones reales del molde y tomando los parámetros actuales empleados para su utilización (tipo de aleación, material del molde, temperatura de vertido y de precalentamiento del molde, tiempo de vertido, etc.), facilitados por la empresa, para introducirlos en el software.

Se empleó la misma aleación de aluminio con la que trabaja la empresa, que responde a la norma UNE 38265 y cuya composición se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química de la aleación de aluminio UNE 38265 empleada para obtener el pistón fundido. Fuente: UNE 38265

% Si	% Mg	% Cu	% Ni	% Pb	% Zn	% Fe	% Ti
11-13	0,7-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5	0,1	0,2	0,8	0,2

Se elaboró un diagrama de flujo que recoge los pasos fundamentales a realizar, el mismo se aprecia en la figura 1 y muestra algunos criterios de ejecución, similar a la propuesta por [3] en su trabajo.



**Fig. 1.** Metodología para la comprobación por simulación de un molde permanente pre-elaborado. Fuente: autores

Tomando en cuenta el diseño del molde permanente ya elaborado se realiza la simulación del proceso de fundición por los sistemas CAD para comprobar que los defectos no son causa de errores en el diseño. Si el resultado es satisfactorio, los defectos serán por otras causas que no involucran el diseño del molde.

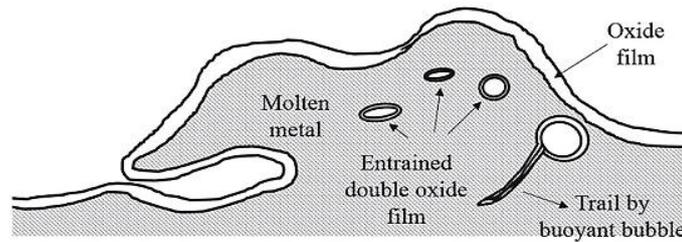
La única solución al problema no es, necesariamente, variando el diseño del sistema de alimentación, pueden existir otras soluciones como variar la inclinación del molde para facilitar el escape del aire, variar la velocidad de entrada del metal al molde y/o la altura de vertido, así como las dimensiones de la mazarota. En este trabajo solo se evaluará el sistema de alimentación ya que el dispositivo donde está instalado el molde no permite la inclinación del mismo; al ser el vertido de forma manual es muy difícil fijar y controlar un valor para la velocidad del vertido, y desde el punto de vista de variación del molde o remanufactura, es más fácil el maquinado de la cavidad correspondiente al alimentador o del tragadero que el de la mazarota.

Si los resultados de la simulación virtual de la variación al sistema de alimentación propuesta, visualizan pistones sin defectos, se varía el molde por maquinado. Esta metodología o similar a la misma, de forma general, puede servir para evaluar cualquier tipo de molde permanente ya elaborado, cuyo resultado no satisfaga las expectativas bajo las que se diseñó; teniendo en cuenta las respectivas modificaciones que implique la variación entre un proceso de fundición por gravedad y uno a presión ya sea a baja presión o alta presión, o sea, teniendo en cuenta el cambio de las presiones de entrada, temperatura inicial del molde, sistema de enfriamiento, tipo de aleación, etc. No siempre es posible introducir en el software todos los parámetros exactamente como ocurren en la práctica real, aún más si el proceso no es completamente automatizado y mantiene variables de entrada dependientes de habilidades humanas, las que pueden dar un amplio rango de resultados diferentes, y si a esto se le suma que el molde no fue diseñado bajo la supervisión de una previa simulación, entonces esta metodología o una similar puede ser aplicada.

### Diseño pre-elaborado

El molde fue recuperado de un taller de fundición que, a su vez, había sido adquirido de otro taller que fue cerrado por problemas medioambientales en la ciudad. Del mismo no se conoce su tecnología de fabricación o metodología seguida para su diseño. Se tiene referencia de que fue elaborado a principios de la década de los años 90 del pasado siglo y que fue empleado en varias ocasiones. No existen referencias de la calidad de los pistones obtenidos en dicha época, ya que no se pudo contactar con el personal del taller que fue cerrado. Como





**Fig. 4.** Esquema que representa la formación de película de óxido y burbujas de aire atrapadas por la turbulencia del flujo del metal durante el llenado en el molde. Fuente: [13]

### Simulación del proceso de fundición

Para el trabajo se empleó un software de simulación por elementos finitos o editor gráfico para procesos de fundición que ofrece una solución completa, donde es posible estimar condiciones de inicio y final del proceso. Al mismo se le introdujeron los parámetros reales que se obtuvieron durante las pruebas con el molde, empleando la aleación de aluminio cuya composición se mostró anteriormente en la tabla 1, la aleación del molde, la temperatura del molde y del metal durante el vertido, la masa del metal a fundir, la altura del vertido, el flujo másico al vertido, etc.

A medida que el metal líquido se va enfriando, la presión interna puede disminuir lo suficiente como para llegar a ser negativa, tales diferencias propician la iniciación y el crecimiento de defectos de volumen, la porosidad y el poro de contracción o rechupe. Por tal motivo se evaluó el criterio de porosidades producto de la contracción del metal, los cuales, si todo el diseño está correcto, deben estar localizados en la mazarota.

El criterio de Niyama elaborado inicialmente para la fundición de aceros de bajo carbono fundido, utiliza la ley de Darcy en coordenadas cilíndricas para relacionar la velocidad del fluido y la caída de presión en la zona líquido + sólido o zona pastosa, para dar un criterio de aparición de porosidad. Su principal ventaja radica en que solamente requiere de la distribución de temperatura a través de la pieza, permitiendo su aplicación no solo en aceros, se ha extendido su uso en aleaciones de aluminio y zinc. Su principal limitación es que no brinda información sobre el tamaño de los poros y sobre la nucleación y crecimiento de los mismos. Este criterio está ampliamente generalizado e implementado en la mayoría de los software de simulación y fue uno de los evaluados en este trabajo.

### Propuesta de modificación

Analizando el sistema de alimentación del molde y la elaboración mecánica del mismo, es posible variar los resultados con una simple modificación, económicamente factible desde el punto de vista de manufactura.

Se siguieron los criterios de diseño tradicionales, el cálculo del sistema de alimentación se divide en dos etapas: 1ra: Cálculo del tiempo de colada y 2da: Cálculo del área de los conductos.

El tiempo de colada para piezas de aleaciones no ferrosas se determina por la fórmula (1):

$$t = S^3 \sqrt{\delta G} \quad (1)$$

Donde:

S: en dependencia de los valores de G.

$\delta$ : espesor predominante de las paredes

G: peso del metal que circula

Para el cálculo del área de los conductos se parte del cálculo de la sección de control, fórmula (2) por el método de las velocidades específicas de vertido, fórmula (3).

$$F_c = \frac{C}{t \times K_e} \quad (2)$$

$$k_e = a \times \left(\frac{G}{V_e}\right) + b \quad (3)$$

Tomando el área de control de sección circular,  $F_c$  se determina por la fórmula (4).

$$F_c = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \quad (4)$$

Donde:

$F_c$ : Área de control o área crítica, ( $\text{cm}^2$ ).

$V_e$ : Volumen espacial, determinado por las dimensiones máximas de la pieza, ( $\text{cm}^3$ ).

$K_e$ : Velocidad específica de vertido, ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ s}$ )

a y b: coeficientes que dependen del tipo de aleación y condiciones del molde.

Para los moldes metálicos la relación entre las secciones de las diferentes partes del sistema de alimentación (alimentador, escoriador y tragadero) se rige por la relación entre sus áreas. En este diseño no hay presente un escoriador, por lo que solo se toma la relación entre el tragadero y el alimentador  $F_a : F_t = 1,1 : 1$ . Por criterios se considera que, a consecuencia del rápido enfriamiento de la masa fundida en el molde metálico, los alimentadores en los moldes metálicos se hacen con una sección mayor que la que se emplea en moldes de arena, pudiendo ser de hasta 50 % mayor.

La propuesta se obtuvo incrementando la cavidad del alimentador hasta 10 mm partiendo de los criterios de cálculos tradicionales antes mencionados para el diseño de sistemas de alimentación, como se aprecia en la figura 5, manteniendo todo el resto de las dimensiones originales. Es muy fácil de lograrse desde el punto de vista del maquinado, lo que significa no tener que desechar el molde.

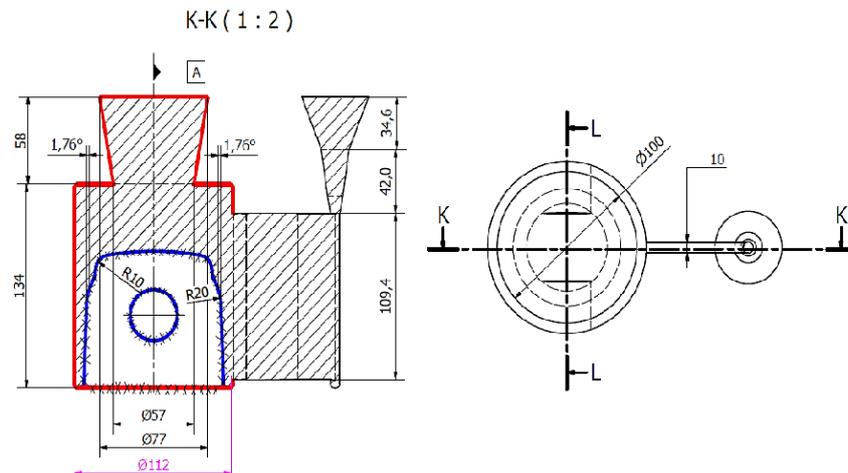


Fig. 5. Propuesta de modificación del molde. Fuente: autores

## Resultados y Discusión

Los resultados de la simulación del molde original se muestran en la figura 6. Se puede apreciar la marcada tendencia a desarrollar los mismos defectos que aparecen en la mayoría de los pistones fundidos.

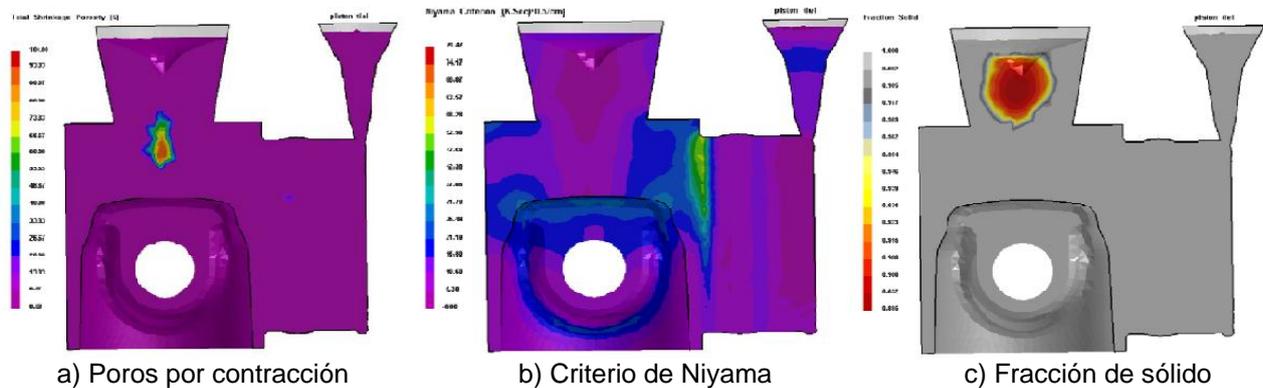
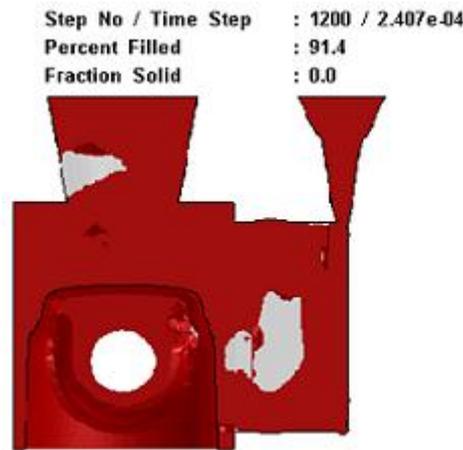


Fig. 6. Simulación del molde original. Fuente: autores

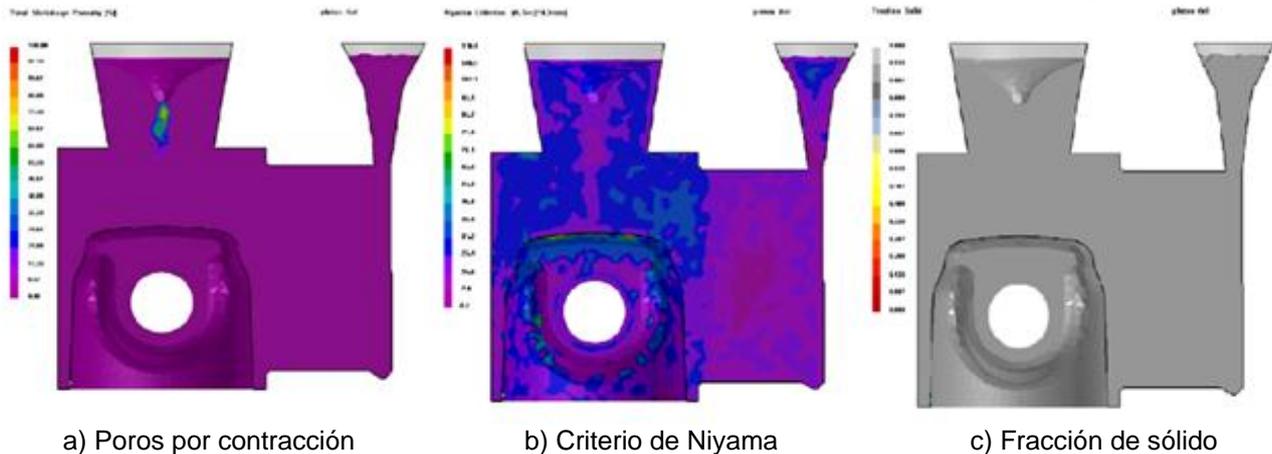
En la figura 7 se puede apreciar el resultado de la simulación a un 91,4 % del llenado total, donde se aprecia la turbulencia generada en una pequeña zona próxima al sistema de alimentación, así como en la mazarota. Indicios de la posible aparición de porosidad con inclusión de películas de óxido, acorde a todos los resultados mostrados en la figura 6.



**Fig. 7.** Simulación del molde original donde se puede apreciar la turbulencia generada durante el llenado. Fuente: autores

Todos los resultados de las simulaciones muestran una concordancia con los defectos reales presentes en los pistones que se están fundiendo.

Los resultados de la simulación del proceso en el molde ya modificado se muestran en la figura 8, manteniendo exactamente todos los parámetros y condiciones introducidos en la simulación del molde original.



**Fig. 8.** Resultados de la simulación para el molde propuesto. Fuente: autores

El resultado de la simulación a un 91,7 % del llenado total, figura 9, no muestra la turbulencia generada en el molde original, dato indicativo de la posible solución al problema de aparición de los poros.



**Fig. 9.** Simulación del molde propuesto donde no existe turbulencia generada durante el llenado. Fuente: autores

De los resultados obtenidos de la simulación se puede apreciar que los poros por contracción se desplazaron completamente hacia la mazarota como debe ocurrir en cualquier sistema bien diseñado. La predicción de posibilidad de existencia de poros por el criterio de Niyama se eliminó casi completamente, y la fracción de sólido no muestra ningún problema. Tampoco se observa turbulencia durante el llenado en la simulación, lo que nos hace deducir que la propuesta de modificación del molde es satisfactoria. El incremento de masa de metal fundido

es apenas de 81,3 gramos, lo que no representa un valor significativo, comparado con el resto de la masa del metal fundido.

Una vez logrados estos resultados, se decidió realizar la modificación al molde y realizar pruebas reales para validar la simulación. Se realizaron tres hornadas de 30 coladas en tres días diferentes y se seleccionó uno de los primeros pistones de cada hornada para ser analizado inmediatamente de ser fundido y sin ser maquinado; en los tres pistones evaluados se obtuvieron los mismos resultados. En la figura 10 se aprecian pistones logrados ya maquinados sin defectos, que constituye otra forma de validar y uno de los seleccionados sin maquinar, seccionado para comprobar la ausencia de poros y/o rechupes.



**Fig.10.** Pistones sin defectos y pistón seccionado mostrando la ausencia del rechupe y poros. Fuente: autores

La importancia del trabajo radica en la posibilidad de no rechazar el molde metálico y tener que elaborar otro, restableciéndole la funcionalidad sin rechazos, con una simple operación de maquinado. Desde el punto de vista económico es mucho más económico realizar la reparación que fabricar un molde nuevo.

Las limitaciones del trabajo fueron las de no evaluar la posible influencia de las dimensiones de la mazarota o de la variación de las temperaturas de vertido y precalentamiento del molde, cuyos resultados pudieran haber inducido a cambios en las condiciones iniciales del proceso para obtener un producto satisfactorio sin defectos, sin la necesidad de maquinar el molde.

## Conclusiones

Se evaluó y simuló el proceso de fundición de un molde metálico pre-elaborado con las condiciones reales del proceso, empleando un software de elementos finitos bajo los criterios más empleados para este fin; comprobándose que los defectos coincidieron con los resultados de las simulaciones. Se hizo una propuesta económica y técnicamente viable para la reutilización del molde sin rechazos.

La validación física mostró un producto sin defectos, dando solución al problema real.

## Referencias

- Roni Sahroni T, Kamaruddin Aizrulshah M, Shahir Kasim M, et al. Design and optimization of runner and gating systems for permanent mould casting. In: The Proceedings of Design & Systems Conference. Published by The Japan Society of Mechanical Engineers. 2014. DOI: 10.13140/2.1.1065.0889.
- Ferhathullah Hussainy S, Viqar Mohiuddin M, Laxminarayana P, et al. A practical approach to eliminate defects in gravity die cast Al-alloy casting using simulation software. International Journal of Research in Engineering and Technology. 2015;4(1):4-12.
- Dučić, N, Jovičić A, Radiša R, et al. Application of CAD/CAE/CAM Systems in Permanent-Mold Casting Improvement. The Journal Tehnoghgički Vjesnik. 2020;27(6):2077-2082. <https://doi.org/10.17559/TV-20190422154410>.
- Yang L, Chai HL, Liang, et al. Numerical simulation and experimental verification of gravity and centrifugal investment casting low pressure turbine blades for high Nb-TiAl alloy. Intermetallics. 2015;66:149-155. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2015.07.006>
- Dučić N, Čojbašić Ž, Manasijević S, et al. Optimization of the Gating System for Sand Casting Using Genetic Algorithm. International Journal of Metalcasting. 2017;11(2):255-265. <https://doi.org/10.1007/s40962-016-0040-8>
- Kwon JH, Kwon KH. Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2019;55 (Part B):147-153. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.01.003>
- Jeong Kang H, Hwan Yun P, Yong Cheon J, et al. Casting Simulation on the Integrated Twin-Scroll Turbine Housing with Exhaust Manifold. Journal of Korea Foundry Society. 2017;37(6):173-180. <http://dx.doi.org/10.7777/jkfs.2017.37.6.173>
- Khan MAA, Sheikh AK. A comparative study of simulation software for modelling metal casting processes. International Journal of Simulation Modelling. 2018;17(2):197-209. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(2\)402](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(2)402)
- Olurotimi Akintunde D, Olatunji Oladimeji O, Ikeoluwa Ogedengbe OBM. Design and Analysis of Permanent Mould for Small Internal Combustion Engine Piston. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. 2020;14(4):401-411.
- Bao Quoc D, Dinh Tuyen N, Minh Nhat, N, et al. A Review on Properties and Casting Technologies of Aluminum Alloy in The

- Machinery Manufacturing. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2021; 44(8): 204–217.
11. Gašpár Š, Coranič T, Majerník J, et al. Influence of Gating System Parameters of Die-Cast Molds on Properties of Al-Si Castings. Materials. 2021;14:3755. <https://doi.org/10.3390/ma14133755>
  12. Ebhota WS, Ademola E, Abdulrahman J, et al. Designing for domestication of Yamaha cy80 engine piston manufacturing technology and evaluation of aluminum alloy (4032-t6) for functionality. International Journal of Advanced Scientific and Technical Research. 2015;1(5):21-33.
  13. Jaehoon C, Taekyung K, Hoyoung H, et al. A Design Methodology for Casting Ladle to Minimize Air Entrapment and Oxide Inclusion: An Application to Permanent Mold Casting Process. Materials Transactions. 2019;60(12): 2562-2568. <https://doi:10.2320/matertrans.MT-M2019181>

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### Contribución de los autores

**Victor M. Mir Labrada.** <https://orcid.org/0000-0003-4163-2656>

Realizó contribuciones en el análisis e interpretación de los datos. Participó en la búsqueda de información, en el diseño de la investigación, en la recolección de los datos, así como en la redacción y aprobación del informe final.

**Tiel García Hernández.** <https://orcid.org/0000-0002-0783-5209>

Realizó contribuciones en el análisis e interpretación y obtención de datos, revisión crítica junto a análisis bibliográfico de su contenido, así como en la redacción y aprobación del informe final.

**Andrés Parada Expósito.** <https://orcid.org/0000-0002-3120-9259>

Realizó contribuciones en el análisis matemático de las soluciones, así como en la validación en la práctica de las variantes propuestas y en la metodología de solucionar el problema técnico, así como en la redacción y aprobación del informe final.

**Felix R. Saucedo Zendejo.** <https://orcid.org/0000-0001-8334-6129>

Participó en la revisión crítica de su contenido y en la redacción del informe final.

**Adrián Díaz Romero.** <https://orcid.org/0000-0001-7044-5046>

Participó en la búsqueda de información, y en la revisión crítica de su contenido, así como en la redacción y aprobación del informe final..

**Alberto Menéndez-Pérez.** <https://orcid.org/0000-0002-2110-6491>

Participo en la revisión crítica de su contenido, así como en la redacción y aprobación del informe final.