

Fundición en aluminio del bloque de soporte de eje de riel lineal (Original)**Cast Aluminum Linear Rail Shaft Support Block (Original)**

Pedro Manuel Rodríguez Rivera. Ingeniero Mecánico. Profesor en Adiestramiento. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. prodriguezr@udg.co.cu 

Recibido: 10-01-2023/ Aceptado: 02-03-2023

Resumen

El presente proyecto de Ingeniería Mecánica fue realizado en la Universidad de Granma, en el mismo se desarrolla la tecnología de fundición de un bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal mediante el método de fundición por la espuma perdida. Para la elaboración de la misma se tuvieron en cuenta los siguientes pasos tecnológicos: cálculo de las sobremedidas para el maquinado, peso de la pieza fundida, así como el diseño de la plantilla en la cual se tuvieron en cuenta las propiedades del poliestireno expandido como material para la fabricación del modelo colapsable, la velocidad de vertido, y el tiempo de vertido, apoyados en los modernos programas de simulación para los procesos de fundición. Los elementos esenciales del estudio de la tecnología fueron los procesos de fundición en moldes desechables utilizando como materia prima el aluminio. Para la realización de este trabajo fue necesario una revisión bibliográfica basada en una serie de asignaturas estudiadas durante la carrera, tales como Ciencia de los Materiales, Procesos Tecnológicos, Resistencia de Materiales, Diseño Asistido por Computadora, así como Dibujo Técnico. También se consultó con ingenieros y obreros experimentados en el tema de la fundición.

Palabras clave: fundición por la espuma perdida; simulación; diseño asistido por computadora; aluminio

Abstract

The present Mechanical Engineering project was carried out at the University of Granma, where the casting technology of an aluminum block of the linear rail axle support is developed by means of the lost foam casting method. For its elaboration, the following technological steps were considered: calculation of the machining allowances, weight of the cast part, as well as the design of the template in which the properties of expanded polystyrene as a material were taken into account. For the manufacture of the collapsible model, the pouring speed, and the pouring time, supported by modern simulation programs for casting processes. The essential elements of the study of the technology were the casting processes in disposable molds using aluminum as raw material. To carry out this work, a bibliographic review based on a series of subjects studied during the career was necessary, such as: Materials Science, Technological Processes, Strength of Materials, Computer Aided Design, as well as Technical Drawing. Engineers and workers experienced in the foundry were also consulted.

Keywords: lost foam casting; simulation; computer-aided design; aluminum

Introducción

Cuatro siglos antes de nuestra era ya el hombre conocía y procesaba el bronce al estaño, o sea, había aleado el cobre obteniendo un producto con mejores propiedades de fundición. Fue sin duda una innovación de significativa importancia en la historia de la humanidad. Con el transcurso del tiempo, el campo de aplicación se fue extendiendo a otros metales y aleaciones (Salcines, 1981). Con la fundición se pudieron hacer formas mucho más complejas que por simple martilleo. La fundición permitió crear riquezas a aquellas naciones que la supieron desarrollar mejor. Egipto dominó la civilización del mundo occidental durante la edad del bronce

(cerca de 2000 años) debido en gran parte a su habilidad de realizar procesos de fundición (Groover, 2007).

La fundición básicamente consiste en vaciar el metal fundido (que fluye por gravedad u otra fuerza) en la cavidad de un molde donde al enfriarse y luego solidificarse, adquiere la forma de la cavidad, es uno de los procesos de manufactura más empleado en la fabricación de diferentes partes y componentes de maquinarias (Kalpakjian & Schmid, 2008). Los procesos de fundición pueden clasificar según el tipo de molde que utilicen, moldes permanentes o moldes desechables.

Los procesos de fundición en molde desechable implican que para sacar la pieza fundida se debe destruir el molde que la contiene, haciendo de este un proceso con velocidades de producción bajas. Gran parte del tiempo de fabricación se destina a realizar el molde y el tiempo de fundición es relativamente bajo en comparación con el de molde permanente. Entre los materiales empleados para la fabricación de los moldes desechables podemos mencionar el poliestireno expandido, material principal para la fundición por la espuma perdida (Charco, 2017). La fabricación de piezas a través del método de fundición por espuma perdida permitió simplificar el proceso de fundición, pues fue posible la eliminación de cajas de moldeo, machos y preparación de moldes, además los espesores en las piezas pueden ser controlados estrechamente. Lo más favorable del proceso es que ofrece múltiples oportunidades para consolidar partes complejas, reducir el mecanizado y minimizar las operaciones de ensamble. Asimismo permite disminuir los desechos sólidos y las emisiones sólidas que pueden ser un costo de producción muy alto (Heras & Mantuano, 2016).

El proceso de fundición de espuma perdida produce piezas de alto valor mediante la combinación de componentes de fundición en piezas fundidas individuales, reduce el consumo

de materiales por eliminación de mazarotas y corazones, a la vez mejora las tolerancias dimensionales de las piezas (Oviedo et al., 2013).

La Universidad de Granma (UDG) ha desarrollado diferentes investigaciones relacionadas con los temas de fundición donde se destacan autores como Fonseca (2014), que propone el diseño y construcción del cabezal del minitorno MT 08-14, así como Mohedano (2020), el cual desarrolló la tecnología de fabricación de la bancada de la minifresadora MF 01-20, por el método de la espuma perdida. Teniendo en cuenta la importancia de los temas de fundición y fabricación, en la UDG, el Departamento de Ingeniería Mecánica, decidió desarrollar este proyecto de ingeniería con el fin de realizar investigaciones sobre la obtención de piezas a través del método de fundición por espuma perdida, con fines docentes, utilizando como material para la confección de la plantilla el poliestireno expandido, contribuyendo así a un mayor acercamiento de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, con los procesos tecnológicos y la ciencia de los materiales.

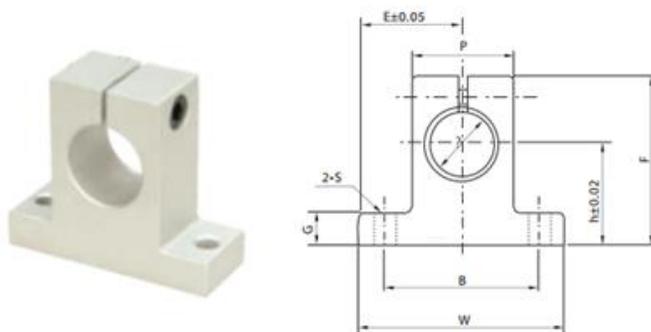
El problema de investigación se centra en ¿cómo realizar la tecnología de fundición de un bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, mediante el método de fundición a la espuma perdida?; siendo el objeto de estudio el bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal; el campo de acción está constituido por la tecnología de fundición para el bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, a través del proceso de fundición a la espuma perdida. Se plantea como hipótesis que, si se desarrolla una tecnología de fundición aplicando el proceso de fundición a la espuma perdida, se podrá obtener el bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal. El objetivo general se centra en la elaboración de la tecnología de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, aplicando el proceso de fundición a la espuma perdida; siendo los objetivos específicos la realización del diseño del bloque de aluminio del soporte de

eje de riel lineal; la simulación del proceso de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal; y la obtención de la tecnología de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal por el método de fundición a la espuma perdida.

Materiales y métodos

En esta sección se tiene por objetivo proponer una tecnología de fundición para un bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, mediante el método de fundición a la espuma perdida. Se analizarán, a partir de las características de la pieza a fundir, los cálculos pertinentes para la implementación de la tecnología propuesta; así como la elaboración de la plantilla y la documentación técnica de la pieza, a partir del modelo en tres dimensiones obtenido con el software Autodesk Inventor Professional 2018. Este bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal (Ver figura 1), es una pieza con un orificio central, donde va acoplado un eje o riel que cumplen la función de guía y soporte en diversas máquinas.

Figura 1. Bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal

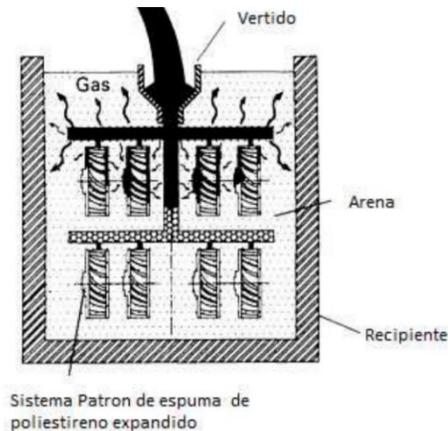


Metodología para la fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal

La metodología empleada para la tecnología de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal se basa en la técnica de fundición por espuma perdida (Ver figura 2); la cual se estructura tomando como referencia los trabajos de Heras y Mantuano (2016), y Oviedo et al. (2013), los cuales investigan temas referentes a la fundición por espuma perdida. A las contribuciones de estos autores se les añaden los aportes de Salcines (1981), Goyos (2000), y

Groover (2007), quienes realizan sus investigaciones en lo relativo a la fundición convencional aportando las técnicas para la selección de las sobremedidas para el maquinado, el sistema de alimentación, tiempo de vertido, y velocidad de vertido.

Figura 2. Proceso de fundición por espuma perdida (adaptado de Oviedo et al, 2013)

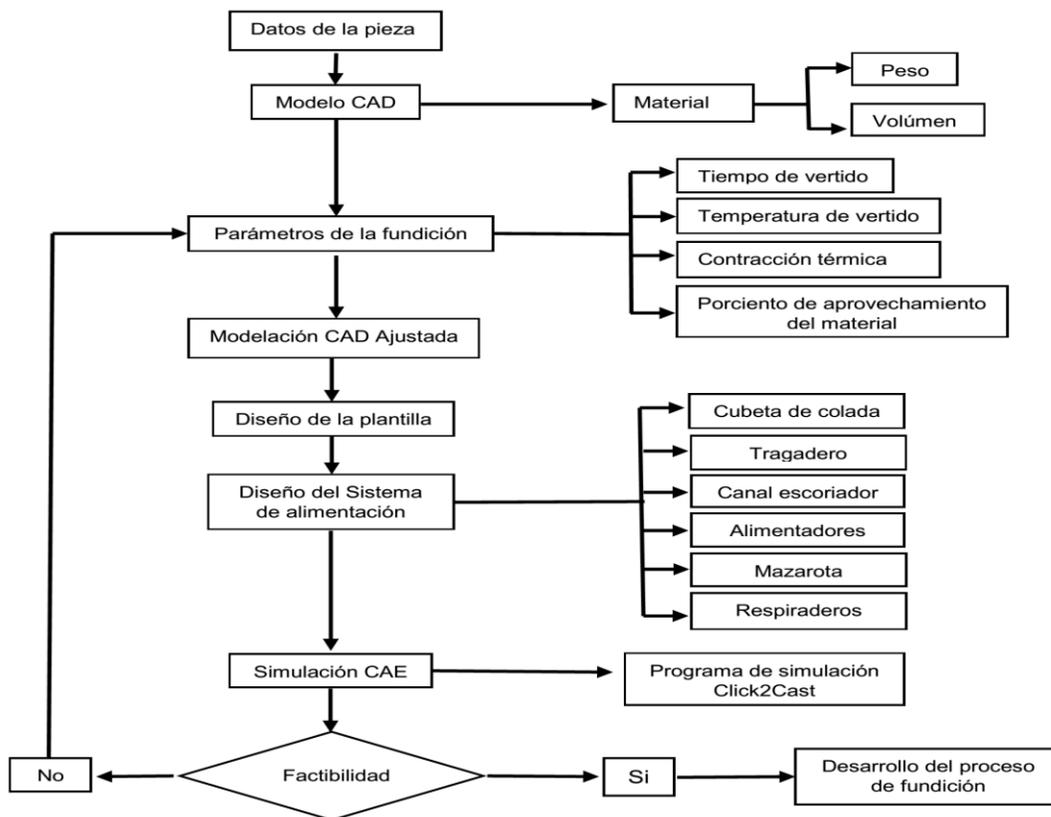


Pasos para la tecnología de Fundición por Espuma Perdida

Para la realización de la tecnología de fundición, aplicando el proceso fundición por espuma perdida, se tienen en cuenta los pasos expuestos en la figura 3; estos inician con la toma de datos de la pieza (dimensiones y material), a la cual se le realiza una modelación CAD donde se determina el peso de la pieza como resultado de la relación densidad por volumen.

Posteriormente se establecen los parámetros de la fundición, datos esenciales para el diseño de la plantilla con las sobremedidas correspondientes y el sistema de alimentación; una vez obtenidos estos resultados se realiza la simulación CAE del proceso de fundición mediante el software Click2Cast en busca de resultados factibles; de ser así se desarrolla el proceso de fundición real, en caso contrario, es necesario recalcular los parámetros de la fundición.

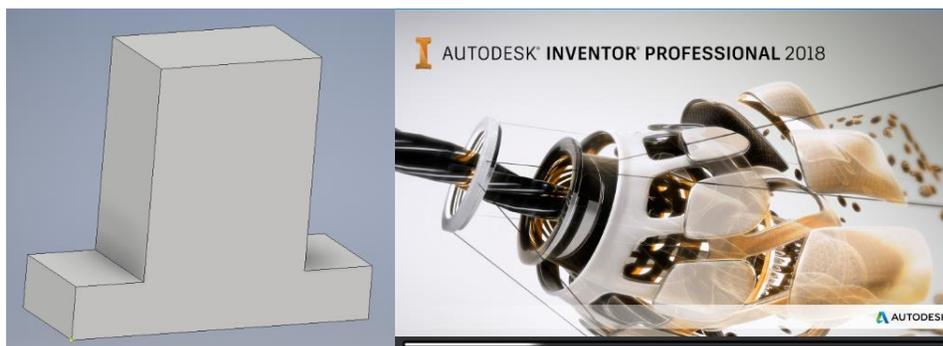
Figura 3. Secuencia de pasos para la tecnología de fundición por espuma perdida



Fabricación de la plantilla

El elemento principal de la tecnología propuesta lo constituye la plantilla, que está dada por un dispositivo con la cual el fundidor forma la cavidad del molde a llenar. Para modelar la pieza a fundir (Ver figura 4), se utilizó el software Autodesk Inventor Professional 2018; el cual según lo planteado por Leija (2012), es un software para la creación de piezas y conjuntos mecánicos, así como la realización de sus planos de despiece, la simulación de su movimiento, el montaje y desmontaje de los mismos. Autodesk Inventor es el software CAD especializado para el sector de Manufactura y Diseño Industrial líder en su género.

Figura 4. Modelo tridimensional de la plantilla y software CAD Autodesk Inventor Professional 2018



Material para la fabricación de la plantilla

Entre los materiales más empleados para la fabricación de la plantilla se encuentran: la madera, el metal, el yeso, el plástico, el cemento, así como diferentes materiales evaporativos (Salcines, 1981). Para la tecnología de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, se utilizará como material para la fabricación de la plantilla, el poliestireno expandido (Ver figura 5), aprovechando sus propiedades especiales, las cuales se exponen en la Tabla 1.

Figura 5. Poliestireno expandido



Algunos autores como Askeland (1998), Schey (2002), y Herrera (2015), señalan que el poliestireno expandido es un hidrocarburo volátil, que se agrega a las cuentas de polímero como agente de soplado. Consiste en 95% de polietileno y 5% de un gas, generalmente pentano que forma burbujas que reducen la densidad del material. Cuando se calienta con vapor vivo (introducido en el polímero), se obtienen cuentas preexpandidas. Las cuentas se almacenan para permitir la evaporación de la humedad y luego se alimentan al molde apropiado; tanto el molde

como las cuentas se calientan con vapor vivo para causar la expansión final y la fusión, seguidos del enfriamiento.

Tabla 1. Propiedades del poliestireno expandido (MATWEB, 2022)

Propiedades	Valores	Unidades
Densidad	10-35	kg/m ³
Resistencia a compresión	> 100	kPa
Resistencia a Tracción	> 150	kPa
Resistencia a Flexión	> 150	kPa
Módulo de elasticidad	1.5-10.8	MPa
Indeformabilidad al calor instantáneo	100	0C
Conductividad térmica	46-33	W/(mK)

Selección del material a fundir

El material seleccionado para esta tecnología de fundición es un aluminio con un marcado A360, el cual presenta elevadas propiedades mecánicas (Ver tabla 2). Considerado bueno para operaciones del maquinado normal; su resistencia a la corrosión es excelente y presenta buenas características de aceptación a la soldadura.

Tabla: 2. Propiedades mecánicas y físicas del aluminio A360 (2022)

Propiedades	Valores	Unidades
Límite elástico	165	MPa
Límite de rotura	317	MPa
Módulo de elasticidad	71	GPa
Densidad	2.68	g/mm ³
Temperatura de fundición	635-704	0C
Temperatura de solidificación	557	0C

Determinación de la temperatura de vertido

La temperatura a la cual se vierte el metal de los moldes depende de los espesores de las paredes de las piezas, su masa y geometría. La experiencia del maestro fundidor es de suma importancia para la determinación de este parámetro. Las temperaturas para moldes en arena van desde 10200C para piezas gruesas, hasta 11700C para piezas finas; este valor de temperatura de vertido se determina según lo indicado por Navas y Batista (1990).

Simulación numérica del proceso de fundición

Los programas de simulación de procesos de fundición modernos, tienen la capacidad de importar modelos CAD de otros programas que están especializados en ello. Por eso es muy importante que durante el modelado de la geometría se incluyan todos los elementos del sistema de fundición que puedan tener una influencia significativa en el llenado y la solidificación del material, entre ellos se encuentran los canales de alimentación. La simulación involucra la construcción de modelos matemáticos para cualquier proceso físico a fin de predecir el comportamiento o el crecimiento del proceso. En el caso de las fundiciones, la simulación en el software es desarrollado para proveer la realización de experimentos virtualmente (Bhatt et al., 2014).

Mediante el software Click2cast (Ver figura 6), se analiza la geometría de la pieza a fundir, incluido los canales de alimentación y la pieza. A partir de este análisis se puede predecir cierto comportamiento y características de la pieza a fundir.

Figura 6. Programa de simulación Click2Cast por el método de elementos finitos del proceso de fundición



Análisis y discusión de los resultados

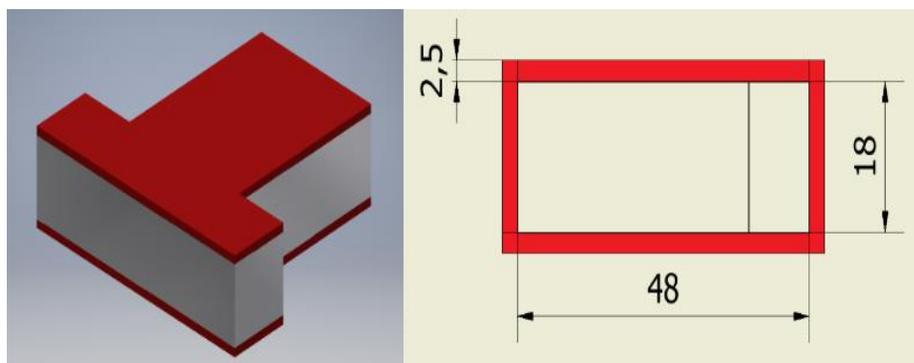
En esta sección se exponen los resultados de la tecnología de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, a través del método de fundición a la espuma perdida; al mismo tiempo se seleccionaron los materiales con que se iban a elaborar la pieza y la plantilla, se realizaron los diferentes cálculos pertenecientes a la tecnología de fundición. Se obtuvieron

los resultados de la simulación virtual del proceso de fundición del bloque de aluminio de soporte de eje de riel lineal.

Preparación de la plantilla

Entre los elementos a considerar para la preparación de la pieza se encuentra la determinación de la sobremedida para el maquinado (Ver figura 7), la misma se establece a partir de las dimensiones básicas y determinantes, las cuales tienen un valor de 48 y 18 mm respectivamente, para un grado de precisión C-2 el valor de la sobremedida es de 2,5 mm. Diferentes autores como Kalpakjian y Schmid (2008), Martín (2011), y Oviedo et al. (2013), señalan que el aluminio técnico experimenta una contracción térmica aproximadamente de un 5 a un 7%, este fenómeno consiste en la disminución del volumen del material durante la solidificación. Para todas las dimensiones del modelo se establece un 7% como valor de sobremedida por contracción térmica. Una vez obtenida la plantilla, a la misma se le añade el sistema de alimentación y se le aplicará un recubrimiento refractario, consistente en una mezcla de arena sílice, bentonita, silicato y grafito.

Figura 7. Sobremedida para el maquinado

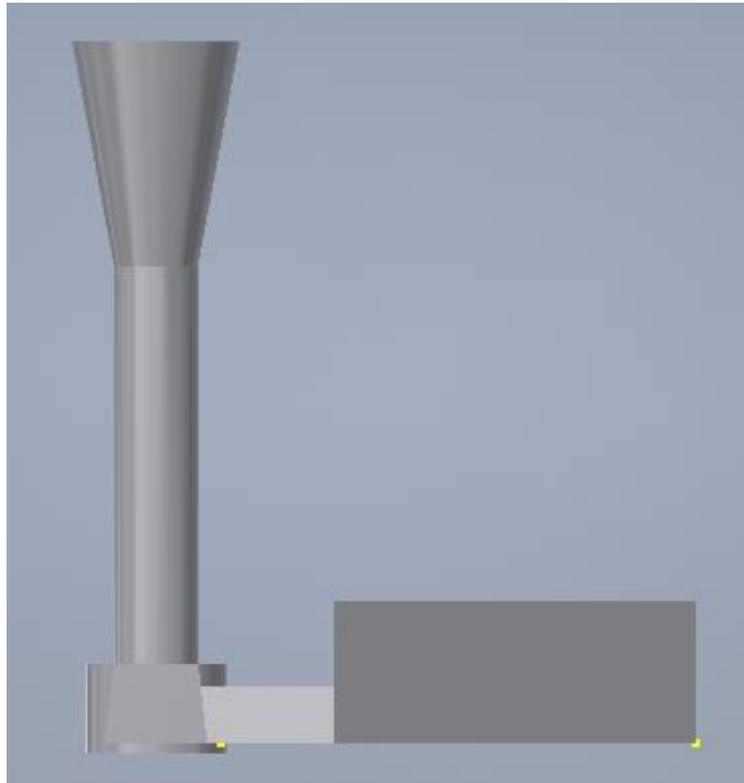


Determinación de la posición para suministro del metal al molde

Para lograr que el metal fundido llegue al molde suavemente sin chocar con las paredes, evitar la formación de remolinos con una velocidad de elevación de nivel en el molde

determinado, así como asegurar una sucesiva expulsión de aire y gases del molde. Se determinó emplear en la tecnología de fundición por el método de la espuma perdida, el método de colada por el fondo (Ver figura 8), para garantizar una turbulencia mínima según lo indicado por Goyos (2000).

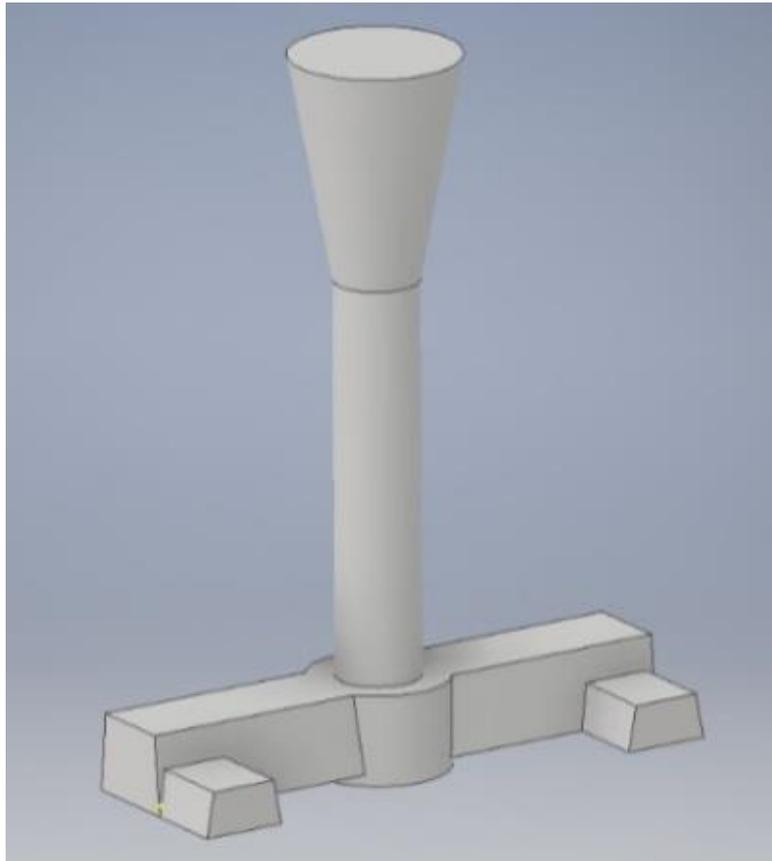
Figura 8. Método de alimentación por el fondo



Diseño del sistema de alimentación

Se diseñó un sistema de alimentación (Ver figura 9), sin presión para aleaciones de aluminio compuesto por una boquilla o cubeta de colada, un tragadero, un colector de escoria, dos alimentadores y cuatro respiraderos. Para este diseño se extrajeron los datos dimensionales de las guías para las etapas en la producción de una pieza fundida según lo indicado por Navas y Batista (1990), a partir del volumen de la pieza en centímetros cúbicos.

Figura 9. Esbozo del sistema de alimentación



Resultados de la tecnología de fundición

Mediante el análisis y desarrollo de la tecnología propuesta en la sección anterior, se obtuvieron los resultados de los parámetros para la fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal (Ver tabla 3), mediante la fundición a la espuma perdida. Es evidente que el coeficiente de aprovechamiento del material es relativamente bajo, teniendo en cuenta que este es un trabajo experimental no es tomado este resultado con gran énfasis, pero es necesario señalar que para un próximo estudio se puede aumentar la cantidad de piezas a obtener por esta misma tecnología, logrando así un mayor aprovechamiento del material. Es necesario destacar que el tiempo de vertido obtenido mediante el cálculo varía considerablemente en el proceso de fundición real, como consecuencia de una pequeña resistencia que hace el poliestireno expandido

antes de combustionar y el retardo que surge mientras el aluminio fundido desplaza el poliestireno en el molde.

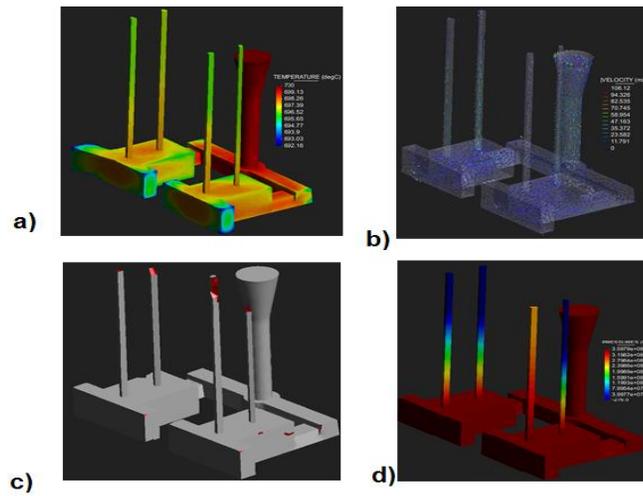
Tabla: 3. Resultados de los parámetros calculados para la fundición

Parámetros calculados	Valor	Unidad de medida
Peso	0,412	kg
Coefficiente de aprovechamiento del material	48,32	%
Tiempo de vertido	0,47	s
Velocidad de llenado	53,19	mm/s
Temperatura de vertido	700	0C

Simulación numérica del proceso de fundición

Con la simulación se obtuvieron resultados de gran importancia para la tecnología de fundición como son: la distribución de temperatura, las velocidades, el aire atrapado y la presión. A partir de estos parámetros se puede predecir cierto comportamiento y características del proceso de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal. El análisis del flujo de temperatura (Ver figura 10a), muestra las zonas de mayor concentración de la misma y el sentido de enfriamiento de la pieza, en ella se evidencia que la mayor concentración de calor se localiza en el sistema de alimentación; el rango que toman las temperaturas en el proceso de fundición va desde un valor máximo de 700oC hasta un valor mínimo de 692,16oC. Las distribuciones de velocidades en el sistema a fundir se muestran en la figura 10b, donde la velocidad máxima toma un valor de 106,12 mm/s. La figura 10c, muestra la ubicación del aire atrapado en el interior del modelo, el cual se localiza de forma mínima en los bordes superiores de las piezas lo cual puede ser corregido mediante la incorporación de un nuevo respiradero. La distribución de presión por códigos de colores se muestra en la figura 10d, donde es evidente que las zonas en rojo representan las mayores presiones presentes en el proceso de fundición.

Figura 10. Resultados de la simulación virtual



Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos mediante la simulación virtual del proceso de fundición fueron factibles, se decidió como parte de este proyecto de Ingeniería Mecánica desarrollar la fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, a través del método de fundición a la espuma perdida, donde se demuestra que la tecnología propuesta es satisfactoria para la obtención de piezas de aluminio. El resultado final del molde construido y la pieza fundida, se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11. Modelo de poliestireno y pieza fundida con sistema de alimentación y respiraderos



Conclusiones

1. Se realizó la tecnología de fundición de un bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, a través del método de fundición a la espuma perdida.
2. Se realizó la simulación del proceso de fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, mediante el software de fundición por el método de elementos finitos Click2cast.
3. Mediante el empleo de esta tecnología se logró realizar la fundición del bloque de aluminio del soporte de eje de riel lineal, obteniendo resultados favorables.

Referencias bibliográficas

- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Vol. 3). International Thomson Editores.
- Bhatt, H., Barot, R., Bhatt, K., Beravala, H., & Shah, J. (2014). Design optimization of feeding system and solidification simulation for cast iron. *Procedia Technology*, 14, 357-364.
<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.08.046>
- Charco, J. L. (2017). *Fabricación de un prototipo de block de motor de combustión interna de dos tiempos por manufactura aditiva indirecta con una aleación de aluminio al silicio* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Bibdigital.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18849>
- Fonseca, P. L. E. (2014). *Fabricación del cabezal principal del minitorno MT- 08-14* [Tesis de grado, Universidad de Granma]. Bayamo.
- Goyos, P. L. (2000). *Tecnología de Fundición*.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas*. McGraw-Hill/Interamericana de México.

- Heras, M. O., & Mantuano, J. S. (2016). *Fabricación de piezas fundidas de aluminio a partir de modelos colapsables de espuma de poliestireno y espuma de poliuretano* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DBRAI.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5182>
- Herrera, M. A. (2015). *Propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de un mortero aligerado con partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje para recubrimientos en muros y techos* [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. CICY.
https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/413/1/PCM_M_Tesis_2015_Marco_Herrera.pdf
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (5ta ed.). Pearson Educación.
- Leija, V., M. (2012). *Autodesk Inventor 2013 Curso Profesional Personalizado*. Autodesk.
- Martín Fernández, J. (2011). *Simulación de una pieza obtenida por fundición metálica* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya]. UPCommons.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/10999>
- Matweb. (2022). Aluminum A360.
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=14a7f246e3c44ec0bcc239b22378fe82&ckck=1>
- Mohedano, V. A. A. (2020). *Fabricación de la bancada perteneciente a la minifresadora mf-01-20 por fundición a la espuma pérdida* [Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Granma]. Bayamo.

Navas, M. E., Batista, C. A., & Suchkov, A. N. (1990). *Métodos de Cálculo en Fundición*.

Holguín.

Oviedo, F. H., Álvarez, A., Campos, M., Cárdenas, V., & Revelo, F. (2013). Obtención de Piezas de Aluminio Mediante el Proceso de Colado con Modelos De Poliestireno Expandido.

Revista Politécnica, 32.

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/34

Salcines, M, C. (1981). *Tecnología de Fundición*. Pueblo y Educación.

Schey, J. A., & León Cárdenas, J. (2002). *Procesos de manufactura* (3ra ed.). McGRAW-HILL

Interamericana Editores.