

## Obtención de una bomba impulsora en dos aleaciones de aluminio AA356 y AA206 por el método de colada por gravedad.

F. Ruiz Diaz<sup>(1)</sup>, J. Lacoste<sup>(1)</sup>, L. Feloy<sup>(1)</sup>, A. L. Cozzarín<sup>(1)</sup>, D. Tovio<sup>(1)</sup>, E. Maffia<sup>(1)</sup>

(1) ProInTec I&D - Departamento de Mecánica Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) Calle 1 y 47, Tel: 423 – 6677/8 Interno 185

(2) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

[fernando.ruizdiaz@ing.unlp.edu.ar](mailto:fernando.ruizdiaz@ing.unlp.edu.ar)

**Palabras claves:** Bomba Impulsora, colabilidad, solidificación.

### INTRODUCCIÓN

Las bombas impulsoras es un sistema mecánico muy utilizado en la fabricación de cohetes espaciales, y se encargan de transmitir la fuerza impulsora al propelente que ingresa al motor, y permite la propulsión del cohete.

Los materiales mas utilizados para la fabricación de las bombas impulsoras son las aleaciones de aluminio. Estas aleaciones presentan una serie de ventajas con respecto a otras como lo es su relación resistencia/peso, su fabricabilidad, es decir, su posibilidad de obtenerlo por métodos convencionales de fusión y colada, y la posibilidad de ser un material reciclable. Estos son los puntos mas importantes para la fabricación en la industria aeroespacial.

Este presenta grandes ventajas con respecto a otros materiales, alguno de ellos son la reciclabilidad, el desarrollo de aleaciones de alta resistencia, la particularidad de poder obtener piezas complejas y de bajo peso entre otros. Este último es uno de los puntos fundamentales para la fabricación de piezas empleadas en el campo aeronáutico y aeroespacial, particularmente porque permite un ahorro de combustible al realizar diseños que conlleven una disminución del peso del componente.

Para poder llevar a cabo la obtención de piezas complejas y de alta prestación mecánica, se deben mejorar los procesos de fusión y colada, trabajando sobre las variables intrínsecas del líquido en su etapa de solidificación. Una de esas variables es la colabilidad, una característica que permite el llenado del molde.

El objetivo del presente trabajo es la obtención de las bombas impulsoras a partir de dos aleaciones AA356 y AA 206, trabajando sobre la colabilidad de las aleaciones y mejorando el diseño de los moldes. Una de las variables para e evaluar la colabilidad, es la fluidez.

Una de las variables a tener en cuenta al momento de evaluar la colabilidad de un material para la obtención de una pieza es la fluidez, la fluidez se puede definir como la capacidad que tiene el metal de fluir a través del interior del molde y llenar cada uno de los huecos intersticiales dentro del propio material [1]. Las pruebas más utilizadas para medir esta característica es la utilización de un molde con forma de espiral, y en un

recipiente donde se vierte el metal líquido y se realiza vacío para obtener una medida de la distancia recorrida por el metal.

Los factores que pueden influir en la fluidez del líquido son el rango de temperatura de solidificación, la viscosidad, la tensión superficial de la masa fundida y la cantidad de inclusión presente en el líquido. [2]

Otro de los factores que afecta considerablemente en la fluidez de las aleaciones de aluminio es la composición química, y varios trabajos han demostrado que el aumento en el contenido de Si, aumenta la fluidez del material debido al alto calor latente del silicio, mientras que el contenido de Mg, provoca una disminución de la misma. El magnesio reacciona con el medio ambiente generando óxido de magnesio, o puede formar inclusiones que disminuyen la fluidez del líquido [3]. Estudios han demostrado, que un porcentaje entre 2 – 4 % de Mg en las aleaciones aluminio-magnesio disminuye considerablemente la fluidez con respecto al aluminio puro [4].

Las paredes del molde también juegan un papel importante en la fluidez del metal líquido, para aquellas piezas de paredes finas, la extracción de calor debido al molde puede provocar un llenado incompleto.

Otros de los factores que intervienen en el comportamiento de la fluidez es la temperatura de colada. Algunos autores indican que se da una tendencia lineal entre aumento de temperatura o sobrecalentamiento y la fluidez, y la explicación se da al indicar que hay mayor flujo de calor a disipar antes de que comience la solidificación. En experiencias realizadas en moldes en forma de espiral, han arrojado resultados que 1 °C de sobrecalentamiento, da un aumento del 1% en la fluidez del material. [5].

## DESARROLLO

El desarrollo experimental se realizó en las instalaciones de la UIDET ProInTec I&D de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Parte de la necesidad de una empresa en obtener las bombas impulsoras en las aleaciones antes mencionadas. Pruebas de llenado sobre estos mismos moldes habían arrojado resultados negativos, uno de los inconvenientes era que debido a la baja colabilidad de las aleaciones, los alabes estatóricos de la voluta de combustible salían incompletos. Para poder corregir esos defectos en las piezas era colar las aleaciones a una mayor altura para obtener un aumento de la presión metalostática de llenado, aunque esta alternativa traería problemas como un mayor aumento de oxidación del líquido y posibles defectos en la pieza.

Para llevar a cabo el trabajo se obtuvieron las aleaciones por fusión y colada en un horno crisolero cuyo calentamiento se da a partir de una mezcla de gas y aire. Para la preparación de las aleaciones se parte de lingotes de aluminio puro, llevándolos a una temperatura de 780 °C para luego introducir los elementos aleantes que corresponden para cada una de las aleaciones. Si bien una alta temperatura en el proceso de fusión conlleva a un aumento de la concentración del gas hidrógeno en el baño líquido, permite disminuir los tiempos de disolución de elementos aleantes como el cobre y el silicio. El cálculo de carga se realiza para obtener aproximadamente 45 Kg de cada una de las aleaciones que permitirán realizar la experiencia. Una vez disueltos los elementos aleantes, se extraen una muestra para medir su composición química y así ajustar en caso de que sea necesario. El mismo se realiza a partir de un analizador xrf portátil, la composición química de las muestras se muestra en la tabla 1.

Tabla N°1 : Composición química de las aleaciones.

Aleación	Cu %	Mg %	Mn %	Si %	Otros
<b>206</b>	4.2-5.0	0.15-0.35	0.2-0.5	0.1 Máx.	0.15 Máx.
<b>356</b>	0.25 Máx.	0.2-0.45	0.35 Máx.	6.5-7.5	0.15 Máx.

Luego de obtener la composición adecuada, se procede a mantener a la temperatura de colada, este paso se realiza en otro horno cuyo calentamiento se da por resistencia eléctrica, el cual permite fijar una temperatura de mantenimiento para luego realizar el llenado de los moldes. Antes de retirar el crisol, se lleva a cabo el proceso de desgasificado, el mismo consiste en burbujear gas nitrógeno a partir de la introducción de una lanza de grafito con tapón poroso dentro del crisol que contiene la aleación de aluminio. Finalmente se retira el crisol, se controla la temperatura de vertido a partir de un pirómetro con termocuplas tipo k.

Los datos bibliográficos establecen que la temperatura de colada para la aleación AA206 es de 660 °C, mientras que para la aleación AA356 es aproximadamente de 620°C, sin embargo, teniendo en cuenta las dimensiones de las piezas, como también su diseño complejo, las pruebas se van a realizar con un sobrecalentamiento de unos 80° C.

En la figura 1 se observa un dibujo esquemático en 3D de una de las piezas perteneciente a la voluta de combustible.

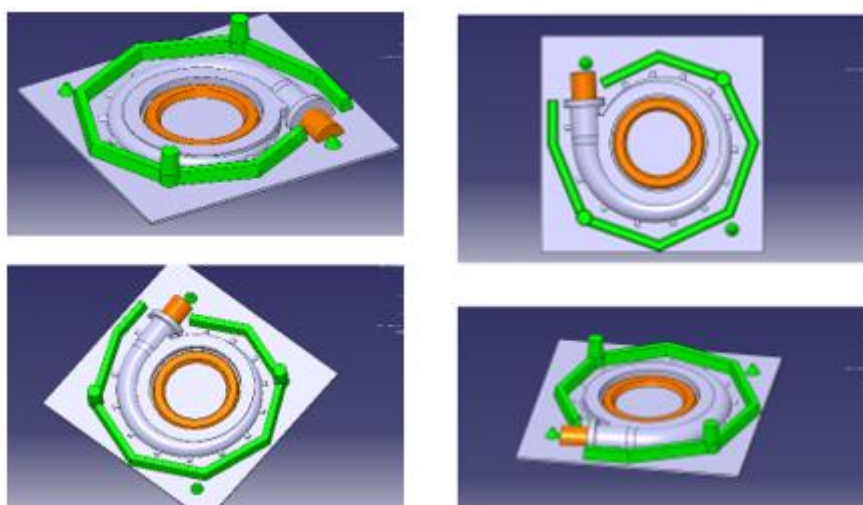


Figura 1: Modelo en 3D de la pieza a fundir.

En la figura se puede observar tres tonos de colores, la pieza (color gris), el noyo (color anaranjado) el cual genera el hueco interior de la pieza, y el canal de colada y montante (color verde). Como se observa en la figura, la pieza cuenta con dos montantes los cuales sirven para compensar la contracción del líquido en el momento de la solidificación.

En la figura 2 se observa una imagen de la parte superior del molde de arena (denominada "sobre"), en la que se puede visualizar el canal de alimentación, los lugares

destinados para los montantes, y además, enfriadores cuyo objetivo es provocar una rápida solidificación en esa zona, para prevenir la utilización de montantes.

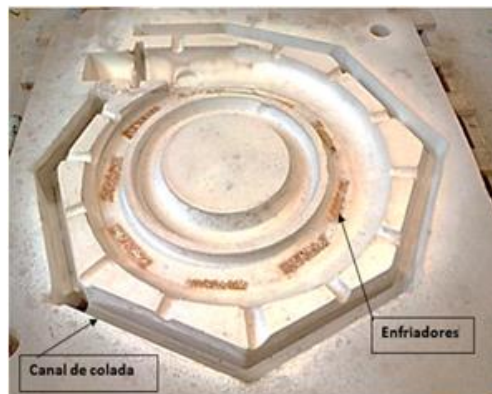


Figura 2: Molde de arena (parte inferior) de la pieza a colar.

Los moldes correspondientes a la parte rotatoria de la pieza, también poseía enfriadores y montantes en el centro y en los exteriores. En las imágenes siguientes se puede observar la parte superior e inferior de los moldes de arena de donde se obtuvieron las piezas. Si bien se observa una sola imagen de cada parte, se contaba con los moldes para la obtención de cada juego de la turbobomba en las dos aleaciones.

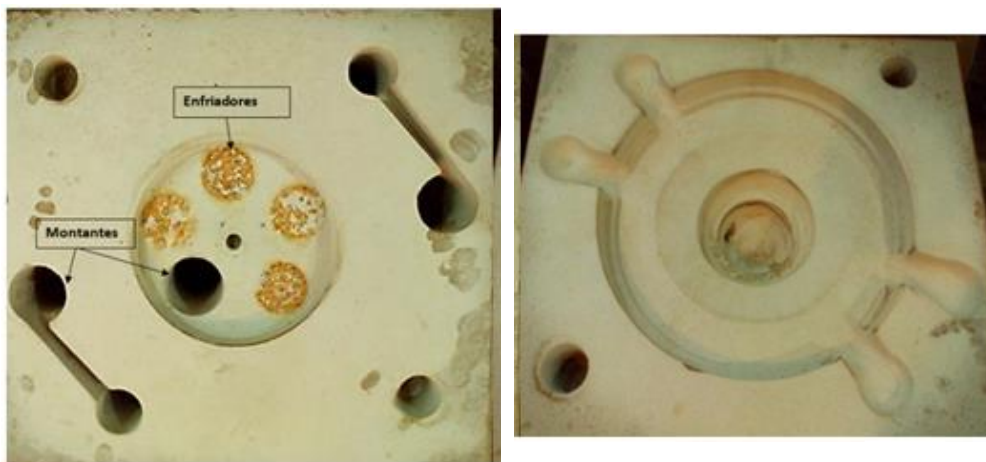


Figura 3: Molde de arena del rotor.

Teniendo en cuenta que los alabes son uno de los puntos claves en la obtención del rotor, se procedió a la observación a partir de una sonda boroscópica, en la pieza colada y solidificada, para encontrar posibles fallas de llenado o defectos superficiales como se observa en la imagen 4.



Figura 4: Análisis del rotor por zona boroscópica.

El recorrido con la sonda por el interior del impulsor arrojó resultados positivos con respecto a la sanidad de los alabes y paredes interiores, esto es el resultado de aumentar la temperatura para mejorar la colabilidad de las aleaciones y poder llenar aquellos lugares complicados antes que solidifique la aleación. Sin embargo, en la cara superior del impulsor, se observaron restos de inclusiones de arena, esto se debe al barrido de partículas de arena, productos de la alta temperatura del metal líquido.



Figura 5: Análisis del rotor por zona boroscópica.

Si bien en la imagen no se llega a observar claramente, aparecen zonas de depresión en la superficie, este es un defecto que se da en las piezas obtenidas por fusión y colada, cuando se tiene un material con un alto porcentaje de contracción, y donde el montante no alcanza para revertir esa condición. Para poder corregir este defecto en la pieza de la otra aleación, se agrando el montante, favoreciendo el buen llenado de la pieza.

En las figuras siguientes se observan las piezas que corresponden al diseño de la bomba.

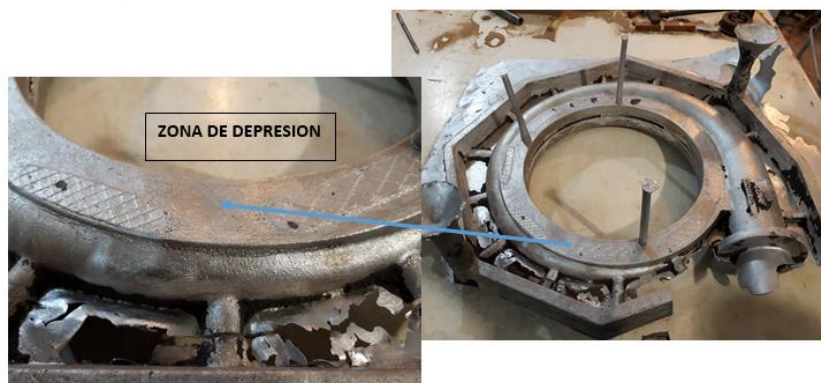


Figura 6: Pieza obtenida en la bomba impulsora.

Al igual que el rotor, se observaron zonas de depresión del líquido, principalmente entre el espacio que separaba a los enfriadores. Esto es una de las consecuencias de falta de montante en zonas en las que se quiere obtener una buena terminación.

En la figura 7 se puede observar la bomba impulsora, la misma pudo obtenerse sin defectos que perjudiquen el funcionamiento de la misma.



Figura 7: Pieza final de la bomba.

## CONCLUSIONES

- Si bien el aumento de temperatura aumenta la colabilidad, hubo que implementar una solución de compromiso pues el aumento de temperatura aumenta el porcentaje de solubilidad de gas en el metal líquido, y además promueve la aparición de inclusiones en la pieza final.
- Si bien la aleación AA206 posee una resistencia mecánica superior a las AA356, al tener menor colabilidad obliga a aumentar la temperatura de colada afectando la sanidad de la aleación.
- El magnesio juega un rol fundamental en la fluidez de las aleaciones, pero la misma puede ser contrarrestada con el aumento del gradiente de temperatura.

**REFERENCIA.**

- [1] ASM Metals Handbook volumen 15, "Casting", Colabilidad de metales no ferrosos.
- [2] L. Wang, M. Makhlof, and D. Apelian Aluminium die casting alloys: alloy composition, microstructure, and properties-performance relationships. International Materials Reviews 1995 Vol. 40 No.6
- [3] C. N. COCHRAN, D. L. BELITSKUS, AND D. L. KINOSZ. Oxidation of Aluminum-Magnesium Melts in Air, Oxygen, Flue Gas, and Carbon Dioxide. Metallurgical Transactions B, 8B (1) (1977), 323-332.
- [4] Nam-SeokKim, Seong-Ho Ha, Young-Ok Yoon. EFFECT OF Mg CONTENTS ON FLUIDITY OF Al-xMg ALLOYS. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2013.
- [5] K.R. Ravi a, R.M. Pillai. Fluidity of aluminum alloys and composites: A review. Journal of Alloys and Compounds 456 (2008) 201–210.