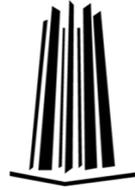




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



“DISEÑO DE UN MOLDE PARA REALIZAR FUNDICIÓN CENTRÍFUGA
DENTRO DEL LABORATORIO L1 DISEÑO Y MANUFACTURA DE LA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN”

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

Presenta

Angel Abad del Monte

Director de Tesis

M. en I. Sabino Henry Escamilla Toloza

Ciudad Nezahualcóyotl, Edo. México, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

¡A ti Mamá! Mireya, ¡a ti Papá! Héctor, sin su apoyo nunca me habría convertido en el hombre que soy ahora, gracias por ser ustedes, por siempre estar.

A mis hermanos: Héctor, Luz, Ana. Simplemente los amo, muchas gracias por acompañarme en este viaje.

A mi *sensei* y amigo Henry, gracias por llevarme de la mano por este camino, gracias por tantas enseñanzas y por tanto cariño.

A mis fieles amigos, gracias por todas las aventuras hemos vivido. Hemos crecido juntos y...

A ti mi Nan, por todas las alegrías que has traído a mi vida y por estar conmigo en las buenas y en las malas.

¡Gracias!

Dedicatoria

¡No te rindas, jamás te rindas!

Las metas, los sueños, los deseos se pueden alcanzar.

¡Un poco de fe, otro de disciplina!

Paso a paso todo se alcanza.

Mis mejores deseos

ADMA

ÍNDICE

Introducción	11
1 ANTECEDENTES	14
1.1 Fundición Centrífuga	14
1.1.1 Definición de Fundición Centrífuga.....	14
1.1.2 Fundición Centrífuga Real	15
1.1.3 Fundición Semicentrífuga.....	16
1.1.4 Fundición Centrífuga Centrifugada	17
1.2 Descripción de la Máquina de Fundición Centrífuga en FES Aragón	19
1.2.1 Componentes	19
1.3 Molde	28
1.3.1 Moldes Desechables	29
1.3.2 Moldes Permanentes	29
1.4 Propuestas de Moldes para la FES Aragón.....	30
1.4.1 Molde de Acero	30
1.4.2 Propuesta de Molde 1.....	31
1.4.3 Molde de Caucho Vulcanizado.....	35
1.4.4 Propuesta de Molde 2.....	36
1.5 Evaluación de Propuestas	41
1.5.1 Análisis Comparativo de las Propuestas de Diseño	44
1.5.2 Matriz de Pesos y Ponderaciones	47
2 DISEÑO DEL MOLDE	49
2.1 Consideraciones Matemáticas para el Diseño del Molde.....	49
2.2 Manufactura del Molde	58
Conclusiones	60
Propuestas a Futuro	63
ANEXO 1	64
ANEXO 2	70
Bibliografías.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estudio de Mercado de Máquinas Centrífugas	28
Tabla 2 Análisis Comparativo de Propuestas.	44
Tabla 3 Comparativa de parámetros del acero H13.	45
Tabla 4 Comparativa de parámetros caucho vulcanizado.	46
Tabla 5 Matriz de Pesos y Ponderaciones	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Imagen tomada de "Fundamentos de la Manufactura Moderna" Groover 2007	17
Ilustración 2 Diseño de modelo	34
Ilustración 3 Molde de acero H13, vista superior	34
Ilustración 4 Molde de acero H13, vista inferior	34
Ilustración 5 Diseño de modelo	39
Ilustración 6 Conjunto Molde-Portamolde en explosión, vista frontal	40
Ilustración 7 Conjunto Molde-Portamolde en explosión, vista lateral	40
Ilustración 8 Canal de distribución en acrílico.....	40
Ilustración 9 mazarota en acrílico	41
Ilustración 10 Conjunto molde-portamolde en acoplamiento	41
Ilustración 11 Imagen tomada de Terán Teran, G. "Diseño conceptual de un Bipedestador para niños de entre 4 y 6 años de Edad" 2018	43

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Base estructural de la máquina de fundición centrífuga.....	19
Imagen 2 Detalle de la base estructural	20
Imagen 3 Máquina de fundición centrífuga, vista lateral	20
Imagen 4 Máquina de fundición centrífuga, vista frontal	21
Imagen 5 Diámetro interior de la máquina de fundición centrífuga	21
Imagen 6 Tapa de la máquina de fundición centrífuga	22
Imagen 7 Cuello del vertedero de la copa de vaciado de la máquina de fundición centrífuga	22
Imagen 8 Detalle de las bisagras de la tapa de la máquina de fundición centrífuga	22
Imagen 9 Base rotatoria de la máquina de fundición centrífuga	23
Imagen 10 Diámetro de la base rotatoria de la máquina de fundición centrífuga ...	23
Imagen 11 Soporte para contrapesos y seguros de la máquina de fundición centrífuga.....	23
Imagen 12 Sistema de transmisión de la máquina de fundición centrífuga.....	24
Imagen 13 Diámetro de la polea de transmisión de la máquina de fundición centrífuga.....	24
Imagen 14 Detalle de la chumacera de la máquina de fundición centrífuga	24
Imagen 15 Vertedero, ubicado en la tapa de la máquina de fundición centrífuga ..	25
Imagen 16 Diámetro mayor del vertedero	25
Imagen 17 Detalle del vertedero.....	25
Imagen 18 Cajetín de encendido de la máquina centrífuga.....	26
Imagen 19 Detalle del cajetín de encendido	26
Imagen 20 Cable del sistema de encendido de la máquina de fundición centrífuga	26

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Volumen de un Cilindro.....	49
Ecuación 2 Diferencia de Volúmenes.....	50
Ecuación 3 Fórmula de Densidad.....	50
Ecuación 4 Despeje de la masa con respecto a su densidad.....	50
Ecuación 5 Volumen de un prisma cuadrangular.....	51
Ecuación 6 Teorema de Bernoulli.....	53
Ecuación 7 Velocidad Radial.....	54
Ecuación 8 Velocidad Radial obtenida por las RPM.....	54
Ecuación 9 Fuerza Centrífuga.....	54
Ecuación 10 Deducción del Teorema de Bernoulli para calcular la velocidad del flujo del fluido.....	55
Ecuación 11 Fórmula del Caudal.....	55
Ecuación 12 Tiempo total de llenado.....	56
Ecuación 13 Tiempo estimado de Solidificación.....	56
Ecuación 14 Regla de Chvorinov.....	57

ÍNDICE DE FICHAS TECNICAS

Ficha técnica 1 Acero SISA H13	65
Ficha técnica 2 Aluminio 6063 T5	66
Ficha técnica 3 Zamak 5	68
Ficha técnica 4 Caucho Silicona.....	69

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 Proceso de fundición.....	71
Diagrama 2 Viabilidad proceso de fundición centrífuga FES Aragón.....	75

Introducción

El laboratorio L1 Diseño y Manufactura es un espacio de la Facultad de Estudios Superiores Aragón en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) dotado con una serie de instrumentos y máquinas que permiten la enseñanza de los procedimientos propios de la Ingeniería Mecánica. Una de sus prácticas fundamentales es la fundición a la arena en verde, mediante la cual se imparten a los estudiantes los principios básicos de la fundición.

A partir de la observación directa de estos espacios, de sus equipos y de los procesos de enseñanza de la fundición impartidos en ese espacio académico ha surgido la siguiente pregunta: ¿es posible impartir conocimiento sobre algún otro tipo de proceso de fundición?

En el año 2021 el ingeniero Fernando Ramírez realizó un trabajo de investigación llamado “ANÁLISIS DE LLENADO DE UN MOLDE EN INVESTIMENTO PARA MICRO-FUNDICIÓN CENTRÍFUGA CON ALUMINIO 6063-T5” en el cual se hace un primer acercamiento al proceso de fundición centrífuga en una máquina de tirabuzón existente dentro de los espacios del laboratorio L1.

Por otra parte, se observó que en el laboratorio L1 se encuentra una máquina de fundición centrífuga en desuso, que después de una revisión se ha determinado que requiere de un proceso de reingeniería para ser puesta en

funcionamiento. Entre los recursos de los que adolece para su operatividad está la de un molde adecuado para tal proceso.

La propuesta de la presente investigación es dejar sentadas las bases del diseño de un molde para el proceso de fundición centrífuga centrifugada tomando como punto de partida esta máquina. Se han presentado dos propuestas de moldes, la primera es un molde en acero H13 para una fundición en aluminio 6063 T5. La segunda propuesta es un molde de caucho vulcanizado para fundición de aleación zamak 5. Luego se establece una comparación valorativa de ambas propuestas tomando en cuenta los tiempos de fabricación, la disponibilidad de los recursos en la FES Aragón y los elementos de seguridad, entre otros aspectos.

Finalmente se presenta el diseño completo del molde de caucho silicona, adaptado a los requerimientos de la máquina de fundición centrífuga centrifugada del laboratorio L1 y las consideraciones generales para su correcto uso.

De esta manera es posible ampliar los conocimientos del proceso de fundición con técnicas y materiales jamás utilizados en el laboratorio L1 de la FES Aragón, pero que aportan considerables ventajas operativas, además del valor agregado de ampliar el proceso de trasmisión del conocimiento a los futuros profesionales de la Ingeniería Mecánica.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un molde que permita la operatividad de la máquina de fundición centrífuga centrifugada que se encuentra en el laboratorio L1 de la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Objetivos específicos

1. Analizar técnicamente la máquina de fundición centrífuga del laboratorio L1 para identificar las características específicas que debe tener el molde.
2. Determinar las especificaciones de los materiales del molde y la pieza de fundición a manufacturar.
3. Plantear dos propuestas diferentes para el molde.
4. Analizar, a través del método matricial, ambas propuestas y seleccionar sobre la base de este análisis la más adecuada.
5. Diseñar un molde para la máquina de fundición centrífuga del laboratorio L1.

Capítulo 1

1 ANTECEDENTES

1.1 Fundición Centrífuga

Los orígenes precisos de la fundición centrífuga están poco documentados por investigaciones de fuentes fiables. Se puede precisar con exactitud que la teoría matemática de la fundición centrífuga fue desarrollada a principios de la década de 1920, sin embargo, se han encontrado antecedentes más antiguos que ubican su uso para 1809, año en el que se registró en Inglaterra la primera patente para fundición centrífuga. Su primer uso industrial se remonta a 1848 en Baltimore, Estados Unidos. En esta oportunidad se le dio uso para fabricar tuberías de hierro fundido. Y para la década de 1890, los principios ya conocidos y probados para líquidos en rotación alrededor de un eje se extendieron a metales líquidos (ASM Hand Book, 1992).

1.1.1 Definición de Fundición Centrífuga

Los teóricos explican que “en el centrifugado (también llamado fundición centrífuga), las cavidades de un molde de cualquier forma se colocan a cierta distancia del eje de rotación. El metal fundido se vacía por el centro y se fuerza dentro del molde mediante fuerzas centrífugas” (Kalpakjian, p. 310).

A través del análisis teórico y la observación se puede inferir que la fundición centrífuga es un método que incorpora al proceso propio de la fundición un

elemento adicional: el aumento de las gravedades, la acción de esta fuerza genera un grado de presión mucho mayor al creado únicamente por la fuerza de gravedad de la Tierra, cuyo valor está calculado en $9.81 \frac{m}{s^2}$. En la fundición centrífuga la fuerza G es amplificada tantas veces como sea necesario, de manera que modifica la forma en que el metal fundido llena las cavidades del molde. Teniendo en consideración que la fuerza centrífuga es una fuerza aparente, resultante de dos fuerzas vectoriales, estas empujarán todo el material hacia el exterior, facilitando el llenado completo del molde, la expulsión de gases inducidos y produciendo piezas con menor necesidad de maquinación o mecanizado final.

Por todo lo anterior, se puede inferir que la acción de la fuerza centrífuga sobre el llenado del molde da lugar a una serie de particularidades físicas que no se presentan en otros procesos de fundición.

Desde una perspectiva más específica, “la fundición centrífuga se refiere a varios métodos de fundición en los que el molde gira a gran velocidad de modo que la fuerza centrífuga distribuye el metal derretido a las regiones externas de la cavidad del troquel. El grupo incluye 1) fundición centrífuga real, 2) fundición semicentrífuga y 3) fundición centrífuga centrifugada”. (Groover, p.231).

1.1.2 Fundición Centrífuga Real

“En la fundición centrífuga real, se vierte metal fundido a un molde rotatorio para producir una pieza tubular” (Groover, p.231) el metal fundido entra por

un extremo del molde rotatorio, aunque es posible que la rotación se inicie también una vez vertido el metal líquido, siempre y cuando el tiempo en que inicia la rotación del cilindro no sobrepase el intervalo en el que el metal esté muy próximo a alcanzar su punto de solidificación.

La gran velocidad de rotación ocasiona que las fuerzas centrífugas hagan que el metal adopte la forma de la cavidad del molde. “Así, la forma exterior del fundido puede ser redonda, octagonal, hexagonal, etcétera. Sin embargo, la forma interior del fundido es (en teoría) perfectamente circular, debido a las fuerzas con simetría radial que actúan. La orientación del eje de rotación del molde es horizontal o vertical, y el más común es el primero.” (Groover, p.232)

Algunos ejemplos de las piezas que se fabrican con este proceso incluyen tuberías, tubos, boquillas y anillos.

1.1.3 Fundición Semicentrífuga

“Con este método, se emplea la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas (...) en vez de piezas tubulares. (...) los moldes se diseñan con mazarotas en el centro a fin de suministrar metal. La densidad del metal en el fundido final es mayor en las secciones exteriores que en el centro de la rotación. El proceso se emplea con frecuencia para piezas en las que el centro de la fundición se maquina, lo que elimina la porción donde la calidad es más baja” (Groover, p.234). Ejemplos de fundidos elaborados con este proceso son las ruedas y las poleas. Para la fundición semicentrífuga es frecuente emplear moldes desechables (Groover, 2008).

1.1.4 Fundición Centrífuga Centrifugada

“En la fundición [centrífuga] centrifugada, el molde está diseñado con las cavidades de la pieza localizada hacia afuera del eje de rotación, de modo que el metal vertido en el molde se distribuya hacia ellas por medio de la fuerza centrífuga” (Groover, p.234).

En este método la colada gira alrededor del eje de rotación, las piezas están colocadas simétricamente en la periferia del eje, permitiendo la producción de múltiples fundiciones, siendo así el de más amplio campo de aplicación (Caltenco, 2009).

“El proceso se emplea para piezas pequeñas y no es requerimiento la simetría radial de la pieza, como sí lo es para los otros dos métodos de fundición centrífuga” (Groover, p.234).

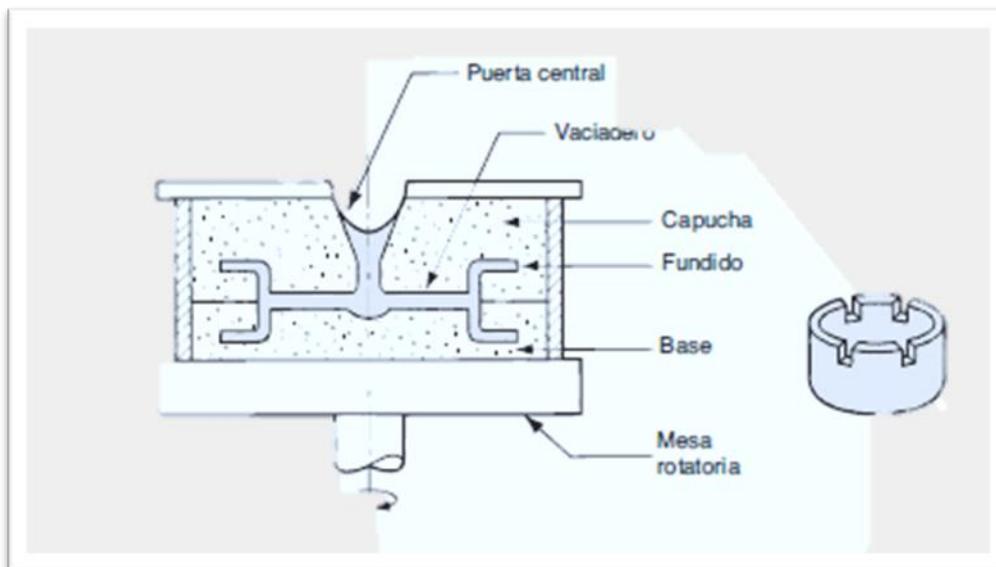


Ilustración 1 Imagen tomada de "Fundamentos de la Manufactura Moderna" Groover 2007

Como dato adicional se puede mencionar que la fuerza centrífuga generada en el proceso de fundición semicentrífuga y en la fundición centrífuga centrifugada generan presiones equivalentes que hacen que el flujo de fluidos se comporte de manera similar en ambos sistemas. Siempre y cuando se cumplan los requerimientos de RPM idénticas.

Recordemos que la presente investigación está orientada a la fundición centrífuga centrifugada únicamente, aunque es importante señalar el dato anterior, debido a que se ha tomado como referente un trabajo previo para esta facultad.

En el año 2021 el entonces aspirante al título de ingeniero, Fernando Ramírez, realizó un análisis experimental con una máquina de fundición centrífuga de tirabuzón (semicentrífuga). Su trabajo se enfoca en analizar el comportamiento del aluminio 6063 T5 cuando alcanza su punto de fusión y cómo este fluido es capaz o no de realizar un llenado eficiente de las cavidades de un molde de cristobalita, una vez aplicada la fuerza centrífuga por acción mecánica. En sus resultados experimentales concluye que para alcanzar un movimiento circular de tipo centrífugo capaz de llenar cavidades de entre 1 mm a 6.35 mm fue suficiente con generar una aceleración aproximada a 2.46 g a 266 RPM.

Estos valores, además de la viscosidad y el número Reynolds, en los resultados de sus pruebas serán tomados como referencia para anticipar el comportamiento del aluminio 6063 T5 en las cavidades de un molde de acero, propuesto en esta tesis.

1.2 Descripción de la Máquina de Fundición Centrífuga en FES Aragón

La Facultad de Estudios Superiores Aragón en su Laboratorio L1 de Diseño y Manufactura cuenta dentro de sus equipos con una máquina de fundición centrífuga centrifugada, que para el momento de la presentación de esta investigación no se encuentra operativa. Dado que el objeto de estudio de la presente tesis es el diseño de un molde para fundición centrífuga en la mencionada máquina se hace necesario realizar una descripción técnica a fin de determinar sus características específicas.

1.2.1 Componentes

1.- Base estructural: consta de un armazón cuadrado que sirve de soporte a la estructura principal de la máquina. Está fabricado en perfil de acero calibre 18.



Imagen 1 Base estructural de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 2 Detalle de la base estructural

2.- Caja de la centrífuga: es un cilindro de acero calibre 18, el cual se encuentra soldado al armazón base, tiene un diámetro de 660 mm por 240 mm de altura.



Imagen 3 Máquina de fundición centrífuga, vista lateral



Imagen 4 Máquina de fundición centrífuga, vista frontal



Imagen 5 Diámetro interior de la máquina de fundición centrífuga

3.-Tapa de la caja: tiene forma semicircular, cuenta con sistema de bisagras para abrir y cerrar. En la parte central cuenta con un barreno donde se inserta la copa de vaciado.



Imagen 6 Tapa de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 7 Cuello del vertedero de la copa de vaciado de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 8 Detalle de las bisagras de la tapa de la máquina de fundición centrífuga

4.-Base rotacional: es un disco de acero calibre 7/16", con un diámetro de 290 mm, cuenta con cuatro soportes, también de acero, para los contrapesos (ausentes). Esta base es el soporte del portamolde (pieza faltante).



Imagen 9 Base rotatoria de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 10 Diámetro de la base rotatoria de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 11 Soporte para contrapesos y seguros de la máquina de fundición centrífuga

5.-Sistema de transmisión de potencia: está compuesto por un motor eléctrico (ausente), un sistema de poleas conectadas por una correa con el eje central y éste a su vez le transfiera la fuerza que hace girar la base rotacional. Adicionalmente, el eje central cuenta con dos bases que lo sostienen en el eje vertical, denominadas chumacera y con rodamientos en cada uno de sus extremos.



Imagen 12 Sistema de transmisión de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 13 Diámetro de la polea de transmisión de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 14 Detalle de la chumacera de la máquina de fundición centrífuga

6.-Vertedero: es un componente de aluminio con forma de copa con un diámetro aproximado 25 mm en su extremo más angosto y de 70 mm de diámetro en su extremo más ancho. Está fijado a la tapa de la caja con tornillería, por lo tanto, es una pieza removible.



Imagen 15 Vertedero, ubicado en la tapa de la máquina de fundición centrífuga



Imagen 16 Diámetro mayor del vertedero



Imagen 17 Detalle del vertedero

7.- Sistema de encendido: es un suiche on – off y está conectado a un cable tipo industrial de 3m de largo y corriente trifásica. Consta de una palanca dentro de una caja y un termofusible (ausente).



Imagen 18 Cajetín de encendido de la máquina centrífuga



Imagen 19 Detalle del cajetín de encendido



Imagen 20 Cable del sistema de encendido de la máquina de fundición centrífuga

Durante la inspección se determinó la ausencia de varios componentes indispensables para su funcionamiento, entre ellos: el motor eléctrico, el

portamoldes, contrapesos, la correa del eje de transmisión y el termofusible por lo que se precisa de un proceso de reingeniería para garantizar su operatividad. Dicho proceso no es el objeto del presente trabajo. No obstante, el autor, como un valor agregado, propone como trabajos a futuro algunas consideraciones necesarias para alcanzar un funcionamiento óptimo para el molde diseñado por él. Este tema será presentado al final del escrito.

Posterior a la inspección de las condiciones técnicas de la máquina se determinó que es de fabricación artesanal, que no presenta número de serie, registro de manufactura, manual de uso o especificaciones técnicas.

Con el fin de fijar algunas de las referencias técnicas más relevantes se tomaron máquinas de fundición centrífuga centrifugada existentes en el mercado mexicano a modo de comparar las revoluciones por minuto que cada una de estas son capaces de generar con sus especificaciones de potencia respectivas.

Estudio de Mercado de Máquinas de Fundición Centrífuga en México

	Talleres Gallardo TG CN 01	NICEM C400MR	NICEM C400SC
			
RPM	400-900	0-1500	0-1000
Diámetro del Disco	9"-12" ajustable	hasta 16"	hasta 16"
Potencia	-	5100W a 50-60Hz	1300W a 50-60Hz
Dimensiones (cm)	61x61x134	70x86.5x122	70x65.5x106.0

Tabla 1 Estudio de Mercado de Máquinas Centrífugas

1.3 Molde

Definición: es un elemento esencial de la fundición donde se ha copiado en negativo el modelo. Se puede definir como un recipiente en el que se ha realizado una cavidad con una forma preconcebida y que contendrá el material en estado líquido y hasta que éste se haya solidificado.

Para cada tipo de fundición se requiere de un molde específico según las características y funcionalidades de la pieza a fabricar y de los recursos disponibles para el proceso de fundición propiamente dicho.

Una de las clasificaciones más comunes de los moldes es por el material con el que están contruidos, lo que da origen a dos grandes grupos: desechables y permanentes.

1.3.1 **Moldes Desechables**

Los moldes desechables se caracterizan, como su propio nombre indica, por el hecho de poder ser utilizados una sola vez por cada pieza a fabricar, debido a que deben disgregarse de la misma tras su enfriamiento y así permitir su correcta evacuación. En este tipo de moldes la arena es el material más utilizado para su construcción, debido a que es económica y además posee una elevada resistencia a las altas temperaturas. Sin embargo, también pueden ser de yeso, cerámicos, a la cera perdida, entre otros. La principal característica de estos moldes es que por su propia naturaleza de fabricación deben ser destruidos para obtener la pieza final de la fundición (Groover, 2008).

1.3.2 **Moldes Permanentes**

Los moldes permanentes son estructuras realizadas en metal, los más comunes son de acero o hierro fundido. En la mayoría de los casos su fabricación está asociada a un proceso de fundición propio. Es decir, se hace el molde de un molde a fin de formar las cavidades con las dimensiones exactas en un material de alta dureza como lo es el acero. El terminado de las cavidades se perfecciona a través de la maquinación.

Más recientemente se ha incorporado el uso de polímeros para el moldeo en la fundición centrífuga con los que se realizan moldes permanentes o semipermanentes.

1.4 Propuestas de Moldes para la FES Aragón

1.4.1 Molde de Acero

Los moldes de acero están formados por dos partes básicas: la tapa y la base, entre ambas se forma la cavidad principal que corresponde al modelo en negativo, los sistemas de paso y las mazarotas, pero además puede tener otras partes adicionales como pernos de seguridad, agarraderas y su propio vertedero.

Inmediatamente después de la maquinación los moldes de acero o hierro fundido requieren de un tratamiento térmico, para aumentar su dureza y resistencia a los impactos y a la corrosión, con lo que estará listo para su uso.

El siguiente paso es la preparación del fundido: “primero se precalienta el molde y se rocían uno o más recubrimientos sobre la cavidad. El precalentamiento facilita que el metal fluya a través del sistema de paso y hacia la cavidad. Los recubrimientos ayudan a disipar el calor y lubrican las superficies del molde para que sea más fácil la separación de la pieza generada...Después del vertido, tan pronto como se solidifica el metal, se abre el molde y se retira el fundido...A diferencia de los moldes desechables, los permanentes no se colapsan.” (Groover p.227).

“Los metales que es común fundir en moldes permanentes son aluminio, magnesio, aleaciones a base de cobre” (Groover p.226).

Por otra parte, algunos autores estiman que es viable manufacturar moldes completamente maquinados donde se intervienen por la devastación con el torno y la fresa o por el estampado de troqueles (Nathan D.1996). No obstante,

estos procesos requieren de equipos muy específicos, un operario altamente calificado y la inversión de gran cantidad de horas de trabajo, por lo que su método estaría restringido a disponer de tales requerimientos.

1.4.2 Propuesta de Molde 1

Molde de acero para fundición de aluminio 6063 T5

1.- Estará compuesto de tres piezas sólidas: tapa, base y pernos de seguridad

2.-Dimensiones:

- Diámetro de 250 mm.
- Espesor de cada una de las tapas 37.5 mm.
- Peso estimado: 10.55 kg.

3.- Técnica de manufactura: fundición a la arena en verde y maquinado final.

4.- Material del molde: acero fundido SISA H13.

Características

El acero SISA H13 provee un buen balance de tenacidad, alta resistencia a la formación de grietas causadas por el choque térmico y resistencia al revenido, junto con resistencia moderada al desgaste. De temple al aire, es empleado en la mayoría de las aplicaciones a durezas de 44-52 HRC. Las temperaturas nominales de revenido del acero SISA H13 son $>540^{\circ}\text{C}$, lo cual permite que mantenga su dureza de temple y su resistencia al ser utilizado a temperaturas elevadas. Las herramientas fabricadas con el acero SISA H13 pueden ser

usadas a temperaturas de hasta aproximadamente 540°C con exposiciones breves de hasta 595°C, siendo ideal para dados de forja, herramienta para extruido en caliente y moldes de fundición a presión.

Propiedades Físicas del acero SISA H13

Densidad: 7750 kg/m³ (0.280 lb/in³).

Conductividad Térmica:

	cal/cm-s-°C	BTU/hr-ft-°F	W/m-°K
a 95°C (200°F)	0.062	15	6.0
a 315°C (600°F)	0.066	16	27.7

Coeficiente de Dilatación Térmica:

	mm/mm/°C
20-425°C	12.2x10 ⁻⁶
20-540°C	12.6x10 ⁻⁶
20-650°C	13.1x10 ⁻⁶

Para una descripción más detallada ver la ficha técnica del acero SISA H 13 en el Anexo 1.

5.- Material de fundición: aluminio 6063 T5

Características

Se trata de una aleación ligera con base aluminio y agregados de silicio y magnesio, posee baja densidad y buena maquinabilidad. Con un punto de fusión que ronda los 600 °C y a temperatura ambiente no tiene problemas superficiales de ningún tipo (DELMETAL, Metales no ferrosos. s.f).

Propiedades Físicas del aluminio 6063 T5

Densidad = 2.69 gr/cm³.

Coeficiente de dilatación: 0°C a 100°C = 23.4 °C⁻¹ x 10⁶.

Rango de fusión: 615°C – 655°C.

Para una descripción más detallada ver la ficha técnica del aluminio 6063 T5 en el Anexo 1.

6.- Piezas a recrear: 6 piezas rectangulares con relieve en una sola cara (frontal diseño de torres FES Aragón de 60 mm largo por 40 mm de ancho y 3 mm de espesor).

7.-Aplicación de pintura desmoldante.

8.-Canales de alimentación de 4 mm de diámetro.

9.-Sistema de precalentamiento: Precalentamiento requerido: 300°C – 500°C.

10.-Tiempo estimado de manufactura: 24 horas, fraccionada en tres jornadas de 8 horas cada una.

11.- Diseño del modelo en Solidworks.

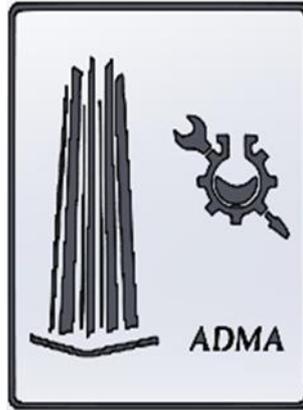


Ilustración 2 Diseño de modelo

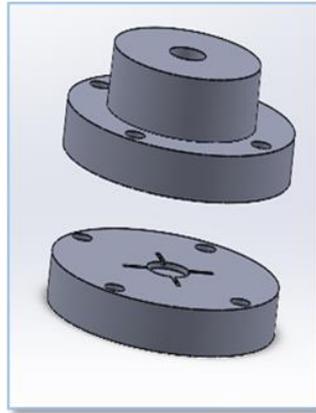


Ilustración 3 Molde de acero H13, vista superior

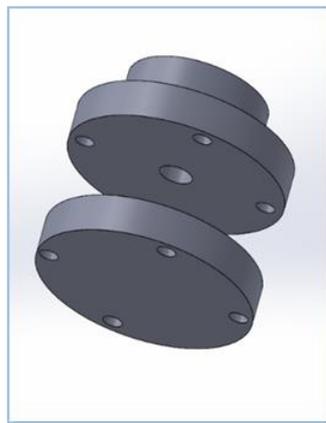


Ilustración 4 Molde de acero H13, vista inferior

1.4.3 Molde de Caucho Vulcanizado

Es un molde permanente compuesto por dos discos de caucho de igual diámetro. Uno de éstos es el disco base, cuyo grosor es mayor y en el que se alojan las cavidades de los modelos y los canales de distribución. El otro es el denominado disco tapa, de menor grosor donde se aloja el sistema de colada y el sistema de evacuación de los gases.

El caucho silicón es un material de moldeo que tiene la particularidad de replicar modelos en negativo con “excelente precisión de reproducción y buenas características desmoldantes” (Caltenco p.151).

El uso de este tipo de moldes se encuentra en expansión para los procesos de fundición centrífuga, debido a varias de sus características que proponen cambios significativos en los tiempos de producción y calidad de las piezas finales.

La parte más importante del proceso de colada centrífuga reside en lo innovador de los moldes de silicón que se utilizan en el equipo.

“El proceso es muy versátil en cuanto a la fabricación de moldes de silicón ya que estos se pueden fabricar de manera rápida y las cavidades pueden ser reconstruidas cuando ya han sido degradadas [sic] por el calor sin que se requiera de bastante material. Estos moldes son fáciles de manipular, no son pesados y sirven para muchas corridas de producción de piezas” (Caltenco p.95).

Características de los moldes de caucho vulcanizado

- Fácil manufactura: el material base se maneja en estado líquido y a temperatura ambiente. Sobre éste se colocan los modelos que luego son fijados a través del endurecimiento del material mediante la aplicación de un catalizador.
- Bajo costo de fabricación: no requiere de maquinaria especializada para su fabricación y su material base es de un costo relativamente bajo.
- Expansión térmica: debido a su alta flexibilidad es capaz de soportar las posibles expansiones o contracciones térmicas de la fundición sin afectar significativamente la forma final de la pieza.
- Resistencia térmica: es capaz de soportar materiales con bajos puntos de fusión entre los 300 °C a los 500 °C.

1.4.4 Propuesta de Molde 2

Molde de caucho silicona para fundición de zamak 5

1.-Componentes: dos piezas de caucho, disco base y disco tapa, además de un portamoldes de aluminio acoplados entre sí.

2.-Dimensiones:

Discos de caucho:

- Diámetro máximo de 225 mm
- Espesor tapa: 15mm

- Espesor base: 15 mm
- Espesor total: 30mm
- Peso total aproximado: 1,262.81 g

Portamoldes:

- Diámetro máximo 230 mm
- Espesor de la tapa: 5 mm
- Espesor de la base: 5 mm
- Peso total aproximando: 1,266 g

3.-Técnicas de manufactura: vulcanizado en frío para los moldes, y fundición a la arena en verde y maquinado para el portamolde.

4.-Material del molde: caucho silicón.

Características

Es un compuesto de dos polímeros de color rojo teja, su curado es a temperatura ambiente y es de uso frecuente en la manufactura de piezas con un bajo punto de fusión, como por ejemplo el zamak, estaño o plomo. Su rango de operación óptimo para fundiciones es de entre 380°C a 550°C. Para el proceso de moldeo con este material se requiere un tiempo de espera de cuatro horas para desprenderlo del portamolde a una temperatura media de 20°C. Su curado es de 3 días. (www.siliconesandmore.com/en/silicone-condensation-ht-60-hard.html). Adicionalmente, se puede agregar que es un material que aporta una excelente precisión de reproducción de pieza y buenas características desmoldantes (Caltenco R. 2009).

Propiedades físicas del Caucho Silicona

- Densidad del caucho sólido: 1.44 g/cm³
- Viscosidad en líquido 11000 PA*s
- Porcentaje máximo de catalizador: 2%
- Tiempo de trabajo: 40 min.
- Tiempo de curado: 4 horas
- Expansión térmica: 20%
- Capacidad térmica específica: 1300-1500 j(kg*k)
- Conductividad térmica: 0.24 w(k*m)

Para una descripción más detallada ver la ficha técnica del caucho vulcanizado en el Anexo 1.

5.- Material de fundición: zamak 5

Características

Es una aleación de aluminio y zinc, entre otros elementos. Posee excelentes características para la colada por su bajo punto de fusión, lo que implica un menor consumo de energía para la fundición. Las piezas finales realizadas con esta aleación poseen mayor dureza y resistencia que es igual a un mejor comportamiento ante las deformaciones. Esto debido a su mayor contenido de cobre. Además, posee una excelente resistencia a la corrosión y es aplicada con gran éxito en las fundiciones por inyección y gravedad. (Especificaciones del Zamak, Grupo Industrial C & C), (Flores Saldivar, 2013) (Metals Handbook, 1990).

Propiedades Físicas

- Densidad=6.6g/cm³
- Rango de solidificación = 380-386°C
- Coeficiente de expansión térmica =27.4μm/m*K
- Temperatura de fusión: 387°C
- Calor latente de fusión: 110J/g
- Capacidad calorífica: 419 J/kg*°C

Para una descripción más detallada ver la ficha técnica del zamak 5 en el Anexo 1.

6.- Piezas a recrear: 6 piezas rectangulares con el relieve de las torres de la FES Aragón en una de sus caras, la otra cara plana de 60 mm largo por 40 mm de ancho y 3 mm de espesor.

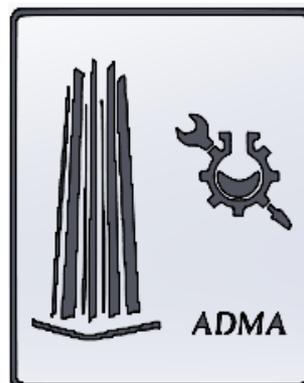


Ilustración 5 Diseño de modelo

7.-Desmoldante: Talco

8.-Canales de alimentación de 4 mm de diámetro

9.-Sistema de calentamiento: No aplica

10.-Tiempo estimado de manufactura: 6 horas

11.- Diseño del modelo en Solidworks

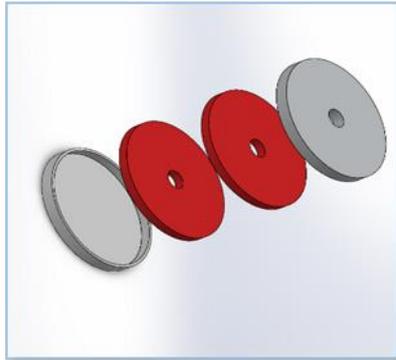


Ilustración 6 Conjunto Molde-Portamolde en explosión, vista frontal

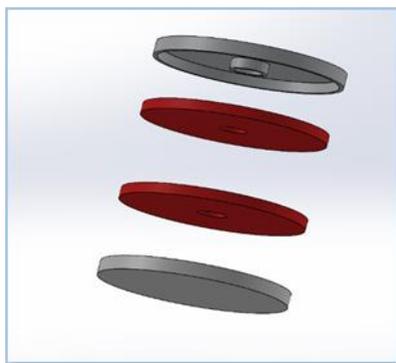


Ilustración 7 Conjunto Molde-Portamolde en explosión, vista lateral

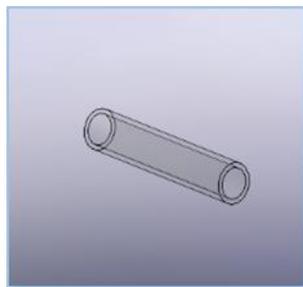


Ilustración 8 Canal de distribución en acrílico

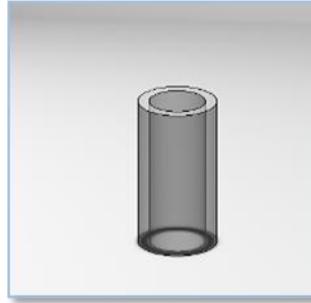


Ilustración 9 mazarota en acrílico

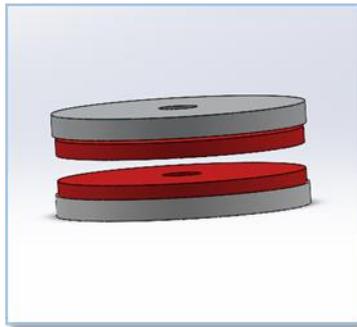


Ilustración 10 Conjunto molde-portamolde en acoplamiento

1.5 Evaluación de Propuestas

La creación de un producto, en este caso un molde adecuado para llevar a cabo todas las fases teóricas y prácticas de la fundición centrífuga centrífuga, se realiza mediante la estimación de parámetros técnicos que han sido determinados por medio del proceso de **Análisis del Valor**. Método desarrollado por Lawrence D. Miles (Alcaide J. 2004), quien lo define como “la relación entre los beneficios que aporta un determinado producto o proceso frente a los costes que supone” si bien el presente trabajo no se ha enfocado en mostrar un análisis de costos de cada uno de los insumos requeridos para la elaboración del molde y del funcionamiento de la máquina centrífuga, sí se ha validado el gasto de energía de tres momentos fundamentales: primero, la energía requerida para la elaboración del molde propiamente dicho; segundo, la temperatura que debe alcanzar el material de fundición para convertirse en

un fluido y tercero, la cantidad de energía requerida para hacer girar la centrífuga, la cual será directamente proporcional al peso del molde.

Así mismo, “Los parámetros técnicos son aquellas magnitudes o características que el equipo de diseño puede manejar o determinar para definir su producto”. (Alcaide M. y otros, Diseño de Productos, p.73).

Por otra parte, Brown (2008) citado por Terán Terán en su tesis “Diseño Conceptual de un Bipedestador para Niños de entre 4 y 6 Años de Edad” describe un método de diseño industrial denominado Design Thinking, y que a su vez se ha tomado como pilar fundamental de la metodología aplicada al desarrollo del presente trabajo en cuanto al diseño del molde.

El Design Thinking establece como principios la empatía sobre el diseño industrial donde sus prioridades son las necesidades humanas de los usuarios. En este caso, la oportunidad de que los estudiantes de Ingeniería Mecánica puedan ampliar los conocimientos con los recursos que proporciona la FES Aragón.

Otro de los principios que expone este método de diseño es la experimentación, en el sentido de desarrollar el espacio real para probar métodos nuevos. Ciertamente la fundición centrífuga centrifugada no es una tecnología inédita, propuesta por el autor, pero sí nunca aplicada en el laboratorio L1.

Algunos autores consideran que este método es muy innovador y que es posible aplicarlo a cualquier área del diseño siguiendo los consecuentes pasos:

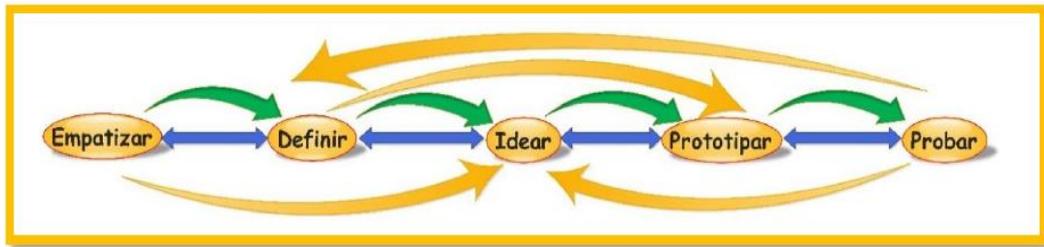


Ilustración 11 Imagen tomada de Terán Teran, G. "Diseño conceptual de un Bipedestador para niños de entre 4 y 6 años de Edad" 2018

Primero se realizó el proceso de identificación de las necesidades, en el caso concreto se identificó que la máquina de fundición centrífuga centrifugada adolece de un molde para poder aplicar la enseñanza del proceso de fundición en el laboratorio L1 de Diseño y Manufactura de la FES Aragón.

El paso siguiente fue la recopilación de información sobre los diversos tipos de moldes y las características de cada uno.

El tercer paso fue la generación de ideas a través de tormenta de ideas, dibujos, bocetos, mapas mentales y esquemas con la finalidad de analizar cada una de estas características y la posibilidad de adecuarlos a la máquina y las necesidades del laboratorio L1.

1.5.1 Análisis Comparativo de las Propuestas de Diseño

Características	Molde	Molde
	Acero H13	Caucho Vulcanizado
Resistencia altas temperaturas	Max. 1000°C	Max. 500°C
Durabilidad Estimada	10 años / 20 mil ciclos	5 años / 40 mil ciclos
Peso	10.5kg	4.5kg
Sistema de precalentamiento	Equipo soldadura oxiacetilénica (300°C-500°C)	No aplica
Sistema de enfriamiento	Bomba de agua	No aplica
Balanceo	Sistema computacional	Sistema de pesas (ausente)
Desmoldante	Pintura desmoldante alta temperatura	Talco
Potencia	Motor 1 Hp	Motor 1/3 Hp
Tiempo de manufactura del molde	3 jornadas de 8 horas cada una	6 horas
Tiempo de producción del producto	2 horas 6 piezas 1 fundición	30 minutos 6 piezas 1 fundición
Material de fundición	Aluminio 6063 T5	Zamak 5
Métodos de elaboración del molde	Fundido y mecanizado	Vulcanizado
Operatividad	Personal calificado / profesores o técnicos	Alumnos bajo supervisión de profesores

Tabla 2 Análisis Comparativo de Propuestas.

Acero SISA H13	
Parámetros que mejoran	Parámetros que empeoran
	Peso de objeto en movimiento
	Peso de objeto sin movimiento
	Volumen de objeto en movimiento
	Velocidad
	Fuerza
	Estabilidad
Resistencia	
Durabilidad	
	Temperatura
	Energía del objeto en movimiento
	Energía de objeto sin movimiento
	Potencia
	Desperdicio de energía
Desperdicio de sustancia	
	Desperdicio de tiempo
	Precisión de la manufactura
	Factores perjudiciales actuando sobre el objeto
	Efectos secundarios dañinos
	Manufacturabilidad
Conveniencia de uso	
	Reparabilidad
	Adaptabilidad
	Complejidad del mecanismo
	Complejidad del control de mecanismo
	Productividad

Tabla 3 Comparativa de parámetros del acero H13.

Caucho vulcanizado	
Parámetros que mejorar	Parámetros que empeoran
Peso	
Volumen	
Velocidad	
Presión	
Forma	
Estabilidad	
	Resistencia
	Durabilidad
Temperatura punto de fusión	
Energía gastada por el objeto	
Potencia	
Desperdicio de energía	
	Desperdicio de sustancia
Desperdicio de tiempo	
	Cantidad de sustancia
Confiabilidad	
Precisión de medición	
Precisión de manufactura	
Manufacturabilidad	
Conveniencia de uso	
	Reparabilidad
Adaptabilidad	
Complejidad del mecanismo	
Complejidad de control	
Productividad	

Tabla 4 Comparativa de parámetros caucho vulcanizado.

1.5.2 Matriz de Pesos y Ponderaciones

A continuación, se muestra una matriz de relaciones y pesos basado en el método matricial de relaciones ponderadas.

Parámetros	Ponderación	propuesta 1		propuesta 2	
		Acero H13	valor	puntaje	Caucho vulcanizado
Complejidad en el proceso de elaboración del molde	5	1	5	5	25
Complejidad en el mecanismo	5	1	5	5	25
Ahorro de energía utilizada en el proceso de fundición centrífuga	4	1	4	4	16
Relación peso del molde y potencia de la máquina	4	2	8	5	20
Balaceo dinámico	4	1	4	4	16
Seguridad de uso	3	2	6	5	15
Tolerancia de temperatura	3	5	15	3	9
Insumos adicionales para el funcionamiento del molde	3	2	6	3	9
Vida útil del molde	2	5	10	2	4
Total			63		139

Tabla 5 Matriz de Pesos y Ponderaciones

Rango del 1-5

Criterios:

5= óptimo

1 = menos favorable

La matriz de relaciones y ponderaciones arroja un resultado favorable para la propuesta de caucho vulcanizado. Ésta es la que alcanzó los valores más altos en la mayoría de los criterios de evaluación con un total de 139 puntos en comparación con el acero que alcanzó 63 puntos.

Capítulo 2

2 DISEÑO DEL MOLDE

2.1 Consideraciones Matemáticas para el Diseño del Molde.

Es preciso recordar que se ha tomado como punto de partida para estos cálculos los resultados obtenidos por Ramírez F. (2021) en su trabajo: “Análisis del Llenado de un Molde en Inversión para Microfundición Centrífuga con Aluminio 6063 T5” en el cual se toma por hecho que los canales de distribución con diámetros de entre 1 mm a 6.5 mm pueden llenarse con 266 RPM.

En este caso se plantean canales de distribución de 4 mm y una velocidad angular de 500 RPM, por lo que se infiere que el llenado del molde será exitoso.

Aun así, se ha hecho una sustentación en un modelo matemático que permitió estimar bajo condiciones ideales el comportamiento del fluido, el tiempo de solidificación, la fuerza centrífuga y la fuerza que se requiere para que el fluido pueda llenar de manera eficiente el molde

Para determinar el volumen del caucho se utilizó la fórmula de un cilindro sólido:

$$v = \pi r^2 h \quad (1)$$

Ecuación 1 Volumen de un Cilindro

El resultado obtenido fue: $v = 1,192.82 \text{ cm}^3$ el cual corresponde a un sólido sin cavidades.

El volumen total del sólido que ocupan ambos discos de caucho se toma como referencia para determinar la cavidad del portamolde, mediante una resta simple de volúmenes.

Para el portamolde el volumen total del sólido sin cavidad se determinó en:

$$v = 1661.91 \text{ cm}^3$$

Diferencia de volúmenes para determinar el volumen real del portamolde con su cavidad:

$$v_t = v_2 - v_1 \quad (2)$$

Ecuación 2 Diferencia de Volúmenes

$$v_t = 469.09 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado el volumen es posible determinar la masa conociendo la fórmula de la densidad:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Ecuación 3 Fórmula de Densidad

Entonces de (3):

$$m = v * \rho \quad (4)$$

Ecuación 4 Despeje de la masa con respecto a su densidad

$m = 1,266.54 \text{ g}$ para el portamoldes con la cavidad correspondiente al molde.

Para determinar el volumen de los modelos se utilizó la siguiente fórmula:

$$v = l * l * l \quad (5)$$

Ecuación 5 Volumen de un prisma cuadrangular

entonces el volumen del modelo es igual a: $v = 7.2 \text{ cm}^3$

A partir de estos valores es posible determinar **la masa de cada uno de los modelos**, partiendo del supuesto de que la figura es de zamak 5, entonces de (4):

$$m = 47.52g$$

Este valor obtenido se debe multiplicar por 6 para determinar la **masa total** de las 6 cavidades que contendrá el molde:

$$m_{m.t} = 285.12g$$

Donde $m_{m.t}$ es la **masa total de los modelos**

El volumen y masa de cada uno de los **canales de alimentación** será de (1) y (4):

$$v = 1.884\text{cm}^3 \quad m = 2.07g$$

La masa total de los canales de alimentación será igual a multiplicar el valor anterior por 6:

$$m = 12.42g$$

Volumen y masa de la mazarota de (1) y (4):

$$v = 28.86 \text{ cm}^3 \quad m = 190g$$

Los valores anteriores son necesarios para determinar el valor real del volumen del caucho una vez realizadas las cavidades que ocuparán los modelos, los canales de alimentación y la mazarota.

$$v_{total \text{ Caucho}} = 1118.876 \text{ cm}^3$$

Al estar relacionados estos dos valores masa y volumen la masa cambiará su valor a:

$$m = 1611.1814g$$

Una vez obtenidos todos estos datos se procede a sumar las parciales de todo el conjunto.

Masa total del conjunto molde-portamolde:

$$m = 3016.89g$$

Además, se puede obtener una estimación de la masa total del material a fundir al calcular los volúmenes que ocupará en las cavidades del molde:

$$m_{zamak5} = 487.54 \text{ g}$$

Flujo de fluido:

Las fundiciones trabajan bajo el concepto de conservación de la masa como lo explica Bernoulli en su teorema:

$$h_1 + \frac{P_1}{g\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{g\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + F_2 \quad (6)$$

Ecuación 6 Teorema de Bernoulli

Donde h = altura (m).

P = presión en el líquido (N/m^2).

ρ = densidad (Kg/m^3).

V = velocidad de flujo (m/s).

g = constante de la aceleración gravitacional (m/s^2).

F = pérdidas de carga debidas a la fricción (m).

Los subíndices 1 y 2 indican los dos puntos cualquiera en el flujo del metal líquido.

Para el cálculo del flujo de fluido es necesario utilizar la velocidad radial.

$$V_{radial} = \omega R \quad (7)$$

Ecuación 7 Velocidad Radial

Donde ω = velocidad angular en $\frac{rad}{s}$

Se obtiene una velocidad radial de:

$$V_{radial} = 5.88 \frac{m}{s}$$

Otra manera de calcular esta velocidad está dada por la ecuación:

$$V_{radial} = \pi NR/30 \quad (8)$$

Ecuación 8 Velocidad Radial obtenida por las RPM

Cuyo valor es de:

$$V_{radial} = 5.89 \frac{m}{s}$$

La ecuación de Bernoulli muestra como un valor requerido la fuerza centrífuga, la cual se determina con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (9)$$

Ecuación 9 Fuerza Centrífuga

Donde F = Fuerza en [N]

R el radio del objeto en cuestión.

La fuerza involucrada en el P_2 será de:

$$F = 930.05 [N]$$

Bajo la suposición de que las alturas (h) del molde son las mismas, de que se inicia en un momento estático y de que las fricciones del molde no son relevantes en la ecuación de Bernoulli se puede obtener la velocidad del fluido en un punto cualquiera del molde, siempre y cuando se mantenga la velocidad angular. Por lo tanto, se tendría una ecuación derivada de (6) tal que:

$$V_{fluido} = \sqrt{\frac{P_2}{2g}} \quad (10)$$

Ecuación 10 Deducción del Teorema de Bernoulli para calcular la velocidad del flujo del fluido

Velocidad del fluido:

$$V_{fluido} = 8.39 \frac{m}{s}$$

La velocidad del fluido permite calcular el caudal (Q) que se generará al hacer fluir este fluido, este dato es necesario para determinar el tiempo de llenado, quedando como:

$$Q = \frac{V_{fluido}}{A} \quad (11)$$

Ecuación 11 Fórmula del Caudal

Q = caudal.

A = área de la sección transversal.

Por ende:

$$Q = 0.01 \frac{m^3}{s}$$

El cálculo del tiempo de llenado estimado se obtiene a través de la siguiente ecuación, sustituyendo el resultado Q de [11] en [12] quedando como:

$$T_{llenado} = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} = \frac{v}{Q} \quad (12)$$

Ecuación 12 Tiempo total de llenado

Entonces el resultado es:

$$T_{llenado} = 0.7 \text{ s}$$

Finalmente, el tiempo estimado para la solidificación se determina por la ecuación (Groover, p.206):

$$T_{Ts} = C_m \left(\frac{v}{A} \right)^n \quad (13)$$

Ecuación 13 Tiempo estimado de Solidificación

Donde

T_{Ts} = tiempo de solidificado.

C_m = Constante del molde.

v = volumen.

A = área .

n = es un exponente que se acepta generalmente como 2.

Para determinar C_m se utilizó la Regla de Chvorinov (Groover, p.206):

$$C_m = \left[\frac{\rho_m L}{T_m - T_0} \right]^2 \left[\frac{\pi}{4 \rho c} \right] \left[1 + \left(\frac{c_m \Delta t_s}{L} \right)^2 \right] \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \quad (14)$$

Ecuación 14 Regla de Chvorinov

Donde:

ρ_m = densidad del metal.

L = calor latente de fusión.

T_m = temperatura de fusión [K].

T_0 = temperatura inicial del molde [K].

ρ = densidad del molde.

c = calor específico del molde.

c_m = calor específico del metal.

Δt_s = sobrecalentamiento [K].

Donde el resultado es:

$$C_m = 0.0884 \text{ min/cm}^2$$

Se sustituye en la ecuación (13) obteniendo:

$$T_{Ts} = 0.037 \text{ segundos}$$

Estos cálculos corresponden a estimaciones para los resultados esperados, sin embargo, queda pendiente un análisis experimental de flujo de fluido específico para esta propuesta de fundición el cual será parte de los trabajos a futuro sugeridos en esta investigación.

2.2 Manufactura del Molde

1.- Con el volumen calcular la cantidad necesaria de material caucho silicona para cubrir la base del molde, que debe estar dentro del portamoldes para evitar la deformación, colocarlo en una superficie plana.

2.- Preparar el compuesto en una relación de 100 ml de silicón a 2 ml de catalizador. Mezclar alrededor de 5 minutos y de inmediato verter en la base del portamoldes hasta llenar a la altura de 50 mm.

3.- Esperar el tiempo de polimerización, pero sin alcanzar la solidificación total. Aproximadamente de 10 a 15 minutos.

4.- Colocar modelos, canales de distribución y mazarota. Verter el caucho restante hasta alcanzar los 150 mm.

5.- Esperar el tiempo de polimerización, aproximadamente 20 minutos. Colocar una capa de talco en la superficie, como desmoldante.

6.- Posicionar la tapa del portamoldes y rellenar con el caucho restante el espacio que queda en el portamoldes, 150 mm aproximadamente.

7.- Esperar el tiempo de curado. Aproximadamente 3 días.

8.- Desmoldar, limpiar imperfecciones y el molde está listo para usarse.

Manufactura de los modelos: Están diseñados en el programa Solid Works para ser cortados con láser en el laboratorio L1 de Diseño y Manufactura de la FES Aragón. Material propuesto: acrílico.

Conclusiones

Al realizar un análisis técnico de la máquina de fundición centrífuga centrifugada del laboratorio L1 de la FES Aragón se pudo establecer en primer término las especificaciones del diseño del molde requerido para garantizar la operatividad de este equipo a partir de las características de la máquina de fundición centrífuga.

Para diseñar el molde adecuado fue necesario considerar dos propuestas de diseño, el primero un molde de acero SISA H13 para fundiciones con aluminio 6063 T5. La segunda propuesta evaluada fue un molde de caucho vulcanizado para fundiciones con la aleación zamak 5. Estas propuestas se contrastaron tomando en cuenta los parámetros físicos de los materiales y a través del método matricial de pesos y ponderaciones.

Finalmente se decidió por una propuesta considerada como innovadora para la FES Aragón, ya que hasta la fecha de presentación de esta investigación no se ha realizado la práctica de fundición centrífuga ni se ha tomado como material de fundición la aleación zamak 5.

Por su parte, la elaboración de un molde cuyo material de fabricación es el caucho vulcanizado aporta ventajas significativas en cuanto a:

- Fácil manufactura, ya que para su fabricación no se requiere de procesos de fundición, maquinado o devastación, lo que supone la disposición de equipos muy específicos, operarios altamente calificados y una gran cantidad de horas de trabajo.

- No requiere procedimientos adicionales para su funcionamiento como sistema de precalentamiento o enfriamiento, ya que se trabaja a temperatura ambiente, sin ninguna implicación para la calidad de la pieza final
- Menor consumo de energía (GAS). Las características del material y del proceso de fabricación del molde, requieren de un menor consumo de energía.

El material de fundición zamak 5 también aporta ventajas significativas debido a que tiene una reducción de 200°C de temperatura en comparación con el método de fundición con aluminio, lo que se traduce también en un menor consumo de energía y un incremento de la seguridad para el operario.

Es importante recordar que al inicio de esta investigación se planteó la pregunta de que si sería posible incluir la fundición centrífuga dentro de las prácticas de fundición del laboratorio L1 de Diseño y Manufactura de la FES Aragón. A tal efecto se considera que a través de su desarrollo se aportaron fundamentos sólidos que permitirían, sin duda, la incorporación de este contenido al plan de prácticas. Estos fundamentos fueron establecidos en primer lugar por las bases teóricas de la fundición centrífuga. En segundo lugar, mediante el análisis de los requerimientos del diseño de un molde, tomando en cuenta el principio de la empatía. Donde las características de los usuarios, en este caso los alumnos y profesores de la FES Aragón fueron considerados los operarios de estos procesos, además del principio de la experimentación que habla de la necesidad de desarrollar un espacio real para probar nuevos métodos. Ambos principios son los pilares fundamentales

en el método de diseño industrial denominado Desing thinking, sobre el cual se sustentó el diseño del molde objeto de estudio de esta tesis.

Con los resultados de este trabajo de investigación es posible la fabricación y utilización de un molde totalmente adaptado a las características de la máquina de fundición centrífuga centrifugada de la FES Aragón, por lo cual se puede considerar un aporte fundamental para promover la innovación tecnológica dentro de esta casa de estudios, lo que se traduce en una potencial mejora académica, ya que puede ser el primer paso para la incorporación de métodos de fundición inéditos para la FES Aragón.

Además, deja sentadas las bases para nuevas líneas de investigación sobre la continuidad en el proceso de reingeniería necesario para garantizar la operatividad completa de este equipo y la comprobación experimental de la dinámica de los fluidos para el zamak 5, entre muchas otras. E incluso la manufactura del molde propuesto en el presente trabajo.

Propuestas a Futuro

Con la evaluación técnica de la máquina de fundición centrífuga centrífuga del laboratorio L1 de Diseño y Manufactura se determinó que requiere de una serie de adecuaciones para iniciar su operatividad. Estas adecuaciones están referidas en su mayoría a componentes ausentes o desgastados, los cuales deben ser reemplazados y que han sido esquematizados a continuación con la finalidad de dejar una propuesta de trabajos a futuro que hagan posible realizar las prácticas de fundición centrífuga en la FES Aragón.

Reingeniería del Sistema de potencia:

- Instalación de motor eléctrico: con una capacidad de 500 RPM y 1HP conectado a un juego de dos poleas con una relación de transmisión variable y a determinar en estudios posteriores.
- Mejora del cajetín de encendido, sustituir termofusibles.
- Colocación de contrapesos en el disco rotatorio para garantizar la seguridad y balanceo del portamolde.
- Se sugiere una sustitución de los rodamientos, superior e inferior del eje transmisión.

ANEXO 1

Fichas Técnicas

Ficha técnica del acero SISA H13

Acero SISA H13
acero para trabajo en caliente

ACEROS
SISA
desde 1948

SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción: azul oscuro amarillo

CARACTERÍSTICAS

El acero SISA H13 provee un buen balance de tenacidad, alta resistencia a la formación de grietas causadas por el choque térmico y resistencia al revenido, junto con resistencia al desgaste moderada.

De temple al aire, es utilizado en la mayoría de las aplicaciones a durezas de 44-52 HRC.

Las temperaturas nominales de revenido del acero SISA H13 son bastante altas (>540°C - 1000°F), lo cual permite que mantenga su dureza de temple y su resistencia al ser utilizado a temperaturas elevadas.

Las herramientas fabricadas con el acero SISA H13 pueden ser usadas a temperaturas de hasta aprox. 540°C (1000°F) con exposiciones breves de hasta 595°C (1100°F), siendo ideal para dados de forja, herramiental para extruido en caliente y moldes de fundición a presión.

APLICACIONES TÍPICAS

Dados de Extrusión para Aleaciones Ligeras	Cuchillas para Corte en Caliente
Camisas (Liners) para Extrusión	Moldes para Plástico
Herramientas para Fundición a Presión	Interos para Dados
Punzones y Matrices para Prensar	Mandriles
	Pemos Eyectores
	Dados de Forja

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Si	Cr	Mo	V
0.40	1.00	5.20	1.30	0.95

NORMAS

SAE / AISI	DIN	JIS
H13	1.2344	SKD 61

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El Acero SISA H13 es apropiado para nitrurar y recubrir con PVD. Los procedimientos de recubrimiento con CVD, generalmente rebasan la temperatura crítica y pueden resultar en cambios dimensionales impredecibles.

SISA H13

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad	30 psi x 10 ⁶	(207 GPa)
Densidad	7750 kg/m ³	(0.280 lb/in ³)
Conductividad Térmica		
	cal/cm-s-°C	BTU/hr-ft-°F W/m-°K
a 95°C (200°F)	0.062	15 26.0
a 315°C (600°F)	0.066	16 27.7

Coefficiente de Dilatación Térmica

	mm/mm-°C	in/in-°F
20-95°C / 70-200°F	11.0 x10 ⁻⁶	6.1 x10 ⁻⁶
20-205°C / 70-400°F	11.5 x10 ⁻⁶	6.4 x10 ⁻⁶
20-425°C / 70-800°F	12.2 x10 ⁻⁶	6.8 x10 ⁻⁶
20-540°C / 70-1000°F	12.6 x10 ⁻⁶	7.0 x10 ⁻⁶
20-650°C / 70-1200°F	13.1 x10 ⁻⁶	7.3 x10 ⁻⁶

PROPIEDADES MECÁNICAS

La práctica de pre-calentar las herramientas en acero SISA H13 antes de ser expuestas a temperaturas elevadas durante el servicio, mejora considerablemente su tenacidad como se muestra en la siguiente tabla de resistencia al impacto con entalla Charpy en V:

EFEECTO DE TEMPERATURAS ELEVADAS EN LA RESISTENCIA AL IMPACTO (TENACIDAD):

Dureza Original HRC a 21°C	Resistencia al Impacto Joules (ft-lbs.)				
	Temperatura de Prueba Charpy con Entalla en V				
	21°C (70°F)	260°C (500°F)	540°C (1000°F)	565°C (1050°F)	595°C (1100°F)
52	14 (10)	30 (22)	34 (25)	34 (25)	---
47	24 (18)	41 (30)	45 (33)	---	43 (32)
43	24 (18)	51 (38)	60 (44)	---	57 (42)

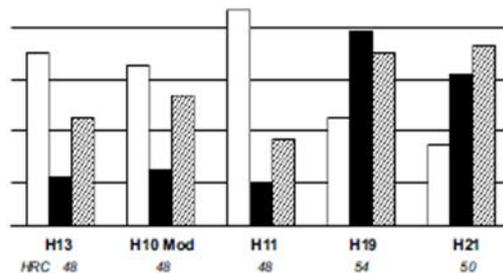
Templado a 1010°C (1850°F), enfriamiento al aire, doble revenido a la dureza indicada. Dureza original HRC a temperatura ambiente. Los especímenes de Charpy con entalla en V, subsecuentemente calentados a las temperaturas de prueba como se indica.

MAQUINABILIDAD Y RECTIFICABILIDAD

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 70% de un acero tipo W1 (1% C).

COMPARACIÓN DE ACEROS HERRAMIENTA

□ Tenacidad ■ Resistencia al Desgaste ▨ Resistencia al Revenido



Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Para datos adicionales o asistencia en Ingeniería Metalúrgica, favor de acudir al departamento técnico de SISA.

SISA H13**TRATAMIENTO TÉRMICO****Forjar**

1100-950°C (2010-1740°F)

Recomendable precalentar 705-735°C (1300-1350°F)

No forjar por debajo de 900°C (1650°F), enfriamiento lento en homo o material termoaislante.

Recocer

Calentamiento a 870°C (1600°F), mantener 2 horas, enfriamiento lento 15°C (25°F) por hora hasta alcanzar 650°C (1200°F), posterior enfriamiento al aire.

Recocido alternativo - Calentamiento a 870°C (1600°F), mantener 2 horas, enfriamiento a 760°C (1400°F), mantener 6 horas, posterior enfriamiento al aire.**Dureza en Estado Recocido** BHN 192/235**Relevado de Tensiones****Material Recocido** 650-675°C (1200-1250°F) - Mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en homo o al aire quieto.**Material Templado** Calentar 15-25°C (25-50°F) por debajo de la temperatura de revenido, mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en homo o al aire quieto.

Recomendable para reducir las tensiones causadas por un extenso maquinado en caso de herramientas de configuración complicada y para reducir las tensiones después de un proceso de electroerosión.

Enderezado

Preferible a 205-425°C (400-800°F)

TEMPLE**Precalentar**

595-675°C (1100-1250°F) - Normalizar, posteriormente a 790-845°C (1450-1550°F) - Normalizar.

Temple (Austenización)

995-1025°C (1825-1875°F) - Mantener 30 a 45 minutos a temperatura. Utilizar las temperaturas altas del rango, provee mayor resistencia al revenido durante el trabajo pero con un leve decremento en tenacidad.

Enfriamiento

Al aire o enfriamiento con presión positiva (2 bar mínimo) o al aceite interrumpido por debajo de 65°C (150°F).

Se recomienda un rango mínimo de enfriamiento de aprox. 25°C (50°F) por minuto desde 980°C (1800°F) hasta bajar por debajo de 650°C (1200°F), para lograr máxima resistencia al impacto (tenacidad).

Revenir

175 - 315°C (350 - 600°F) - Doble revenido es necesario.

Revenir por un mínimo de 2 horas por cada revenido (4 horas preferiblemente) o por lo menos 1 hora por cada pulgada (25 mm) de espesor para secciones arriba de 2" (50 mm) de espesor.

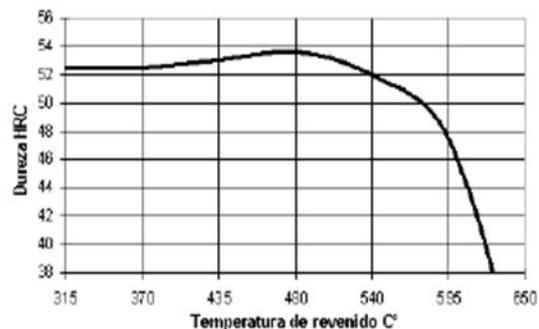
Enfriar a temperatura ambiente entre revenidos.

RESPUESTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO**Dureza y Tenacidad al Impacto***Temple a 1010°C (1850°F) Enfriamiento al Aire*

Temperatura de Revenido	HRC	Entalla Charpy C	
		Ft. lbs.	Joules
540°C - (1000°F)	51-53	10	14
565°C - (1050°F)	49-51	10	14
595°C - (1100°F)	46-48	18	24
605°C - (1125°F)	40-42	18	24
620°C - (1150°F)	35-37	--	--
650°C - (1200°F)	28-32	--	--

*Los resultados pueden variar dependiendo del método de temple y el tamaño de la pieza.***Cambio dimensional durante Tratamiento Térmico:**

El promedio de cambio dimensional del acero SISA H13, con un tratamiento térmico normal es de aproximadamente +0.06% (=un crecimiento de 0.0006 pulg/pulg) al revenirse al rango de 540-620°C (1000-1150°F). Variaciones en el proceso de tratamiento térmico afectan los resultados.

DIAGRAMA DE REVENIDO

Temperatura de Temple 1010°C - 1850°F



Servicio Industrial, S.A. de C.V.

www.acerosisa.com.mx

Aceros Especiales Grados Herramienta y Maquinaria**Aceros SISA-MET® de Metalurgia en Polvo (PM)****Piezas Industriales Forjadas**

Ciudad de México: Naranjos 6 - Col. San Francisco Cuautlalpan, Naucalpan - cp 53569, Estado de México

Tel - (55) 5576-4011 Fax - (55) 5576-4997 sisa@sisa1.com.mx

Monterrey: Guerrero Norte 4120 - Col. del Norte, Monterrey - cp 64500, Nuevo León

Tel - (81) 8351-7220 Fax - (81) 8351-2981 sisamty@sisa1.com.mx

Cat. H13 12/12 © Derechos Reservados, Mexico DF, 2012 Servicio Industrial, S.A. de C.V. SISA® y SISA-MET® son Marcas Registradas. Impreso en México

ALUMINIO 6063

USOS MÁS FRECUENTES

Cañerías, barandas, muebles, perfiles de carpintería, camiones y pisos para trailers, puertas, ventanas, tubos para riego.

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN %

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min	0.20				0.45					
Max	0.60	0.35	0.10	0.10	0.90	0.10	0.10	0.10	0.15	Resto

PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad [gr/cm ³]	2.69	Coef. De dilatación (0 a 100 °C) [°C ⁻¹ x 10 ⁶]	23.4
Rango de fusión [°C]	615 – 655	Conductividad Térmica (0 a 100 °C) [W/m °C]	Temple T6: 201
Módulo de elasticidad [MPa]	68300	Resistividad a 20 °C [μΩcm]	Temple T6: 3.3
Coefficiente de Poisson	0.33	Calor específico (0 a 100 °C)	900

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

Proceso	Clasificación	Proceso	Clasificación
<u>Soldabilidad:</u>		<u>Maquinabilidad (Temple T6)</u>	
Electrón Beam	A	Corte de viruta	B
Gas Inerte (TIG o MIG)	A	Brillo de sup. mecanizada	A
Por resistencia	A		
Brazing			
<u>Embutido Profundo</u>		<u>Resistencia a la corrosión</u>	
Recocido		Agentes atmosféricos	A
Semi duro		Ambiente marino	A
Duro			
<u>Repujado</u>		<u>Anodizado</u>	
Temple 0		Protección	A
		Brillante	C
		Duro	A

Clasificación: (A) Muy buena - (B) Buena - (C) Aceptable - (D) Pobre o No Recomendado

PROPIEDADES MECÁNICAS

Producto	Temple	Dureza Brinell
Barras	T0	25
	T1	42
	T4	
	T5	60
	T6	73

ALEACIONES DE ZINC: ZAMAC

Descripción general: Aleaciones de zinc, aluminio, cobre y magnesio, donde el zinc es el participante mayoritario.

Fórmula: ver composición química en Tabla I.

Propiedades Mecánicas y Físicas: ver datos en Tabla II

Recomendaciones de uso: ver recomendaciones en Tabla III

Están especialmente preparadas para ser utilizadas en moldeo por inyección y en coquilla con atributos particulares en función del producto a obtener, según se indica a continuación.

Nº 3: Es la primera opción para moldear con inyección a presión, excelente balance entre propiedades físicas y mecánicas, magnífica colabilidad y gran estabilidad dimensional.

Ofrece excelentes características para terminación por electrodeposición, pintado y otros tratamientos superficiales.

Es la aleación de zinc más difundida en el mercado y es la referencia frente a la cual se comparan las otras aleaciones de zinc para inyección a presión.

Nº 5: El contenido de 1 % de cobre en su composición le otorga mayor dureza y resistencia que la Nº 3, presentando una reducción de la ductilidad que puede afectar la maleabilidad en operaciones posteriores de doblado, remachado o clampeado.

Universalmente utilizada para inyección, con excelentes características de colabilidad, presenta un mejor comportamiento que la Nº 3 frente a las deformaciones en el tiempo (creep).

Por su mayor dureza y resistencia permite a los proyectistas modificar el diseño realizado para la Nº 3, reduciendo espesores. Ofrece similares características de terminación superficial que la Nº 3.

Nº 7: Se incrementa la fluidez por medio de una reducción del contenido de Magnesio de la Nº 3 y se adiciona una pequeña cantidad de Níquel. Se adapta a diseños de paredes más delgadas, si se presta especial atención al cuidado de la constancia en los parámetros del proceso de inyección.

Es más dúctil que la Nº 3 a temperatura ambiente, Elegida en los casos que requieren una deformación plástica para el ensamble posterior de las piezas.

Por su mayor fluidez puede presentar más rebabas en la línea de unión de matriz, y por ser más dúctil éstas serán más resistentes a la eliminación por vibración o rotoreado.

Para evitar los problemas causados por la corrosión ínter granular, se especifica un menor nivel de las impurezas relacionadas con este fenómeno.

Nº 2: Entre las aleaciones básicas para inyección ofrece la mayor resistencia y dureza, sin embargo su alto contenido de cobre (3%) genera cambios en sus propiedades durante el uso prolongado: crecimiento dimensional 0.0014 mm/mm en 20 años, menor elongación y disminución de la resistencia al impacto a niveles similares a las aleaciones de aluminio coladas. Posee excelente colabilidad y provee algunas características interesantes para los diseñadores.

El comportamiento al creep es superior a cualquiera de las aleaciones ASTM B 86. Mantiene la resistencia y la dureza en el envejecimiento, incluso investigaciones preliminares sugieren a la Nº 2 como un buen material para piezas de rozamiento evitando el uso de insertos o bujes en los diseños.

Es la única de las aleaciones alcanzadas por la norma ASTM B-86 que se utiliza con éxito tanto en inyección como en colada por gravedad en coquilla o arena, se suele utilizar en la fabricación de matrices para el conformado de metales en prensa, moldes para cerámica o goma, matrices para inyección de plásticos y herramientas antichispa de baja exigencia mecánica.

Es denominada por algunos fabricantes como Kirksite en reemplazo de las aleaciones ASTM B-793.

Nº 6: Fue desarrollada para el proceso de colada denominado "slush casting" (aleación "A" de la especificación ASTM B 792). El metal es colado en el molde por gravedad, se deja solidificar un espesor de pared y se retira el exceso generándose así una pieza hueca, en el caso de necesitarse una cáscara totalmente cerrada se recurre al proceso de colada con inversión (Turnover moulding).

Es aplicable a piezas ornamentales, estatuillas, bases de lámparas, reemplazando con éxito a aleaciones costosas de otros metales, puede pulirse obteniéndose un muy buen brillo o terminarse por procesos de electrodeposición, plateado o dorado.

Tiene buena adherencia a insertos de otros metales siendo aplicable al uso en picaportes o tiradores de aspecto artístico. No es apta para inyección.

Rev:08 Agosto 2014

Tabla I

Elemento (% en peso)	ZAMAC: Especificaciones										
	Nº3	Nº5	Nº7	Nº2	Nº6	Nº 8C	Nº10	Nº13	ZA8	ZA12	ZA27
Aluminio	3.7-4.3	3.7-4.3	3.7-4.3	3.7-4.3	4.5-5	3.8-4.2	3.8-4.2	4.0-4.7	6.0-8.8	10.5-11.5	25.0-28.0
Magnesio	0.02-0.06	0.02-0.06	0.005-0.02	0.02-0.06	≠ 0.01	0.45-0.6	0.5-0.7	0.05 - 0.1	0.01-0.03	0.01-0.03	0.01-0.02
Cobre	≠ 0.1	0.7-1.2	≠ 0.1	2.6-3.3	0.2-0.3	2.5-3.5	1.0-1.4	3.0-3.8	0.8-1.3	0.5-1.2	2.0-2.5
Hierro	≠ 0.05	≠ 0.05	≠ 0.05	≠ 0.05	≠ 0.1	≠ 0.075	≠ 0.1	≠ 0.1	≠ 0.075	≠ 0.075	≠ 0.075
Plomo	≠ 0.005	≠ 0.005	≠ 0.003	≠ 0.005	≠ 0.007	≠ 0.005	≠ 0.007	≠ 0.007	≠ 0.006	≠ 0.006	≠ 0.006
Cadmio	≠ 0.004	≠ 0.004	≠ 0.002	≠ 0.004	≠ 0.005	≠ 0.004	≠ 0.005	≠ 0.005	≠ 0.006	≠ 0.006	≠ 0.006
Estaño	≠ 0.002	≠ 0.002	≠ 0.001	≠ 0.002	≠ 0.005	≠ 0.003	≠ 0.005	≠ 0.005	≠ 0.003	≠ 0.003	≠ 0.003
Níquel	-	-	0.005-0.02	-	-	-	-	1.0 - 1.5	-	-	-
Zinc	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto

Normas Internacionales

ASTM	B86 AG40A	B86 AC41A	B86 AG40B	B86 AC43A	B792 Alloy A				B86 ZA-8	B86 ZA-12	B86 ZA-27
SAE	903	925		921							
UNS	Z33520	Z35531	Z33523	Z35541	Z34510				Z35636	Z35631	Z35841

Tabla II

ZAMAC: PROPIEDADES

Propiedades Mecánicas (Unidades)	ALEACION														
	Nº 3	Nº 5	Nº 7	Nº 2	Nº 6	Nº 13	ZA 8		ZA 12		ZA 27				
Resistencia a la tracción (MPa)	203	320	283	269	195	220	283	296	374	317	345	400	441	324	431
Tensión de fluencia a tracción (0.2% MPa)	221	298	221	283	-	-	200	200	292	214	280	317	392	288	376
Elongación en 50 mm (%)	10	7	13	7	2	2	1 a 2	1 a 2	0 a 10	1 a 3	1 a 3	4 a 7	3 a 6	0 a 11	1 a 3
Resistencia al corte (MPa)	214	262	214	317	-	-	261	275	355	-	260	260	250	220	325
Dureza Brinell	82	91	80	100	80	110	85	85 a 90	95 a 110	80 a 105	80 a 105	95 a 115	110 a 120	90 a 110	105 a 125
Resistencia al impacto Charpy (J)	55	55	50	48	30	30	30	-	60	60	-	35	35	30	35
Límite de fatiga-5x10 ⁷ ciclos (MPa)	40	57	47	50	-	-	-	52	103	103	-	117	172	103	145
Tensión de fluencia a compresión (0.1% MPa)	414	600	414	661	-	800	196	214	282	227	234	209	301	284	305
Módulo de elasticidad (MPa x 10 ³)	85.5	85.5	85.5	85.5	-	-	85.5	85.5	-	-	82.7	-	-	77.9	-
Coefficiente de Poisson	0.27	0.27	0.27	0.27	-	-	-	0.29	-	-	0.3	-	-	0.32	-

Para ZA 12 y ZA 27 es inyección con cámara fría
 A Arena + Tratamiento térmico 3 horas a 320 ° C y enfriamiento en horno
 Conversión: 1 MPa = 0.1 Kg/cm²

Condiciones generales de trabajo
 Temperatura de colada en inyección: +10 a +40°C sobre la temperatura de líquido
 Temperatura de ejercicio de la matriz de inyección: 100 a 220°C
 Temperatura de colada en coquilla: +35 a +70°C sobre la temperatura de líquido
 Temperatura de ejercicio de coquilla: 220 a 250°C

Propiedades Físicas (Unidades)	ALEACION														
	Nº 3	Nº 5	Nº 7	Nº 2	Nº 6	Nº 13	ZA 8		ZA 12		ZA 27				
Peso específico (g/cm ³)	6.7	6.71	6.7	6.79	6.7	6.8	6.8	6.8	6.3	6.0	5.0				
Intervalo de fusión "Sólido-Líquido" (°C)	381-387	380-398	381-387	379-390	382 (euc.)	380-390	375-404	375-404	377-332	377-332	376-484				
Conductividad eléctrica (% IACS)	27	26	29	25	27	28	27.7	27.7	26.3	26.3	26.7				
Conductividad térmica (W/mK)	113	108.9	113	104.7	113	104	114.7	114.7	116.1	116.1	125.5				
Coeff. de dilatación térmica 100-200 °C (µm/mK)	27.4	27.4	27.4	27.8	27.4	27.8	27.3	27.3	24.2	24.2	26				
Calor específico (J/kg °C)	419	419	419	419	419	419	405	405	440	440	434				
Contracción líquido-sólido (mm/mm)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.01	0.013	0.007	0.01	0.013	0.0075	0.013	0.013	0.006

Tabla III

ZAMAC: USOS Y SELECCIÓN

Característica Comparada	ALEACION										
	Nº 3	Nº 5	Nº 7	Nº 2	Nº 6	Nº 8C/10	Nº 13	ZA 8	ZA 12	ZA 27	
Colabilidad en matriz a presión	E	E	E	E	NR	NR	NR	NR	MB	MB ¹	B ¹
Colabilidad en arena	NR	NR	NR	NR	B	NR	NR	NR	MB	B	R
Colabilidad en coquilla	NR	NR	NR	NR	B	MB	NR	B	MB	E	R
Colabilidad por centrifugado	R	R	NR	NR	NR	NR	E	NR	NR	NR	NR
Resistencia	B	B	B	B	MB	B	NR	MB	MB	E	E
Ductilidad	E	MB	E	E	MB	B	NR	B	MB	B	R
Resistencia al impacto	E	E	E	E	B	MB	R	B	MB	B	R
Resistencia al desgaste	B	B	B	B	MB	R	R	MB	MB	E	E
Maquinabilidad	E	E	E	E	E	B	R	MB	E	MB	B
Estanqueidad a la presión	E	E	E	E	E	MB	NR	MB	MB	E	R
Uso en galvanoplastia	E	E	E	E	E	NR	MB	NR	MB	B	NR
Aerodinámico	E	E	E	E	E	MB	MB	B	E	E	MB
Cromatizado	E	E	E	E	E	B	B	B	MB	B	R
Pintado	E	E	E	E	E	E	MB	E	E	E	E
Estabilidad dimensional	E	E	E	E	MB	MB	B	MB	MB	MB	R
Anti - Chispeo	E	E	E	E	E	E	B	E	E	E	R

E = excelente MB = muy bueno B = bueno R = razonable NR = no recomendado
 1 Para ZA 12 y ZA 27 es inyección con cámara fría

Oxido Metal S.A.
 Av. Dr. Honorio Pueyrredón 2400
 B1631FZT Villa Rosa - Pilar - Buenos Aires - Argentina
 Teléfono: +5411 5171 2500
www.grupointdustrial.com.ar

Su consulta es apreciada.

Rev:08 Agosto 2014

SILICONES

and more

Silicone condensation HT 60

In forms made out of these silicones you can cast alloys with a melting point up to 380 ° C.

Description

The silicone condensation HT 60 is a 2-component condensation curing casting silicone that cures at room temperature. The silicone is highly filled and suitable for the production of moulds for low temperature alloys like Zamak, tin or lead.

Because the silicones are highly filled they tend to break when bent too far. Therefore we advise not to use this silicone for moulds with many or large undercuts.

Technical specifications

The mixing ratio (by weight)	[A: B]	100: 2
Pot life at 20 ° C	[Min]	40
Demolding @ 20 ° C	[Hours]	4
Full strength after	[Days]	3
Hardness	[Shore A]	60
Viscosity @ 20 ° C	[mPa s]	11.000
Tear strength	[Kg/cm ²]	45
Color		Red braun

Note: Pot life and demold time are dependent on the mixing ratio and Humidity. Addition of more than 2% silicone B (harder) or working at higher humidity will shorten pot life and demould time.

Processing

The fillers in the A-component must be mixed thoroughly before use.

The silicone C HT 60 can easily be mixed by hand or by machine. Mix the components thoroughly in the ratio indicated. Process the mixture within the pot life and de-mould after the whole thing is completely cured. Make the mould as thin as possible.

After cure, post cure the rubber mould by putting it in an oven for 2-3 hours at 150 ° C to remove trapped vapors. Coat the mold (prior to casting the alloy into it) with a layer of talcum powder or graphite powder, this will improve the wetting of the alloy onto the mould surface. Make sure that the mold is heated prior to casting the alloy. Put the mould on a surface with a high thermal conductivity.

Packaging

The standard package contains 1 kg A-component and 20 g B-component. For larger quantities please contact us via the webshop.

Shelf life

When stored in sealed packaging at a temperature of 10-25 ° C, the shelf life is at least 1 year. If the A component has been on the shelf for long, the fillers should be stirred well before use.

Safety

If you frequently work with silicones, it is recommended to wear gloves during processing and to ventilate the room well. Please refer to the Material Safety Data Sheet for more information.



Characteristics

- Color: Red-Brown
- Easy to mix
- Short-term heat resistant up to 380 ° C
- Very hard Shore A 60

No rights can be justified on this description.
Read the safety instructions on www.siliconesandmore.com before use

V161006.1

Ficha técnica 4 Caucho Silicona Tomado de Pag. Web en línea [<https://www.siliconesandmore.com/en/silicone-condensation-ht-60-hard.html>]

ANEXO 2

Antecedentes de la Fundición

El análisis antropológico aplicado en los rastros de la civilización ubica las primeras piezas realizadas a partir de la fundición de metales alrededor del 4000 a.C en la Edad del Cobre. En estos hallazgos se encontraron adornos rituales, orfebrería y pequeños utensilios.

Aunque mucho anterior a este periodo ya se utilizaba el fuego para extraer los metales de la roca se cree que la técnica de la fundición surgió de manera accidental cuando el hombre primitivo advirtió que el metal era capaz de modificar su forma de manera más eficiente cuando se convertía en un fluido por acción del calor y que además le era posible manipular la forma final antes de la solidificación. (Eiroa, J. 1996).

Se sabe entonces, que la fundición es casi tan antigua como la humanidad y que se ha ido modificando a lo largo de los años para poder llegar a las tecnologías que se conocen hoy en día. (Groover, p.195)

Expertos que la han estudiado exhaustivamente consideran que el proceso de fundición consta de un principio bastante sencillo: “se derrite el metal, se vierte en un molde y se deja enfriar y solidificar” (Groover, p.194)

Por su parte otros, autores la definieron de manera aún más simplificada, como un proceso de solidificación en el que un metal fundido es vaciado en un molde para dejar que éste se enfríe. (Kalpakjian, p. 281)

Complementado estas definiciones teóricas se puede agregar que la fundición es un proceso de manufactura, cuyo fin es producir piezas con una forma específica y cuyo proceso permite la modificación de la forma de un material. Ese cambio de forma viene dado por un cambio físico, generado por las variaciones de temperatura inducidas en éste para modificar sus propiedades plásticas en función del conformado del material específico.

En otras palabras, un material en estado sólido con una forma determinada es sometido a un aumento de temperatura hasta alcanzar su punto de fusión para luego, y gracias a que adquiere las características de un fluido, entre ellas, el aumento considerable de su plasticidad, ser vaciado en un molde donde luego de la solidificación obtendrá la forma del modelo inicial.

Esquemáticamente se puede representar el proceso de fundición de la siguiente manera:

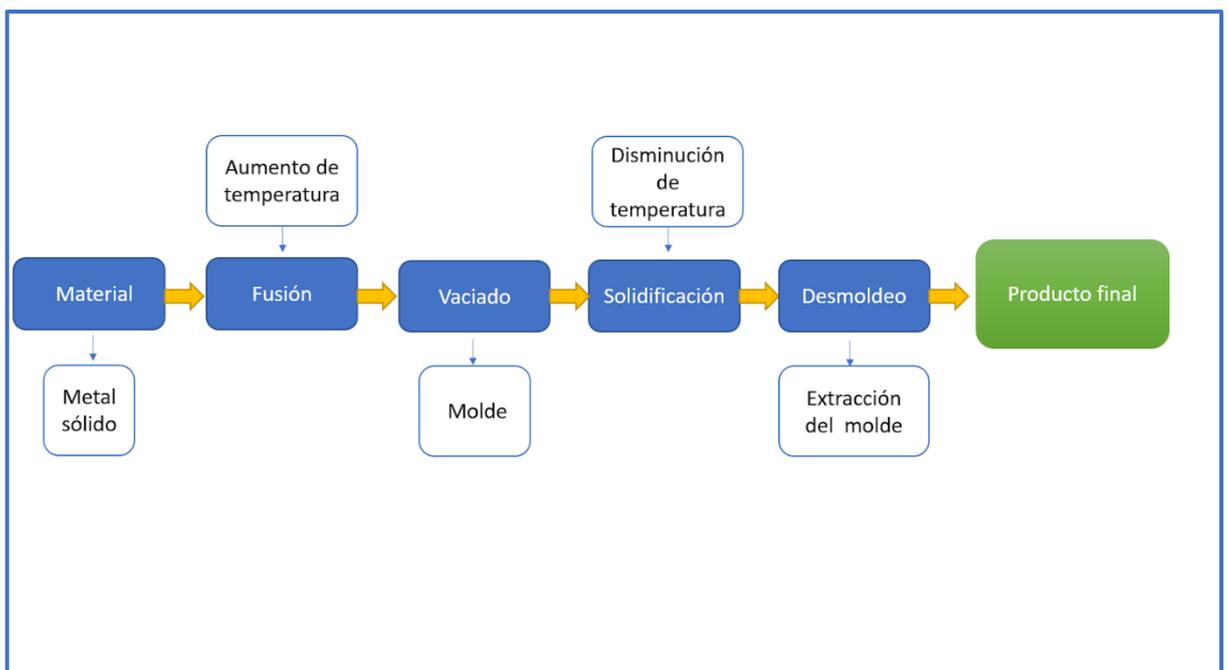


Diagrama 1 Proceso de fundición

De esta manera se puede deducir que la fundición es un proceso de transformación que inicia con un material en bruto y que al aplicar sobre éste una serie de operaciones culmina en una pieza terminada.

Si bien es cierto que la fundición es una técnica milenaria, ésta ha evolucionado a la par de la civilización misma. La tendencia histórica ha sido sustituir a los métodos tradicionales con la automatización de los procesos que aportan alta calidad en las piezas finales, procesos más rápidos y a menores costos o con menor consumo de energía. Para lograr este fin se ha apelado al auxilio de varias ramas de la ingeniería, entre las cuales podemos mencionar a la termodinámica, mecánica de fluidos, transferencia de calor, cinemática y dinámica, modelado de sistemas físicos, conformado de materiales, ciencia y tecnología de materiales, solo por mencionar los más relevantes. Dando como resultado la fabricación de una diversidad casi inconmensurable de objetos de la manufactura moderna.

Por otra parte, aunque se hable de esta multiplicidad de usos y aplicaciones la fundición mantiene 5 elementos comunes que se encuentran en todos los distintos procesos: el modelo, material, molde, fuente de calor y crisol cuyas características se describen a continuación:

1.- Modelo: es un patrón que permite una copia en negativo, el cual servirá de guía para que en el molde se formen todas las cavidades que permiten su replicación. El modelo puede estar hecho de diversos materiales como

madera, metal, plástico o incluso cera. El más sencillo es el denominado modelo sólido que consta de una sola pieza.

2.- Material: se refiere a la materia prima con la cual se pretende replicar el modelo. En el caso de estudio del presente trabajo solo se considerará a los metales. No obstante, es necesario acotar que también es posible hacer fundiciones con cerámicos y plásticos.

3.- Molde: es un elemento esencial de la fundición donde se ha copiado en negativo el modelo. Específicamente se puede definir como un recipiente en el que se ha realizado una cavidad con una forma preconcebida y que contendrá el material en estado líquido y hasta que éste se haya solidificado. Existen dos tipos de moldes, los permanentes que son aquellos a los que se les puede dar un uso prolongado, replicando muchas veces el mismo modelo. Y los moldes desechables que son aquellos solo se pueden usar una vez, ya que por sus características deben ser destruidos para obtener la pieza final.

4.-Fuente de calor: es cualquier elemento capaz de emitir el calor suficiente para hacer que el material alcance su punto de fusión a través del aumento de temperatura. Las fuentes de calor más comunes utilizadas para la fundición son los hornos a gas, hornos de inducción, hornos de arco eléctrico y sopletes.

5.-Crisol: es un recipiente hecho de un compuesto cerámico refractario que permite la aplicación de altas temperaturas para que el material pueda alcanzar su punto de fusión.

Procesos de Fundición en FES Aragón

Fundición a la Arena en Verde

Recordemos que en párrafos anteriores se precisó que la fundición ha ido incorporando los avances de la ciencia y la tecnología para hacerse de procesos cada vez más eficientes, esta particularidad ha dado como consecuencia la diversificación de muchos tipos de fundición.

Dado el alcance y delimitaciones del presente trabajo que propone el diseño de un molde que pueda hacer operativa la máquina de fundición centrífuga de la FES Aragón, se analizarán solo dos tipos de fundiciones, las cuales se ha determinado están vinculadas directamente con el desarrollo de esta tesis.

La primera es la denominada fundición a la arena en verde que corresponde a un antecedente directo, ya que para la fecha de publicación del presente trabajo es la técnica que se aplica en el laboratorio L1 de Diseño y manufactura de la FES Aragón.

En el siguiente esquema se ha representado de manera específica las implicaciones de este proceso.

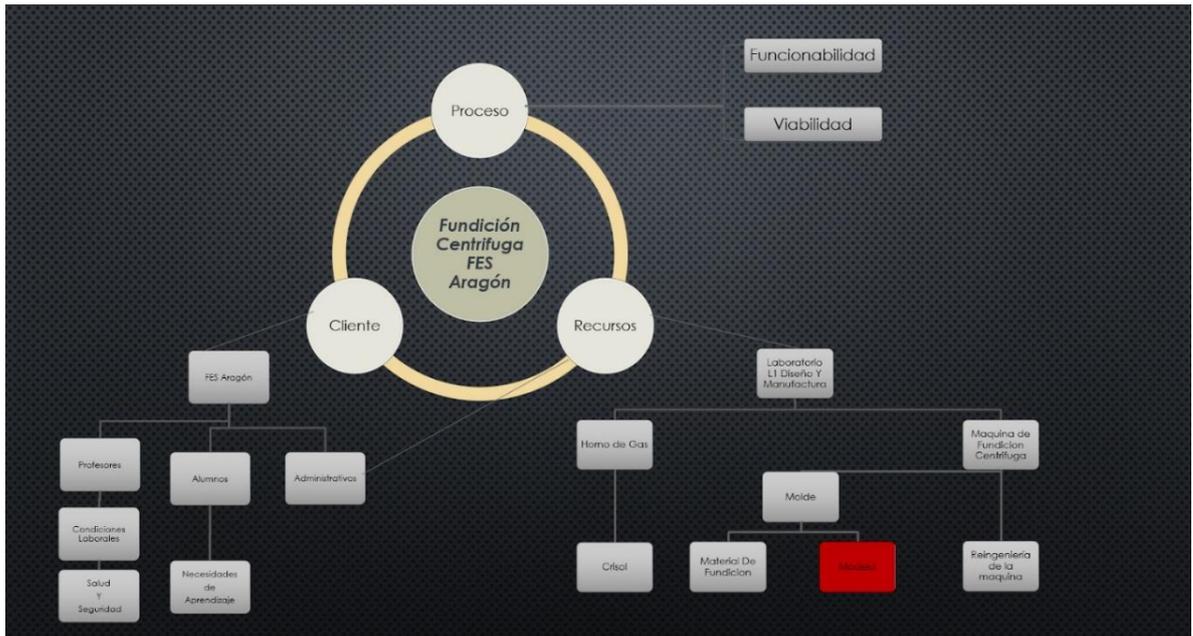


Diagrama 2 Viabilidad proceso de fundición centrífuga FES Aragón

La fundición a la arena en verde según Groover, “consiste en verter metal derretido en un molde de arena y dejar que se solidifique, para luego romper el molde y retirar el fundido. El fundido debe limpiarse e inspeccionarse, y a veces se requiere darle tratamiento térmico a fin de mejorar sus propiedades metalúrgicas. La cavidad del molde de arena se forma por la compresión de arena alrededor de un modelo ... El molde también contiene el sistema de paso o sistema de vaciado y la mazarota” (Groover, p.215).

Además, la clasifica como un método de fundición de molde desechable, ya que el proceso de moldeo debe hacerse desde el inicio para cada una de las piezas a fundir, lo que conlleva a “que las tasas de producción estén limitadas por el tiempo que se requiere para hacer el molde”

Es un hecho conocido que en algunos casos la industria ha incorporado algunas técnicas de automatización en el apisonado de la arena, con el fin de aumentar la tasa de producción. Sin embargo, en la FES Aragón este proceso lo realizan los estudiantes de manera manual.

Si bien está considerada, no solo uno de los métodos más usados en la fundición por su excelente capacidad de soportar metales y aleaciones con elevados puntos de fusión y su versatilidad para contener piezas de tamaño que varían de pequeños hasta muy grandes, también está considerado uno de los métodos más antiguos que se conocen (Kalpakjian, p.295)

La propuesta del presente trabajo está sustentada en la necesidad de mejorar los procesos, incluso a nivel académico y presentar a los estudiantes nuevas opciones de aprendizaje a parte de las tradicionales y acaso rudimentarias.

El autor como facilitador académico del laboratorio L1 de la FES Aragón presenta a continuación un análisis descriptivo de lo que ha denominado los **subprocesos consecutivos e interdependientes de fundición**, correspondientes a la práctica de fundición de Ingeniería Mecánica, de la materia Proceso de Conformado de materiales.

Moldeo

1.- Se prepara la mezcla de arena en una proporción de 90% arena, 7% de bentonita y 3% de agua

2.- Selección del modelo

- 3.- Se coloca en posición la adobera y el modelo dentro de una de las tapas de ésta
- 4.- Cernir arena fina hasta cubrir el modelo
- 5.- Apisonar con el bastón hasta cubrir modelo
- 6.- Cernir arena gruesa hasta cubrir el borde de la adobera
- 7.- Embonar ambas tapas de la adobera
- 8.- Retirar modelo y limpiar cavidad del molde
- 9.- Colocar el modelo nuevamente en la cavidad y sobre éste aplicar talco para facilitar la extracción del molde
- 10.- Rellenar con arena la segunda mitad de la adobera
- 11.- Apisonar la arena de la segunda adobera
- 12.- Separar las tapas de la adobera
- 13.- Extraer el modelo
- 14.- Crear los canales de alimentación en la tapa superior
- 15.- Crear mazarota y/o sistema de colada
- 16.- Limpiar todos los sobrantes de arena
- 17.- Embonar las dos tapas de la adobera
- 18.- Llevar el molde completo al área de vaciado

Fusión del material

- 1.- Destapar el horno
- 2.- Rellenar el crisol con material a fundir (aluminio de ventanería)
- 3.- Cerrar el horno
- 4.- Encender el horno
- 5.- Esperar de 35 a 45 minutos para la fusión del material
- 6.- Apagar el horno

Vaciado

- 1.- Colocarse equipo de protección guantes y peto de asbesto, además de la careta transparente
- 2.- Retirar tapa del horno
- 3.- Disponer las pinzas y extraer crisol del horno
- 4.- Colocar crisol debajo de la segunda campana extractora del área de fundición
- 5.- Agregar al material fundido pastilla desgasificante (tricloruro de boro)
- 6.- Retirar escoria y elementos no deseados del material fundido con ayuda de una cuchara

- 7.- Haciendo uso nuevamente de las pinzas colocar el crisol en el vertedor
- 8.- Vaciar el material fundido en el molde de arena previamente realizado
- 9.- En caso de que haya excedentes de material, vaciarlo en la lingotera
- 10.- Limpiar el crisol
- 11.- Regresar el crisol al horno
- 12.- Cerrar el horno

Desmoldeo

- 1.- Llevar el molde al área de moldeo
- 2.- Liberar los seguros de la adobera
- 3.- Retirar las adoberas
- 4.- Con ayuda de una pala romper el molde por la línea de partición
- 5.- Extraer el producto final
- 6.- Enfriar la pieza con agua

Acabado

- 1.-Recorte de rebabas y sistema de alimentación

Tiempo estimado de los subprocesos:

Moldeo 1:20 / Fusión del material, entre 25 m y 35 m / Vaciado 5 m /

Desmoldeo 10 m / Acabado Final 5 m

Características Adicionales

Fuente de calor: horno a gas

Tipo de molde: molde desechable, adoberas.

Modelos utilizados: figuras sólidas de tipo ornamental de aluminio, madera y polímeros

Material utilizado: Aluminio 6063 T5 (pedacería)

Viscosidad (aluminio 99.99%): 1.3 MPA*s

Densidad: 2.69 gr/cm³

Rango de fusión: 615 – 655 °C

Bibliografías

Alcaide J. (2004) **Diseño de Producto Métodos y Técnicas**. México. Universidad Politécnica de Valencia, España y Alfaomega.

ASM International, ASM HANDBOOK (1992), **Volumen 15 Casting**.

Buchwald D. (1996) **Metodología para el Diseño de Moldes de inyección de plástico utilizando Pro/Moldesing de Pro/Engineer**, México, Tecnológico de Monterrey.

Caltenco R. (2009) **Diseño y Construcción de una Máquina de Colada Centrífuga para Aleaciones de Bajo Punto de Fusión**, México, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica.

DELMETAL Metales No Ferrosos, (2022), Argentina.
<https://delmetal.com.ar/productos/aluminio/6063.pdf>

Eiroa, J. (1996). **La Prehistoria. La Edad de los Metales**, Madrid, Ediciones Akal

Flores A. (2013) **Optimización del Proceso de Vaciado de Zamak 3 en Molde Permanente Mediante Técnicas Estadísticas y Cómputo Suave**, México. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.

Groover, M. (2007) **Fundamentos de la Manufactura Moderna**. (3era. ed.) México. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA.

Intelángelo R. (2019) **Taller Fundición y Moldeo**. Argentina, Universidad Nacional del Rosario.

Kalpakjian, S. (2008). **Manufactura, Ingeniería y Tecnología**. (5ta. ed.) México. PEARSON EDUCACIÓN.

Ramírez F. (2021) **Análisis de Llenado de un Molde en Inversión para Micro-Fundición Centrífuga con Aluminio 6063 T5**, México, UNAM.

Silicones And More, V161006.1 (2019), Inglaterra.
<https://www.siliconesandmore.com/en/silicone-condensation-ht-60-hard.html?id=60394385>

SISA H13, México, Ciudad de México, 2012,
<http://sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%20H13.pdf>

Terán G. (2018). **Diseño Conceptual de un Bipedestador para Niños de Entre 4 Y 6 Años de Edad**, México. UNAM.

Ulrich, K. (2013). **Diseño y Desarrollo de Productos**, (5ta. ed.) México. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA.