

“Elaboración de Barras de Aleaciones Especiales por Centrifugación bajo Norma ASTM”

Juan Fernando Villacis Montaña¹, Ignacio Vicente Wiesner Falconí²

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral
jvillacis29@hotmail.com

² Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971; Postgrado en México, UNAM – Politécnico de México; Investigador Visitante del CENIM – España y el IPT – Brasil; Profesor de la FIMCP – ESPOL desde 1975, Campus Politécnico Prosperina Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador,
intramet@hotmail.com

Resumen

Se sigue un proceso de simulación para hacer solidificar bajo presión una aleación de aluminio y establecer un paralelismo en los parámetros de la solidificación por centrifugación, que es un proceso, el mismo que depende de la presión por la cual es comparable para llegar a determinar el número de G con la que debe girar el molde para la creación de muchos centros de nucleación y crecimientos de grano que afinan la estructura y generan una elevada resistencia mecánica.

Palabras Claves: Fuerza centrífuga, solidificación, presión, nucleación, crecimiento de grano, resistencia mecánica, aleaciones especiales, producción, UNS A713.

Abstract

It keeps a process about simulation in order to solidify under pressure an aluminum alloy and carry out parameters of solidification about centrifugation, this is a process that depends on pressure so that we can figure out the number G which must spin the mold in order to develop a lot of nucleation cores which fine the structure and generate higher mechanical stresses.

INTRODUCCION

INTRAMET, es una empresa ecuatoriana de servicios de Ingeniería que produce piezas y componentes fundidos con más de 40 aleaciones diferentes con los más altos estándares de fabricación para el mantenimiento de maquinaria industrial, cuyo propietario es el Ing. Ignacio Wiesner F., que trabaja hace 33 años en el campo de la investigación aplicada, la transferencia de tecnología de fabricación de aleaciones y procesos de manufactura, hasta hoy sigue siendo profesor de la FIMCP.

Esta empresa de transformación metalúrgica por largo tiempo ha realizado sus trabajos mediante el método convencional de colado por

gravidad, de una forma artesanal y no industrial, lo cual lleva desventajas frente a los productos importados la ha obligado a buscar métodos innovadores de bajo costo, tal como el desarrollado en este trabajo, los cuales le permitan ir a la par e incluso ser líder en el mercado ecuatoriano, ya que cuenta con las herramientas adecuadas para hacer esto posible.

El proceso de centrifugación de piezas no es un método nuevo, aunque sus parámetros actualmente siguen siendo estudiados, ya que algunos de ellos aun son una incógnita en cuanto a su contribución en calidad y resistencia mecánica en la pieza metálica centrifugada, por esto INTRAMET ha optado por investigar

algunos de los parámetros del proceso de centrifugación, previo a realizar la inversión económica, y cambiar sus actuales métodos artesanales por la producción en serie.

DEFINICION DEL PROBLEMA

INTRAMET, es una empresa que produce piezas y componentes mecánicos en aleaciones no ferrosas como bronce al estaño, bronce al estaño plomo, bronce al manganeso, bronce al aluminio, aluminio-zinc, aluminio-cobre-silicio, además de hierro gris, hierro dúctil, aceros al carbono y aceros inoxidable. Partiendo desde chatarras seleccionadas se fabrican partes de alta complejidad tecnológica con aleaciones certificadas ASM, UNS ASTM y SAE. Su sistema de producción actual es artesanal por completo.

Realiza servicios de Ingeniería y utiliza los procesos de manufactura para resolver problemas industriales relacionados con partes de maquinaria para las cuales no existen repuestos en el mercado internacional. Para realizar partes de alta complejidad o de considerable peso se cuenta con un horno de inducción de 500 kg., además de un horno basculante de 250 kg y uno de cubilote de 300 mm de diámetro para realizar piezas en hierros fundidos.



**FUSIÓN EN HORNO DE INDUCCIÓN,
ELABORACIÓN DE ALEACIONES
FERROSAS Y ACEROS.**



**PROCESO DE ELABORACIÓN DE MOLDE
EN ARENA DE SÍLICE/SILICATO DE
SODIO/DIÓXIDO DE CARBONO CO₂.**



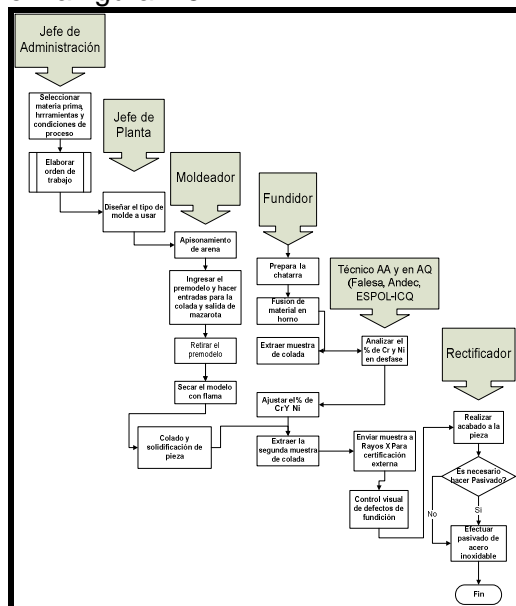
**OPERACIÓN DE VERTER METAL
FUNDIDO EN MOLDE DE ARENA O
COLADO POR GRAVEDAD, G = 1.**



**CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE
MICROSCOPIA ÓPTICA
COMPUTARIZADA.**

Se efectúan análisis químicos durante la fusión y luego se hacen los ajustes requeridos para tener composición normalizada, luego, si realizando los controles de calidad el metal no pasa por las pruebas, entonces se hacen correcciones en la composición química y nuevamente se aplican los controles de calidad hasta que éste cumpla con la norma establecida por la ASTM, SAE y UNS. Cuando ya se ha comprobado la calidad del metal fundido, este es fundido en moldes y luego es llevado a maquinar para

darle el acabado final o el requerido por el cliente. Todo el proceso de producción está explicado en detalle en la figura 1.5.



ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN QUE SE SIGUE PARA ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES FUNDIDOS EN INTRAMET.

El método utilizado actualmente por INTRAMET es cien por ciento artesanal como ya se había mencionado, lo cual tiene más desventajas que ventajas, las que en muchos casos afectan a la calidad de la pieza metálica ya terminada, esta conlleva en ciertas ocasiones a repetir el trabajo, lo cual es una pérdida de recursos y tiempo, además de crear mucho desperdicio de energía, todo esto es traducido a pérdida de dinero, sin contar con el hecho de que la producción artesanal tiene sus limitaciones cuando se requiere obtener mayor cantidad de piezas en un tiempo determinado.

Con el método de centrifugación vertical se pueden elaborar diversas clases de implementos usados en la industria, así como en diferentes formas, como bujes y diferente clase de elementos cuya altura sea por lo mínimo la mitad de

su diámetro. Los metales más utilizados en el método de centrifugación son prácticamente todos los aceros, las aleaciones de níquel, el cobre, así como el aluminio y sus aleaciones.



**(a) (b) (c)
FORMAS TÍPICAS OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN VERTICAL**

Técnicamente hablando acerca de las ventajas que ofrece la centrifugación, estas están orientadas con la capacidad de generar altas presiones durante la solidificación y que se obtienen mediante la aplicación de altas velocidades de rotación del molde, la pieza fundida por centrifugación adquiere altas propiedades mecánicas hasta treinta por ciento de incremento en comparación con la obtenida mediante métodos de colado por gravedad, además que la calidad que se obtiene es muy estable, lo que hace de este un método muy acertado para la obtención de piezas fundidas sin necesidad de recurrir a máquinas de inyección que son de alto costo y consumen mucho más energía para realizar la inyección de los metales en cámara fría o cámara caliente. A continuación se tiene una tabla con las ventajas del método de centrifugación con respecto al método convencional por gravedad, que es el efectuado en INTRAMET actualmente.

**TABLA 1
COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO CONVENCIONAL POR GRAVEDAD Y EL MÉTODO POR CENTRIFUGACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS METALES FUNDIDOS.**

MÉTODO POR GRAVEDAD	MÉTODO POR CENTRIFUGACIÓN
Orientación de grano no uniforme y lineal	Orientación de grano uniforme y radial
Esfuerzo de tensión bajo	Esfuerzo de tensión alto
Dureza baja y no uniforme	Dureza más uniforme
No soporta cargas de impacto	Soporta cargas de impacto
Pobre acabado de superficie	Excelente acabado de superficie
Micro y macro porosidad presente	libre de micro y macro porosidad
Vida corta	Larga vida

Cambiando el actual método de trabajo por los métodos de centrifugación vertical y horizontal que se están implantando en esta empresa fundidora, tendrá mayor oportunidad de posicionarse en el mercado de barras para maquinari y hacer piezas de mantenimiento, mejorara su eficiencia, aumentará la producción y aumentara la productividad. No existe aún empresa nacional que compita en calidad con los productos importados por las características no uniformes de la producción artesanal. El presente proyecto basa el cambio requerido por INTRAMET por el uso de métodos industriales para la producción y particularmente por el uso de la centrifugación vertical.

Fundamentos del proceso de centrifugación vertical.

Características del proceso:

- Se caracterizan por su alta densidad, especialmente en las regiones externas de la pieza, donde la fuerza es más grande.
- La alta velocidad de rotación del molde genera fuerzas centrífugas que impulsan al metal a tomar la forma de la cavidad del molde.
- La forma exterior de la fundición puede ser redonda, octagonal, hexagonal o cualquier otra.
- La forma interior de la fundición es perfectamente redonda debido a la simetría radial de las fuerzas en juego.

- La orientación del eje de rotación del molde puede ser horizontal o vertical (la más común).

En la **fundición centrífuga vertical** el efecto de la gravedad que actúa en el metal líquido causa que la pared de la fundición sea más gruesa en la base que en la parte superior. El perfil interior de la fundición tomará una forma parabólica. La diferencia entre el radio de la parte superior y del

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gl}{R_i^2 - R_b^2}}$$

Donde:

L = longitud vertical de la fundición (m)

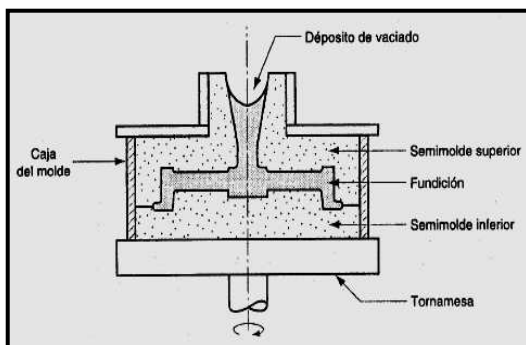
R_i = radio interno de la parte superior de la fundición (m)

R_b = radio interior en el fondo de la fundición (m).

Se puede usar la ecuación anterior para determinar la velocidad rotacional requerida para la fundición centrífuga vertical, dadas las especificaciones de los radios internos en la parte superior y en el fondo. De la fórmula se desprende que para igualar a R_i , y a R_b , la velocidad de rotación N tendría que ser infinita, lo cual desde luego es imposible. En la práctica es conveniente que la longitud de las partes hechas por fundición centrífuga vertical no exceda de dos veces su diámetro. Esto es satisfactorio para bujes y otras partes que tengan diámetros grandes en relación con sus longitudes, especialmente si se va a usar el maquinado para dimensionar con precisión el diámetro interior.

Fundición semi-centrífuga En este método se usa la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas en lugar de partes tubulares, como se muestra en la figura. La velocidad de rotación se ajusta generalmente para un factor-G alrededor de 15, y los moldes se diseñan con mazarotas que alimenten metal fundido desde el centro.

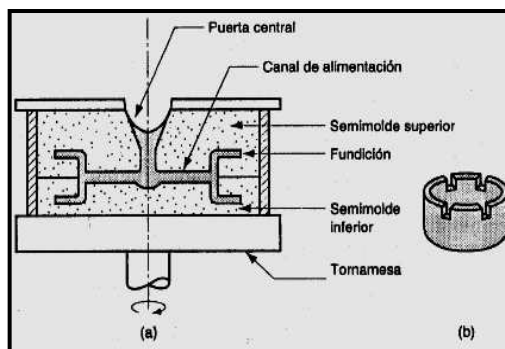
La densidad del metal en la fundición final es más grande en la sección externa que en el centro de rotación. El centro tiene poco material o es de poca densidad. Por lo regular el centro en este tipo de sistemas de fundición es maquinado posteriormente, excluyendo así la porción de más baja calidad. Los volantes y las poleas son ejemplos de fundiciones que pueden hacerse por este proceso. Se usan frecuentemente moldes consumibles o desechables en la fundición semicentrífuga, como sugiere nuestra ilustración del proceso.



FUNDICIÓN SEMICENTRIFUGA

Fundición centrifugada

Es un sistema donde por medio de un tallo se hace llegar metal fundido a racimos de cavidades colocadas simétricamente en la periferia, de manera que la fuerza centrífuga distribuya la colada del metal entre estas cavidades. El proceso se usa para partes pequeñas, la simetría radial de la parte no es un requerimiento como en los otros dos métodos de fundición centrífuga.



FUNDICIÓN CENTRIFUGADA: LA FUERZA CENTRÍFUGA HACE QUE EL METAL FLUYA A LAS CAVIDADES DEL

MOLDE LEJOS DEL EJE DE ROTACIÓN Y (B) PIEZA FUNDIDA.

Prototipo de centrifugadora con nivel de planta tipo piloto.

El tipo de centrifugadora a utilizarse en el presente proyecto es del tipo vertical fue diseñada y fabricada por el Ing. Carlos Aranda y se encuentran en las instalaciones de la nave de producción de INTRAMET.

Este sistema se constituye básicamente en un plato de acero que es donde el molde con el metal a fundir es montado, que gira alrededor de un eje vertical, el cual está impulsado por un motor de corriente directa de 10 HP, estos dos unidos mediante un sistema de transmisión de movimiento constituido por dos bandas tipo 3V y un par de poleas, una del lado de la chumacera que está hecha de fundición de hierro que se encuentra en sujeción mecánica al plato y que es de 4 pulgadas con dos canales, y otra con las mismas características pero fabricada de aluminio que va al motor eléctrico.

El motor DC que se encuentra verticalmente colocado esta sujetado mediante pernos al armazón de la centrifugadora.

Esta máquina consta además de un sistema de enfriamiento que se encuentra al interior de la maquina, que es el encargado de llevar el molde que contiene el metal fundido de una temperatura alta hasta una que permita desmontar el molde que se encuentra colocado al plato, este es de forma circunferencial y lleva boquillas ubicadas en columna y que están en diferentes partes alrededor del plato giratorio.

Este sistema está conectado mediante tuberías al sistema de suministro de agua que consta de una bomba que está a unos 5 metros del lugar, que es la encargada de llevar el agua de enfriamiento al lugar de trabajo, además en la centrifugadora hay un

sistema de recirculación de agua encargado de retornar el agua caliente al sistema de enfriamiento basado en ventiladores y radiadores ubicado a 3.5 metros sobre la bomba.



MAQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL

Ventajas tecnológicas de la centrifugación para elaboración de barras.

Mejoramiento de las propiedades físicas

La formación bajo altas presiones que las gravedades combinan con la solidificación direccional son dos características que son únicas en el proceso de centrifugación, el producto exhibe una estructura granular más fina y compacta además de la alta densidad, sin absolutamente ninguna porosidad.

Por causa de la uniformidad del tamaño de grano, las propiedades físicas tales como el esfuerzo a la tensión, el esfuerzo a la fluencia, elongación, reducción del área, y otras propiedades deseables son mejoradas hasta un 30% sobre los métodos convencionales de fundición tanto estática como por gravedad.

Vida más larga de los productos centrifugados

Las partes hechas en el proceso de centrifugación con tamaño de grano fino y estructura más densa, provee a los materiales condiciones de trabajo más confiable y una vida de servicio

más prolongada, además que pueden soportar mayores esfuerzos e impactos sin fracturarse.

Debido a la alta confiabilidad y vida de los componentes producidos usando este proceso, el costo total sobre la vida del producto final es mucho más bajo debido a su vida más extensa, bajas situaciones de falla además de menos mantenimiento.

Reducción de rechazos

Mientras el metal es fundido, las fuerzas centrifugas distribuyen el metal contra las paredes del molde con grandes fuerzas, de ese modo desplaza los óxidos e impurezas más ligeras causándoles que se coloquen en la superficie interior del cilindro que está siendo fundido. Los óxidos e impurezas son fácilmente removidos en el proceso de maquinado.

Flexibilidad en la producción

El proceso de centrifugación permite una producción económica de diversidad de rangos tanto en tallas como en formas y cantidades. Esto convierte a este método en uno ampliamente usado para crear distintas formas, con propiedades mecánicas elevadas y costos de producción relativamente bajos.

Ajustes de la máquina para variación de parámetro.

Aunque los efectos de la centrifugación sobre las piezas fundidas no son enteramente conocidos, se puede asumir que los efectos en la pieza fundida podrían ser divididos mediante ciertos parámetros como:

- Presión centrifuga
- Vibración intrínseca del proceso
- Dinámica de los fluidos

Presión y fuerza centrifuga

El efecto centrífugo no es tan elevado para causar un cambio en la solidificación debido a la alta presión como en otros procesos de fundición por presión. Cuando el efecto de diferentes densidades de una aleación existe es esperado que haya una composición química diferente o por lo menos diferente concentración de

fases a lo largo de una dirección de la pieza fundida y las resultantes propiedades mecánicas como el esfuerzo de tensión

Vibración

Aunque la vibración no está directamente asociada con el proceso de centrifugación de piezas fundidas, es siempre asociado con el proceso de centrifugación debido a la inherente vibración de los equipos. Así, es importante tener en consideración que esto podría tener repercusión en las propiedades mecánicas y metalúrgicas de la pieza fundida. El efecto eventual de la vibración tendría un incremento en el acrecentamiento del conjunto de propiedades mecánicas de la pieza fundida debido al refinado tamaño de grano.

Dinámica de fluidos

Se espera que la dinámica de fluidos sea muy diferente bajo la fundición colada a presión por gravedad y el proceso de centrifugación de piezas fundidas más la fundición colada a presión por gravedad. Se espera que la turbulencia de la colada en el proceso de centrifugación sea mucho más alta dentro del molde. Basados en resultados obtenidos en estudios, explicados en términos de los efectos como presión vibración y dinámica de fluidos, se observa en las piezas fundidas mediante centrifugación un incremento propiedades tales como fuerza de ruptura y esfuerzo en la dirección de centrifugación, lo que podría explicarse basado en el efecto de la presión. Sin embargo sería de esperarse basado solo en el efecto de la presión de centrifugación que las propiedades mecánicas tendrían un decremento en otro lado, pero esto no sucede, una explicación podría ser si considera que uno de los otros dos efectos está también presente. Este efecto promovería un incremento en el conjunto de propiedades de la pieza fundida.

Existen algunas variables a mencionar además de las citadas anteriormente

las cuales son muy importantes en el proceso de centrifugación por su gran importancia en la situación final de la pieza fundida, tales como:

- Temperatura de vaciado del metal
- Velocidad de vaciado del metal
- Tipo de molde a utilizar
- Desgasificación del material fundido
- Características del llenado de la pieza, laminar o turbulento
- La velocidad de rotación
- Temperatura del molde

Velocidad de rotación

La velocidad de rotación es un factor muy importante cuando se habla de centrifugación, ya que esta se relaciona estrechamente a la fuerza centrífuga por medio de la siguiente ecuación:

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2$$

Temperatura de vaciado del material

Cuando se vierte material fundido en un molde permanente ya sea estáticamente o mediante centrifugación, en la mayoría de los casos las temperaturas de vaciado son exactamente las mismas. Sin embargo, en algunos casos es necesario verter la pieza a centrifugar a una más alta o más baja temperatura que la usada en fundición estática. A causa de que el molde esta rotando durante el proceso de centrifugación, al metal fundido se le es proporcionado con adicional velocidad sobre la que existe durante el proceso estático. El resultado es que el metal tiene más movilidad y adicional energía cinética. Este es el hecho por el cual el proceso de centrifugación de piezas fundidas, en muchos casos, es vaciado a más bajas temperaturas de metal que en el estático.

Tipos de molde usados en el proceso de centrifugación vertical

Moldes de arena

Cuando moldes de arena son usados, particularmente arena en verde, es usualmente necesario empezar vertiendo el metal fundido a una baja rotación de molde. Cuando el molde es parcialmente o totalmente vertido, la velocidad de rotación es incrementada a la que se requiere para que prevenir o reducir la erosión de las cavidades del molde desde el metal fundido.

Moldes de arena en verde. La fundición centrifuga puede ser en hecha en verde o en molde de arena seca. Cuando los moldes en arena en verde son usados cajas de moldeo (preferiblemente cilíndricos) son requeridas. Tres métodos pueden ser usados para asegurar el arena en verde a la mesa de la maquina centrifugadora vertical.

Moldes con capa seca. Caja de moldeo no es requerida cuando es usado molde seco de arena. Dos métodos se utilizan para manejar moldes con capa seca en la maquina centrifugadora.

Moldes permanentes

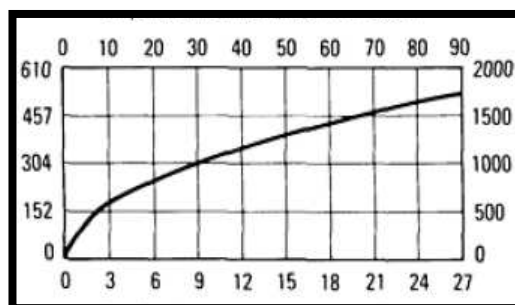
Dos tipos básicos de molde permanente son usados: molde metálico o molde de grafito o carbón. A causa de la más rápida extracción de calor del molde permanente, hay usualmente un incremento en la calidad (especialmente en las propiedades) de piezas fundidas producidas in este tipo de molde.

Moldes de metal. Un largo numero de de moldes de hierro fundido son usados para el método de centrifugación. Sin embargo, moldes de acero son más comunes y mucho más seguros. Los moldes de hierro fundido pueden ser peligrosos a causa del defecto que podría ocurrir durante el proceso y el hecho de que el hierro fundido tiene relativamente bajo esfuerzo de tensión. En adición, cuando los moldes de hierro fundido

son enfriados por agua, hay siempre el peligro de agrietamiento o ruptura. Muchos moldes metálicos usados en fundición centrifuga son enfriados con agua en el diámetro exterior usando chorros de agua de alta velocidad para incrementar la tasa de solidificación.

Sistema de llenado para la fundición centrifuga

La viabilidad de la pieza fundida como parte de usar los procesos de centrifugación o semicentrifugación, es determinada por el uso de configuraciones para la pieza fundida. El sistema de llenado de las fundiciones centrifugas emplean un simple bebedero, el cual combina la función de bebedero y mazarota. La fuerza centrifuga magnifica en gran proporción la acción de la mazarota y produce una gran densidad del metal que por otro lado resultaría en la pieza fundida. La figura 1.12 muestra que un molde de fundición centrifuga girando a una velocidad periférica de 305 m/min en el diámetro exterior de la pieza fundida tendrá un cabezal de 9 metros. Esto es equivalente a una presión de 703 KPa (102 psi). La fundición estática típica tiene un cabezal de menos de 0.3 metros de altura



CABEZAL DE METAL FUNDIDO VS. VELOCIDAD PERIFERICA

Técnicas de vaciado

Para moldes permanentes el metal es generalmente vaciado cerca de 40° C más alta que la temperatura usada para la misma pieza fundida si se vacía en un molde de arena de forma estática. Esto es a causa del más

rápido efecto de enfriamiento de los moldes metálicos.

La tasa de vaciado requerida para el llenado de un molde permanente en fundición centrífuga son bastante altos comparados los de molde de arena en el caso estático. Es particularmente importante que la tasa inicial de vaciado al principio sea muy alta para prevenir discontinuidad en el metal fundido. Para la mayoría de las piezas en fundición centrífuga pesando menos de 45 kg, la tasa de vaciado inicial recomendada es cerca de 9 kg/s, para piezas fundidas pesando hasta 450 kg un vaciado de 9 a 23 kg/s es recomendado. Cuando se verte en un molde vertical girando, es importante introducir el metal fundido dentro del molde en forma tal que se que se prevenga o minimice la turbulencia del metal fundido, el cual puede causar salpicaduras, rociado o goteos y pueden resultar en indeseables defectos de la pieza.

Entradas y alimentadores

En su usual y más simple forma, las entradas en los moldes en la fundición centrífuga involucra un bebedero simple que funciona como mazarota y bebedero. La última parte del metal a solidificar en la cavidad del molde debería ser el bebedero. Así el principio de solidificación direccional es usado eficientemente, en el cual la solidificación del metal en la cavidad del molde empieza en la localización más lejana al bebedero, y progresivamente procede hacia el bebedero o hacia la fuente de metal fundido. Este fluido de metal "alimenta" las partes de la pieza fundida progresivamente mientras el metal se solidifica y enfría, produciendo una sólida y densa pieza fundida.

Factor de enfriamiento

El factor de enfriamiento es una medida relativa del tiempo requerido para que la pieza fundida pierda calor hacia los alrededores, o cuán rápido el metal se solidifica. Durante el

periodo de solidificación, el metal líquido dentro de la pieza fundida decrecerá en volumen y metal adicional será requerido, para que un bebedero o alimentador suministre este metal alimentador, es necesario que el bebedero enfríe más lentamente que la pieza fundida misma, por lo tanto el factor de enfriamiento de la entrada debe ser mayor que el de la pieza fundida.

Así por definición se tiene una medida de la variación a la cual la pieza fundida solidificará. Mientras mayor es el factor de enfriamiento, mayor es el tiempo para que la pieza fundida solidifique.

$$F.E = \frac{\text{AREA DE LA SECCION DE LA PIEZA FUNDIDA [m}^2\text{]}}{\text{PERIMETRO DE LA SECCION DE LA PIEZA FUNDIDA [m]}}$$

El factor de enfriamiento puede ser simplemente definido como:

De la definición de factor de enfriamiento (y por experiencia), la sección geométrica que enfriará de manera más lenta es la de sección circular, sin embargo esta geometría no es siempre práctica, luego la entrada más usada es generalmente la de sección cuadrada o rectangular. Siempre que sea posible, es preferible redondear las esquinas de las entradas para mejorar el ingreso del material fundido a las cavidades internas del molde, facilitando el flujo de metal, esto resultará en un favorable patrón de enfriamiento para la entrada.

El factor de enfriamiento también se lo puede definir como:

Donde A es denominada la longitud del lado del cuadrado. Esta ecuación será usada para calcular la sección de los canales que sirven como alimentadores de la pieza en el molde, permitiendo controlar el tiempo de solidificación del metal.

Parámetros a ser ajustados en el proceso de centrifugación

Para encontrar los parámetros de la maquina a variar para hacer posible la presente investigación se deben tomar en cuenta los parámetros antes mencionados además de la parte económica la cual tiene una gran importancia.

Uno de los parámetros a ser ajustados es la velocidad de trabajo ya que debido a ciertas restricciones debidas al molde no se podrán tener altas velocidades, la cual vincula los Gs a los que va a ser sometido el molde que llevara el metal a ser centrifugado.

Por motivos económicos e investigativos el molde que en este proceso de centrifugación usualmente es metálico o también llamado permanente será hecho en arena de sílice con silicato. La unión del silicato con la sílice el silicato y el CO₂, provoca que el molde tome una consistencia rocosa la cual es utilizada en los procesos típicos de fundición de piezas y además cumple también para ser usado en el método de centrifugación. Este tipo de molde en arena de sílice por ser de una densidad y resistencia menor que el metálico ocasiona que los parámetros regulares en la centrifugación sean cambiados para adaptarse de la mejor forma a este.

Consideraciones del moldeo en arena para la centrifugación

Los requerimientos para un molde de arena para fundición centrifuga o caja de moldeo son más exigentes que se usan como moldes en la fundición estática porque la concetricidad con el eje de rotación debe ser más exacto para prevenir la vibración. Sin embargo la mayoría de velocidades requieren que el moldeo en arena para la centrifugación sean relativamente bajos comparados con la centrifugación verdadera en moldes permanentes. de secciones usando arena seca Los moldes se fabrican

machos de arena seca que son usados para la centrifugación. La arena usada puede ser silicato de sodio, arena seca o cualquier material de moldeo con suficiente esfuerzo que soporte las fuerzas impuestas por la velocidad de rotación.

Es deseable usar pintura refractaria apropiada con los moldes de arena para reducir o minimizar la penetración de metal en el molde o la erosión del molde.

La velocidad de rotación juega un papel muy importante en la centrifugación, gracias a esta se pueden obtener fuerzas centrifugas elevadas del orden de 80 – 200 G las que a su vez permiten obtener piezas de gran resistencia y calidad.

El método de fabricación de piezas denominado “squeeze casting”, o también conocido como “forja liquida” que es un método por el cual el metal fundido solidifica bajo presiones entro de una matriz cerrada posicionada entre una especie de punzón sujeto a una prensa hidráulica. la aplicación de presión y el instante de contacto con la superficie produce una rápida transferencia de calor, lo que conlleva a una pieza fundida de grano fino y libre de poros y por ende con altas propiedades mecánicas. Este proceso se ve claramente ilustrado en la figura

A diferencia del “squeeze casting”, en la fundición centrifugada las presiones son significativamente más bajas, por cuestiones de erosión de molde, seguridad por las altas velocidades y fuerzas que se requerirían, lo que haría a este proceso peligroso para trabajar.

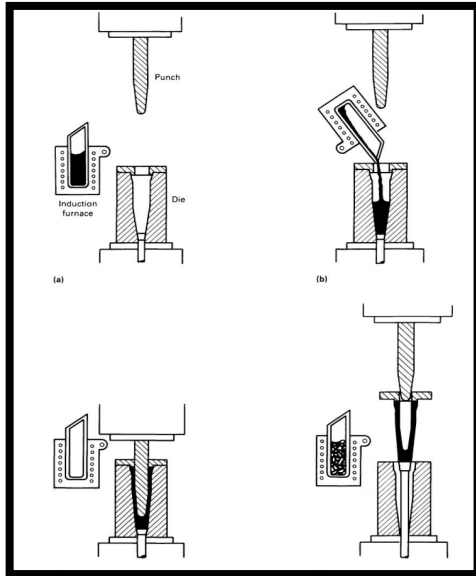
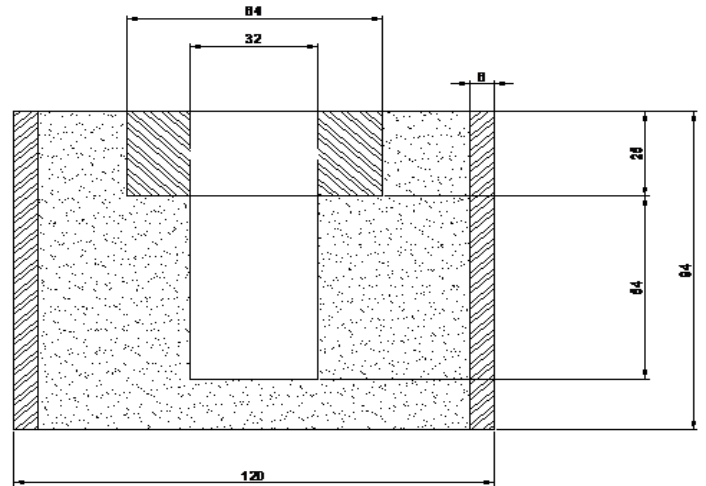


ILUSTRACIÓN DEL PROCESO LLAMADO “SQUEEZE CASTING”.

Como se mencionó anteriormente, en “squeeze casting” las presiones del orden 20 a 30 veces las obtenidas por centrifugación, lo que hace innecesario además de poco práctico seguir este proceso para despejar la incógnita mencionada, por esto en el actual experimento se hace una variación, tal que satisfaga los requerimientos de centrifugación, como son las presiones acordes a este método, además de una matriz más sencilla pero que cumpla con los propósitos requeridos para la obtención de datos. La matriz consta de un recipiente metálico en el cual se coloca interiormente arena de sílice con silicato de sodio endurecida con CO₂, en la cual se hará un orificio a manera de cilindro en el cual será vertido metal fundido, para luego ser comprimido a fuerzas preestablecidas que permitan luego ser tomadas como punto de partida para la centrifugación; en referencia al tamaño ideal de grano obtenido con este procedimiento se establecerán los parámetros en la centrifugación que permitan obtener resultados similares.

Para esto se aplicará presión con un pequeño pistón fabricado de acero común y que será acoplado a la máquina de ensayos de tracción que se encuentra en la empresa





INTRAMET, la que brindará la fuerza requerida. La máquina de ensayos de tracción cuenta con un sistema de adquisición de datos el cual está adaptado a una computadora con el programa LAB – VIEW, el que mostrará como varía la fuerza aplicada con respecto al tiempo.



PARA COLADO DE METAL Y SOLIDIFICACION BAJO PRESION.

Todo esto permitirá tener un proceso experimental bien controlado, lo que en este caso es de suma importancia, ya que como se mencionó, este es el punto de partida para los ensayos de centrifugación.

A continuación se muestran los implementos utilizados para la experimentación:

IMPLEMENTOS UTILIZADOS PARA ENSAYOS DE SOLIDIFICACIÓN BAJO PRESIÓN	
	1. Máquina de ensayos de tracción utilizada para obtener la fuerza requerida en el ensayo de compresión, la cual está conectada a una computadora que posee un sistema de adquisición de datos
	2. El horno de experimentación ultrarrápido, que cuenta con un sistema de control automático, el cual permitirá realizar la fundición del metal que será posteriormente colado en molde.
	3. Recipiente metálico en el cual se llenará de arena de sílice con silicato endurecida con CO2. Pistón de acero y guía por donde pasara el pistón para realizar una presión sobre el metal fundido.
	4. Multímetro que cuenta con medidor de temperatura y termocupla, lo que permitirá controlar la temperatura de vaciado del metal fundido previo a la aplicación de presión.

EQUIPO EXPERIMENTAL PARA LA SIMULACIÓN DE FUERZA G DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN

Los estudios realizados sugieren que para molde metálico el factor G se encuentre dentro del rango de 50 – 100, por seguridad se probará también la centrifugación tomando como base 80 G en casos generales. En el caso particular en el que se utilizará un molde de arena, se debe mantener un rango de entre 25 – 50 G. Por lo establecido anteriormente se trabajará con un factor G de 45 lo cual equivale a una fuerza de aproximadamente 392 Kgf, la que se aplicará y deberá ser controlada en la máquina de ensayos de tracción.

Cuando el metal está fundido, se lo retira del horno a una temperatura cercana a los 800°C, la cual es una medida precautelada que evitará que la temperatura decaiga a menos de 750°C, que es la temperatura óptima de vaciado, para evitar una rápida solidificación y alcanzar el tiempo para someter el metal fundido a la presión requerida en condición líquida. Con el uso de un multímetro que cuenta con una termocupla se lee la temperatura de vaciado del metal fundido. Al instante de aplicar presión al metal fundido se corre el programa que permite llevar un control de la fuerza

que está siendo aplicada, mediante una curva en tiempo real, esto ayudará a establecer la presión óptima que será utilizada en el proceso de centrifugación. A continuación se muestra el procedimiento:

Macrografía e inspección visual de probetas obtenidas mediante ensayos de compresión.

Luego de realizar el procedimiento experimental, se realiza el respectivo análisis de laboratorio, en este caso una macrografía a cada una de las probetas obtenidas mediante el procedimiento realizado anteriormente. La macrografía se la hizo siguiendo la norma ASM volumen 9 de metalografías y microestructuras, la cual da el procedimiento a seguir además de los químicos a utilizar para atacar la probeta de estudio. El material usado para la experimentación bajo presión fue un aluminio puro o aluminio ASM 6063 ya que tiene un amplio rango de solidificación lo que permite tener un amplio rango de tiempo para realizar la experimentación, evitando así una solidificación prematura del metal. La norma recomienda usar un reactivo constituido por una concentración de 10 gramos de hidróxido de sodio por cada 90 mililitros de agua. El procedimiento consiste en sumergir la superficie del metal en esta solución de 5 a 15 minutos, luego de esto se limpia la superficie con abundante agua para entonces sumergir por intervalos de tiempo cortos a la superficie en ácido clorhídrico al 50%, para luego lavar con abundante agua por segunda vez y obtener una superficie con granos visibles con facilidad, previo al ataque químico la superficie del metal fue pulida con diferente clase de lijas y con alúmina. A continuación se muestra la secuencia de pasos del procedimiento mencionado para realizar el macroataque

	Se realizaron cortes longitudinales de las probetas, dejando una cara con superficie plana para ser pulida.
	Se pule la superficie plana de la probeta con lijas de agua de diferente tipo de tamaño de grano. Hasta dejar una superficie plana tipo espejo.
	Luego de esto se lava bien la probeta para que después sea pulida con alúmina.
	Se coloca la probeta en un recipiente que contenga la concentración de hidróxido de sodio y agua y se deja la superficie pulida dentro de esta entre 5 a 15 minutos.
	Luego de esperar un intervalo de tiempo adecuado se retira la probeta y se la lava con agua para proceder a darle pequeñas sumergidas en una concentración de ácido sulfúrico al 50 %.
	Después de sumergir varias veces la probeta en el ácido, se la limpia con abundante agua, para así obtener una superficie con evidentes bordes de grano.

Elaboración de moldes para experimentación en la centrifugación.

Como se vio anteriormente existen diferentes tipos de moldes a utilizar en la fundición centrífuga. De los descritos en el capítulo 1, el utilizado para la fabricación de barras macizas será el elaborado en arena de sílice con silicato de sodio, esto debido a su bajo costo inicial, además de no requerir mantenimiento ni cuidados especiales a más de las restricciones que tiene este con respecto a las fuerzas G, para la cual como se encontró anteriormente se encuentran entre 25 y 50.

La única diferencia a tomar en cuenta como precaución, es que, debido a que el molde está sometido a fuerzas centrífugas intrínsecas al proceso el centro del molde debe ser fabricado lo más concéntrico posible para evitar alguna desproporción que conlleve a excesivas vibración.

Para poder realizar los experimentos de centrifugación vertical se fabricaron dos clases de molde, uno con arena en verde y otro con arena silicato de sodio o lo que es lo mismo un molde de baja y otro de alta resistencia a la compresión.

Estas cajas se hicieron con flejes redondos y se les soldó ángulos rolados, los que se utilizan como rigidizadores de las cajas de moldeo. Adicionalmente los ángulos poseen orificios guías que sirven para sujetar el molde a la mesa rotatoria de la maquina centrifugadora.

Luego de ser fabricada la caja de moldeo se procede a preparar la arena de sílice con silicato de sodio. Se coloca la caja de moldeo en una tabla donde se echará la arena mezclada para pisonear y luego gasear con CO₂, lo que la endurecerá.

Como se mencionó anteriormente, el factor de enfriamiento viene dado por la relación entre área de la sección de la pieza dividida para el perímetro de la pieza fundida. Por lo cual para este caso, sabiendo que la sección de la pieza fundida es de 38 mm de diámetro, se puede calcular el F.C como sigue:

$$C.F = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\phi}{\pi \phi} = \frac{\phi}{4}$$


$$C.F = 9.5$$

Para calcular la dimensión del canal de debe calcular la longitud del lado de cuadrado.

$$A = C.F \times 4 = 38 \text{ mm}$$

Para el diámetro del bebedero o alimentador se debe tomar en cuenta que el factor de enfriamiento del bebedero es ligeramente mayor a 9.5 ya que este debe enfriar mucho después que la pieza fundida.

$$\phi = C.F \times 4 = 11 \times 4 = 44 \text{ mm}$$

	<p>Fabricación de caja de moldeo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar fleje a medidas finales. 2. Roliar fleje 3. Roliar ángulo 4. Soldar ángulo a fleje 5. Tomar medidas para huecos 6. Fabricación de huecos en taladro
	<p>Moldeo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Preparación de arena de sílice con silicato de sodio 2. Colocación de caja de moldeo sobre tabla para moldear 3. Colocación de arena y pisoneo 4. Se gasea con CO2 para endurecer la arena de sílice con silicato
	<p>Elaboración de Surcos en la arena</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ubicación de molde en tabla de moldeo donde se encuentra colocada la base para la bandera, la cual se encargara de darle forma requerida 2. Colocación de bandera en base 3. Fabricación de surcos en forma circular mediante girar bandera 4. Molde con surcos

dimensiones que el hecho en primera instancia. Este nuevo molde tiene un espesor de 6 mm por lo cual no es necesario ningún otro elemento rigidizador, el diámetro interior es de 450 mm, la altura de la tapa superior es de 70 mm y la inferior es de 60 mm.

Ahora se procede a calcular el factor de enfriamiento:

$$C.F = \frac{\frac{\pi \phi^2}{4}}{\pi \phi} = \frac{\phi}{4} = \frac{35}{4} = 8.75$$

$$A = C.F \times 4 = 35 \text{ mm}$$

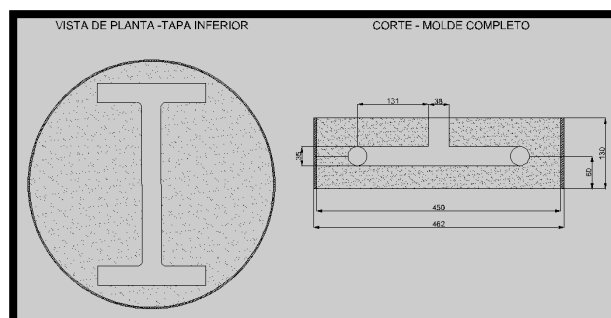
FABRICACIÓN DE MOLDE Y MOLDEO CON FORMAS DE BARRAS DE SECCION CIRCULAR

Luego de hacer los surcos que corresponden a las barras redondas, se hacen los canales que sirven para transportar el metal fundido y así formar las barras.

Debido al gran peso del molde, la máquina centrífugadora no logró alcanzar la velocidad deseada en el tiempo requerido, además se obtuvo una mala calidad en las barras, debido a que en este proceso se cuenta con un período de solidificación de barras relativamente corto.

Como ya se había mencionado, el tiempo entre verter y aumentar la velocidad de rotación es crucial en la centrifugación, ya que ciertos metales tienen un rango de solidificación corto, lo que convierte a este proceso en uno donde el tiempo para colar y el de aumentar la velocidad de rotación deben ser cortos, en caso contrario el metal adquiere las altas propiedades que brinda la centrifugación; por esto se procedió a cambiar el molde a uno más liviano y de menores

Los valores obtenidos brindan la configuración geométrica de las cavidades internas del molde así como de la mazarota. Para fines prácticos el diámetro de la mazarota será incrementado a un valor de 80 mm para lograr así un mejor tiempo de colado, el cual es otro de los parámetros de gran importancia en lo que a centrifugación se refiere; el largo apropiado para la mazarota debe ser de más de dos pulgadas.



A continuación se muestra el procedimiento para la elaboración del molde.

	<p>ELABORACION DE MOLDE</p> <p>1. Se maquinan las platinas roladas para obtener caras totalmente planas</p> <p>2. Se sueldan los implementos (elementos de sujeción mesa-molde y guías)</p>
	<p>Luego de moldear solidificar y limpiar de partículas de polvo se le coloca al molde una capa de pintura a base de grafito para evitar que la arena se incruste en la pieza fundida durante la centrifugación (debido a la fuerza centrífuga).</p>

Efecto de la velocidad lineal sobre el tamaño de grano de solidificación.

Como se dijo anteriormente la velocidad de rotación es un parámetro de gran importancia en la fundición centrífuga ya que gracias a la aplicación y variación de esta se pueden obtener las presiones requeridas, las cuales permitirán obtener un tamaño de grano acorde con lo que la teoría menciona sobre la fundición centrífuga, y con la resistencia mecánica y calidad que caracterizan a este proceso. Por esto el completo dominio del conocimiento de esta y su cálculo es de mucha importancia para establecer la relación que existe entre las fuerzas G y la velocidad de rotación.

La velocidad de rotación es la misma en todos los puntos de una masa que está girando alrededor de un eje. Pero la velocidad lineal o tangencial, será diferente para cada punto con radios diferentes uno del otro, lo cual es de tomar en cuenta cuando se elaboran moldes de formas complicadas o que se caractericen por estar alejados de manera diferente al eje de rotación. Esta permitirá establecer un trato e

interpretación diferente al realizar el proceso de centrifugación centrífuga, ya que las propiedades varían de acuerdo a cuan alejadas estén del centro de rotación; mientras más alejada se encuentre un partícula del eje de rotación, esta tendrá mejores características, puesto que las fuerzas G son más altas para estas.

La fuerza centrífuga se relaciona estrechamente a la velocidad lineal mediante la ecuación:

$$CF = \frac{mV^2}{r}$$

Donde m es la masa, r es el radio, y V es la velocidad tangencial.

A su vez la fuerza de gravedad está dada por:

$$GF = mg$$

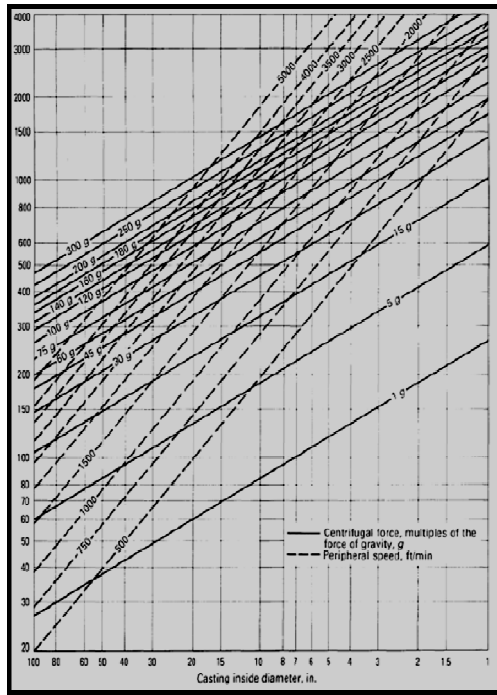
Donde el Factor G es igual a:

$$G \text{ factor} = \frac{CF}{GF} = \frac{mV^2}{rmg} = \frac{V^2}{rg}$$

Esta ecuación sugiere que para llegar al parámetro G establecido, se puede variar tanto la velocidad como la distancia al eje de rotación. La ecuación anterior permite despejar la velocidad lineal en función del factor G el cual ya es conocido con antelación.

$$V = \sqrt{G \text{ factor}(rg)}$$

El nomograma muestra cómo obtener la velocidad de rotación de trabajo, con parámetros conocido como son el diámetro interior de la pieza a centrifugar y el factor G que es conocido también.



**TABLA 3
PORCENTAJES PERMITIDOS DE
LOS ELEMENTOS QUE
CONFORMAN LA ALEACIÓN UNS
A713.0 NORMA ASM**

ELEMENTOS	PORCENTAJES PERMITIDOS SEGÚN NORMA ASM
Cu	0.4 - 1
Mg	0.2 - 0.5
Mn	0.6 Max
Si	0.25 Max
Fe	1.1 Max
Cr	0.35 Max
Ni	0.15 Max
Zn	7 - 8
Ti	0.25 Max
Al	El resto

**NOMOGRAMA PARA DETERMINAR
LA VELOCIDAD DEL MOLDE
BASADO EN EL DIÁMETRO
INTERIOR DE LA PIEZA FUNDIDA Y
LA REQUERIDA FUERZA
CENTRIFUGA**

Con el resultado obtenido en el ensayo de compresión realizado y el diámetro del molde se hace uso de la gráfica y se obtiene una velocidad de 600 R.P.M aproximadamente, que es la velocidad a la cual se trabajará en la experimentación. Esta velocidad obtenida es la velocidad de centrifugación la cual permite a la pieza fundida adquirir propiedades de alta calidad y resistencia mecánica, lo que será comparado con lo obtenido mediante las pruebas experimentales de presión vistas en la primera parte de este capítulo.

Como ya se menciona existen otros parámetros además de la velocidad de rotación que cumplen un papel tan importante como esta, tales como la velocidad de llenado y la geometría de la mazarota y canales interiores del molde.

Control de calidad metalúrgica para centrifugación del material.




Los porcentajes utilizados por INTRAMET en la fabricación de la aleación UNS A713.0 es la presentada a continuación:

**TABLA 4
PORCENTAJES
UTILIZADOS POR INTRAMET
PARA LA ELABORACIÓN DE
LA ALEACIÓN UNS A713.0**

ELEMENTOS	PORCENTAJES UTILIZADOS POR INTRAMET
Cu	0.7
Mg	0.5
Mn	0.1
Si	0.25
Fe	1
Cr	0.25
Ni	0.1
Zn	7.5
Ti	0.1
Al	El resto

Como se había mencionado anteriormente, para esta experimentación se procedieron a fabricar dos clases de moldes, el primero era muy pesado y no permitía el incremento de velocidad de manera instantánea. A continuación se muestran las pruebas realizadas en

este molde y las macrografías obtenidas.

BARRAS CIRCULARES	MACROGRAFIAS
	
	
	

RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL PRIMER MOLDE

Con el cambio de dimensiones y peso del molde se lograron superar los inconvenientes del anterior, ya que en este se puede conseguir cambios de velocidad en intervalos más cortos, además de que su ligereza permite que el motor deje de trabajar sobrecargado alargando su vida útil. A continuación se esquematiza los procedimientos de control visual y de calidad de las barras centrifugadas.

	Se parte una muestra mediante la aplicación de golpes que la fracturen y mediante el examen visual analizar el borde de grano.
	Luego de haber centrifugado se lleva la pieza fundida al torno para realizarle un ligero cilindrado y mediante la inspección visual ver la calidad del producto terminado.
	Luego de verificar visualmente la calidad de la barra se procede a corroborar mediante macro y micrografías, para comprobar que el tamaño de grano está relacionado con la calidad visual que se observo.

EXÁMENES VISUALES Y METALOGRAFICOS DE LA CALIDAD DE LAS BARRAS CENTRIFUGADAS

EVALUACION TECNICO - ECONOMICA

Evaluación técnica con relación a la calidad normalizada.

A fin de certificar el material obtenido por medio del método de

centrifugación vertical, se realizaron los respectivos ensayos de tracción basados en el Volumen No.2 de la norma ASM para el aluminio UNS A0713.0:

TABLA

ESFUERZOS DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASM

Método de colado	Propiedades mecánicas según norma ASM (esfuerzo de tracción)
Molde de arena	205 MPa
Molde permanente (metálico)	220 Mpa

Adicional a los ensayos de centrifugación vertical se realizaron ensayos de colado por gravedad en molde de arena y molde metálico, esto ayudará a obtener datos del aumento de las propiedades que sufren los materiales al ser centrifugados, en comparación con los métodos convencionales aplicados en nuestro medio.

PROBETAS DE ALUMINIO UNS0713.0 COLADAS EN MOLDE DE ARENA, MOLDE METÁLICO Y CENTRIFUGADOS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN.

ENSAYO 1 (MOLDE DE ARENA)		
ENSAYO 2 (MOLDE METÁLICO)		
ENSAYO 3 (PIEZA CENTRIFUGADA)		

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de fundición y tratamientos térmicos de INTRAMET en la máquina de ensayos de tracción VersaTester.



MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN VERSATESTER

Los resultados de los ensayos efectuados a los diferentes materiales arrojaron los siguientes valores:

Evaluación económica.

En el presente capítulo se realizó una evaluación económica para la fabricación de barras de aluminio, para ello se requirió una estimación de costos para la fabricación y un flujo de caja para los dos años en los que se planea pagar un préstamo de \$70.000 a la Corporación Financiera Nacional. La evaluación consiste básicamente en una comparación entre la fabricación de barras usando molde de arena o molde metálico, y cuál de estos dos métodos es más conveniente a largo plazo. Como proyecto piloto se producirán 2.000 kg/mes con una producción inicial del 50% y un incremento mensual del 10% mientras el producto se inicia en el mercado, con un 60% de ventas al inicio y un incremento del 5%. El método de elaboración de barras por medio de molde permanente presenta un costo inicial igual al costo del molde metálico de \$ 6,650.00 que serán recuperados en el transcurso de los dos primeros años de producción, esperando tener un incremento

significativo en el tercer año de producción.

**TABLA
COSTO DE PRODUCCIÓN DEL
ALUMINIO 713 CON MOLDE DE
ARENA**

MATERIA PRIMA Y MATERIALES	Costo unit.	Cantidad	Costo diario	Costo semanal	Costo mensual
MATERIA PRIMA DIRECTA					
Aluminio perfil (kg.)	\$ 2.20	13.62	\$ 179.78	\$ 1,078.70	\$ 4,314.82
Ace Inox (kg.)	\$ 2.20	0.15	\$ 1.98	\$ 11.88	\$ 47.52
Zinc (kg.)	\$ 3.00	0.105	\$ 1.89	\$ 11.34	\$ 45.36
Cobre (kg.)	\$ 4.40	1.125	\$ 29.70	\$ 178.20	\$ 712.80
					\$ 5,120.50
MATERIALES DIRECTOS					
Arena (50 kg/saco)	\$ 8.00	1	\$ 8.00	\$ 48.00	\$ 192.00
Silicato de sodio (300 kg.)	\$ 168.00				\$ 168.00
recarga CO2	\$ 17.92				\$ 17.92
					\$ 377.92
Costo Total Materia Prima y Mat.					\$ 5,498.42
Mano de obra directa					
Remuneración		Cantidad de personal	Total mensual		
Obreros	\$320	3	\$960		
			Total MOD		
			\$960		
Costos fijos					
			Total mensual		
Laboratorio			\$2,000		
Refractario y crisol			\$100		
			Total costos fijos		
			\$2,100		
Gastos					
	Valor	Cantidad	Total mensual		
Sueldos					
Vendedor y suministro	\$320	1	\$320		
Secretaria - contadora	\$320	1	\$320		
Ingeniero	\$600	1	\$600		
Alimentación (6 personas)	\$12	24	\$288		
Arriendo			\$1,000		
			Total gastos		
			\$2,528		
TOTAL DE EGRESOS			\$11,086.42		
Costo total de producción					
				\$11,086	
Producción total en kg.					
				2000	
Costo de producción por kg.					
				\$5.54	

**TABLA
COSTO DE PRODUCCIÓN DEL
ALUMINIO UNS713.0 CON
MOLDE METÁLICO**

MATERIA PRIMA Y MATERIALES	Costo unit.	Cantidad	Costo diario	Costo semanal	Costo mensual
MATERIA PRIMA DIRECTA					
Aluminio perfil (kg.)	\$ 2.20	13.62	\$ 179.78	\$ 1,078.70	\$ 4,314.82
Ace Inox (kg.)	\$ 2.20	0.15	\$ 1.98	\$ 11.88	\$ 47.52
Zinc (kg.)	\$ 3.00	0.105	\$ 1.89	\$ 11.34	\$ 45.36
Cobre (kg.)	\$ 4.40	1.125	\$ 29.70	\$ 178.20	\$ 712.80
					\$ 5,120.50
MATERIALES DIRECTOS					
Molde metálico	\$ 6,650.00				\$ 6,650.00
Costo Total Materia Prima y Mat.					\$ 11,770.50
Mano de obra directa					
Remuneración		Cantidad de personal	Total mensual		
Obreros	\$320	3	\$960		
			Total MOD		
			\$960		
Costos fijos					
			Total mensual		
Laboratorio			\$2,000		
Refractario y crisol			\$100		
			Total costos fijos		
			\$2,100		
Gastos					
	Valor	Cantidad	Total mensual		
Sueldos					
Vendedor y suministro	\$320	1	\$320		
Secretaria - contadora	\$320	1	\$320		
Ingeniero	\$600	1	\$600		
Alimentación (6 personas)	\$12	24	\$288		
Arriendo			\$1,000		
			Total gastos		
			\$2,528		
TOTAL DE EGRESOS			\$11,086.42		
Costo total de producción					
				\$17,358	
Producción total en kg.					
				2000	
Costo de producción por kg.					
				\$8.68	

Según el análisis económico efectuado a los dos métodos utilizados para la elaboración de barras de aleaciones especiales, cada uno de ellos presenta un alto ingreso económico a largo y corto plazo. Se realizó un flujo de caja a dos años utilizando moldeo en arena y por medio de molde permanente, el primero muestra \$ 281.922 disponibles en caja para el primer año de producción y para el segundo año \$743.096, el segundo \$ 279.618 para el primer año y para el segundo año \$745.705. Los resultados a dos años muestran una mínima diferencia entre los dos métodos, siendo el método de moldeo en arena el que más ingresos presenta, esto debido al alto costo inicial del molde metálico, sin embargo se espera que en el tercer año se recupere esta inversión inicial y el método por molde permanente presente ingresos más elevados.

El método de elaboración de barras por medio del moldeo en arena genera más desperdicios que el molde permanente además limita las velocidades de trabajo, pero permite la elaboración de una amplia gama de formas y tamaños, lo que no se logra con el otro método. Los resultados obtenidos muestran que se puede llevar paralelamente la producción de barras macizas utilizando ambos métodos y obteniendo ingresos elevados, siempre y cuando se tenga la infraestructura adecuada para llevarlo a cabo. Cada uno de estos métodos muestra ventajas con respecto al otro, por esto es conveniente la implementación de líneas de producción que permitan satisfacer los requerimientos que el mercado exige.

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con relación a los objetivos establecidos en la introducción de esta tesis y comparándolos con los resultados encontrados durante la experimentación y análisis de

inversión se tienen las siguientes conclusiones:

- Mediante el estudio realizado y los resultados obtenidos experimentalmente es factible la fabricación de barras de aleaciones especiales, sin defectos artesanales y de más alta resistencia mecánica con la misma aleación.
- El tamaño de grano característico de este método de fundición para hacer barras y piezas, es el parámetro de más importancia para encontrar resistencias mecánicas elevadas.
- Se utilizó simulación en el laboratorio de las fuerzas centrífugas por medio de una prensa de compresión como punto de partida para la obtención de los parámetros para la centrifugación, lo que permitió conocer los resultados con anticipación a la experimentación mediante la centrifugación.
- Los materiales necesarios para la elaboración de los moldes para centrifugación no son muy diferentes a los de métodos convencionales hechos por gravedad y por ende el costo de elaboración sigue siendo relativamente bajo.
- La elaboración de barras macizas por medio de centrifugación vertical es un método económicamente factible, debido a su relativo bajo costo inicial en el caso del moldeo en arena, en el que se obtienen altos

ingresos a partir del primer año de producción.

Recomendaciones

- Aunque la fundición centrífuga es conocida y utilizada hace mucho tiempo los parámetros que intervienen en ella y su aporte en la calidad de la pieza fundida no es aún conocido en su totalidad, por ello es necesario llevar a cabo minuciosos experimentos para despejar estas incógnitas.
- Los cambios entre velocidad de llenado y velocidad de trabajo deben ser lo más cortos posibles para evitar una solidificación prematura de la pieza fundida dentro del molde.
- Elaborar moldes que sean concéntricos y compactados de tal manera que se evita excesiva vibración y salida de material en el caso del moldeo en arena.
- Mantener un control más preciso de la velocidad mediante dispositivos que muestren su valor en tiempo real, adicionalmente contar con un sistema de frenado para hacer el proceso más continuo y controlado.
- Llevar producciones paralelas, tanto en molde permanente como en arena, a fin de ampliar la gama de productos ofrecidos por medio de la centrifugación vertical.

BIBLIOGRAFÍA

1. INVESTIGATION OF CENTRIFUGAL CASTING CONDITIONS INFLUENCE ON PART QUALITY, Department of marine and manufacturing Technology,

national Technical university of Athens, Greece.

2. INFLUENCE OF THE ROTATIONAL SPEED IN CENTRIFUGAL CASTING, International conference on advanced materials and composites (ICAMC – 2007), Oct 24 – 26, 2007
3. The effect of long – term thermal exposure at elevated temperatures on microstructures and mechanical properties in centrifugal casting alloy, Journal of metals, Materials and minerals, Vol. 16, 2006
4. Metal handbook, Ninth Edition, Tomos 2 y 15.
5. Fundición Centrífuga, UMSS – Facultad de Ciencias y tecnología, Capítulo II.
6. SAE HANDBOOK, Part 1, 1979.
7. CENTRIFUGAL CASTING, Janco, Nathan, Illinois, 1988
8. W IESNER INOX , INFORME TÉCNICO