

14  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**REFINACION DE PIEZAS COLADAS DE ALUMINIO  
EN EL MOLDE (REFINATION IN MOLD).**



**EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A :  
**HERMENEGILDO OLAN JUAREZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1988



## **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 está 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.

## INDICE GENERAL

- I.- Introducción
- II.- Antecedentes
- III.- Fundamentos
  - III.1.- Principios de solidificación
    - III.1.1.- Nucleación
    - III.1.2.- Crecimiento de cristales
  - III.2.- Refinación de grano de aluminio
  - III.3.- Diseño de la cámara de reacción
  - III.4.- Variables de control
    - III.4.1.- Temperatura de colada
    - III.4.2.- Temperatura de sobrecalentamiento
    - III.4.3.- Tiempo de reacción
    - III.4.4.- Puentes de porosidad
    - III.4.5.- Velocidad de enfriamiento
- IV.- Parte experimental
  - IV.1.- Material
  - IV.2.- Diseño del modelo de ensayo
  - IV.3.- Diseño del sistema de colada
  - IV.4.- Diseño de la cámara de reacción
  - IV.5.- Consideraciones de la cámara
  - IV.6.- Cálculos de cantidad de refinador y desgasificante
  - IV.7.- Control de la arena de moldeo
  - IV.8.- Moldeo
  - IV.9.- Técnica de fusión
  - IV.10.- Desgasificación
  - IV.11.- Colada y desmoldeo
  - IV.12.- Metalografía
  - IV.13.- Diseño del experimento
  - IV.14.- Resultados y observaciones

IV.15.- Rediseño de la cámara-canal de refinamiento

V.- Resultados y observaciones finales

VI.- Conclusiones

VII.- Bibliografía

## I. INTRODUCCION

**Objetivo.**- En el presente estudio se pretende realizar la refinación de grano de piezas coladas de aluminio puro grado comercial en molde de arena en verde, así como la interrelación y control de los parámetros involucrados para posteriormente tratar de implantarlo a nivel de producción.

En la refinación de piezas de aluminio en el molde también se busca evitar la pérdida del poder del refinador por efecto de las variables involucradas durante la fusión y la colada ( temperaturas muy altas de trabajo, tiempos prolongados de permanencia del baño metálico, oxidación etc. ). La potencial aplicación de esta técnica se enfoca generalmente a piezas obtenidas en hornos de fusión continua ( hornos de crisol fijo ) en los cuales no se puede realizar la refinación en el crisol y la cual en ocasiones se realiza en la cuchara o no se realiza.

Para la realización experimental de esta técnica se diseñó el modelo de una pieza en forma de escalones con diferentes espesores así como su sistema de colada y cámara de reacción.

Para la impresión de la placa se utilizó arena en verde y la fusión se llevó a cabo en un horno de crisol.

El proceso de desgasificado se practicó en la cuchara y la refinación en la cámara de reacción ( cámara de refinamiento ).

Para este estudio se toma como patrón una pieza, a la cual no se le practicó la refinación y que sirve como medio comparativo con las piezas refinadas mediante la técnica de refinación en el molde.

En el proceso de solidificación el crecimiento de grano en la pieza que no se refinó se lleva a cabo normalmente, esto es que no va a existir agentes extraños que forcen a la nucleación ( re-

finadores de grano ). En las piezas refinadas la formación de granos se ve favorecida por los agentes nucleantes.

Una vez solidificada la pieza se prepara para efectuar en ella un macroataque y de esta forma determinar si existió o no refinamiento de grano al involucrar las diferentes variables manejadas en el proceso.

La finalidad de utilizar una pieza como la antes mencionada es la de determinar la influencia de las velocidades de enfriamiento en los diferentes espesores en el refinamiento de grano.

## II. ANTECEDENTES

El proceso de refinación en el molde (refination in mold) es aplicado a moldes divididos horizontalmente (colada horizontal).

Generalmente la información que se tiene de esta técnica es su aplicación en experimentos para la nodulización de hierro dúctil y variantes que se han implantado en el proceso como la colada vertical. (I)

Este proceso "IN MOLD PROCESS" usa una cámara de reacción situada en la primera parte del sistema de colada.

La cámara es alimentada con la cantidad requerida de elemento nodulizante.

La cámara de reacción al estar correctamente dimensionada fluye el metal sobre la aleación y se obtiene una solución uniforme.

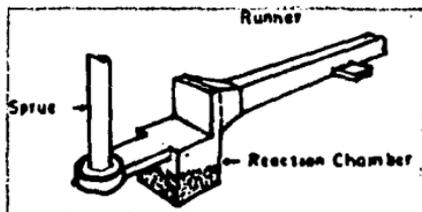


Fig. I. Sistema de colada típico de procesos IN MOLD. (I)

En similitud con esta técnica, la refinación de piezas de aluminio ofrece como proceso algunas ventajas técnicas como económicas comparadas con los métodos convencionales, las principales ventajas son:

I.- Alto rendimiento del elemento refinador. La reacción ocurre en una condición casi exenta de oxígeno. El metal tratado se usa solamente unos segundos después del tratamiento.

2.- La disminución del efecto del refinador se elimina, esto permite el uso de un contenido bajo de TiB y da más propiedades consistentes en el vaciado.

3.- El método consiste en pocas operaciones comparado con los métodos convencionales y es por lo tanto más fácil y seguro de controlar.

4.- El método puede automatizarse completamente.

5.- Los problemas ambientales y los elevados costos de los tratamientos normales son casi eliminados.

Las desventajas pueden sumarse como sigue:

Cada molde es un tratamiento por separado, esto hace necesario calcular cada sistema de entrada y hacer las pruebas de colada y ajustes hasta dar con el correcto contenido del refinador.

En el vaciado los procedimientos de control de calidad deben ser ajustados al proceso.

Debido a las ventajas de este método fue que se procedió a llevar a cabo la adaptación de esta técnica en el proceso de refinación de aluminio.

### III. FUNDAMENTOS.

#### III.I.- Principios de solidificación.

La solidificación es un proceso de transformación del estado líquido al estado sólido.

Este proceso es general para todos los metales posteriormente a la fusión de estos.

Si tenemos un metal puro fundido y lo enfriamos dejando que la temperatura descienda lentamente, al observar su enfriamiento vemos que es continuo y uniforme hasta un momento en que la temperatura se estabiliza durante un cierto tiempo. Entonces comienza a verificarse la solidificación del metal y cuando ésta ha terminado, continúa el período de enfriamiento hasta llegar a la temperatura ambiente con la misma uniformidad que al principio.

La sig. figura nos muestra la curva típica de enfriamiento de un metal puro. (2)

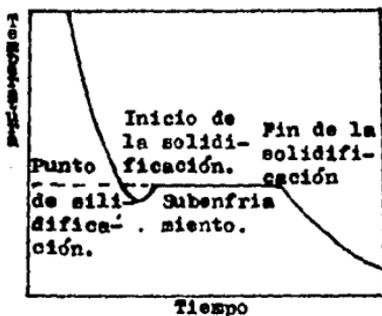


Fig. II. Curva típica de enfriamiento de un metal puro.

El proceso de solidificación se lleva a cabo por nucleación y crecimiento de cristales. Los átomos toman posiciones siguiendo un patrón geométrico determinado.

### III.I.I.- Nucleación.

La solidificación de un líquido, al igual que la condensación de un vapor, requiere de la formación de un núcleo y de su crecimiento subsecuente.

Se comenzara con el caso sencillo de la nucleación homogénea de una sustancia pura, y se considera el proceso formativo de núcleos esféricos sólidos en el seno del líquido, si la temperatura  $T$  es inferior al punto de solidificación  $T_f$  la fuerza impulsora de la reacción se puede expresar como el cambio de la energía libre  $\Delta G_v$ . (3)

$$\Delta G_v = -\Delta H_f \frac{T_f - T}{T_f}$$

$$\Delta G_v = -\Delta H_f \frac{\Delta T}{T_f}$$

En donde:

$\Delta G_v$  .. Es la energía libre.

$H_f$  .. Es el calor de fusión.

$T$  .. Es la temperatura de inicio de la nucleación.

$\Delta T$  .. Es el sobreenfriamiento.

$T_f$  .. Es la temperatura de solidificación.

Aun sobreenfriando un líquido un cierto  $\Delta T$  por debajo de su temperatura de solidificación se puede impedir la formación de núcleos en la fase sólida mediante la energía interfacial ( joules/metro ) en la superficie sólido-líquido.

Suponiendo que el movimiento aleatorio de los átomos en el líquido forme un embrión de radio  $r$  con estructura de fase sólida, como el volumen del embrión es  $4/3 \pi r^3$  la energía disponible a partir de  $\Delta G_v$  es  $-\Delta H_f (\Delta T/T_f) (4/3 \pi r^3)$  y el área superficial del embrión es  $4 \pi r^2$  por lo tanto el cambio de energía libre que

acompaña a la formación del embrión es la siguiente:

$$\Delta G = -\Delta H_f - \frac{\Delta T}{T_f} - \left( \frac{4}{3}\pi r^3 \right) (4\pi r^2 \gamma)$$

La forma en que cambia la energía libre al aumentar el número de átomos se muestra en la siguiente fig.

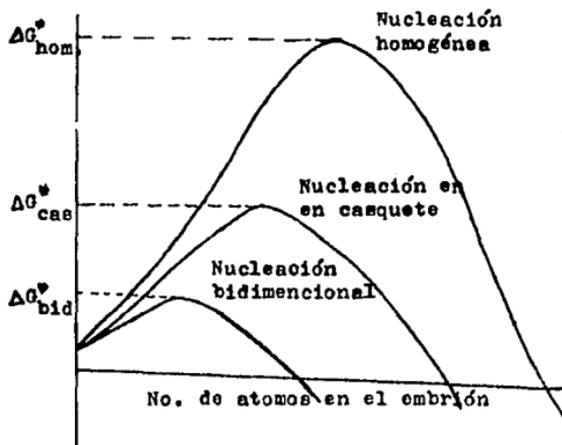


Fig. III. Diagrama de la energía libre  $G$  para la formación del embrión crítico ( núcleo ) correspondiente a tres tipos de nucleación. (3)

Como se puede apreciar  $\Delta G$  crece hasta un valor máximo  $\Delta G^*$  y luego decrece. Los embriones típicos se encuentran en la parte creciente de la curva. Un átomo adicional en el punto máximo de la curva y radio  $r$  ocasionaría un descenso en la energía libre. De esta manera el embrión puede crecer espontáneamente y formar un núcleo.

Si se alcanza un valor grande y específico de subenfriamiento  $T$ , ocurrirá la nucleación homogénea.

Sin embargo en todos los metales existen sitios para la nucleación heterogénea en el líquido que ocasiona solidificación con un ligero subenfriamiento.

En la práctica, en las transformaciones líquido-sólido la nucleación es heterogénea. El comportamiento usual comprende la formación de núcleos al azar sobre un sustrato, el cual puede ser una partícula extraña. Una consecuencia importante de la nucleación heterogénea ésta es que acorta un método para el control del tamaño de grano de la pieza de fundición ya solidificada. Por lo común es deseable un tamaño de grano fino, y esto se logra suministrando muchos sitios para la nucleación heterogénea.

### III.1.2.- Crecimiento de cristales.

Cuando se solidifica un metal puro la formación de cada cristal es independiente de un núcleo o centro de cristalización, el núcleo será una unidad simple de estructura reticular cristalina apropiada, de la cual crece el cristal. El crecimiento del cristal se lleva a cabo por la adición de átomos, siguiéndose el patrón reticular y su crecimiento llega a ser visible en lo que se llama "DENDRITA".

En la figura IV se muestra el crecimiento de una dendrita metálica. En este caso el núcleo de cristalización se desarrolla un cristal en forma de agujas del que se ramifican otros cristales según los ejes geométricos del octaedro en los metales de cristalización del sistema cúbico.<sup>(4)</sup> Este crecimiento está limitado por los demás cristales adyacentes, la solidificación se completará cuando el líquido remanente se emplee en aumentar el espesor de los brazos dendríticos existentes, por lo que el metal solidificado estará constituido por un agregado de numerosísimos granos de forma geométrica irregular, pero de estructura cristalina

perfectamente determinada, delimitándose por perfiles irregulares dentados en el caso de estructuras dendríticas, semirectos o curvos en el caso de estructuras volúbricas.



Fig. IV.- Etapas iniciales en el crecimiento de una dendrita metálica. (2)

Las aleaciones normales de aluminio poseen las características propias de las estructuras dendríticas y los metales puros son ejemplos típicos de estructuras columnares.

### III.2.- Refinación de grano de aluminio.

En piezas coladas de aleaciones de aluminio, el tamaño de grano y el control del tamaño de grano es muy importante.

En aleaciones de aluminio el tamaño de grano puede variar de muy fino ( 0.127 mm ) a muy grueso ( 25.4 mm ) en promedio del diámetro de grano.

Existen básicamente dos factores que afectan el tamaño de grano de las coladas de aleaciones de aluminio y son:

- a).- La velocidad de solidificación.
- b).- La presencia de elementos refinadores de grano en la aleación.

Cuando la velocidad de solidificación es alta el tamaño de grano es mas fino comparado con el tamaño de grano cuando la velocidad de solidificación es baja.

El tamaño consistente nequeño es generalmente obtenido a través de aleaciones de refinador de grano. Los elementos comunmente usados para este propósito son titanio, boro y zirconio. Estos elementos refinadores de grano forman compuestos intermetálicos que generan un gran número de núcleos adicionales en el enfriamiento de la fundición. La presencia de elementos refinadores de grano puede en gran medida hacer sobrevenir las diferencias en el tamaño de grano, las cuales ocurrirían de otra manera a causa de las diferencias en la velocidad de solidificación durante el proceso de solidificación del metal fundido.

Existen muchas razones por las cuales en aleaciones de aluminio el grano fino es deseable. Las propiedades mecánicas son adversamente afectadas por la porosidad producidas por gases o rechupes.

Proveniendo de cualquier fuente entre mas grande sea el tamaño de los poros mas nocivos son sus efectos. El tamaño de poro es directamente proporcional al tamaño de grano, por lo tanto el efecto de porosidad puede ser minimizado manteniendo un tamaño de grano lo mas fino posible. Las propiedades mecánicas mas afectadas son la resistencia tensil y el alargamiento.

También se ha encontrado que el tamaño de grano tiene un efecto significativo en contracción. Algunas autoridades creen que el grano fino promueve la alimentación durante la solidificación de este modo se incrementa la eficiencia de alimentadores y promueven coladas sanas. (5)

Sumarizando las ventajas del refinamiento de grano son las siguientes. (14)

- (1).- Reduce el agrietamiento en caliente durante la solidificación.
- (2).- Promueve el incremento de presiones fuertes.
- (3).- Incrementa las propiedades mecánicas de secciones gruesas.
- (4).- Promueve la ductilidad.

- (5).- Reduce las fallas mecánicas.
- (6).- Promueve una rápida respuesta al tratamiento térmico.
- (7).- Incrementa la eficiencia de los alimentadores
- (8).- Incrementa la maquinabilidad.
- (9).- Reduce la porosidad aparente del hidrógeno.

La técnica convencional de refinación de aluminio se realiza generalmente en el horno o en la cuchara. El tratamiento de refinación es efectuado antes de la desgasificación. La técnica consiste en:

- a).- Introducir la cantidad requerida de refinador previamente colocado en una campana perforada la cual es introducida dentro del baño metálico. Esto puede realizarse en una o mas etapas, según la capacidad de carga del horno o la cuchara.
- b).- Esperar que en la superficie del metal haya cesado toda turbulencia manifiesta de la reacción.
- c).- Dar movimiento circular a la campana dentro del baño metálico para distribuir uniformemente el refinador.
- d).- Retirar la campana una vez terminada la turbulencia.

#### III.4.- Diseño de la cámara de reacción.

Uno de los factores mas importante es el diseño de la cámara de reacción, puesto que es aquí donde se lleva a cabo la disolución del elemento que refinara la estructura metálica.

Las dimensiones de la cámara se basan en la velocidad de vaciado del metal ( lb/seg. ) y en el área de la cámara ( in<sup>2</sup> ). (6)

$$\text{Factor de solución} = \frac{\text{Velocidad de vaciado ( lb/seg)}}{\text{Área de la cámara ( in}^2 \text{ )}}$$

$$= 0.5 - 0.75$$

El factor solución depende de la aleación usada.

La siguiente información es por consiguiente necesaria para formar el sistema de un modelo dado.

1.- Peso bruto de la pieza diseñada.

2.- Tiempo de vaciado.

3.- Velocidad de vaciado =  $\frac{\text{Peso bruto de la pieza}}{\text{Tiempo de vaciado}}$

### III.4.- Variables de control.

#### III.4.1.- Temperatura de colada.

La temperatura de colada la podemos definir como la temperatura a la cual el metal líquido es vertido en el tazón de colada para llenar la cavidad del molde. Esta temperatura es muy importante debido a que si es muy baja se corre el riesgo de que el metal solidifique sin llenar totalmente la cavidad del molde y si se trabaja con alimentadores la sección de unión pieza alimentador solidifique anulando el alimentador.

En el caso de estar llevando a cabo refinación en la cuchara, si el vaciado se realiza a temperaturas muy elevadas, experimentos realizados muestran que el efecto del refinador se pierde. <sup>(7)</sup>

Algunos autores recomiendan usar 100°C arriba de la temperatura de fusión, de esta manera se asegura una buena fluidez.

#### III.4.2.- Temperatura de sobrecalentamiento.

Es un gradiente de temperatura por encima de la temperatura de fusión de los metales el cual nos garantiza el poder llevar a cabo las operaciones de desgasificado y escorificado en el baño líquido. Esta temperatura es muy importante ya que a medida que se eleva aumenta la solubilidad del hidrógeno en el aluminio líquido.

En el punto de fusión del aluminio la solubilidad del hidrógeno es bastante baja, pero se incrementa rápidamente con la temperatura esto lo podemos ver en la fig. V.

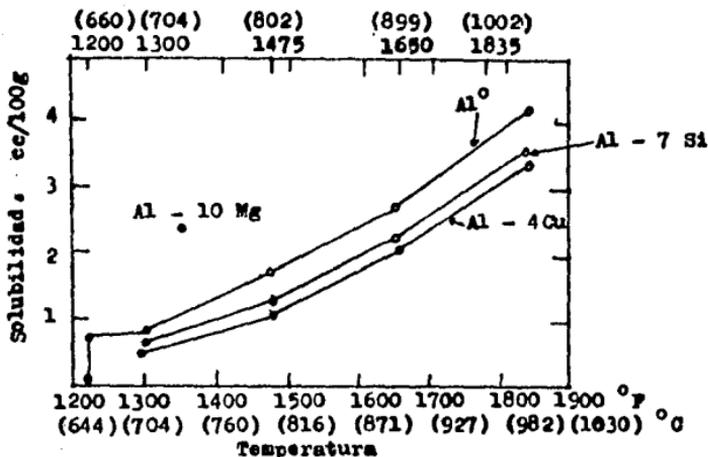


Fig.V. Solubilidad de hidrógeno en aluminio en función de la temperatura. (5)

#### III.4.3.- Tiempo de reacción ( ó disolución ).

Lo podemos definir como el tiempo de permanencia en contacto entre el metal y la aleación refinante necesario para que se disuelva el refinador. Si el tiempo es muy corto existe el riesgo de tener un mezclado incorrecto ó disolución parcial. Trabajos anteriores demuestran que el tiempo óptimo de permanencia es de segundos en el caso del nucleant 75 ( refinador comercial ). (7)

#### III.4.4.- Fuentes de porosidad.

Para vaciadas de la más alta calidad se requiere la más baja cantidad de gases.

Cuando se presenta en cantidades mínimas, el gas ayuda a la reducción del rechupe aparente experimentado en los vaciados y puede ser considerado benéfico. Cuando las cantidades de gases son consideradas no benéficas aparecen en la pieza porosidades finas

A medida que el contenido de gas se incrementa, la porosidad se vuelve más severa, especialmente en el caso de grano grueso.  
a).- Efecto del hidrógeno.

Para las aleaciones de aluminio el gas más perjudicial es el hidrógeno que proviene de alguna fuente de humedad.

Esto se debe a la alta afinidad del aluminio por el oxígeno presente en el agua para formar hidrógeno y óxido de aluminio.



En el punto de fusión del aluminio la solubilidad del hidrógeno es completamente baja pero se incrementa rápidamente a medida que se incrementa la temperatura. Por lo tanto para minimizar el contenido de gas hidrógeno se deben adoptar todas las medidas necesarias durante el proceso de fundición de aluminio.

b).- Gases producidos por la reacción de refinamiento.

El refinador utilizado en la técnica de refinación en el molde es el nucleant 75, el cual según estudios de POSECO presenta el análisis típico siguiente:

Titanatos -----	47%
Boruros -----	14%
Cloruros sublimables ----	14%
Cloruros -----	19%



Los gases producidos al reaccionar el aluminio con el vehículo del refinador son los cloruros de aluminio, gases muy solubles en el aluminio fundido. Este gas al penetrar en la cavidad del molde que forma la pieza arrastrado por el flujo del aluminio fundido al llenar ésta la cavidad queda atrapado dentro de la pieza al solidificar el metal, por lo que debe ser eliminado antes de que penetre en la cavidad que forma la pieza.

#### III.4.5.- Velocidad de enfriamiento.

Este es uno de los factores que modifican el tamaño de grano en fundiciones de aluminio. El tamaño de grano disminuye o se vuelve más fino al aumentar la velocidad de enfriamiento. En una pieza donde existen diferencias de espesores (caso de una pieza escalonada) la mayor velocidad de enfriamiento se tendrá en la sección más delgada y la más baja velocidad de enfriamiento se tendrá en la sección más gruesa. Debido a la influencia de la velocidad de enfriamiento se espera grano grande en la sección más gruesa y grano fino en la sección más delgada.

#### IV.- PARTE EXPERIMENTAL.

##### IV.- Material.

El material que se utilizó para el desarrollo de esta técnica ( refinación en el molde ) fué aluminio puro grado comercial, esto es debido a que este material es adecuado para realizar los objetivos propuestos.

##### IV.2.- Diseño del modelo de ensayo.

Para el diseño del modelo de ensayo se partió de la siguiente geometría, ( fig.VI )<sup>(20)</sup>

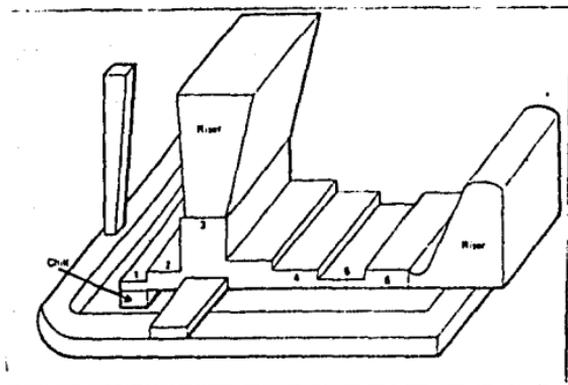


Fig. VI.

Esta geometría fué utilizada como modelo para medir<sup>(20)</sup> el espaciamiento dendrítico en granos de aluminio, pero debido a su complejidad se diseñó otro modelo de forma escalonada el cual nos permite cuantificar el tamaño de grano en las diferentes secciones una vez refinada la pieza y manejar las variables involucradas en el proceso como son velocidad de enfriamiento y tempera-

temperatura de colada.

La figura VII(a) y VII(b) nos muestra la geometría del modelo seleccionado para llevar a cabo las coladas necesarias en el desarrollo experimental.

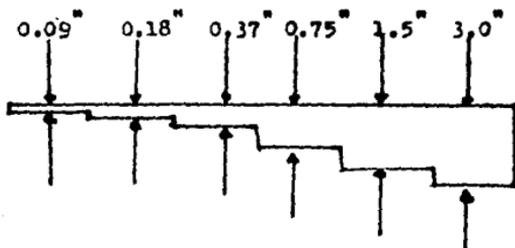


Fig. VII. (a)

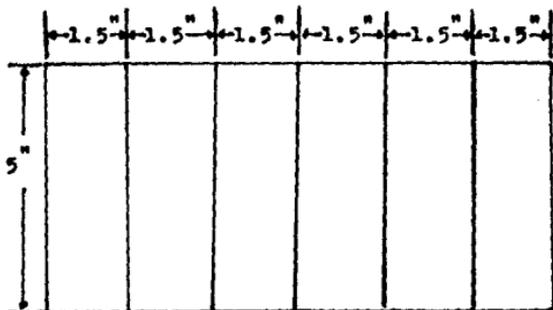


Fig. VII. (b)

Cálculo del volumen de la pieza seleccionada.

Volumen total de la pieza =  $V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{n-1}$

$$V_t = 61.875 \text{ in}^3$$

Cálculo del peso de la pieza. Esto se realiza con la finalidad de saber la cantidad de metal que se va a necesitar en la obtención de la pieza.

$$V = \frac{M}{\rho}$$

Donde:

M = Masa utilizada.

V = Volumen de la pieza.

$\rho$  = Densidad del metal utilizado ( Al =  $2.7 \text{ g/cm}^3$  )

Despejando:

$$M = V \times \rho$$

Por lo tanto:

$$M = 2.73 \text{ Kg}$$

IV.3.- Diseño del sistema de colada.

a).- Cálculo del canal de bajada

Para piezas donde el espesor de paredes es mayor de 0.5 in se utiliza la siguiente fórmula. (10)

$$D_b^4 = 0.4533 \left( \frac{Wt}{f_r} \right)^{1/2} \left( \frac{Wt}{H - (P^2/2C)} \right)^{1/4}$$

Donde:

$D_b^4$  = Diámetro inferior de la bajada.

N = Número de bajadas.

$f_r$  = Factor de fricción = 0.7

Wt = Peso total

H = Altura de bajadas.

P = 0      Por estar debajo de la línea de partición.  
C = 0      ( consultar las fig (h) y (j).)

$$Wt = 9.355 \text{ lb}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior.

$$D_b^1 = 1.70 \text{ cm.}$$

El diámetro superior de bajada lo calculamos a partir de la siguiente fórmula.

$$D_b^s = \sqrt{H/H_1} D_b^1$$

Donde:

H = Altura del canal de bajada + Altura del tazón de colada.

H<sub>1</sub> = Altura del tazón de colada.

Sustituyendo:

$$D_b^s = 2.37 \text{ cm}$$

El área inferior de bajada se calcula utilizando la sig. Fórmula.

$$A_b^1 = \frac{\pi}{4} (D_b^1)^2$$

Sustituyendo:

$$A_b^1 = 2.268 \text{ cm}^2$$

El área superior de bajada.

$$A_b^s = \frac{\pi}{4} (D_b^s)^2$$

Sustituyendo:

$$A_b^s = 4.40 \text{ cm}^2$$

En la siguiente figura se esquematiza el canal de bajada.

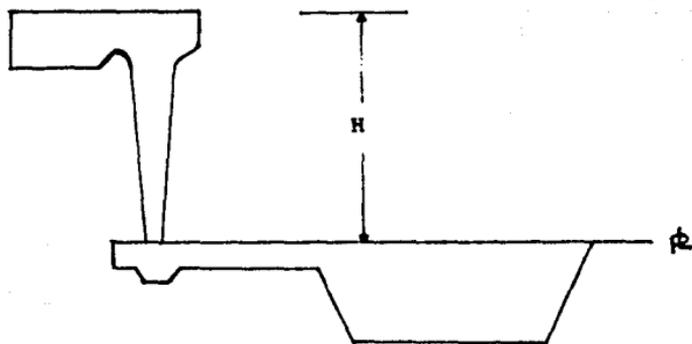


Fig. (h).

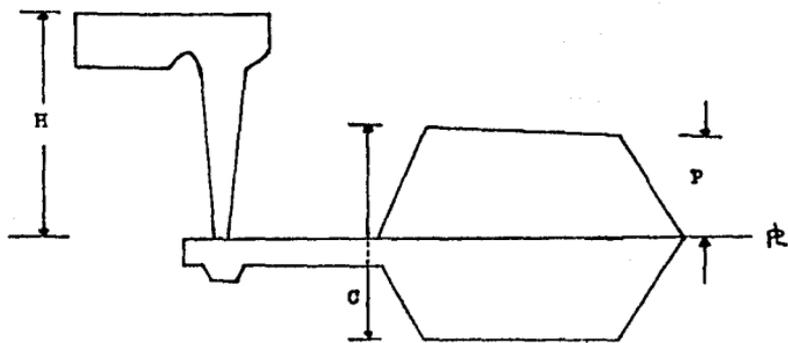


Fig. (j).

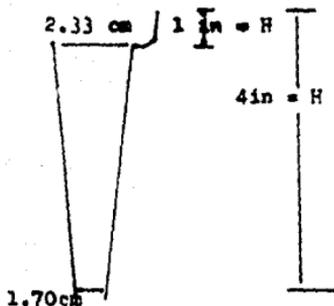


Fig. VIII.- Canal de bajada.

b).- Cálculo del canal horizontal y canal de ataque.

Para llevar a cabo estos cálculos se utilizó la siguiente relación de colada 1 : 1.5 : 2 que se encuentra dentro del rango de relaciones recomendadas para aleaciones de aluminio. (21)

La relación de colada es la proporción que existe entre las áreas transversales del canal vertical, denotada " S " del ó de los corredores denotada "R" y de las entredas denotadas por "G".

$$S : R : G$$

Para calcular el área de canal ( $A_c$ ) se parte del previo cálculo del área inferior del canal de bajada.

$$A_c = 1.5A_b^1$$

Donde:

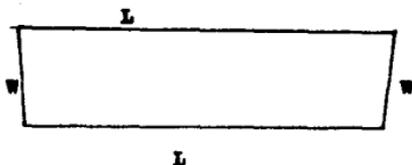
$A_c$  = Área del canal horizontal.

Sustituyendo:

$$A_c = 3.40 \text{ cm}^2$$



**Fig. IX. Canal horizontal  
vista frontal.**



**Fig. X. Canal horizontal  
vista longitudinal.**

$$A_c = WD = WW = 1.5 W^2, \text{ suponiendo } D = 1.5W$$

$$W^2 = \frac{A_c}{1.5}$$

$$W = \sqrt{\frac{A_c}{1.5}}$$

Sustituyendo:

$$W = 1.50 \text{ cm}$$

$$\text{si } D = 1.5 W$$

Sustituyendo:

$$D = 2.25 \text{ cm}$$

Donde:

$D$  = Ancho del canal horizontal.

$W$  = Altura del canal horizontal.

**Cálculos realizados para determinar las dimensiones del canal de ataque.**

$$A_o = 2 A_D^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$A_o$  = Area de canal de bajada.

Sustituyendo:

$$A_o = 4.536 \text{ cm}^2$$

$$A_o = xt^2 = 3t^2$$

suponiendo  $x = 3t$

$$t = \sqrt{\frac{A_o}{3}}$$

$$t = 1.22 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior y despejando  $x$ .

$$x = 3.66 \text{ cm}$$

Donde:

$x$  = Ancho del canal de ataque.

$t$  = Altura del canal de ataque.

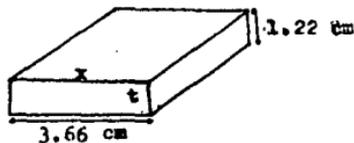


Fig. XI. Canal de ataque

c).- Cálculos para el diseño del tazón de colada.

El principal propósito de un tazón de colada es facilitar el llenado evitando con esto la entrada de escoria al sistema de colada y garantizar que la velocidad del metal esté gobernada por la altura del canal vertical y el nivel del metal en el tazón.

Como una sugerencia, la parte superior del tazón debe ser al menos el doble de ancho que el diámetro de la boca superior del

canal vertical y la longitud en la dirección del vaciado el doble del ancho del tazón. (15)

$$D_b^4 = 2.37 \text{ cm}$$

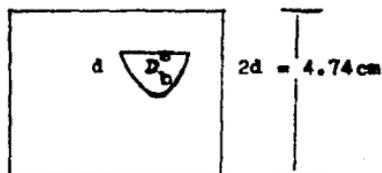


Fig. XII. Dimensiones recomendadas para diseñar el tazón de colada (AFS).

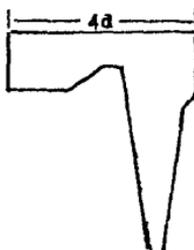


Fig. XIII. Vista frontal y longitudinal del tazón de colada (AFS).

#### IV.- Diseño de la cámara de reacción.

Para el diseño de la cámara de reacción se considero en forma arbitraria una de las expresiones propuestas para el caso de nodulización en el molde, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$\text{Factor de disolución} = \frac{\text{Velocidad de vaciado (lb/seg)}}{\text{Area de la cámara (in}^2\text{)}} = 0.5 - 0.75$$

$$\text{Velocidad de vaciado} = \frac{\text{Peso bruto de la pieza (lb)}}{\text{Tiempo de vaciado (seg)}}$$

$$t_c = \frac{P}{G}$$

$$G = V_c A = \frac{P}{t_c} \dots (15)$$

$$V_c = \sqrt{2gH}$$

Donde:

- G = Gasto volumétrico ( lb/seg )
- P = Peso bruto de la pieza ( 9.355 lb )
- $t_c$  = Tiempo de colada ( seg )
- $V_c$  = Velocidad de colada ( lb/seg )
- g = Aceleración de la gravedad ( 32.2 ft/seg<sup>2</sup> )
- H = Altura del canal de bajada ( 0.33 ft )
- $A_b^i$  = Área inferior de la bajada ( 0.00244 ft<sup>2</sup> )
- f = Factor de fricción
- $\rho$  = Densidad del aluminio ( 168.33 lb/ft<sup>3</sup> )

Por lo tanto:

$$G = f \sqrt{2gH} \cdot A_b^i$$

$$t_c = \frac{P}{f \sqrt{2gH} \cdot A_b^i} \cdot \frac{1}{\rho A}$$

Sustituyendo los valores numéricos obtenemos el tiempo de colada y la velocidad de colada.

$$t_c = 4.524 \text{ seg.}$$

$$V_c = 2.01 \text{ lb/seg}$$

Por lo tanto el área de la cámara es:

$$\frac{2.01 \text{ lb/seg}}{A} = 0.5$$

Despejando el área y sustituyendo en la ecuación.

$$A = 4.02 \text{ in}^2$$

Dimensiones de la cámara.  
2.01 x 2.01 in

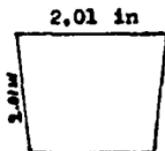


Fig. XIV. Cámara de refinación.

Descripción del modelo de ensayo.

- 1.- Tazón de colada.
- 2.- Canal de bajada.
- 3.- Canal horizontal.
- 4.- Cámara de refinación.
- 5.- Canal de ataque.
- 6.- Pieza.

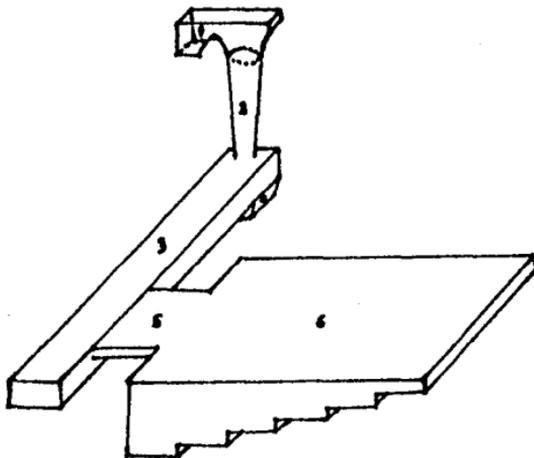


Fig. XV. Esquema del modelo utilizado  
y su sistema de colada.

#### IV.5.- Consideraciones de la cámara.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para situar la cámara en la parte inferior de la bajada fueron las siguientes:

a).- Se necesita flujo turbulento para asegurar un buen mezclado de el aluminio fundido con el refinador, esto se logra situando la cámara de refinamiento en el punto antes ilustrado.

b).- Colocando la cámara en la parte inferior de la bajada eliminamos el colchón que generalmente se encuentra en este punto.

c).- Colocando la cámara en este punto se tiene el espacio necesario para colocar otro dispositivo si es requerido.

#### IV.6.- Cálculo de cantidad de refinador y desgasificante.

De acuerdo a las recomendaciones hechas por FOSECO se calcularon las cantidades de refinador y desgasificante.

##### a).- Cálculo del refinador.

Peso de la pieza = 4.200 g

Cantidad recomendada por FOSECO = 2.75g por Kg de aluminio

Cantidad requerida = 11.55 g

##### b).- Cálculo de desgasificante.

Peso de la pieza = 4.200g

Cantidad recomendada por FOSECO = 2g por Kg de aluminio.

Cantidad requerida = 8.4 g

#### IV.7.- Control de arena de moldeo.

Las clases de arena que se utilizaron en este estudio fueron arena de careo y arena de relleno.

La composición recomendada de la arena por el laboratorio de arenas de la facultad de química de la UNAM son las siguientes: (II)

##### a).- Arena de careo.

Arena sílica granulometría 80-90 APS ..... 84%

Bentonita ..... 10 %

Agua .....	5%
Harina de madera .....	1%
	<u>100%</u>

b).- Arena de relleno.

Humedad ..... 6%

#### Preparación de las arenas.

La arena de careo se prepara en un molino de mezclado de 3Kg de capacidad, en el cual se adiciona la cantidad requerida de arena sílica ( 2.520g ) y agua (150cc ) dando tiempo de mezclado de 2 minutos. Pasado este tiempo se agrega la bentonita ( calica y sodica 150g ) dando tiempo de mezclado de 3 minutos. El tiempo de mezclado de 5 minutos. (11)

La arena de relleno se preparo en un molino de mezclado de 120.Kg dando tiempo de mezclado de 5 minutos.

Pruebas practicas a la arena de careo.

a).- Humedad.- La humedad se determino por dos metodos. (12)

1.- Método de aire caliente forzado

2.- Método de carburo de calcio

Humedad requerida 5%

b).- Permeabilidad.- Para determinar la permeabilidad de la arena se utilizó un medidor de permeabilidad de lectura directa. (12)  
Este ensayo se determino conforme a la norma AFS.

Permeabilidad requerida = 115 AFS

#### IV.8.- Moldeo.

Para la preparación de los moldes se utilizó arena sílica ( de careo y de relleno ) con las cantidades necesarias de aglutinante.

La preparación se llevó a cabo en molinos de mezclado de arena.

Para la fabricación del molde se utilizaron dos cajas de moldeo y un modelo el cual se fija en medio de dos cajas por medio de pasadores. Una vez fijo el modelo en medio de las cajas de moldeo se le agrega polvo desmoldeante (talco), luego se agrega la arena de careo pasandola por una criba que da uniformidad a las partículas de arena, posteriormente se agrega la arena de relleno y se compacta con un anisonador manual, teniendo la compactación deseada, el exceso de arena es removida con un rasador con la finalidad de tener una superficie uniforme. Posteriormente se procede a separar el molde de el modelo, todo esto se realiza con extremo cuidado para evitar lesiones en la impresión hecha por el modelo en el molde de arena.

Una vez logrado esto se practican los vientos en la cara superior de la impresión, esto es con la finalidad de poder facilitar la salida de los gases durante la colada y solidificación de la pieza. Posteriormente se coloca la tapa sobre la base y se cierran las cajas, de ésta manera queda listo el molde para su llenado. Una vez listos los vientos se sopletea la cavidad del molde para eliminar las partículas de arena sueltas, y se agrega la cantidad de refinador necesario en la cámara de refinación.

#### IV.9.- Técnica de fusión.

En la fusión del material se utilizó un horno de tipo basculante con crisol de carburo de silicio con capacidad de 240 Kg de Ca y el cual utiliza diesel como combustible.

La técnica que se sigue es la convencional para fusión de aluminio.

- a).- Pre calentamiento del horno.
- b).- Pre calentamiento de la carga.
- c).- Una vez pre calentado el horno se carga con el material pre calentado y se espera a que éste alcance un estado pastoso.

Logrado ésto se agrega el fundente que es una mezcla 50% NaCl y 50% CaCl<sub>2</sub> ésta mezcla es agregada cada que el horno es cargado.

El horno se mantiene encendido hasta lograr la completa fusión de la carga y ésta una vez fundida se deja que alcance la temperatura necesaria para su desgasificación y vaciada.

#### IV.10.- Desgasificación.

Una vez la carga fundida y con la temperatura deseada se extrae el metal líquido en una cuchara de vaciado previamente calentada de capacidad de 10 Kg de metal fundido y se realiza la desgasificación con Degaser 2000 que son pastillas de hexaclorotano. Esto se realiza envolviendo el desgasificante en papel aluminio el cual se coloca en una campana ( fig.XVI. ) brevemente calentada y se introduce en el metal líquido lentamente moviendo en círculos la campana hasta que de el metal dejan de salir burbujas.

Se extrae la campana y se esperan que pasen 8 minutos para lograr una desgasificación buena. La temperatura se mide constantemente con un termómetro digital provisto de un termonar hasta alcanzar la temperatura conveniente para la colada.

#### IV.11.- Colada y Desmoldeo.

Una vez el metal desgasificado y con la temperatura de interés se vacía el metal de la cuchara al tazón de colada. Esto se realiza lo mas cercano posible al tazón de colada para evitar atramamiento de gases.

Una vez solidificada la pieza se desmoldea para realizar el estudio metalográfico.

#### IV.12.- Metalografía.

a).- Corte.- La pieza se corta por mitad y en forma longitudinal y posteriormente en forma transversal ( fig. XVII. ).

b).- **Desbaste.**- Se desbastan las piezas en máquinas desbastadoras con lijas 120 hasta tener una superficie uniforme. Posteriormente se pasa a pulido fino en lijas finas ( 240, 340, 400, 600 ) hasta alcanzar una superficie exenta de rayas y lista para efectuar en ellas un macroataque el cual se lleva a cabo con el siguiente reactivo:

Composición	Volumen
HCl	480 ml
HNO <sub>3</sub>	240 ml
HF	40 ml
H <sub>2</sub> O	40 ml



Fig. XVI.- Campana de desgasificación.

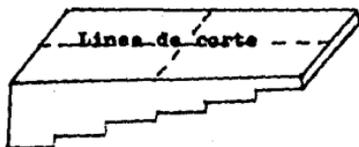


Fig. XVII.- Pieza con corte longitudinal y transversal.

IV.- 13.- Diseño del experimento.

Las piezas se colaron por triplicado de acuerdo a la siguiente tabla:

Corrida No.1.

Material	Milivolts	Temperatura
Al puro	29.546	710° C
Al puro	31.629	760 "
Al puro	33.686	810 "

Corrida No.2.

Material	Milivolts	Temperatura
Al puro	29.882	718° C
Al puro	31.214	750 "
Al puro	33.277	800 "

Corrida No.3.

Material	Milivolts	Temperatura
Al puro	29.756	715° C
Al puro	31.214	750 "
Al puro	33.686	810 "

La finalidad de obtener piezas por triplicado utilizando el método de refinación en el molde, es que los resultados obtenidos sean confiables.

En todas las corridas realizadas la desgasificación se llevo

acabo en la cuchara, dando tiempo de desgasificación de 8 minutos. La refinación se llevo a cabo en la cámara de refinación.

#### IV.14.- Resultados iniciales.

Despues de seccionadas cada una de las piezas, pulidas y atacadas se observaron los resultados obtenidos.

El tamaño de grano obtenido en las piezas de las diferentes corridas y coladas a diferentes temperaturas fue de gran similitud tanto en las diferentes piezas coladas como en las diferentes secciones ( espesores ) de cada una de ellas, se obtuvo tamaño de grano fino en toda la pieza. Tambien se observo en la estructura de las piezas gran cantidad de porosidades internas, lo cual puede ser motivado por dos causas:

- a).- Por contracción.
- b).- Por disolución de gases.

Analizando la cantidad de poros y el tamaño de estos, se descarto la primera causa ( por contracción ). El tamaño y cantidad de poros son similares en las diferentes secciones de la pieza.

Tomando en cuenta que la posible fuente de porosidad es debido a la disolución de gases, se plantearon varias posibles soluciones:

- 1).- Dar un secado previo al refinador.
- 2).- Desgasificar dentro del horno.
- 3).- Desgasificar fuera del horno dando diferentes tiempos de desgasificado.
- 4).- Control estricto de la humedad y permeabilidad de la arena de careo y de relleno.

Los resultados de cada una de las posibles soluciones son los sig:

- 1).- Secado previo del refinador.- El secado del refinador se rea-

lizo a 100°C durante una hora, con la finalidad de eliminar algún contenido de humedad. Posteriormente se llevo acabo el proceso de fusión y colada.

Una vez obtenida la pieza de aluminio refinada se le practico el análisis macroscópico correspondiente y los resultados se muestran en la sig. tabla:

Material .....	Al puro (grado comercial)
Temp. de colada .....	750°C
Tiempo de desg.....	8 minutos ( se realizo en la cuchara )
Resultados .....	Grano fino en los diferentes espesores de la pieza.

2).- Desgasificación dentro del horno.- En la aplicación de esta posible solución, el refinador utilizado no se le dio el secado previo, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Material .....	Al puro ( grado comercial )
Temp. de colada .....	850°C
Tiempo de desg.....	8 minutos
Resultados .....	Grano sin refinar, y gran cantidad de poros grandes.

3).- Desgasificación en la cuchara variando el tiempo de desgasificación. Las piezas se colaron por triplicado y los tiempos de desgasificado y resultados se muestran en la siguiente tabla:

Material .....	Al puro ( grado comercial )
Temp. de colada .....	750°C
Tiempo de desg. ....	5, 10, 15 minutos
Resultados .....	Grano fino y gran cantidad de poros pequeños.

4).- Control estricto de la humedad y permeabilidad de la arena de careo y de relleno.

	Humedad .....	Permeabilidad.
Arena de careo	5 %	115 ASTM
Arena de relleno	6 %	-

En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Material ..... Al puro ( grado comercial )  
Temp. de colada ..... 750° C  
Tiempo de desg ..... 8 minutos  
Resultados ..... Grano fino y gran cantidad de poros pequeños distribuidos en la pieza.

Analizando los resultados, estas posibles soluciones al problema de porosidad fueron eliminadas. Se llegó a la conclusión de que la reacción refinador- metal era la fuente de las porosidades.

#### IV.15.- Rediseño de la cámara-canal de refinamiento.

Con el objeto de eliminar el problema de las porosidades se rediseño el sistema de colada, en el canal horizontal se le aplico una reducción y se le adento una nueva cámara (para eliminación de gases ) en este mismo canal, se aplico un viento grande encima de la cámara de eliminación de gases. La finalidad de introducir una nueva cámara en el sistema es la de retardar el paso del metal y con esto la eliminación total de los gases, en la figura XVIII se muestra el sistema de colada rediseñado.

Las dimensiones de la cámara de eliminación de gases son la mitad de las dimensiones de la cámara de refinamiento. El estrangulamiento en el canal horizontal es de 1cm.

Las coladas se obtuvieron por triplicado como lo muestran las siguientes tablas:

Corrida No.1.

Material	Milivolts	T colada
Al puro	29.547	710 <sup>o</sup> C
Al puro	31.629	760 "
Al puro	33.686	810 "

Corrida No.2.

Material	Milivolts	T colada
Al puro	29.882	718 <sup>o</sup> C
Al puro	31.214	750 "
Al puro	33.277	800 "

Corrida No.3.

Material	Milivolts	T colada
Al puro	29.756	715 <sup>o</sup> C
Al puro	31.214	750 "
Al puro	33.686	810 "

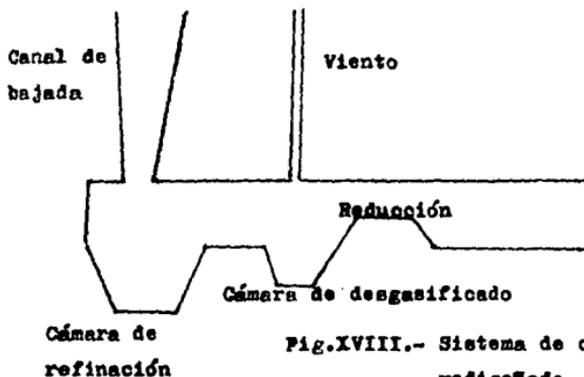


Fig.XVIII.- Sistema de colada rediseñado.

No. de corridas realizadas.

Pieza patrón ( corrida No.1 )

Material	Temp. de colada ( °C)	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	810	4.5	Tamaño de grano grueso y porosidad mínima en todas las piezas.
Al puro	760	4.5	
Al puro	710	4.5	

Piezas con refinador ( corrida No.2 ).

Material	Temp. de colada ( °C)	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	815	5	El tamaño de grano es grueso similar a la pieza patrón y gran cantidad de poros.
Al puro	750	5	Refinación inadecuada.
Al puro	710	5.5	

Nota: Esta corrida se realizo por triplicado, bajo las mismas condiciones de desgasificado de 8 min. y refinación en el molde, los resultados fueron similares en todos los casos.

Corridas realizadas por refinamiento inadecuado y problemas de porosidad

(Corrida No.1)

- Secado previo del refinador ( 100°C durante 1 hora )
- Refinación en el molde.

- Degasificación de 8 min.

Material	Temp. de colada ( °C )	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	810	6.5	Grano fino.
Al puro	760	7.0	Gran cantidad de
Al puro	710	7.0	porosidad.

(Corrida No.2)

- Degasificación dentro del horno
- Refinador sin el secado previo
- Tiempo de degasificación 8 min.

Material	Temp. de colada ( °C )	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	850	3	Tamaño de grano
Al puro	760	4.5	grueso y gran can-
Al puro	710	4.5	tidad de poros gran-
			des.

(Corrida No.3)

- Degasificación en la cuchara variando el tiempo de degasifi-  
cado ( 5, 10 , 15 min.).
- Tiemp. de desg. 8min.
- Refinador sin el secado previo.

Material	Temp. de colada ( °C )	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	810	6.5	Granos finos.

Al puro	750	7.0	Gran cantidad de
Al puro	710	7.0	poros pequeños.

Nota: Esta corrida se realizo por triplicado para cada tiempo de desgasificado. Los resultados fueron similares en los minutos 10 y 15 y el tamaño de grano fue mayor (5.5) en el minuto 5.

(Corrida No.4)

- Control estricto de la humedad y permeabilidad de la arena de careo y de relleno.
- Refinador sin el secado previo.
- Tiempo de desgasificado de 8min.

Material	Temp. de colada (°C)	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	810	7.5	Grano fino y
Al puro	750	7.5	gran cantidad de
Al puro	710	7.5	poros pequeños.

Corridas llevadas a cabo con el sistema rediseñado.

(Corrida No.1)

- Refinación en el molde
- Cámara de desgasificación
- Tiempo de desgasificado 8 min.

Material	Temp. de colada (°C)	No. de grano ASTM	Observaciones
Al puro	715	7.5	Grano fino.
Al puro	750	7.5	Refinación ade-
Al puro	810	7.5	cuada, porosidad minima

Nota: Se realizarón 3 corridas más, en condiciones similares a la corrida No.7 y los resultados fueron similares en todas las corridas; grano fino, No. de grano ASTM = 7.5 y los problemas de porosidad son mínimos.

(Corrida No.8)

Pieza en forma de pistón.

Las condiciones de trabajo fueron igual a las de la corrida No. 7 y los resultados obtenidos fueron: grano fino; No. de grano ASTM = 7.5 y los problemas de porosidad son mínimos.

(Corrida No.9)

Pieza de alpinismo.

Las condiciones de trabajo son similares a la corrida No. 8.

Grano fino.

No. de grano ASTM = 8

Sin problemas de porosidad.

Refinación adecuada.

## V. RESULTADOS Y OBSERVACIONES (finales).

Resultados .- Las piezas obtenidas por el método de refinación en el molde y con el sistema de colada rediseñado, el problema de las porosidades por disolución de gases se eliminó. Las piezas presentan una mínima cantidad de poros los cuales son originados por la contracción del metal al solidificar.

Se obtuvo tamaño de grano fino en todas las piezas obtenidas y en cada una de las secciones de cada pieza. Todos estos resultados se muestran en las fotografías tomadas a cada una de las piezas.

Observaciones.- Con la adaptación de la cámara de eliminación de gases al sistema de colada en el canal horizontal y la reducción en el mismo canal el flujo de metal es retenido un pequeño lapso de tiempo el cual nos permite la eliminación de gases atrapados en el flujo metálico producto de la reacción del refinador con el aluminio líquido, como podemos observar estos gases deben ser eliminados antes de entrar el metal a la cavidad de la pieza de otra manera como ya se vio es muy difícil eliminarlos una vez dentro de la pieza. Otros factores que son de alto grado de importancia es el control de la cantidad adecuada de desgasificante y refinador, una alta cantidad de refinador puede generar una mayor cantidad de gases que como ya se dijo son perjudiciales en la pieza y una cantidad baja de refinador es causa de una mala refinación de grano. En el caso de desgasificante una alta cantidad puede ser la causa de un efecto contrario al requerido, ya que si este no alcanza a reaccionar totalmente en la cuchara, van a existir pequeñas cantidades de desgasificante que reaccionaran en la cavidad de la pieza generando gases que son atrapados al solidificar el metal.

## VI. CONCLUSIONES.

- 1.- El método de refination in mold, proporciona algunas ventajas con respecto al método convencional.
- 2.- Las temperaturas de coladas altas no disminuyen el efecto del refinador utilizado ( nucleant 75 ).
- 3.- La velocidad de enfriamiento como función del diseño de la pieza no afecta al tamaño de grano refinado.
- 4.- Los venteos son de mucha importancia en la utilización de esta técnica.
- 5.- La refinación que se obtuvo fue homogénea, uniforme y reproducible.
- 6.- En la refinación dealuminio utilizando esta técnica es necesaria la cámara de eliminación de gases.

### Recomendaciones para trabajos posteriores.

- 1.- Probar esta técnica en aleaciones comerciales de aluminio que puedan refinarse, completando con el control de las propiedades mecánicas de las piezas refinadas.
- 2.- Comparar las propiedades mecánicas de las piezas refinadas utilizando el método convencional y las piezas refinadas utilizando esta técnica.
- 3.- Realizar ensayos no destructivos para el control de calidad de piezas refinadas in mold ( para detectar posibles poros por gases ).
- 4.- Utilizar esta técnica en aleaciones base cobre que se sometan a refinación.

**Fotografía No.1.**

- Pieza patrón.
- Sin refinamiento. No. de grano ASTM 4.5
- Colada a  $T = 760^{\circ}\text{C}$

**Fotografía No.2a.**

- Pieza colada a  $T = 810^{\circ}\text{C}$
- Con refinador.
- Refinamiento inadecuado. No. de grano ASTM 5.0
- Porosidad producida por gases absorbidos y generados por el refinador.
- Sin cámara de eliminación de gases.

**Fotografía No.2b.**

- Sección de la pieza 2a tomada con un mayor acercamiento.
- No. de grano ASTM 5.0

**Fotografía No.3**

- Temperatura de colada  $760^{\circ}\text{C}$
- Con refinador
- Baja refinación. No. de grano ASTM 5.0
- Alta cantidad de porosidades
- Sin cámara de eliminación de gases

**Fotografía No.4**

- Temperatura de colada  $810^{\circ}\text{C}$
- Con refinador
- Con cámara de desgasificado
- Observar: que no hay presencia de porosidad producida por gases
- Refinamiento adecuado. No. de grano ASTM 7.5

**Fotografía No.5**

- Comparación de las secciones delgadas del modelo de ensayo; sin refinamiento y con refinación en el molde utilizando cámara de desgasificado.
- Fig. (a) No. de gr. ASTM 8. Fig.(b) No.de gr. 5.5

**Fotografía No.6a**

- Temperatura de colada 760°C
- Con cámara de eliminación de gases
- Con refinador
- Mínima porosidad
- Refinamiento adecuado. No. de gr. ASTM 8.0

**Fotografía No.6b**

- Sección de la pieza 6b tomada con un mayor acercamiento.
- No. de gr. ASTM 8.0

**Fotografía No.7a**

- Pieza mancuerna.
- Dimensiones: Cilindro 1: 7x6cm; Cil.2: 4x5cm;
- Sistema de colada con cámara de eliminación de gases.
- Refinamiento adecuado. No. de gr. ASTM 8.0
- Porosidad mínima.
- Temperatura de colada 760°C

**Fotografía No.7b**

- Sección de la pieza 7a tomada con mayor acercamiento. No. de gr. ASTM 8.0

**Fotografía No.8a**

- Soporte para alpinismo de aluminio puro grado comercial.

- Refinamiento en el molde (con cámara de desgasificación).
- Temperatura de colada 760°S
- Refinamiento adecuado. No. de gr. ASTM 8.0
- Porosidad mala
- Dimensiones: Espesor de la pieza 1.5cm.

**Fotografía No.8b**

- Sección de la pieza 8a tomada con mayor acercamiento.
- No. de gr. ASTM 8.0



Fig. 2  
No. 4-5



Fig. 2(b)  
No. 5.0



Fig. 2(a)  
No. 5



Fig. 3  
No. 5

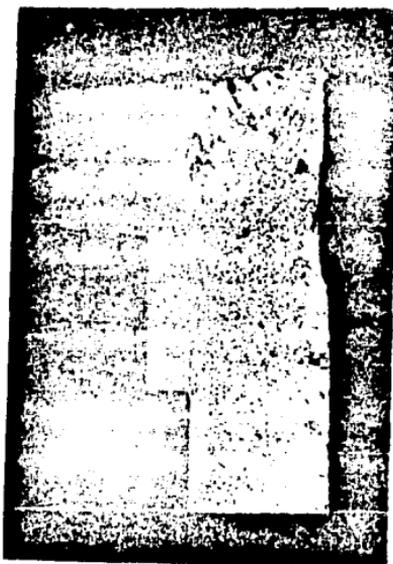
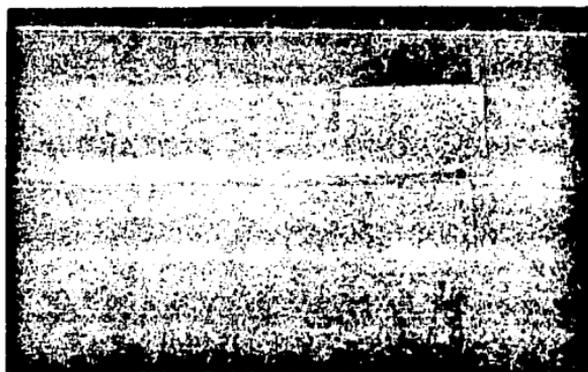


Fig. 4  
No. 7.5



(a)

(b)

Fig. 5 (a) = No. 8  
(b) = No. 5.5

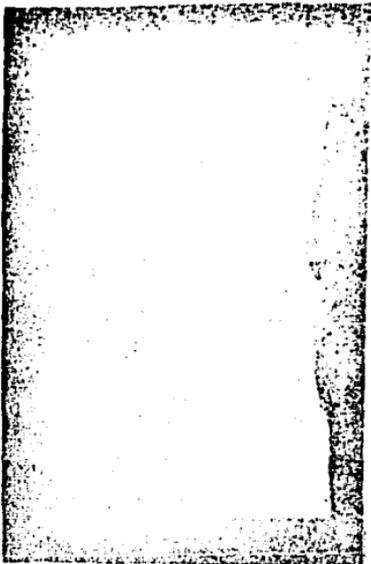


Fig. 6(a)  
No. 8



Fig. 6(b)  
No. 9

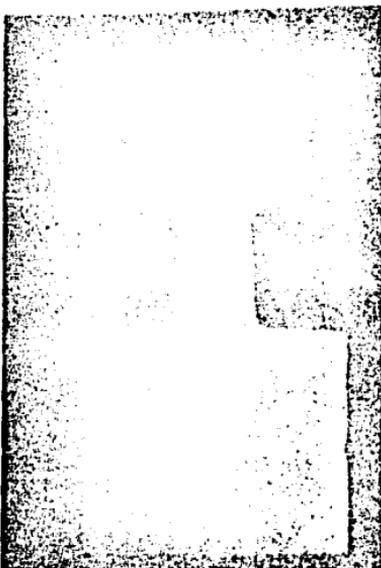


Fig. 7(a)  
No. 8



Fig. 7(b)  
No. 9

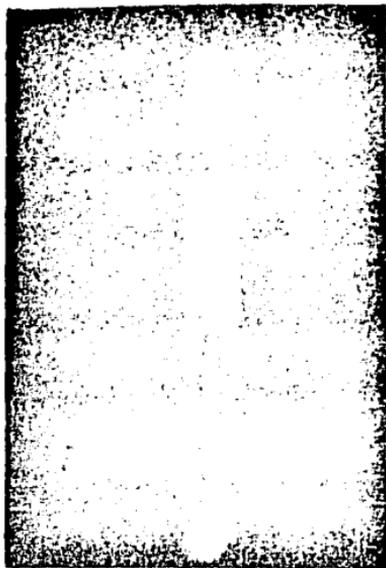


Fig. 8 (a)  
No. 8

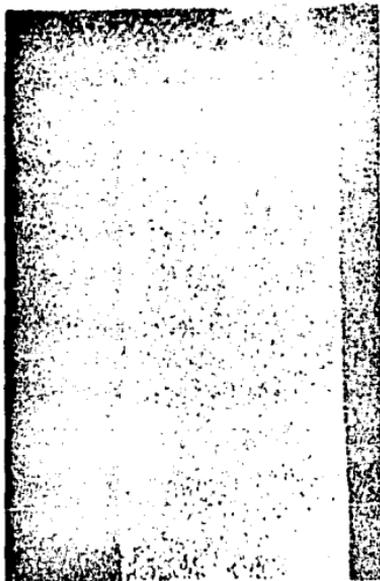


Fig. 9 (b)  
No. 8

Anexo

Quantificación del tamaño de grano.<sup>(7)</sup>

La cuantificación del tamaño de grano se realizó de acuerdo a la norma ASTM E 91 - 51 T, cuyo nombre es Estimating the average grain size of non-ferrous metals, other than copper, and their alloys de donde se usó el método de comparación de la sección 4d págs. 500 y 501.

La designación antes mencionada se encuentra bajo una nueva designación la cual es E 112 - 81.

Los tamaños de granos se obtuvieron por medición directa según la siguiente tabla:

Tamaño de Macro-granos		Granos por(in <sup>2</sup> )	
ASTM	Número	a 1X	$\phi_{gr}$
M - 0	.....	0.5	..... 49.92 mm
M - 0.5	.....	0.7	.....
M - 1	.....	1.0	..... 24.96 "
M - 1.5	.....	1.4	.....
M - 2	.....	2.0	..... 12.48 "
M - 2.5	.....	2.8	.....
M - 3	.....	4.0	..... 6.24 "
M - 3.5	.....	5.7	.....
M - 4	.....	8.0	..... 3.12 "
M - 4.5	.....	11.3	.....
M - 5	.....	16.0	..... 1.56 "
M - 5.5	.....	22.6	.....
M - 6	.....	32.0	..... 0.78 "
M - 6.5	.....	45.3	.....
M - 7	.....	64.0	..... 0.39 "
M - 7.5	.....	90.5	.....

M - 8	.....	128.0	.....	0.195 "
M - 8.5	.....	181	.....	
M - 9	.....	256	.....	0.099 "
M - 9.5	.....	362	.....	
M - 10	.....	512	.....	0.048 "
M - 10.5	.....	724	.....	
M - 11	.....	1024	.....	0.0244 "
M - 11.5	.....	1448	.....	

Quando la estructura es claramente visible, se puede realizar una comparación visual con la carta estandar de la AFS. (22)

Rango	Tamaño de grano	
1) Extremadamente fino	225 micrones	0.225 mm
2) Fino	400 "	0.40 mm
3) Medio	600 "	0.60 mm
4) Grande	800 "	0.80 mm
5) Tosco	1000 "	1.0 mm
6) Extremadamente grande	2200 "	2.2 mm

## VII. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- R. Sillen. Inmold Nodulization With Delayed Pouring in Vertically Parted Molds. AFS Transactions. 1979. Vol. 76
- 2.- Raymond A. Higgins. Ingenieria Metalurgica. Editorial Continental, S. A. de C. V. 1982. Tomo I.
- 3.- A. G. Guy. Fundamentos de Ciencia de los Materiales. Mc. Craw Hill. 1981. México.
- 4.- Ernst Specht y Hans T. W. Tratado General de Metalurgia. Editorial y Libreria Sintex. Barcelona Vol.IV.
- 5.- AFS. Recommended Practices For Sand Casting Aluminum and Magnesium Alloys. Second Edition. 1965.
- 6.- C. G. Chao, W.H. Lu, J. L. Mercer, J. F. Wallace. Effect of Treatment Alloys and Section Size On the Compacted Graphite Structures Produced by the In-the-Mold Process. AFS Transactions. 1985. Vol. 98.
- 7.- Felix Vinicio Jimenes Bompert. Tiempo de Vida de un Refinador de Grano para Aluminio. Tesis UNAM 1987.
- 8.- AFS. Sand Casting, Aluminium and Magnesium Alloys. Second Edition. 1965.
- 9.- M. H. Mulezimoglu, Y. M. Yang, J. F. Wallace, N. X. Ding, J. L. Mercer. Solidification Studies of Spiking and Large-Small Nodule Formation in Ductile Cast Iron Produced by the In-the-Mold Process. AFS Transactions. 1985. Vol.97.

- 10.- Garcia H. Alejandro. Métodos de Cálculo para determinar las Dimensiones de Sistemas de Colada para Aluminio y Aleaciones, Moldeo y Fundición. 1986. México.
- 11.- I. Beltrán Pifia. Notas del Curso " Ensayos para el Control de Arenas de Moldeo en Verde." Fac. de Química, UNAM. 1986. México.
- 12.- AFS. Manual de Arenas para Fundición. Edición en Español. 1967. Illinois.
- 13.- KBT. Division of Cabot Corporation, P. O. Box. 1462. Reading P. A. 19603. Aluminum Master Alloys. KBI, Grain Refinement Test.
- 14.- Moder Casting. Aluminum's Path To Higher Quality. May. 1986.
- 15.- A. Garcia Hinojosa, C. Atlatenco T. Notas del Curso " Diseño de Sistemas de Colada y Alimentadores. Fac. de Química UNAM. 1986. México.
- 16.- R. W. Thomas. In the Mold Process for Horizontally Parted Molds. AFS Transactions. 1980. Vol. 15.
- 17.- R. H. T. Dixon, D. Hinchley. Metal Treatment Processes using FSM Alloys. The British Foundryman. 1980.
- 18.- J.J. Moore, M. G. Hebsur, D. P. Ravipati, H. Arnson. In-Mold Rare Earth Treatment of Cast Steel. AFS Transactions. 1983. Vol. 07.
- 19.- D. Michie. The Production of Compacted Graphite Iron Using the In-Mold Treatment Process. AFS Transaction. 1983. Vol. 105.

- 20.- Metals Handbook. Properties and Selection Nonferrous Alloys and Pure Metals. American Society For Metals. Ninth Edition. 1979. Vol.2.
- 21.- Latimer Road. A Review of the Running, Gating an Feeding of Aluminium. Sand Casting. British Foundrymen, 65-2. (1976).
- 22.- Moder Casting. Determining Grain Size and Eutectic Modification in Aluminum Alloy Casting. Julio 1987 Vol.77. No.7.