

24
5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



"PROPIEDADES MECANICAS DE ALEACIONES
DE Zn - Al - Cu OBTENIDAS POR COLADA
SEMI - CONTINUA"



EXAMENOS PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A ;
RENE HUGO ESPINOZA MELENDRES

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN	10
I.- INTRODUCCION	12
1.1 Diseño de la máquina de colada continua para la aleación de Zinalco. (Zn-Al-Cu)	13
II.- CONSIDERACIONES TEORICAS	18
2.1 Generalidades de la colada continua de mate- riales no ferrosos. (Al,Zn,Cu,Pb y sus alea- ciones)	18
2.2 Clasificación de los procesos de colada con- tinua. (tipos de moldes y de máquinas).	22
2.3 Parámetros que afectan la colada continua	28
2.3.1 El molde.	28
2.3.2 Composición química de la aleación.	33
2.3.3 Velocidad de colada. (extracción del producto)	38
2.3.4 El sistema de enfriamiento.	41
2.3.5 Cáscara que soporta al lingote.	47
2.4 Ecuaciones que gobiernan la colada continua	49
2.4.1 Transferencia de calor en el molde. (conducción).	53
2.4.2 Transferencia de calor en las espréas. (convección).	54
2.4.3 Transferencia de calor en la zona de radiación. (radiación).	55

	PAGINA
III.- EXPERIMENTACION	58
3.1 Preparación de la aleación	58
3.2 Temperaturas de colada utilizadas	62
3.3 Velocidades de colada utilizadas	62
3.4 Molde utilizado	64
IV.- RESULTADOS	65
4.1 Análisis químico	65
4.2 Durezas	67
4.3 Porosidades	68
4.4 Microestructuras	68
4.5 Propiedades mecánicas	69
4.6 Pruebas de Maquinabilidad	70
V.- DISCUSION DE RESULTADOS	71
VI.- CONCLUSIONES	80
CONCLUSIONES SECUNDARIAS INHERENTES A LA INVESTIGACION	83
SUGERENCIAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	84
BIBLIOGRAFIA	136

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad determinar las propiedades mecánicas que se obtienen en una aleación Zn (77%), Al (21%), Cu (2%), cuando ésta es obtenida por medio de un método de colada semi-continuo.

Debe tomarse en cuenta que para la obtención de ésta aleación, se parte de chatarra de Aluminio; por lo que la presencia de algunas impurezas de otros elementos es de esperarse; y las propiedades mecánicas deben verse influenciadas, pero esto no se tomará en cuenta, ya que al fin y al cabo el Aluminio que se utilizaría para obtener esta aleación a nivel industrial provendría de chatarra.

Para llevar a cabo este trabajo hubo que diseñarse y construirse una máquina para colada semi-continua con características tales que cumpliera con los principios de la colada continua. (por ejemplo, la velocidad de la máquina)

Se realizaron pruebas a distintas temperaturas de colada, con objeto de evaluar la influencia de la misma sobre las propiedades mecánicas. Esas mismas pruebas fueron hechas a intervalos de 25°C, empezando por 500°C, (la aleación funde a 480°C) y hasta llegar a los 600°C.

Las mismas pruebas anteriores también fueron realizadas a distintas velocidades de colada, empezando por 1.69 mm/seg. (a menor velocidad, la aleación se solidifica en el horno de colada) y aumentandola a intervalos de 0.85-1.27 mm/seg. hasta llegar a los 3.21 mm/seg; después de lo cual ya no es posible obtener productos, ya que se derrama la aleación líquida por no tener tiempo suficiente para solidificar.

Se presenta el proceso de experimentación, así como los resultados obtenidos; y para finalizar, las conclusiones del estudio, las cuáles en cuanto a propiedades mecánicas comparadas con las obtenidas en otros trabajos de investigación para este tipo de aleación, se encuentran por arriba de ellos.

I.- INTRODUCCION

Desde hace algunos años, México ha desarrollado una dependencia peligrosa derivada de la tecnología del Aluminio, debido a que éste es en su totalidad un producto de importación, pues nuestro país carece de yacimientos de mineral del cuál es extraído. (bauxita principalmente)

Por lo anterior, es de consideración la fuga permanente de divisas debidas a la importación de este producto.

En 1984, el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM realizó una transferencia tecnológica sobre una aleación base Zn denominada ZINALCO^{MR} que es básicamente un eutectoide Zn-Al modificado con Cu, (Zn-Al-Cu) con propiedades tales que permite ser usada en sustitución de las aleaciones de Aluminio de la serie 6000, que son las de mayor consumo en México; con el consiguiente uso de una materia prima subutilizada y una disminución considerable en el costo.

Para el estudio de esta aleación a nivel laboratorio y su producción a escala industrial se requiere aún de componentes de alta pureza; de esta manera, el Aluminio que se utiliza es de primera fusión, Zn alto grado y Cu electrolítico; y aunque los costos para producirla son menores en relación al Aluminio 6063 y/ó 6261 por ejemplo, puede hacerse más rentable.

ble la producción del ZINALCO con la utilización de chatarra de Aluminio en lugar del Aluminio de primera fusión.

Para esto debe considerarse que en dicha chatarra se encuentran como impurezas elementos como el Mg, Si, Fe, Mn, Pb Bi etc... que podrían influir en las propiedades del ZINALCO y los cuáles deberán ser objeto de estudios posteriores.

Este estudio, tiene como finalidad determinar de una manera general, las propiedades mecánicas que se obtienen por colada semi-continua del ZINALCO; (sin profundizar en el efecto que causan elementos contenidos como impurezas en la aleación) considerando que a un mediano plazo sus aplicaciones pueden dirigirse a determinados productos automotrices, cancelería, accesorios para equipos hidráulicos, válvulas para gases, utensilios de cocina, vagones de ferrocarril, pinturas, etc... en dónde por el momento es más común el uso de las aleaciones de Aluminio.

1.1 DISEÑO DE LA MAQUINA DE COLADA CONTINUA PARA LA ALEACION DE "ZINALCO".

La obtención de barras y placas en distintas geometrías de la aleación Zinalco por medio de la colada continua permitirá ampliar el campo de sus aplicaciones, ya que nos proporcionará la materia prima para la obtención de diversos pro-

ductos. Por lo anterior, es de suma importancia el diseño y determinación de las condiciones de operación de una máquina para la colada de la aleación, tomando en consideración las experiencias existentes para otros materiales como el Al, Cu y Fe.

Para la fabricación de la máquina y sus componentes, se enumeran a continuación los fundamentos utilizados, los cuáles son:

- 1.- Propiedades térmicas del material en estudio.
- 2.- Análisis del flujo de calor.
- 3.- Velocidades comunes de extracción utilizadas para aleaciones de Zn. (1-5 mm/seg)
- 4.- Longitud deseada del producto ó lingote.
- 5.- Procesos más comúnmente empleados en la industria.
- 6.- Facilidad de reproducción de los experimentos, y
- 7.- Costo de producción de la máquina.

Se describen además, detalles de los sistemas de extracción y enfriadores, diseño de partes como tornillos, molde con inserto de grafito y horno ó cabeza caliente.

Un aspecto general de la máquina de colada es presentado en la fig. No 1, que nos muestra las partes más importantes, como son: motor de C.D. de 1 HP; tornillos sin fin transmisores del movimiento; horno de calentamiento para una tempera-

tura máxima de 700°C.

Los resistencias utilizadas fueron de kantal cubiertas con cemento refractario, y el control del horno se realizó mediante un termopar de Cromel-Alumel. El tiempo necesario para que se alcance una temperatura de 500°C en el horno es de 40 minutos bajo condiciones de 50 volts y 5 amperes

Un aspecto importante en cuanto a la temperatura, es el de tener un variador de voltaje y amperaje para el control del horno, ya que nos permite calentarlo según sean las necesidades. En la fotografía No 1 se observa el horno fabricado con aislante de lana mineral.

El extractor fué diseñado para obtener características de sujeción y enfriamiento del metal líquido, además de taponar la parte inferior del molde. La fotografía No 2 nos muestra lo anterior.

El enfriador secundario tiene por objeto el de solidificar el metal líquido remanente y enfriar totalmente el producto, por lo que se requiere de una presión de agua y espresas determinadas para tal función. Este detalle se aprecia en la fotografía No 3.

En cuanto al flujo de calor se refiere, existen tres zonas perfectamente distinguibles, las cuáles son detalladas a con

tinuación.

- 1.- ZONA DE CONDUCCION: En esta parte, el enfriamiento es -- realizado por el molde con el propósito de crear una cascarilla de metal sólido lo suficientemente gruesa a fin de resistir tanto la presión del metal líquido como los esfuerzos que se originan debido al deslizamiento producido por la extracción.
- 2.- ZONA DE CONVECCION: En esta sección del proceso, el material es enfriado con agua a presión por medio de espaldas con objeto de solidificar totalmente el metal líquido permanente. Cabe hacer notar que esta etapa es la de enfriamiento más enérgico, por lo que requiere de una mayor atención.
- 3.- ZONA DE RADIACION: Es esta una parte importante para metales de alto punto de fusión, como por ejemplo las aleaciones de Fe. Para metales no ferrosos, en ocasiones no es tomada en consideración debido a la utilización de -- moldes cortos con enfriamiento, mejor conocido como proceso DIRECT-CHILL ⁽¹⁾ (D.C.)

Por lo anterior, es importante conocer algunas de las variables del proceso, como son:

- Longitud del molde.

- Tamaño y forma de la sección producida.
- Propiedades térmicas del metal vaciado. (temperatura de colada, conductividad térmica, densidad, calor específico)
- Velocidad de extracción del producto.
- Detalles de las espréas. (distribución del flujo y presión del agua, longitud de la zona de espréas)
- Lubricación en el molde y uniformidad en su refrigeración.

Como puede verse, la colada continua es un proceso que involucra una "relativa" gran cantidad de variables, de aquí el hecho de la utilización de métodos numéricos como el de diferencias finitas ó elemento finito (FEM) para su resolución, diseño y fabricación. (2)

Además de tomar en consideración las variables antes mencionadas, debemos basarnos en el análisis del flujo de calor en las tres zonas involucradas en el proceso para estar así en condiciones de poder optimizarlo.

En la sección 2.4, correspondiente al modelo matemático por el que se rige la colada continua se describirán las ecuaciones utilizadas para las zonas descritas anteriormente, así como su localización en el momento de colar el metal.

II.- CONSIDERACIONES TEORICAS

2.1 GENERALIDADES DE LA COLADA CONTINUA DE MATERIALES NO FERROSOS. (Al, Zn, Pb, Cu y sus aleaciones)

Bruce Chalmers, ⁽³⁾ ha definido el método de colada continua de la siguiente manera:

" La colada continua es un proceso de vaciado en el que el metal líquido se vierte sin interrupción en un molde de escasa profundidad, refrigerado por agua y del que el lingote se retira en forma continua "

El lingote ya formado constituye el fondo del molde en el caso de una instalación vertical. Esto lleva a cierto equilibrio de solidificación en el que casi no hay segregación, en el que no pueden formarse rechupes y en el que la estructura resultante en el lingote es en cierto modo totalmente columnar, evitándose la adherencia del lingote al molde por la --contracción del mismo en el enfriamiento.

La interfase metal-líquido tiene forma parabólica como se muestra en la fig. No 2, y el lingote se corta periódicamente a medida que va saliendo de la máquina.

En condiciones ideales no debiera haber porosidad, sino solo segregación lateral; de tal modo que las regiones externas -

del lingote contengan menos soluto.

La primera patente de colada continua fué presentada por Henry Bessemer en 1857; en la actualidad este proceso se aplica extensamente en la industria metalúrgica no ferrosa,-- habiéndose desplegado su uso y perfección en la producción de acero.

Gracias al proceso de colada continua se satisface en gran medida la demanda mundial de aleaciones de Cu y Al en calidad y cantidad.

El producto metalúrgico obtenido por este proceso, supera en forma amplia en cuanto a calidad se refiere a los productos que se obtienen por los métodos tradicionales de colada, como son: colada en arena, en coquilla y centrifugada; y al mismo tiempo existe una importante economía en los costos de inversiones materiales, mano de obra y energía.

Por otra parte, los productos de colada continua presentan una superficie que requiere relativamente poca elaboración mecánica, por lo que se tiene una gran ventaja en etapas de elaboración plástica posterior tales como trefilado, extrusión, embutido profundo ó laminación. Aquí, su gran uniformidad de propiedades reduce las cargas máximas requeribles, elimina la amenaza de cargas altas accidentales y produce -- así una economía en la energía que consume cada pieza del e-

quipo. Cabe mencionar que las modalidades antes observadas, permiten frecuentemente reducir su capacidad, y con ello disminuir el costo de la inversión.

También, la uniformidad de propiedades obtenidas por este proceso asegura asimismo gran continuidad en la producción, y favorece el empleo de sistemas automáticos; por lo demás, pueden obtenerse por este método productos tales como barras, placas y tubos en dimensiones y tamaños mucho mayores que los obtenidos por los procedimientos habituales ya mencionados. (4)

En base a lo anterior, podemos enumerar las ventajas del proceso de la colada continua como sigue:

- 1.- Los parámetros de operación son relativamente fáciles de controlar y mantener en el proceso, con lo cual se obtienen productos de calidad consistente.
- 2.- Incremento de la producción en la etapa de laminado en frío comparado con las rutas convencionales debido a la reducción de operaciones finales.
- 3.- Relativos bajos costos de inversión y de operación.
- 4.- Menor consumo de energía.
- 5.- Mejores propiedades en productos con aplicaciones especi

ficas.

Asimismo, las desventajas de este proceso son las siguientes:

- 1.- Limitación en algunos tipos de aleación para ser producidas con calidad conveniente, como es el caso de las aleaciones fuertes.
- 2.- Necesidad de una etapa de recocido entre pasos de laminación en frío para algunas aleaciones y productos.
- 3.- Dificultad en el mantenimiento de una lubricación continua y uniforme en el molde para la colada horizontal.
- 4.- Alto costo de reparación y/o instalación de cualquiera de las piezas del equipo debido a alguna interrupción total ó parcial.

2.2 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE COLADA CONTINUA

(tipos de moldes y de máquinas)

Existen muchos procesos de colada para metales no ferrosos, - los cuales pueden ser clasificados de varias maneras de acuerdo por ejemplo a:

- 1.- TIPO DE MOLDE UTILIZADO: Móvil ó fijo, giratorio ó bloque moldeador con enfriamiento.
- 2.- FORMA DEL MATERIAL PRODUCIDO: Delgado ó grueso, angosto ó ancho, lámina ó tira, varilla ó barra, lingote ó placa
- 3.- ELABORACION NATURAL ó SUBSECUENTE: Que requiere colada -- continua y laminado en una sola operación ó laminado como una operación separada.

Una clasificación sistemática de los procesos puede ser hecha entonces de acuerdo a cualquiera de los puntos de vista anteriores.

Por ejemplo, es posible distinguir entre moldes fijos y - moldes que se mueven con el lingote; entre procesos con y sin movimiento relativo entre molde y producto colado ó entre procesos en que la salida del lingote es vertical y aquellos en los que es horizontal.

Las figuras No 2, 3 y 4 nos muestran respectivamente la representación esquemática de la colada vertical como se practica a nivel industrial, el arreglo del sistema de colada utilizado en este estudio, y los tipos de moldes más comunes por medio de los cuáles se lleva a cabo la colada continua industrialmente, y que son:

a) MOLDE FIJO SIN FONDO:

Este tipo de molde puede ser clasificado dentro de aquellos que están combinados con el horno ó los que están separados del mismo.

La salida vertical del lingote es comunmente utilizada, aunque la horizontal también se practica. En ambos casos, el movimiento toma lugar entre el molde y el producto colado.

En los dos métodos, el producto es retirado por un mecanismo auxiliar. Productos cilíndricos, cuadrados y hexagonales pueden ser obtenidos por este proceso.

La salida vertical del lingote y moldes separados del horno son utilizados en la producción de Cu, Al, Mg, Zn, Fe y sus aleaciones; y la salida vertical y el horno combinado con el molde se usan en la producción de aleaciones base Cu y Ag.

La salida horizontal ha sido empleada unicamente en la obtención de Al, y ultimamente para bronces y lotones.

b) MOLDES DIVIDIDOS: (longitudinal viajero y desdoblante)

Estos moldes se mueven con el lingote y consisten de cintas ó sujetadores sin fin. Las dos medias partes del molde después de incidir en un mismo punto a un tiempo, reciben el metal fundido y lo transportan a lo largo de la banda formada por las medias partes del molde y fuera de ella hasta que ha solidificado; entonces se separan y regresan al punto inicial a repetir el ciclo.

En este proceso no se requieren dispositivos especiales de transporte porque el lingote es conducido a todo lo largo por el movimiento de las medias partes del molde.

En este método, el producto colado es removido horizontalmente ó de manera vertical, y hasta donde se sabe, únicamente Al ha sido producido a escala industrial.

Redondos, rectangulares y formas cuadradas pueden producirse empleando este tipo de molde; en otras palabras, productos de la misma forma que los que se cuelan en moldes fijos separados del horno.

c) MOLDE FORMADO POR 2 CINTAS SIN FIN:

La abertura formada por las dos cintas sin fin permite la producción de placas únicamente, pues se requiere que las

paredes laterales contengan al metal fundido. El transporte del producto es efectuado por las mismas cintas.

Este proceso ha sido aplicado solamente en la producción de Al.

d) MOLDE FORMADO POR UNA CINTA SIN-FIN Y UN RODILLO LAMINADOR

La cavidad del molde puede también estar formada por una cinta sin-fin y un rodillo laminador en vez de dos cintas.

El lingote solidifica sobre la cinta con una superficie plana e inmediatamente después puede ser laminada a la forma deseada si no existen partes irregulares en su longitud.

Este proceso es aplicado a la producción de aleaciones base Al y Pb únicamente.

e) MOLDE FORMADO POR DOS RODILLOS GUIAS Y LAMINADORES

En pruebas hechas para formar la cavidad del molde por dos guías laminadoras, la intención original era combinar la colada con la laminación; sin embargo más tarde los dos procesos fueron separados.

La colada de placas de sección transversal equivalente es producida para aleaciones de Fe, Cu y Pb.

En el proceso de colada horizontal por enfriamiento directo, el metal fundido es vaciado en el hueco del molde alimentador aislado y enfriado por agua donde el metal fundido es solidificado; además el molde está previsto con un enfriamiento secundario.

Al final del molde, (salida) hay instalados dos rodillos - que sujetan al producto y lo conducen hacia fuera a una velocidad pre-determinada dependiendo del tipo de aleación.

La fig. No 5 nos presenta un esquema de la colada horizontal. Los bloques producidos son cortados a la longitud requerida - con una sierra flotante para subsecuentes operaciones de extrusión ó laminado.

ALCOA⁽⁴⁾ desarrolló originalmente este proceso en la década de los años 30, y son los únicos que utilizan el método -- descrito para la laminación de grandes bloques de colada.

Las máquinas de UNGINE, REYNOLDS, KAISER, WAGSTAFF & CLARK -- operan bajo principios similares. REYNOLDS y KAISER utilizan moldes de grafito, y WAGSTAFF & CLARK usan una instalación -- con dos anillos rociadores de agua. (espréas)

WAGSTAFF y ALCOA utilizan moldes de Al, y KAISER adopta -- una envoltura (comisa) de agua para el enfriamiento en la pro

ducción de tochos.

Los sistemas horizontales de colada continua presentan en general, una mayor probabilidad de dar productos con porosidades, por ser éstos, en tales condiciones, más difíciles de desalojarse. También se discute en contra de ellos que el frente de solidificación no sea simétrico con respecto al centro de las barras. No obstante, R. Leder (3) ha dado cuenta que la firma Austriaca V.G.M. patentó con éxito un equipo de colada continua horizontal cuyas características son las siguientes:

- 1.- Un horno de inducción (ó calefaccionado con gas ó petróleo) para mantener el metal en estado líquido.
- 2.- Un molde refrigerado con agua y revestido de grafito.
- 3.- Un sistema guía de rodillos.
- 4.- Un equipo neumático para la extracción de los productos.
- 5.- Un sistema de limpieza mecánico de las barras el cuál puede ser eliminado cuando el acabado superficial de las mismas se considera satisfactorio.
- 6.- Un segundo sistema de guías con rodillos provisto de un dispositivo para cortar y apartar las barras.

Cabe mencionar, que esta instalación permite colar barras de hasta 11.5 cm de diámetro.

2.3 PARAMETROS QUE AFECTAN LA COLADA CONTINUA

2.3.1 EL MOLDE:

Como su nombre lo indica, es el que nos proporciona la forma del producto, teniendo también como función la de formar una cáscara sólida, (2.3.5) a partir del metal líquido, que soporte las tensiones originadas por las condiciones del proceso. (5)

De acuerdo a lo anterior, el molde fué fabricado con Aluminio debido a su buena conductividad térmica, su relativo bajo punto de fusión, y su facilidad para el maquinado.

Es importante hacer notar que el molde lleva en su interior un inserto de grafito que nos proporciona una buena conductividad térmica y un excelente coeficiente de fricción entre la cáscara sólida y el grafito. La fotografía No 4 nos muestra un aspecto exterior del molde con entrada y salida de agua de enfriamiento; lo que es en si el sistema de enfriamiento secundario.

Un buen molde, debe responder por tanto a las siguientes condiciones:

- 1.- Estar fabricado con un material buen conductor del calor y de un punto de fusión lo suficientemente elevado como para facilitar el despegue del metal durante las primeras

fases de la solidificación y evitar con esto el rápido deterioro de las paredes en el caso de alguna parada accidental de la refrigeración.

- 2.- Estar refrigerado en toda su altura para evitar la deformación de las paredes; cosa que podría provocar un enganche y desprendimiento del metal durante la solidificación
- 3.- Presentar un buen acabado superficial para facilitar el deslizamiento del metal solidificado.
- 4.- Realizar la refrigeración del metal lo más homogéneo posible durante el curso de la solidificación, sobre todo en la periferia para limitar las exudaciones y grietas.

Los moldes utilizados a nivel industrial son generalmente hechos de grafito, Cu puro y aleaciones base Cu ó Al.

Las paredes del molde se lubrican inmediatamente antes de la colada, pudiendo emplear como lubricante carbón refractario, pintura de Zr, algún tipo de revestimiento volátil, suspensión de grafito en aceite ó cera silicón resistente a la temperatura. La pintura de Zr y la cera silicón fueron las utilizadas en este trabajo, dando ambas muy buenos resultados

El papel exacto de la lubricación no está aún completamente a

clarado, aunque su acción más evidente es la de facilitar el deslizamiento del metal ya solidificado.

Según los casos y la naturaleza del lubricante, éste puede mejorar el estado superficial del producto, ó por el contrario, provocar ciertos defectos como son los repliegues y ampollamientos superficiales.

Algunos moldes tienen dispositivos de lubricación continua; por lo que esta técnica es de gran importancia cuando se cue-
lan semi-productos de gran longitud que requieren superficies lo más lisas posible, como es frecuente encontrar en productos obtenidos por colada continua horizontal.

La vibración del molde por aire a presión ó vibración eléctrica es otro método que se utiliza para obtener un descenso libre del producto hasta el final del molde, y por lo tanto un buen acabado superficial.

Las dimensiones del molde, inserto de grafito y su disposición se presentan en la fig. No 6-a,b,c y cabe señalar que estas deben de ser determinadas de acuerdo a la capacidad del sistema de enfriamiento con que se cuente. Cuando los moldes son hechos de grafito, el tipo de material utilizado es de su
ma importancia.

En general, se requiere que pueda elaborarse con una buena terminación de superficie y que tenga una dureza que por una parte sea lo suficientemente alta como para evitar un excesivo desgaste con el uso, y que por otra sea lo adecuadamente baja como para retener cualidades lubricantes satisfactorias. Las propiedades de dos tipos de grafito que han sido utilizados con buenos resultados en procesos de colada continua se muestran en la tabla No 1.

Al inicio del vaciado, el molde está cerrado por un bloque metálico, (extractor ó falso fondo) el cuál jala al metal líquido hacia abajo tan pronto como la solidificación ha progresado lo suficiente como para impedir que éste se derrame.

Inmediatamente después del principio de la colada, la condición de equilibrio térmico es alcanzada dentro y fuera del molde; es decir, la velocidad de suministro de calor por la vaciada y la solidificación, es balanceada por la velocidad de extracción continua de calor por las paredes del molde y el producto antes de que empiece a salir el mismo por debajo del molde.

El molde debe también por lo tanto satisfacer dos requerimientos principales, que son:

- 1.- Debe garantizar la velocidad de enfriamiento requerida para el tipo de aleación, forma y tamaño del producto a colar.
- 2.- Debe resistir el uso y deterioro (rayaduras) del proceso de colado.

Así pues, la extracción continua de calor por las paredes del molde no puede ser variada una gran cantidad, porque la velocidad de transferencia de calor es grandemente impedida por la existencia de una capa de aire entre las superficies del molde y el producto, como se puede observar en la fig. No 7.

Por esta razón, en la mayoría de las máquinas de colado continuo la mayor parte de calor total es removido por enfriamiento directo del producto sólido una vez que ha salido del molde.

Resultados obtenidos con el molde empleado en esta investigación son mostrados en las fotografías No 5, 6, 7 y 8.

2.3.2 COMPOSICION QUIMICA DE LA ALEACION

De la composición química de la aleación dependen los valores de características tales como intervalo de solidificación, naturaleza y proporción de los eutécticos, actividad química frente al agua ó la atmósfera, tensión superficial, viscosidad, etc... que desempeñan un papel esencial en las propiedades del producto obtenido, y que son determinantes en la formación de defectos como grietas, tendencia a las exudaciones, segregación y roturas.

Se puede en general enunciar lo siguiente: (6)

- 1.- El incremento del intervalo de solidificación trae consigo un aumento de la tendencia a la formación de grietas y segregaciones, disminuyendo así la colabilidad.
- 2.- El aumento en la proporción de eutécticos tiene como efecto la reducción de grietas y una mejora en la colabilidad.
- 3.- La tendencia a la rotura de colada es tanto mayor cuanto más cargada sea la aleación y cuando contiene con preferencia constituyentes endurecedores susceptibles de entrar en solución sólida y precipitarse por efecto del temple debido a la colada.

4.- La tendencia a la formación de escorias de óxidos crece con la proporción de metales más oxidables que el Al y origina óxidos con una relación de volumen inferior a 1. (como es el caso del Ca, Na y Mg)

5.- Los riesgos de que escorias de óxidos entren en suspensión a la aleación aumenta frecuentemente por la presencia de ciertos metales tensoactivos frente al Al. (tales como el Ca, Na y Mg)

Cabe señalar que determinadas adiciones secundarias efectuadas para mejorar algunas características metalúrgicas, ó ciertas impurezas aportadas por la materia prima y/ó fundentes, pueden modificar profundamente la fundición. A continuación, se mencionarán las de mayor importancia.

1.- Adiciones de Ti de 0.05 a 0.1% pueden sobre todo si están asociadas a vestigios de B, aumentar apreciablemente la viscosidad del metal líquido por efecto de gérmenes insolubles de Al_3Ti ó TiB_2 en suspensión, y además estos gérmenes afinan de manera intensa la estructura de fundición reduciendo considerablemente la tendencia a las exudaciones, grietas y roturas de colada.

- 2.- El Be, en cantidades de 0.005% reduce de manera sumamente eficaz la oxidación en el estado líquido de las aleaciones Al-Mg, disminuyendo de ésta forma la permeabilidad de la capa de óxido que recubre al metal durante la fusión. El Ti y el Zr en grado mucho menor tienen igualmente un efecto favorable desde el mismo punto de vista.
- 3.- Impurezas (como el Na por ejemplo) en estado de vestigios del orden de 10 ppm pueden aumentar apreciablemente la fragilidad en caliente. (en particular aquellas con contenidos mayores del 3%)
- 4.- El Pb, cuando su contenido sobrepasa el 0.1% puede actuar desfavorablemente sobre la formación de grietas y la capacidad de laminación en caliente.
- 5.- El B en cantidades inferiores al 0.005% puede causar graves perturbaciones si no está asociado a una cantidad en exceso de Ti.

Las modificaciones que pueden presentarse debido a lo anterior son:

- a) Crecimiento de la estructura de fundición provocando la precipitación rápida de los gérmenes afinantes como el Ti y V.

- b) Aumento de la oxidación y la reactividad frente al vapor de agua.
 - c) Disminución de la capacidad de soldabilidad al soplete
- 6.- El Sn en cantidades menores del 0.01% puede aumentar la tendencia a las roturas de colada y perturbar más ó menos la cinética de los tratamientos térmicos posteriores en el caso de aleaciones del tipo Al-Cu-Mg y Al-Mg-Si.
- 7.- El Zr, añadido a veces para facilitar la desoxidación del metal, puede tener, cuando se trata de contenidos inferiores al 0.05% una influencia muy importante sobre el comportamiento del metal en la forja, aumentando la tendencia a la formación de "orejas".
- 8.- El Fe y el Si, que son elementos comunes en aleaciones -- que contienen Al, influyen de manera considerable no solo sobre las propiedades del metal transformado, sino que su acción depende para una misma composición de sus porcentajes y su relación.

Lo anterior puede explicarse por la incidencia de estos elementos sobre el intervalo de solidificación ó por la interacción sobre sus solubilidades propias en estado sólido, sobre

la naturaleza de los constituyentes de combinación con el Al-
ó también por la modificación mayor ó menor que pueden apor-
tar a la estructura fina y a la movilidad de ciertos constitu-
yentes endurecedores del tipo Al_2Cu , Mg_2Si , y $MgZn_2$.

2.3.3 VELOCIDAD DE COLADA (de extracción del producto)

Para la colada del Al y algunas aleaciones de Zn, las velocidades de extracción oscilan entre 1 y 10 mm/seg, y es por esto que se utilizó un motor de corriente directa de velocidad variable capaz de mover 2 tornillos de 18 kg. cada uno, además de subir y bajar el extractor y la placa, todo esto, con un peso total de 50 kg. aproximadamente.

La potencia del motor fué calculada de 1 HP, y de acuerdo a las velocidades requeridas para el diseño de la máquina, después de un análisis del paso de los tornillos, se eligió el de 7 hilos/2.54 cm; ya que éste nos representa velocidades entre 15-100 rpm, que son fácilmente alcanzables por el motor.

Un detalle de éste aspecto es mostrado en la fotografía No 9, donde se observa el paso del tornillo maquinado y su cuerda ACME.

La velocidad de colada es igual que las demás variables del proceso, tiene una influencia determinante sobre el sistema de enfriamiento utilizado, y de hecho sobre la estructura -- misma del producto obtenido.

Para el caso del Al puro, (por ejemplo lingotes redondos y - cuadrados) la velocidad de colada puede variar entre límites bastante amplios, (como se muestra en la fig. No 8) sin originar repercusiones importantes sobre la calidad del lingote resultante bajo la condición de que la relación Fe/Si sea superior a 2.

En cuanto a las aleaciones se refiere, la velocidad de colada debe estar estrechamente definida, sobre todo para las de gran intervalo de solidificación, para no correr el riesgo de que se presenten grietas y/o fracturas. Generalmente, la reducción de la velocidad de colado suele disminuir la -- tendencia a estos defectos.

Para ciertas aleaciones de gran intervalo de solidificación, la acción que se puede ejercer sobre la velocidad de colada, es a veces insuficiente, sobre todo para el caso de grandes lingotes; por lo que es necesario actuar sobre otros parámetros tales como:

- 1.- Reducción de la refrigeración en la zona de riego, y/o
- 2.- Aumento de la altura del molde.

El Al de composición elevada debe ser colado con más lentitud, puesto que a causa de su mayor contracción al solidificar y su tendencia a originar estructuras groseras, es más

sensible a las tensiones de colada.

El problema es más complejo para el caso de las aleaciones. Las aleaciones que presentan pocas ó no presentan fases eutécticas móviles; es decir, aquellas que ya sea por el efecto que producen ciertos elementos de aleación (debido a sus concentraciones) ó por la variación que pudiera haber en un momento dado de la temperatura a que se trabaje pueden tener un cambio en cuanto al equilibrio de sus fases se refleje (constituyentes); por lo que son particularmente sensibles a las roturas superficiales, y por lo tanto, deben ser coladas a la mínima velocidad posible.

Para otras aleaciones con amplio campo de solidificación, pero que presenten una proporción bastante importante de fases eutécticas móviles, es necesario, por el contrario aumentar la velocidad de colada para evitar las roturas que tienden a originarse después de la completa solidificación del metal.

En la gráfica No 1, se observa la relación que existe entre la velocidad de colada y la altura del molde utilizado, de lo cual se deduce que la altura del molde a usar disminuye con el aumento de la velocidad de colada.

2.3.4 EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento de una máquina de colada -- continúa ó semi-continúa es la parte más crítica del proceso algunos métodos de enfriamiento de los más utilizados industrialmente se presentan en la fig. No. 9.

Debido al gran número de máquinas que incluyen algunas variantes del método de doble enfriamiento, un solo enfriamiento en el molde, es utilizado básicamente para la colada de pequeños lingotes ó en máquinas que incorporan dispositivos de trabajado en caliente. El molde mismo puede consistir de una unidad doble de paredes enfriadas por agua ó de una sola pared.

La velocidad de extracción de calor puede ser variada por el uso de moldes de diferentes materiales, cambio en la velocidad del flujo de agua ó variación en la superficie del molde.

La profundidad del molde es controlada ampliamente por las características de la aleación a colar. Aleaciones ligeras, no pueden ser coladas por medio de moldes cortos calientes, (1.5 a 3 pulgadas de profundidad)

Para lingotes por arriba de 15 pulgadas de diámetro, pue-

den ser requeridos moldes cortos calientes más largos si se trata de aleaciones de este tipo. (ligeras)

La refrigeración bajo el molde puede ser efectuada por enfriamiento total dentro de un tanque ó por una ó varias espreás a diferentes alturas. La elección del método depende de las características de la aleación a colar y del tamaño ó forma de los lingotes.

Además de los factores que controlan las condiciones del enfriamiento bajo el molde, la distribución de temperaturas y la velocidad de enfriamiento del lingote son también influenciadas por la velocidad de salida del lingote mismo.

La correcta velocidad depende del tipo de aleación producida y de las dimensiones del lingote; por lo tanto, todo tipo de lingotes pueden ser colados en una máquina de colada - continua ó semi-continua si se cuenta con una instalación adecuada de sistema de enfriamiento.

Las condiciones ideales pueden ser encontradas experimentalmente para cada aleación. Las tablas No 2 y 3 nos muestran algunos datos característicos de máquinas de colada utilizadas a nivel industrial.

Los efectos del enfriamiento primario y secundario, (4) pueden ser comprendidos por la introducción del concepto de ENFRIAMIENTO DOMINANTE, que nos indica las regiones donde la influencia del enfriamiento primario ó secundario son predominantes.

El enfriamiento dominante en el molde se extiende hasta el punto bajo el cuál el enfriamiento debido al molde es despreciable, y asimismo hay un límite superior por encima del cuál la refrigeración debido al enfriamiento total resulta ineficaz.

Lo anterior, es mostrado esquemáticamente en la fig. No 10, y las posiciones que ocupan esos dominios son consideradas como un factor significativo que afecta la integridad de la cáscara del lingote, (2.3.5) la estructura de colada y la calidad superficial del lingote resultante.

A continuación, se proporciona una explicación más detallada del efecto del enfriamiento en el molde y la formación de la cáscara que soporta al lingote.

En una primera fase, el metal líquido entra en contacto con las paredes del molde y se refrigera en forma intensa, como se muestra en la fig. No 11; formándose rápidamente en la zo

na periférica una costra sólida "A".

En una segunda fase, se origina en "B" una capa de aire -- entre la costra en curso de solidificación y la pared del -- molde por efecto conjunto de la contracción que experimenta -- el metal solidificado cuando llega en "D" al contacto direc -- to con el agua de refrigeración.

La película de aire formada en "B" que es mala conductora de calor reduce considerablemente los intercambios térmicos entre el metal y el molde, lo que modifica el equilibrio térmico entre el metal aún líquido y el metal de la primera costra solidificada, que se encuentra entonces a una temperatura -- muy similar a la del comienzo de su solidificación.

La costra sufre pues, un recalentamiento que trae consigo la refusión parcial de las juntas de los granos.

El líquido resultante de esta refusión, de composición más -- ó menos cercana a la eutéctica, comienza a exudar en "C" bajo los efectos combinados de la contracción, la presión hidrostática del metal líquido y de las fuerzas capilares que se desarrollan en los canales intergranulares.

Durante esta fase, la costra se ha debilitado considera-

blemente, y se encuentra debido a esto, muy vulnerable a los efectos de rozamiento y de las tensiones de contracción.

En una tercera fase, las exudaciones llegan al contacto con las paredes del molde y del líquido de relleno, lo que incrementa el intercambio térmico entre estos puntos y coagula rápidamente las exudaciones.

Este proceso comienza de nuevo con un cierto desplazamiento, después de que la contracción que experimentan las exudaciones hallan conducido de nuevo a una reducción de los intercambios térmicos.

El período de las exudaciones se revela en la práctica, - sensiblemente proporcional a la altura "h" del metal que llena el molde y tiende a aumentar con la velocidad de colada.

Estas exudaciones resultan claramente indeseables, puesto -- que tienen un contenido anormal de constituyentes de bajo -- punto de fusión, y de porosidades si el metal contiene H_2 , - por lo que pueden ser causa de grietas y ampollas durante la transformación; ó también pueden dar lugar a una disminución de la resistencia a la corrosión.

Muchos métodos permiten limitarlas, y en consecuencia dis

minuyen la importancia de la operación de cepillado del lingote (en la práctica), que resulta costosa y origina pérdidas de materia prima.

El empleo de un molde corto reduce los efectos observados en la zona de las exudaciones, ("C") acercando entre sí -- las zonas "A" y "D"; desgraciadamente esto reduce la profundidad del frente de solidificación y aumenta las dificultades para la realización de un régimen estable de colada.

2.3.5 CASCARA QUE SOPORTA EL LINGOTE

La importancia del molde y el enfriamiento de agua primario sobre la formación de la cáscara que soporta al lingote ha sido ya comentada en el punto anterior.

Existen tres factores los cuáles determinan la posición de dicha cáscara, y son:

- 1.- La contracción misma de la cáscara del lingote.
- 2.- Los esfuerzos térmicos dentro de la cáscara.
- 3.- La contracción en la sección transversal del lingote bajo el molde y los esfuerzos mecánicos asociados con la cáscara.

Si las condiciones de colada son como se muestra en la fig. - No 10-a, con una profundidad de metal tal que la distancia -- significativa de la cáscara ocurre entre los dominios, entonces el recalentamiento de la cáscara del lingote ocurrirá dándonos un aumento en los defectos superficiales.

Lo anterior puede ser ampliamente superado si se utilizan depósitos de metal poco profundos, ó por la reducción de la distancia efectiva de la longitud de enfriamiento por ais-

lamiento térmico de la parte superior del malde. (como se observa en la fig. 10-b)

2.4 ECUACIONES QUE GOBIERNAN LA COLADA CONTINUA

El modelo matemático para la transferencia de calor en colada continua involucra tres partes, que de acuerdo al proceso son:

- 1.- Solidificación en el molde.
- 2.- Solidificación en la zona de las espéras; y
- 3.- Solidificación en la zona de radiación.

Eugene A. Mizikar & J.K. Brimacombe⁽⁷⁾ parten de la ecuación diferencial parcial de transferencia de calor que describe la conducción de calor en un medio en movimiento a una velocidad "U" en la dirección "z".

De aquí el hecho de que el modelo matemático desarrollado se base en una parte horizontal de la sección del producto obtenido desde el menisco del metal líquido en el molde hasta el final del proceso, como se aprecia en la fig. No 13.

Partiendo de la ecuación general para conducción de calor tendremos:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c u \frac{\partial T}{\partial z} - \nabla \cdot [k \nabla T] = 0 \quad \text{----- (1)}$$

El primer término de la ecuación diferencial se refiere a la acumulación de energía; el segundo término nos indica el flujo másico del proceso en un instante determinado, y el -- tercero nos muestra la conducción de calor en un estado no -- estacionario.

Para simplificar la ecuación (1), es necesario hacer las siguientes suposiciones basándonos en el flujo de calor.

- 1.- No existe gradiente de temperatura en el líquido debido a oscilaciones y/o distorsiones del molde.
- 2.- El nivel ó altura del líquido en el molde permanece constante.
- 3.- La conductividad térmica como función de la temperatura, no es tomada en cuenta.
- 4.- La conducción de calor ocurre solamente en la fase normal del molde, y
- 5.- Los límites superior e inferior del molde son adiabáticos.

De acuerdo a la teoría para colada continua, la conducción -- de calor en las direcciones "x" y "y" es mucho mayor que para la dirección "z", por lo que este flujo de calor puede

considerarse despreciable, y la ecuación (1) se reduce a:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T}{\partial y}) \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\therefore \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T}{\partial y}) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{-----} \quad (3)$$

y finalmente: $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho} (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) \quad \text{-----} \quad (4)$

ó bien: $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) \quad \text{-----} \quad (5)$

que es la ecuación de transferencia de calor para el flujo en dos direcciones.

Es natural observar que la extracción de calor de la superficie del producto en el proceso se realiza por diferentes mg

canismos de acuerdo a cada una de las zonas involucradas, las cuáles serán objeto de discusión en puntos siguientes.

También es importante señalar que la extracción de calor en las regiones del molde y las espreas es muy compleja por la formación en el primer caso de un espaciamiento, (capa) entre el molde y la cáscara sólida formada debido a las contracciones de solidificación.

Por tanto, y debido a que este espaciamiento es muy pequeño, la transferencia de calor en esta región no es por conducción sino por radiación.

Uno de los aspectos que se han formulado, es que este espaciamiento no tiene un espesor constante ni en la dirección transversal "x" ó "y", ni en la dirección longitudinal "z" de aquí el hecho de que la velocidad de extracción de calor sea desconocida.

2.4.1 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL MOLDE. (conducción)

Teóricamente, para el proceso de colado continua:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

para las direcciones "x" y "y", considerando a "z" como despreciable:

En otras palabras: $q_x = -K A_x \frac{\partial T}{\partial x}$

y: $q_y = -K A_y \frac{\partial T}{\partial y}$

Además, se tiene información acerca de ecuaciones obtenidas experimentalmente para la transferencia de calor por conducción por parte de Lait, Brimacombe & Weinberg⁽¹⁵⁾, y son

$$q_m = 64 - 5.3 \sqrt{T_m}$$

y: $q_m = 64 - 8 \sqrt{T_m}$

ecuaciones que se utilizan dependiendo del tipo de aleación que se suela.

2.4.2 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS ESPREAS. (convección)

Teóricamente: $q = h A (T_w - T_\infty)$

D.C. Weckman y P. Niessen obtienen las siguientes ecuaciones experimentales para una película de agua en la superficie de un lingote, y cuya disipación de calor evalúan de la siguiente manera:

$$\left(\frac{q}{A}\right) = [-1.67 \times 10^5 + 704 \bar{T}] Q^{1/3} \Delta T$$

$$\left(\frac{q}{A}\right) = [-1.67 \times 10^5 + 704 \bar{T}] Q^{1/3} \Delta T + 20.8 (\Delta T_x)^3$$

$$\left(\frac{q}{A}\right) = 3910 (\Delta T_x)^{2.16}$$

2.4.3 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA ZONA DE RADIACION (radiación)

Teóricamente: $q = \sigma A (T_w^4 - T_s^4)$

Esta ecuación se aplica cuando se trata de cuerpos negros, pero cuando se trabaja con materiales que radian radiación como cuerpo gris tendremos:

$$q = \epsilon F_G \sigma A (T_w^4 - T_s^4)$$

Finalmente, la transferencia de calor total removido - aplicando las tres formas de conducción del calor, y sustituyéndolas en una sola ecuación:

$$-K A \frac{dT}{dx,y} = h A (T_w - T_\infty) + \epsilon F_G \sigma A (T_w^4 - T_s^4)$$

sólido

En la fig. No 15 se observa la localización de los tres tipos de transferencia de calor en el momento de la colada.

SIMBOLOGIA:

ρ = Densidad del material sólido.

μ = Viscosidad.

C = Calor específico del metal sólido.

U = Velocidad de colada. (de extracción)

K = Conductividad térmica. $K = \alpha \rho C$ (BTU/hr °F ft)

α = Difusividad térmica. (ft²/hr)

T = Temperatura. (°F)

t = Tiempo. (hr)

A = Area considerado. (ft²)

q_m = Flujo de calor instantáneo bajo el menisco del metal líquido. (W/m²)

T_m = Tiempo de residencia del metal en el molde. (seg.)

h = Coeficiente de transferencia de calor. (BTU/hr °F ft²)

T_w = Temperatura de la superficie del metal.

T_{∞} = Temperatura del fluido.

T_s = Temperatura de los alrededores.

σ = Constante de proporcionalidad de Stefan-Boltzman.
($5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

F_e = Factor por la emisividad = 0.8 para superficies oxidadas.

F_G = Factor de corrección debido a la geometría del material producido.

III.- EXPERIMENTACION

3.1 PREPARACION DE LA ALEACION:

La aleación se prepara a partir de Zn alto grado, chatarra de Al y alambre de Cu para tener aproximadamente la siguiente composición química.

ELEMENTO	Zn	Al	Cu
%	77	21	2

debiendo considerarse las pérdidas que se tienen por oxidación y escoria.

La fundición de la aleación se realiza en un crisol de arcilla por medio de un horno de atmósfera libre a 700 °C; y los pasos para la fusión son los siguientes, de acuerdo a la técnica de J. Negrete. (8)

- 1.- Primero se funde la chatarra de Al; siendo ésta de perfiles estructurales
- 2.- Cuando ya esta fundida la carga de Al, se añade rápidamente el Cu para evitar su oxidación y la pobre difusión del mismo en la aleación líquida.
- 3.- Por último, se agrega el Zn conservando la temperatura del horno en 700 ° C.

El hecho de agregar este elemento como último paso de la fusión, es con objeto de evitar lo más posible su vaporización.

Una vez que la carga esta totalmente fundida, se agita con una varilla de grafito, (ó un trozo de madera, el cuál fué utilizado en este estudio con la finalidad de homogeneizar y - desoxidar la aleación) después de lo cuál se procede a vaciarla, (para este caso) en una lingotera cilíndrica de 15 cm. de diámetro.

Cuando la aleación ha solidificado y se le han practicado los análisis químicos necesarios, (para asegurar estar dentro de la composición química deseada) el material es cortado en pequeños trozos para su fusión posterior y realización de los ensayos.

La aleación sólida es introducida en un crisol para aproximadamente 2 kg. pudiendo ser éste de carbón-grafito ó arcilla aunque se recomiendan los primeros por su mayor resistencia a la temperatura, ya que en los de arcilla, aunque es aceptable esa propiedad, sufren agrietamientos; inclusive cuando son dejados enfriar en el horno, cosa que no sucede con los de grafito.

El crisol lleno con el material de estudio es introducido en el horno, (tipo mufla con un intervalo de 0 - 1000 °C) y se le va aumentando la temperatura paulatinamente con la finalidad de evitar posibles choques térmicos que perjudican al crisol, pudiendo producirse un agrietamiento total.

Cuando la aleación ha alcanzado el estado líquido, se le van agregando trozos de material sólido hasta que la capacidad del crisol lo permita; y cuando esto sucede, se procede a homogeneizar y desoxidar nuevamente hasta que la reacción que se verifica pase de violenta a calmada, y la formación de humos blancos sea mínima, hecho lo cuál se realiza el desescoriado.

Después de esta última operación, debe hacerse la colada lo más rápidamente posible, pues es de suma importancia para el control de la temperatura real de colada.

Inclusive, es conveniente que según la temperatura de colada que se ensaya, calentar por arriba de ésta entre 15 y 20 ° C para compensar así, la pérdida que se tiene en temperatura durante el acarreo del crisol hasta la máquina de colada.

Inmediatamente antes de la colada, se deben haber hecho -

los ajustes necesarios en los dispositivos de la máquina, y que son:

- 1.- Tener el horno de colada (cabeza caliente) a la temperatura pre-determinada.
- 2.- Hacer llegar el falso fondo (extractor y enfriamiento -- primario) hasta la base del molde, procurando que no queden aberturas considerables por donde pudiera derramarse el metal líquido.
- 3.- Asegurar el suministro de agua y hacer las conexiones -- pertinentes de las mangueras al enfriamiento secundario.
- 4.- Haber hecho la lubricación del molde.

La lubricación del molde puede ser hecha con cualquiera de los lubricantes mencionados anteriormente, dependiendo de resultados obtenidos experimentalmente con el tipo de aleación de que se trate.

De los productos obtenidos de las coladas, que satisfagan los requerimientos en longitud y acabado superficial deberán elaborarse probetas para ensayos de tensión, (fig. 12) según normas existentes para materiales no ferrosos; así como realizar pruebas de maquinabilidad (al torno y fresa), metalografías, análisis de dureza y determinación de la porosidad.

dad por unidad de área.

3.2 TEMPERATURAS DE COLADA UTILIZADAS

Las temperaturas de colada a que fué ensayada la aleación se determinó de acuerdo al intervalo de solidificación de la misma, que es de 500-600 °C, y por este motivo, la temperatura de colada mínima fué de 500 °C, asegurando así posibles problemas de solidificación en el crisol y el horno de colada. (cabeza caliente)

Las temperaturas se fueron aumentando a intervalos de 25 °C tomando como base la mínima mencionada hasta llegar a los 600 °C.

Cabe indicar, que la variación de las temperaturas de colada fué realizada manteniendo fijas las demás variables, -- que fueron: temperatura del horno de colada, temperatura del agua de enfriamiento y velocidad de colada.

3.3 VELOCIDADES DE COLADA UTILIZADAS

La velocidad de colada fué determinada de manera empírica, (aún cuando se contaba con información respecto a otras aleaciones y metales puros) hasta que se lograron obtener productos con longitudes aceptables, (15-20 cm) para la

realización de las pruebas posteriores.

De esta manera se determinó que la mínima velocidad posible es de 1.69 mm/seg sin llegar a tener problemas de solidificación en el horno de colada, (aún cuando este ha sido precalentado entre un rango de temperaturas de 125 a 200 °C) ó rotura del producto sólido por abajo del molde e inclusive dentro de él debido a una diferencia considerable de temperaturas entre el metal líquido y el producto sólido.

Posteriormente, la velocidad de extracción del producto fué aumentándose a intervalos de 0.85 - 1.27 mm/seg hasta llegar a 3.81 mm/seg siempre empezando con la velocidad mínima hasta llegar a la máxima deseada para cada caso.

Por arriba de los 3.81 mm/seg no se logró llegar al equilibrio entre la velocidad de colada y la disipación de calor del metal líquido, debido principalmente a las condiciones del equipo; (diseño del mismo, por ejemplo el sistema de enfriamiento) por lo que las pruebas que se realizaron a velocidades de 4.84 y 5.86 mm/seg la aleación se derramaba por no tener el tiempo suficiente para formar la cáscara que la soportaría.

3.4 MOLDE UTILIZADO

Inicialmente se pensó en utilizar dos formas de moldes, uno cuadrado y el otro cilíndrico, más la importancia de realizar con éxito este trabajo se enfocó hacia estudios posteriores de laminación de los productos aquí obtenidos, por lo que el molde cilíndrico no fué ensayado.

A la fecha, se han logrado obtener en el Instituto de Investigaciones en Materiales, láminas y tornillos maquinados de los productos obtenidos en este estudio. En la fotografía No 10, se muestra el molde utilizado, y la fig. No 6a-b y c nos proporciona sus dimensiones y disposición además del inserto de grafito.

IV.- RESULTADOS

4.1. ANALISIS QUIMICO:

Se realizaron dos tipos de análisis químico; uno con el microscopio electrónico de barrido de 200 kv. (S.E.M.), y el otro por medio de un análisis calorimétrico. (A.T.D.)

A) MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO

Para el análisis con el microscopio electrónico de barrido por medio de su analizador KEVEX, se utilizó un corte transversal de un producto el cuál fué pulido a espejo, arrojando los siguientes resultados:

a) DISTANCIA = 100 micras

ELEMENTO	% EN PESO
Zn	77.42
Al	balance
Cu	3.04

b) DISTANCIA = 1000 micras

ELEMENTO	% EN PESO
Zn	75.54
Al	balance
Cu	2.81

c) DISTANCIA = 3 mm

ELEMENTO	% EN PESO
Zn	74.64
Al	balance
Cu	1.98

d) DISTANCIA = 6 mm

ELEMENTO	% EN PESO
Zn	74.22
Al	balance
Cu	2.12

e) DISTANCIA = 12 mm

ELEMENTO	% EN PESO
Zn	74.73
Al	balance
Cu	1.40

f) DISTANCIA = 15 mm

(línea de centro)

ELEMENTO	% EN PESO
Zn	73.98
Al	balance
Cu	2.42

Resumiendo los datos anteriores, se obtienen los promedios siguientes:

ELEMENTO	% EN PESO PROMEDIO
Zn	75.10
Cu	2.30

Todas las mediciones fueron hechas a 1500 x. En la gráfica No 2 se muestran los resultados tabulados.

B) ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

Por éste método de análisis se obtuvo información respecto a las temperaturas en las que el Zincolco tiene sus puntos de transformación.

De esta manera, la aleación nos muestra un inicio en su transformación a 281.5 °C; una transformación intermedia a los 402 °C, y finalmente la máxima transformación ocurre a 486 °C. Lo anterior se muestra en la gráfica No 3.

4.2 DUREZAS

Las durezas fueron tomadas con un Durómetro marca Wilson, utilizando un penetrador de bola de diámetro 1/16", y una carga de 100 kg.

Con objeto de tener la mayor cantidad de datos, de cada producto obtenido se corto una muestra de 1 cm. de espesor aproximadamente, y se le tomó dureza diagonal y transversalmente a cada 4 mm. partiendo del centro, tal como se indica en la fig. No 14.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla No 4.

4.3 POROSIDADES

Se determinó la porosidad en el material, (poros/mm²) así como los diámetros menor y mayor de los mismos, tomando como representativas tres muestras de los productos obtenidos. Los resultados se observan en las tablas No 5, 6 y 7; y en las fotomicrografías No 1, 2 y 3 se muestran las porosidades resultantes de dichos productos a distintos aumentos.

4.4 MICROESTRUCTURAS

Las observaciones de las metalografías fueron hechas con el microscopio electrónico de barrido de 20 kv. del Instituto de Investigaciones en Materiales, y con el mismo fueron tomadas las fotomicrografías.

Como era de esperarse, la microestructura de los productos resultó ser dendrítica, teniendo como fases α y β del diagrama de equilibrio Zn-Al.

Lo anterior es mostrado en las fotomicrografías No 4 y 5, las cuáles son equivalentes a la microestructura bru

ta de colada, aún cuando en este proceso, (colada continua) por efecto del enérgico enfriamiento del material, se observa una pequeña diferencia, apenas perceptible al compararla con la fotomicrografía No. 6.

Las dendritas están formadas por una fase α rica en Al, y que de acuerdo al diagrama de fases, (gráfica No.4) es la primera en solidificar, apareciendo ésta oscura al microscopio; en contraste con la fase β rica en Zn que se observa blanca.

4.5 PROPIEDADES MECANICAS

De los productos obtenidos se maquinaron tres probetas de cada uno, una central y dos laterales; esto con la finalidad de obtener mayor información en las pruebas, y detectar en su mayoría posibles variaciones en las propiedades. Los resultados de los ensayos de tensión de las probetas se muestran en las tablas No. 8 y 9; y la tabla No. 10 nos proporciona las propiedades resumidas de ambas probetas. (centrales y laterales)

El promedio general de las propiedades mecánicas está dado en la tabla No 11.

Las condiciones de la máquina universal en los ensayos de tensión fueron las siguientes:

VELOCIDAD DEL CABEZAL = 0.5 mm/min

VELOCIDAD DE LA GRAFICA = 10 mm/min

4.6 PRUEBA DE MAQUINABILIDAD

Se ensayaron tres muestras correspondientes a los productos 4, 5 y 6. Las pruebas fueron realizadas en los talleres del Instituto de Investigaciones en Materiales por personal calificado del mismo, y consistieron en corte de viruta en un torno y una fresadora.

Los resultados obtenidos se muestran en las fotografías No 11, 12, 13, 14, 15 y 16, y como puede apreciarse, el arranque, forma y tamaño de la viruta maquinada corresponde al normal para materiales no - ferrosos.

V.- DISCUSION DE RESULTADOS

1.- POROSIDADES:

Es esta característica uno de los factores más determinantes en los resultados de las propiedades mecánicas, pues se relaciona de manera directa con las mismas.

Al comparar los datos obtenidos de la cantidad de poros por unidad de área contra propiedades como carga de cedencia, -- carga máxima, tensión de cedencia, tensión máxima y velocidad de colada, observamos que para todas sigue un mismo patrón, determinado por la menor ó mayor cantidad de poros en el material, como se aprecia en las gráficas No 5, 6, 7, 8 y 9.

A su vez, esa cantidad de poros se ve totalmente determinada para una misma temperatura de colada por la velocidad de extracción de los productos, como se puede observar en las tablas No 5, 6 y 7.

Por lo anterior, cabría esperar, el mismo resultado para las demás temperaturas de colada ensayadas al aumentar la velocidad de extracción.

La porosidad, que es un efecto de los gases atrapados du

rante la solidificación, y lo cuál es altamente indeseable - en los productos metálicos, no se pudo controlar y/o mejorar por carecer de algún tipo de desgásificante, (como pastillas de cloro por ejemplo) y en cuyo caso se hubiera eliminado en su mayoría este defecto.

La gran cantidad de poros fué el resultado de la utilización de trozos de madera durante la homogeneización y desoxidación.

De los resultados obtenidos, se puede observar que la porosidad es inversamente proporcional a la velocidad de colada, - pues al aumentarla disminuye considerablemente la cantidad - de poros resultante, aunque con esto se incrementa el tamaño de los mismos.

Lo anterior es mostrado en las tablas No 5, 6 y 7; de donde se determina también, que el tamaño de los poros es afectado de manera directamente proporcional por la velocidad de colada, ya que al aumentarla, aumenta también el tamaño de - los mismos.

Como consecuencia, a menores velocidades de colada se produce una gran cantidad de poros, pero de tamaños pequeños.

De haber contado con un buen desgasificante para el control de la porosidad, podríamos afirmar que propiedades como la tensión de fluencia, tensión máxima, elongación y reducción de área se verían sencillamente mejoradas bajo esta condición; y como observación mencionaremos que hubo dos casos en que en el ensayo de tensión las probetas rompieron fuera de marcas debido a la presencia visible de poros.

2.- ANALISIS QUIMICO

De acuerdo a los resultados del primer método utilizado (S.E.M.) podemos observar que existe una diferencia en cuanto al análisis químico pretendido y el obtenido.

Para Zn y Cu respectivamente, dicha desviación es de --- 2.47 y 15 %; la cuál para el Zn podemos considerar que no es tan drástica, pero para el caso del Cu tal composición fué determinante para el resultado en propiedades mecánicas obtenidas, ya que como Torres, Negrete y Valdés⁽¹⁶⁾ reportan en su investigación, adiciones de Cu hasta del 7 % conferían mejores propiedades mecánicas para este tipo de aleación.

Aún así, los resultados obtenidos se asemejan bastante-

a los reportados por otros autores, por lo que considero que el objetivo final de este estudio se logró en gran porcentaje.

De la gráfica No 2, de los datos de porcentaje en peso y por las condiciones de operación ensayadas, se observa claramente que en el proceso se tuvo segregación lateral, lo cual para el proceso de colada continua se puede considerar como normal.

Por el segundo método de análisis practicado, (A.T.D.)- la aleación Zinalco nos muestra un inicio en su transformación a 281.5 °C, una transformación intermedia a los 402 °C y finalmente la máxima transformación ocurre a 486 °C.

3.- DUREZAS

Por la manera como se checó la dureza, se puede observar que existe en general, una tendencia a disminuir del centro hacia las orillas, hecho el cual se explica por el efecto de la segregación mostrada en el análisis químico, aunque hubo productos en los que la dureza disminuye en el primer punto, aumentando en el siguiente y visceversa, esto con una diferencia de entre uno y dos grados de dureza HRB.

Esta tendencia de la dureza a disminuir hacia la periferia, se puede eliminar en gran parte practicándole a los productos un tratamiento térmico de homogeneización, con lo que se obtendrían valores de dureza más homogéneos en toda la sección.

Aún así, los valores mínimo y máximo que fueron de 61.3 y 76.2 HRB respectivamente, y el promedio general que es de 71.3, nos muestra que estamos en el rango de durezas más comúnmente obtenida en otros trabajos de este tipo; como es el caso de C. Domínguez (9) quien obtiene 63.08 como promedio general para muestras de enfriado lento, y 75.54 también como promedio general para muestras templadas.

Como puede observarse contra nuestros resultados, ambos son muy parecidos, aunque el confiere un tratamiento térmico de temple a sus muestras de enfriado lento.

Lo anterior se encuentra en desacuerdo con los resultados reportados por G. Torres, (10) quien obtiene 55 HRB para muestras sin Mg, y en cuyo caso la diferencia es muy significativa. (aunque su proceso es de colada tradicional)

4.- MICROESTRUCTURAS

Como se esperaba, las microestructuras obtenidas están formadas por dendritas constituidas por una fase α que es rica en Al y se observa oscura al microscopio; y de otra rica en Zn que aparece como una fase clara. (~~P~~)

Lo anterior es mostrado en las fotomicrografías No 4, 5, 6 y 7. Las fotomicrografías No 8, 9 y 10 nos muestran estructuras de perlita fina, perlita gruesa no desarrollada y en el líquido interdendrítico, más perlita gruesa sin transformarse completamente, seguramente por el efecto del energético enfriamiento sufrido durante la colada. Este detalle específico se aprecia ampliamente en las fotomicrografías No 11 y 12.

Las microestructuras son en general, muy semejantes a las encontradas en otros estudios para este tipo de aleación.

5.- PROPIEDADES MECANICAS

Como ya fué mencionado, las propiedades mecánicas obtenidas fueron altamente influenciadas por la cantidad de po-

ros existentes, sin embargo, al comparar nuestros resultados de $\sigma_{ced.} = 26.65 \text{ kg/mm}^2$ (261.17 MPa) y $\sigma_{m\acute{a}x.} = 32.02 \text{ kg/mm}^2$ (313.8 MPa) con los reportados por otros autores, observamos que se encuentran en rangos muy parecidos, e inclusive mayores, como se muestra a continuaci3n.

- a) MARSHALL (11) ----- $\sigma_{ced.} = 30 \text{ kg/mm}^2$ (294 MPa)
eutectoide enfriado al aire
- b) YOSHINDEN & TAKAO (12) -- $\sigma_{ced.} = 18 \text{ kg/mm}^2$ (176.4 MPa)
realizada a 30 ° C
- c) BALLIET (13) ----- $\sigma_{ced.} = 33 \text{ kg/mm}^2$ (323.4 MPa)
 $\sigma_{m\acute{a}x.} = 36.2 \text{ kg/mm}^2$ (354.76 MPa)
enfriado lento
- d) UGALDE (14) ----- $\sigma_{m\acute{a}x.} = 31.5 \text{ kg/mm}^2$ (308.7 MPa)

e) DOMINGUEZ (9) $\sigma_{ced.} = 15-20 \text{ kg/mm}^2 \text{ (147-196 MPa)}$

$\sigma_{m\acute{a}x.} = 20-30 \text{ kg/mm}^2 \text{ (196-294 MPa)}$

enfriado lento

$\sigma_{ced.} = 20-30 \text{ kg/mm}^2 \text{ (196-294 MPa)}$

$\sigma_{m\acute{a}x.} = 30-40 \text{ kg/mm}^2 \text{ (294-392 MPa)}$

templadas en agua desde $350 \text{ }^\circ\text{C}$

PROMEDIOS GENERALES OBTENIDOS EN ESTE TRABAJO:

$\sigma_{ced.} = 26.65 \text{ kg/mm}^2 \text{ (261.17 MPa)}$

$\sigma_{m\acute{a}x.} = 32.02 \text{ kg/mm}^2 \text{ (313.8 MPa)}$

enfriamiento energico desde $500 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$

Por lo que basándonos en la información anterior, podemos decir, que los resultados por nosotros obtenidos son bastante aceptables.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

6.- MAQUINABILIDAD:

De los resultados obtenidos en cuanto a propiedades mecánicas ya discutidas, y en general para materiales no ferrosos, la maquinabilidad no presentó problema alguno.

Para nuestro caso, y como se esperaba; en las pruebas realizadas al torno y a la fresa, el arranque de viruta a los productos fué realizado satisfactoriamente, y a juicio del operador de las máquinas, el comportamiento del material al ser maquinado fué excelente, lo cuál es congruente con la dureza promedio de los productos, que es de 71.3 HRb.

CONCLUSIONES.-

PROPIEDADES MECANICAS:

El promedio obtenido en las propiedades mecánicas son:

$$\sigma_{\text{cedencia}} = 26.65 \text{ kg/mm}^2 \quad (261.17 \text{ MPa})$$

$$\sigma_{\text{máxima}} = 32.02 \text{ kg/mm}^2 \quad (313.80 \text{ MPa})$$

$$\text{ELONGACION} = 3.67 \%$$

$$\text{REDUCCION DE AREA} = 9.35 \%$$

$$\text{DUREZA} = 71.3 \text{ HRb}$$

- Las durezas mínima y máxima que fueron 61.3 y 76.3 HRb respectivamente, son resultado del efecto producido por la segregación lateral durante el proceso de colada y solidificación.

Asimismo, el promedio general de 71.3 HRb es bastante satisfactorio si consideramos que es una dureza obtenida del proceso de colada como tal, sin ningún tratamiento adicional que pudiera modificarla.

- La TEMPERATURA DE COLADA para el Zinco se encuentra en el intervalo comprendido entre 500 y 600 ° C de acuerdo con las experiencias obtenidas

- La VELOCIDAD DE COLADA para el Zincolco, (en las condiciones aquí ensayadas) se encuentra en el intervalo de 1.69 a 3.81 mm/seg.; dentro del cuál se asegura no tener problemas en cuanto a solidificación en el horno de colada, ó derrame de la aleación por debajo del molde.
- La MAQUINABILIDAD de los productos obtenidos es excelente, de lo cuál habla la calidad alcanzada, (acabado superficial) puesto que se han logrado manufacturar laminas y tornillos a partir de ellos.

ANALISIS QUIMICO:

Para el caso del Al y el Cu, existe una desviación en cuanto al análisis químico pretendido de 2.47 y 15 % respectivamente, donde para el Al podría considerarse como no tan drástica; no así para el Cu, lo que debe haber influido significativamente en las propiedades mecánicas resultantes.

La aleación muestra un inicio en su transformación a 281.5 °C, una transformación intermedia a 402 °C, y una máxima transformación a 486 °C.

4 MICROESTRUCTURAS:

Las microestructuras obtenidas están constituidas por dendritas; formadas básicamente por colonias de perlita - fina, perlita gruesa en menor proporción, y en el líquido interdendrítico, un porcentaje mínimo de perlita no desarrollada.

Asimismo, las dendritas están compuestas por las fases α y β de acuerdo al diagrama de equilibrio Al-Zn, la primera rica en Al que se revela clara al microscopio; y la fase β rica en Zn que aparece oscura.

CONCLUSIONES SECUNDARIAS INHERENTES A LA INVESTIGACION:

De acuerdo a los resultados obtenidos tanto del diseño como del funcionamiento de la máquina de colada, se puede -- concluir lo siguiente:

- 1.- El funcionamiento de la máquina de colada es bastante-satisfactorio, si consideramos que se trata de un sistema electromecánico en lugar del hidráulico convencional; lo cuál nos permite tener una mayor precisión en el control de las velocidades de extracción.
- 2.- Fácil reproducibilidad de los experimentos debido a lo expuesto en el punto anterior.
- 3.- Economía en la fabricación de la máquina, debido a que se puede fabricar en cualquier taller mecánico.

SUGERENCIAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.-

- 1.- Realizar un enérgico desoxidado con alguno de los productos utilizados a nivel industrial antes de cada colada, de tal manera que se elimine lo más posible la probabilidad de obtener productos con poros.
- 2.- Realizar un control químico más riguroso en cuanto a la composición de la aleación, lo cual redundará en propiedades mecánicas y metalúrgicas que reflejen fielmente las características del Zinalco.
- 3.- Someter los productos obtenidos a un tratamiento térmico de homogenización, con la finalidad de igualar las diferencias estructurales obtenidas de primera instancia. Asimismo, correr pruebas antes y después del tratamiento, para poder estar en posición de comparar los resultados.

Realizar también un tratamiento térmico de temple, obtener resultados y compararlos con los obtenidos de pruebas hechas con y sin homogenizado y temple.

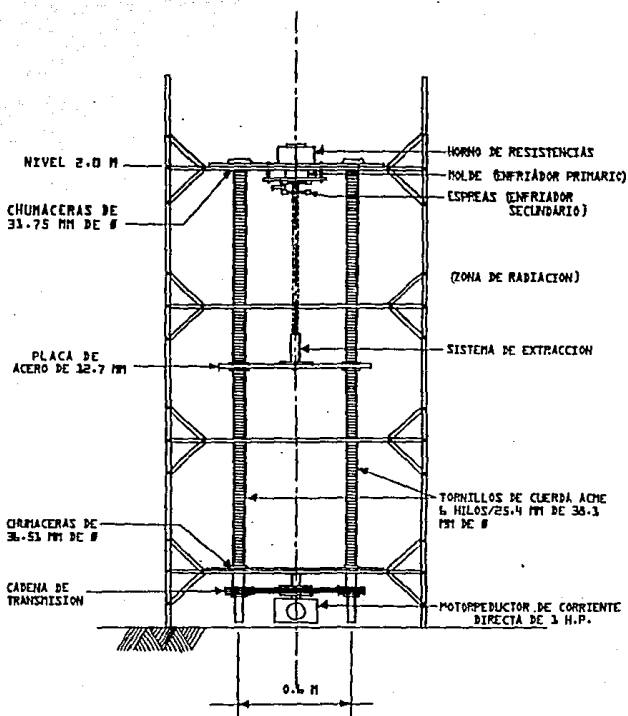


FIG. No. 1 VISTA GENERAL DE LA CONSTRUCCION DE LA MAQUINA DE COLADA CONTINUA

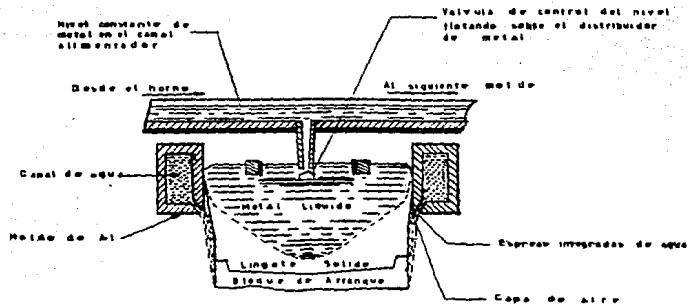
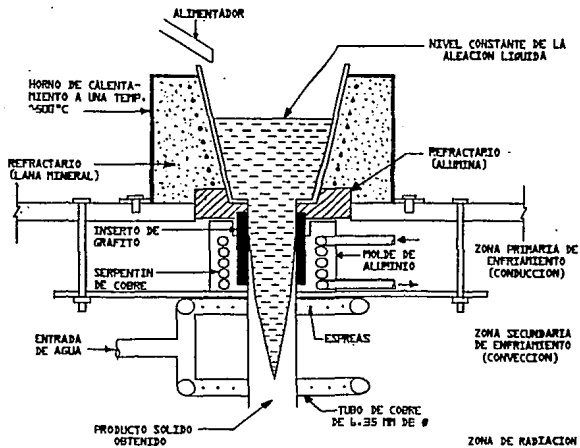
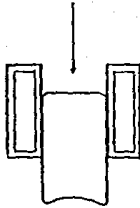


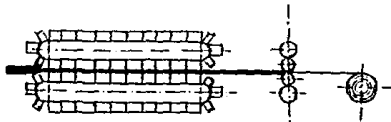
FIG No 2 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA COLADA CONTINUA VERTICAL COMO SE PRACTICA INDUSTRIALMENTE



**FIG. No. 3 ARREGLO DE LA MAQUINA DE COLADA
 UTILIZADA EN ESTE ESTUDIO**

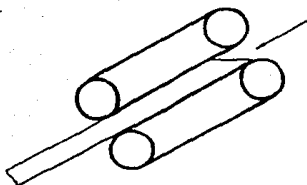


a) molde fijo sin fondo



b) molde dividido longitudinal viajero y desdoblante

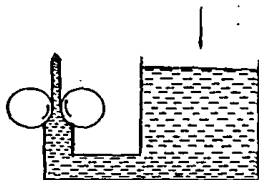
FIG. No 4 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE COLADA CONTINUA DE ACUERDO AL MOLDE UTILIZADO



c) molde formado por dos cintas sin fin
y un rodillo laminador



d) molde formado por una cinta sin fin
y un rodillo laminador



e) molde formado por dos rodillos
guías y laminadores

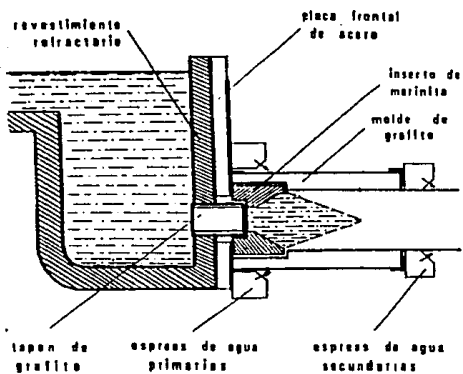
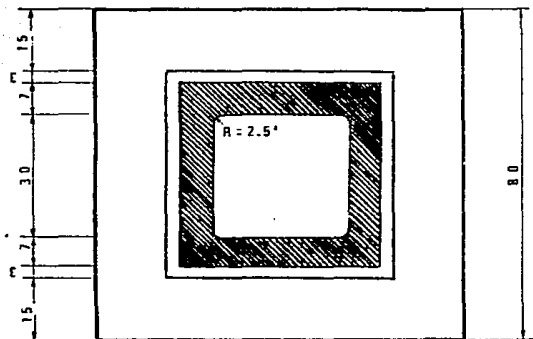
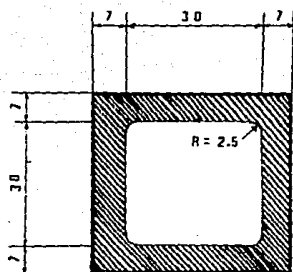


FIG. No 5 VISTA ESQUEMATICA DE LA DISPOSICION DEL MOLDE UTILIZADO POR Reynolds Metal Co. PARA LA COLADA HORIZONTAL POR D. C.



ACOT. EN mm

FIGURA No. 6-a: Dimensiones del molde con inserto de grafito.



ACOT. EN mm

FIGURA No. 6-b: Dimensiones del inserto de grafito.

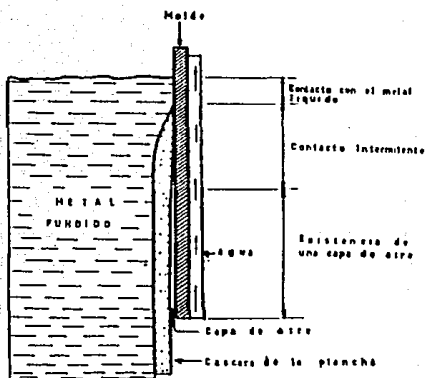


FIG. No. 7 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA INTERFASE MOLDE - PRODUCTO COLADO

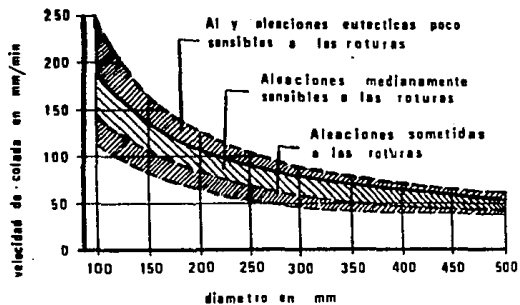


FIG. No 8 VELOCIDAD DE COLADA EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL LINGOTE Y DEL TIPO DE ALEACION

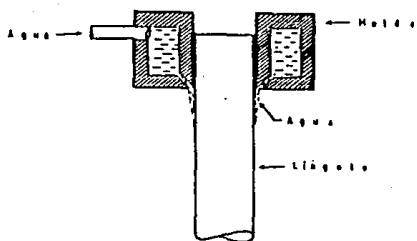
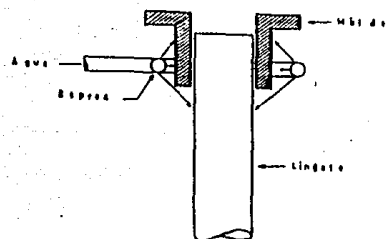
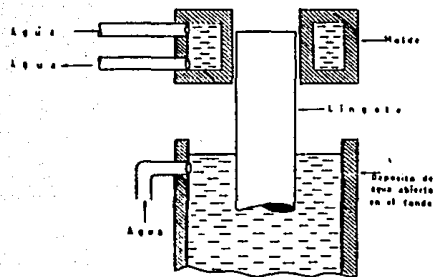
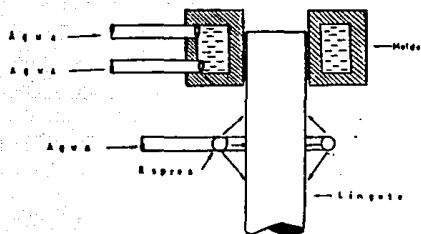


FIG. No 9 DISTINTOS TIPOS DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO UTILIZADOS EN COLADA CONTINUA



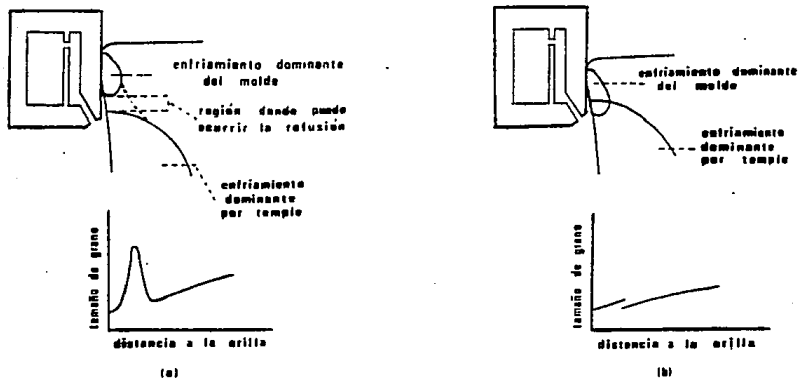


FIG. No. 10 (a) SISTEMA DE COLADA ABIERTO OPERADO CON UN ALTO FRENTE DE SOLIDIFICACION .
 CONDICION QUE ORIGINA DEFECTOS TALES COMO AMPOLLAMIENTO Y BANDAS
 DE GRANO GRUESO .
 (b) SISTEMA DE COLADA ABIERTO OPERADO CON BAJO FRENTE DE SOLIDIFICACION .

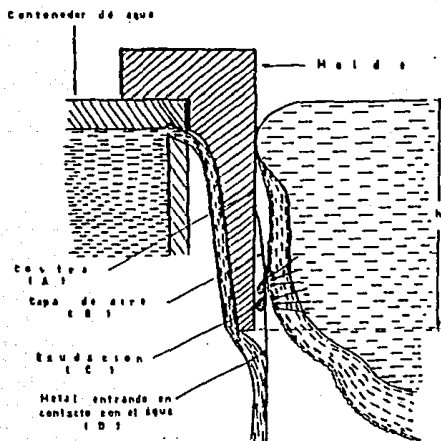


FIG.No.11 EFECTO DEL ENFRIAMIENTO SOBRE EL MOLDE LA FORMACION DE LA CASCARA Y EL PRODUCTO COLADO

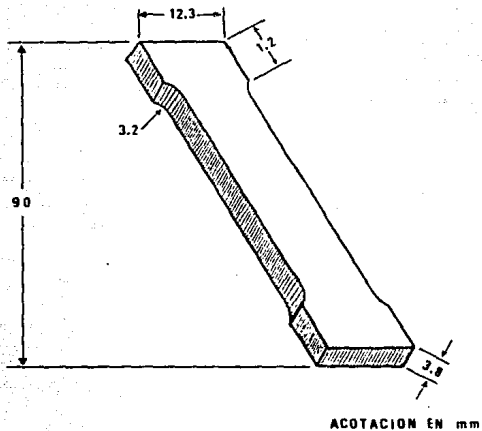


FIGURA No. 12: Probeta utilizada en los ensayos de tensión, según norma ASTM E8-57T

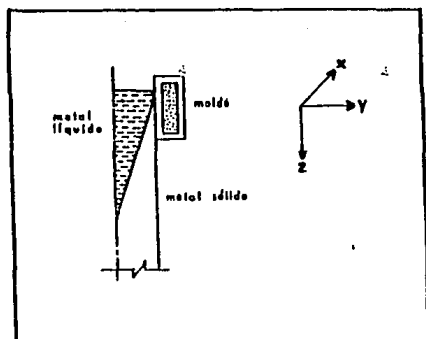


FIG. No 13 TRANSFERENCIA DE CALOR EN COLADA CONTINUA

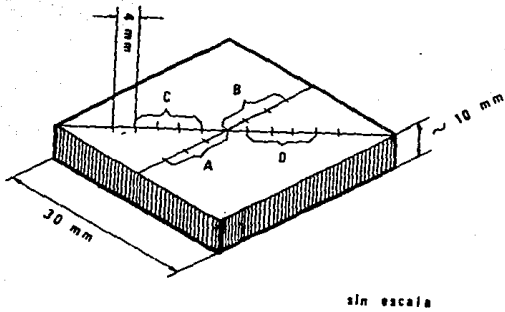


FIGURA No. 14: Forma en que se tomó la dureza, transversal y diagonalmente.

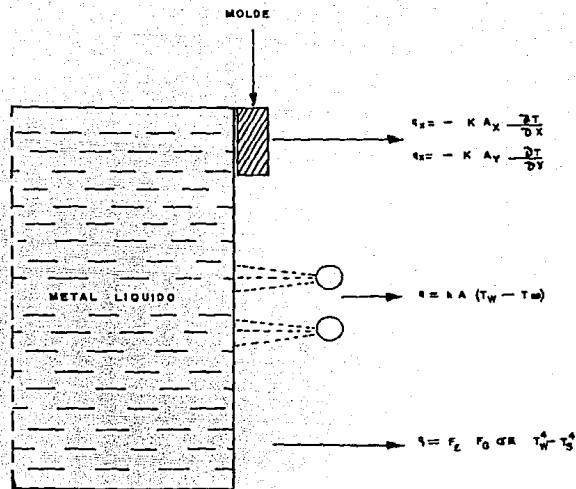


FIGURA No. 15: Localización de los tipos de transferencia de calor en colada continua. (conducción, convección y radiación)

PROPIEDAD	GRAFITO "A"	GRAFITO "B"
Densidad (gr/cm ³)	1.66	1.66
Módulo elástico (kg/mm ²)	630	590
Resistencia a la compresión (kg/mm ²)	4.1	4.2
Resistividad eléctrica (ohm/cm)	11×10^{-4}	18×10^{-4}

TABLA No. 1 PROPIEDADES FISICAS DE 2 TIPOS DE
GRAFITO UTILIZADOS EN COLADA CONTINUA

TIPO DE MAQUINA	EJEMPLO	PRODUCTOS OBTENIDOS	SECCION TRANSVERSAL MAXIMA (mm)	ESPESOR MAXIMO (mm)	VELOCIDAD DE COLADA (m/min)	MAXIMO V.M. EN ALEACIONES AL Mg	PRODUCTOS OBTENIDOS
POLEA Y BANDA METALICA	PROPRZI	BARRA Y VARILLA	—	—	—	—	CONDUCTORES ELECTRICOS
"	RIGAMONTI	TIRAS ANCHAS Y GRUESAS	250	18-20	4-7	6.2	—
"	ALBERT. MANN (WELLMAN ENG.)	TIRAS DE MEDIANO ESPESOR	100-400	12-30	—	—	CASQUILLOS Y PRODUCTOS DE EXTRUSION
"	PECHMERY LDOCK	—	308	18-20	—	2 APROX.	—
2 BANDAS BANDAS METALICAS	HAZELETT	TIRAS ANCHAS Y GRUESAS	1800	18-40	8-9	2 APROX.	LAMINAS PARA CONSTRUCCION
BLOQUES ENRIADORES ARTICULADOS	HUNTER-DOUGLAS	TIRAS DE MEDIANO ESPESOR	280-400	28	1.8 APROX.	5.8	TIRAS PARA PERSIANAS
"	ALUMINISE CASTER II	TIRAS ANCHAS Y GRUESAS	1700	15-40	2-5	5	HOJALATA
2 RODILLOS	HUNTER ENG.	TIRAS ANCHAS Y DELGADAS	2000	7	0.8-1.1	2 APROX.	—
"	PECHMERY COOULLARD	"	1500	7-12	0.8-1.0	4.5	—
"	ALUMINISE CASTER I	"	1700	8-12	0.8-1.2	—	—
"	HARVEY MANTIN MARITTAI	"	1800	7	0.8-1.5	2 APROX.	—
"	U.S.S.R.	"	1800	8-8	—	—	—

TABLA No. 2 PROCESOS DE COLADA CONTINUA QUE EMPLEAN MOLDES MOVILES

METAL BASE DE LA ALEACION	TAMAÑO DEL LINGOTE	MOLEDE UTILIZADO	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	METODO DE VACIADO Y DISPOSITIVOS	VELOCIDADES DE COLADA	CARACTERISTICAS ESPECIALES	OBSERVACIONES
ZINC	PLACAS 48 PULG. DE ESPESOR Y TOCHOS 40 PULG. DE DIAMETRO	A COBRE O SUS ALEACIONES B ALEACIONES BASE ALUMINIO	MOLEDE ENFRIADO CON AGUA POR MEDIO DE ESPRESAS.	VACIADO POR GRAVEDAD DESDE LA CUCHARA DE COLADA O DESDE EL HORNO.	2-8 PULG./MIN PARA BILLETES DE 8-10 PULG. DE DIAMETRO.		USADO PRINCIPALMENTE PARA LA COLADA DE PLACAS O TOCHOS DE "ZINACK" Y TOCHOS DE ZINC ALTO BRASO. LAS TÉCNICAS DE COLADA Y EL DISEÑO DE LAS MAQUINAS SON BASICAMENTE LAS MISMAS QUE LAS USADA PARA LA COLADA DEL ALUMINIO.
ALUMINIO	PLACAS 48 PULG. DE ESPESOR Y TOCHOS 30 PULG. DE DIAMETRO	A COBRE O SUS ALEACIONES B ALEACIONES BASE ALUMINIO C1 HIERRO COLADO.	A) MOLEDE ENFRIADO CON AGUA POR MEDIO DE ESPRESAS. B) MOLEDE ENFRIADO CON AGUA Y ENFRIAMIENTO TOTAL EN UN TANQUE DE AGUA.	VACIADO POR GRAVEDAD DESDE EL HORNO CON TRANSMISORES PARA OXIDOS Y DISTRIBUIDOR DEL NIVEL DE METAL EN EL MOLEDE.	2-8 PULG./MIN PARA TOCHOS DE 8-12 PULG. DE DIAMETRO USANDO MOLDES CORTOS Y DE 3-10 PULG. PARA TOCHOS DE TAMAÑO SIMILAR USANDO MOLDES LARGOS. (12 PULG.)	EN EL PROCESO SEMI-CONTINUO EL BLOQUE QUE CIERRA EL MOLEDE (EXTRACTOR Y/O PALCO FOSDOJ) PUEDE TENER DISPOSITIVOS PARA ABRASTRAR EL LINGOTE HACIA ABAJO. LUBRICACION O VIBRACION EN EL MOLEDE PUEDE SER USADA PARA MEJORAR LA SUPERFICIE DEL LINGOTE.	LA LONGITUD DE LOS MOLDES USADOS VARIAN DE 3 A 12 PULGADAS. LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AGUA VARIA DESDE 20 A 80 GALONES/MIN. PARA TOCHOS DE 4 A 12 PULGADAS DE DIAMETRO. LA PRESION DEL AGUA ES DE 2 A 4 ATM. LOS PROCESOS ALCOA, V.L.W. Y JUNGHANS SON LOS MAS UTILIZADOS.
MAGNESIO	COMO LOS DE ALUMINIO	COBRE O SUS ALEACIONES	COMO LOS DE ALUMINIO.	A) VACIADO POR GRAVEDAD B) SUCCION DESDE EL HORNO COMO LOS DE ALUMINIO	2-8 PULG./MIN PARA TOCHOS DE 8 A 12 PULG. DE DIAMETRO.	COMO PARA LOS DE ALUMINIO. LOS MOLDES PUEDEN SER ABIERTOS O CERRADOS PARA MANTENER UNA ATMOSFERA DE SO ₂ (REDUCTORA)	COMO PARA ALUMINIO. LOS PROCESOS ALCOA Y V.L.W. SON LOS PRINCIPALMENTE UTILIZADOS.
COBRE	COMO LOS DE ZINC	A) COBRE O SUS ALEACIONES B) GRAFITO	MOLEDE ENFRIADO POR AGUA CON O SIN ESPRESAS.	A) SUCCION DESDE EL HORNO C) MOLEDE COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO.	1-2 PULG./MIN. EN LOS DE SIN ESPRESAS Y 3-10 PULG./MIN PARA LOS DE ESPRESAS; AMBOS PARA BARRAS DE 1-8 PULG. DE DIAMETRO.	PARA LAS ALEACIONES QUE CONTIENEN ZINC, UNA ATMOSFERA REDUCTORA ES MANTENIDA EN EL MOLEDE.	MOLDES DE BRANFOT SIN ESPRESAS SON USADOS PARA TAMAÑOS PEQUEÑOS. (3 PULG. DE DIAMETRO) SON LOS PRINCIPALES PROCESOS DE ESTE TIPO SON: ANARCO, GLOED Y POLAND. MOLDES DE COBRE ENFRIADOS POR AGUA SON USADOS PARA TAMAÑOS GRANDES. (PROCESO JUNGHANS)

TABLA No 3 METODOS CONTINUOS Y SEMI-CONTINUOS EMPLEADOS EN LA OBTENCION DE MATERIALES NO-FERROSOS.

PRODUCTO No.	TEMPERATURA DE COLADA	VELOCIDAD DE COLADA	DUREZA A	TRANSVERSAL B	\bar{X} D.T.	DUREZA C	LONGITUDINAL D	\bar{X} D.L.	\bar{X} total
1	500	20	75.5-76.5-76-71.5	76.5-74.5-73-63	73.31	76-76-74.5-71	75.5-73-74-73	74.25	73.3
2	500	25	78.5-77.5-77.5-74	73.5-78-75.5-64	75.44	77-77-77-74.5	78-78-77-76.5	76.88	76.2
3	525	20	72-72-71-72	74-72-69-62	70.75	70-70.5-67.5-65.5	72-72-71.5-66	69.38	70.1
4	525	25	69-68.5-59-66.5	69-68-68.5-56	68.06	68.5-68-67-64	69-68.5-68-68	67.63	67.3
5	550	20	62-63.5-62-59	64.5-62.5-59-57	61.19	63.5-63-61.5-60.5	62.5-52-62.5-56	61.44	61.3
6	550	25	73.5-74-72.5-74	74-72-74-72	73.25	74.5-75-73.5-72.5	74-73-73-74	73.69	73.5
7	575	20	77.5-77.5-76-75	77-77.5-75-74.5	75.88	79-77.5-76-73	77.5-75-73.5-72	75.44	75.7
8	575	25	73-72.5-71.5-67	74.5-74-70.5-66	71.13	72.5-73-69-69.5	74.5-74-73-70.5	72.0	71.6
9	600	25	68-68-65-68	67.5-68-69-67	68.06	68.5-68.5-70-69	68-68.5-69-67	68.56	68.3
10	600	30	74-74-72.5-71.5	76-75-76-75	74.25	73-75.5-74.5-74.5	74.5-74-74.5-74	74.56	74.4
11	600	35	71-73-72-67	71-73-72-68	70.88	73-72.5-72-70.5	73-72.5-71.5-72	72.13	71.5

TABLA No. 4 PROMEDIO PARCIAL Y TOTAL DE LAS DUREZAS OBTENIDAS

MEDICIONES A 5x:

FOTO No.	NUMERO DE POROS	POROS (poros/mm ²)	TAMAÑO INFERIOR (mm)	TAMAÑO SUPERIOR (mm)
1	60	18.67	0.03	0.073
2	50	15.56	0.03	0.073
3	59	18.36	0.024	0.091
4	66	20.05	0.03	0.085
5	58	18.06	0.03	0.091
6	63	19.61	0.03	0.080
		110.31	0.174	0.493
		$\bar{x} = 18.39$	$\phi_{prom.} = 0.03$	$\phi_{prom.} = 0.08$

MEDICIONES A 10x:

7	27	16.81	0.012	0.018
8	31	19.30	0.012	0.018
9	24	14.94	0.018	0.040
10	25	15.56	0.018	0.030
11	17	10.58	0.020	0.054
12	16	10.00	0.020	0.060
		87.19	0.100	0.220
		$\bar{x} = 14.53$	$\phi_{prom.} = 0.020$	$\phi_{prom.} = 0.040$

CANTIDAD PROMEDIO DE POROS = 16.46 poros/mm²

DIAMETRO PROMEDIO GENERAL = 0.025 - 0.06 mm

TABLA No. 5: PRODUCTO No. 9; TEMPERATURA DE COLADA: 600 ° C

VELOCIDAD DE COLADA: 1.69 mm/seg.

MEDICIONES A 5x:

FOTO No.	NUMERO DE POROS	POROS (poros/mm ²)	TAMAÑO INFERIOR (mm)	TAMAÑO SUPERIOR (mm)
13	10	3.11	0.048	0.091
14	10	3.11	0.091	0.146
15	10	3.11	0.091	0.182
16	9	2.80	0.060	0.091
17	10	3.11	0.050	0.091
18	3	4.04	0.060	0.091
		19.28	0.400	0.692
		$\bar{x} = 3.21$	$\phi_{prom.} = 0.070$	$\phi_{prom.} = 0.120$

MEDICIONES A 10x:

19	4	2.49	0.0457	0.076
20	5	3.11	0.067	0.118
21	4	2.49	0.054	0.118
22	5	3.11	0.015	0.030
23	6	3.73	0.015	0.033
		14.93	0.1967	0.375
		$\bar{x} = 2.99$	$\phi_{prom.} = 0.040$	$\phi_{prom.} = 0.080$

CANTIDAD PROMEDIO DE POROS = 3.11 poros/mm²

DIAMETRO PROMEDIO GENERAL = 0.055 - 0.10 mm

TABLA No. 6: PRODUCTO No. 10; TEMPERATURA DE COLADA: 600 ° C

VELOCIDAD DE COLADA: 2.54 mm/seg.

MEDICIONES A 5x:

FOTO No.	NUMERO DE POROS	POROS (poros/mm ²)	TAMAÑO INFERIOR (mm)	TAMAÑO SUPERIOR (mm)
24	4	1.24	0.030	0.201
25	6	1.86	0.036	0.091
26	6	1.86	0.048	0.231
27	5	1.55	0.030	0.146
28	8	2.49	0.030	0.201
29	7	2.17	0.048	0.182
		11.17	0.222	1.052
		$\bar{x} = 1.86$	$\phi_{prom.} = 0.040$	$\phi_{prom.} = 0.180$

MEDICIONES A 10x:

30	3	1.86	0.015	0.173
31	3	1.86	0.015	0.173
32	2	1.24	0.076	0.167
33	3	1.86	0.015	0.137
		6.82	0.121	0.650
		$\bar{x} = 1.71$	$\phi_{prom.} = 0.030$	$\phi_{prom.} = 0.160$

CANTIDAD PROMEDIO DE POROS = 1.79 poros/mm²

DIAMETRO PROMEDIO GENERAL = 0.035 - 0.17 mm

TABLA No. 7: PRODUCTO No. 11; TEMPERATURA DE COLADA: 600 ± C

VELOCIDAD DE COLADA: 3.81 mm/seg.

PROBETA No.	ESPESOR INICIAL	ANCHO INICIAL	A _o	L _o	L _f	%	P ced.	P max	σ ced.	σ max.	ESPESOR FINAL	ANCHO FINAL	A _f	% R.A.
1	3.8	12.3	45.74	49.9	50.4	0.99	1300	1550	27.81	33.16	3.6	12.2	43.92	6.03
2	3.8	12.5	47.50	50.3	51.2	1.76	1350	1500	26.42	31.58	3.7	12.5	46.25	2.63
3	3.5	12.9	45.15	50.6	52.3	3.25	1200	1400	26.58	31.01	3.2	12.2	39.04	13.53
4	3.3	13.1	43.23	50.5	51.2	1.37	1125	1450	26.02	33.54	3.2	12.8	40.96	5.25
5	3.8	12.3	46.74	49.8	51.5	3.30	1200	1550	25.67	33.16	3.6	12.0	43.20	7.57
6	3.8	12.8	48.64	47.7	49.0	2.65	1250	1600	25.70	32.89	3.7	12.4	45.88	5.67
7	3.7	12.3	45.51	50.0	50.5	0.99	1375	1600	30.21	35.16	3.7	12.2	45.14	0.81
8	3.5	12.9	45.15	51.0	53.5	4.67	1200	1500	26.58	33.22	3.4	12.4	42.16	6.62
9	4.0	12.8	51.20	50.1	54.0	7.78	1450	1800	28.32	35.15	3.6	12.0	43.20	15.62
10	4.1	12.7	52.00	49.6	52.3	5.44	1550	1870	29.80	36.00	3.9	12.4	48.36	7.00
11	4.0	12.8	51.20	49.9	53.6	7.41	1600	1900	31.25	37.10	3.8	12.3	46.74	8.71
PROMEDIO	-	-	-	-	-	3.60	1325	1610	27.85	33.82	-	-	-	7.22

TABLA No. 8 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS PROBETAS CENTRALES.

PROBETA No.**	ESPESOR INICIAL	ANCHO INICIAL	A _o	L _o	L _f	% e	P _{ced.}	P _{max.}	σ _{ced.}	σ _{max.}	ESPESOR FINAL	ANCHO FINAL	A _f	% R.A.
1	3.25	12.25	47.16	50.10	50.90	1.58	1250	1575	26.52	33.41	3.75	12.0	45.0	4.59
2	4.15	12.50	51.88	50.50	51.45	1.85	1375	1610	26.46	30.91	4.00	12.25	48.99	5.48
3	3.70	12.80	47.36	50.35	56.15	10.24	1175	1400	24.84	29.58	2.70	10.75	29.55	38.03
4	3.75	12.90	48.38	50.30	51.0	1.37	1225	1410	25.36	29.19	3.70	12.65	46.81	3.26
5	4.0	12.25	49.01	50.10	51.30	2.32	1200	1335	24.42	27.11	3.60	11.85	42.69	12.71
6	4.0	12.60	50.40	47.85	48.45	1.14	675*	1625	13.40*	32.25	1.95*	6.10	23.79	2.00
7	3.85	12.30	47.36	49.90	50.0	0.2*	988*	1100	20.61	22.94	-	-	-	-
8	4.05	12.85	51.85	50.95	52.20	2.36	1063	1295	20.64	25.19	3.60	12.30	44.48	14.93
9	4.10	12.75	52.28	50.35	50.50	0.3*	-	955	-	18.23*	2.00	6.35	25.40	1.22*
10	4.0	12.60	50.40	50.05	51.90	3.69	1525	1825	30.25	36.21	3.90	12.45	48.56	3.66
11	3.85	12.85	49.47	49.90	54.40	9.01	1475	1745	29.82	35.26	3.45	11.75	40.64	17.78
PROMEDIO	-	-	-	-	-	3.73	1250	1450	25.44	30.21	-	-	-	11.47

* No contabilizan para el promedio

** Promedio de las 2 probetas laterales

T A B L A No. 9 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS PROBETAS LATERALES. (izquierda & derecha)

PROBETA No.	TEMPERATURA DE COLADA	VELOCIDAD DE COLADA	DUREZA PROMEDIO	Coef.	Coef.	% e	% R. A.
1	500	20	73.8	27.81	33.16	0.99	6.03
2	500	25	76.2	28.42	31.50	1.76	2.63
3	525	20	70.1	26.58	31.01	3.25	13.53
4	525	25	67.8	26.02	33.54	1.37	5.25
5	550	20	61.3	25.67	33.46	3.30	7.57
6	550	25	73.5	25.70	32.09	2.65	5.67
7	575	20	75.7	30.21	35.16	0.99	0.01
8	575	25	71.6	26.50	33.22	4.67	6.62
9	600	25	68.3	28.32	35.15	7.70	15.62
10	600	30	74.4	29.80	36.0	5.44	7.0
11	600	35	71.5	31.25	37.10	7.41	8.71
PROMEDIO	-	-	71.3	27.05	33.02	3.60	7.22

PROBETAS CENTRALES

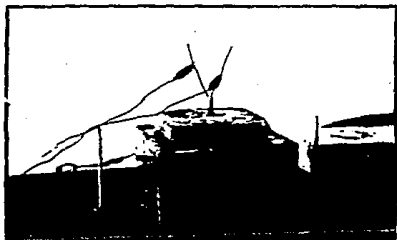
1	500	20	73.8	26.52	33.41	1.50	4.59
2	500	25	76.2	26.46	30.91	1.05	5.18
3	525	20	70.1	24.04	29.59	10.24	38.03
4	525	25	67.8	25.36	29.19	1.37	3.26
5	550	20	61.3	24.42	27.11	2.32	12.71
6	550	25	73.5	13.40*	32.25	1.14	2.80
7	575	20	75.7	20.61	22.94	0.2*	-
8	575	25	71.6	20.64	25.19	2.36	14.93
9	600	25	68.3	-	18.23*	0.3*	1.22*
10	600	30	74.4	30.26	36.21	3.69	3.66
11	600	35	71.5	29.82	35.26	9.01	17.70
PROMEDIO	-	-	71.3	25.44	30.21	3.73	11.47

PROBETAS LATERALES

TABLA No. 10 PROPIEDADES MECANICAS RESUMIDAS DE LAS PROBETAS CENTRALES Y LATERALES

DUREZA	$\sigma_{ced.}$	$\sigma_{m\acute{a}x.}$	% e	% R.A.
71.3 HRb	26.65 kg/mm ² (261.17 MPa)	32.02 kg/mm ² (313.80 MPa)	3.67	9.35

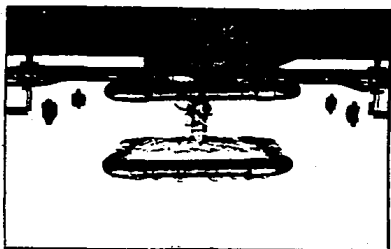
TABLA No. 11: Promedio general de las Propiedades Mecánicas.



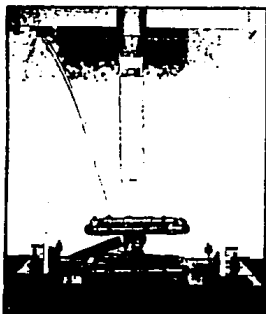
FOTOGRAFIA No. 1: Horno de colada
(cabeza caliente)



FOTOGRAFIA No. 2: Extractor ó falso
fóndo y enfriamiento primario.



FOTOGRAFIA No. 3: Enfriamiento secundario



FOTOGRAFIA No. 4: Aspecto exterior del molde y el sistema de enfriamiento secundario.



FOTOGRAFIA No. 5



FOTOGRAFIA No. 6

Primeros productos obtenidos aún sin control sobre las condiciones del proceso. Nótese los defectos superficiales. (ampollamientos y pliegues)

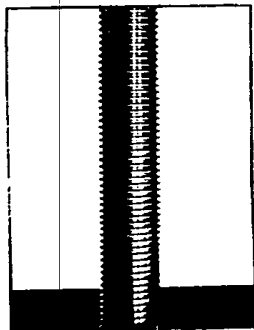


FOTOGRAFIA No. 7

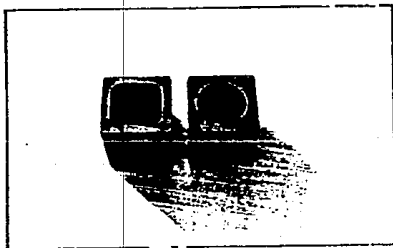


FOTOGRAFIA No. 8

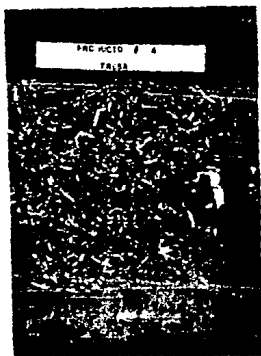
Productos obtenidos con las condiciones del proceso
bajo control. (nótese el acabado superficial)



FOTOGRAFIA No. 9: Detalle del tornillo que proporciona el movimiento. (cuerda tipo ACME)



FOTOGRAFIA No. 10: Molde utilizado en la colada semi-continua del Zinalco.



FOTOGRAFIA No. 11



FOTOGRAFIA No. 12

Prueba de maquinabilidad a la fresa y al
torno del producto No. 4.



FOTOGRAFIA No. 13



FOTOGRAFIA No. 14

Prueba de maquinabilidad a la fresa y
al torno del producto No. 5.

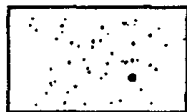


FOTOGRAFIA No. 15



FOTOGRAFIA No. 16

Prueba de maquinabilidad a la fresa y al
torno del producto No. 6.



5 x

10 x

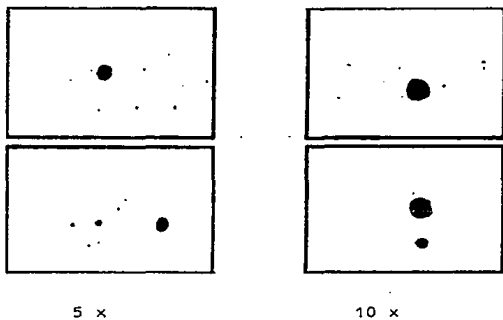
FOTOMICROGRAFIA No. 1: Porosidades del producto
No. 9.



5 x

10 x

FOTOMICROGRAFIA No. 2: Porosidades del producto
No. 10.



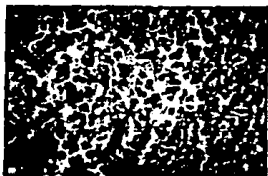
FOTOMICROGRAFIA No. 3: Porosidades del producto
No. 11.



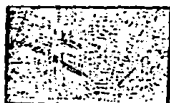
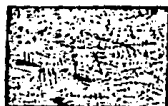
FOTOMICROGRAFIA No. 4: Microestructura dendrítica
de enfriado lento a 200 x.



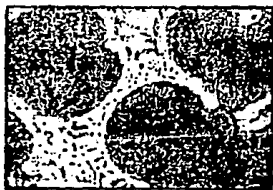
FOTOMICROGRAFIA No. 5: Microestructura dendrítica de enfriado lento observada a 500 x. Fase α rica en Al (oscura) y fase β rica en Zn, (clara).



FOTOMICROGRAFIA No. 6: Microestructura dendrítica obtenida por enfriamiento energético desde 550 °C. 200 x.



FOTOMICROGRAFIA No. 7: Microestructura dendrítica obtenida por colada semi-continua. 100 x. Fase oscura rica en Al (α). La parte clara corresponde a la fase β rica en Zn.



FOTOMICROGRAFIA No. 8: Microestructura correspondiente a perlita fina rodeando a la fase β rica en Zn. 3500 x.



FOTOMICROGRAFIA No. 9: Perlita fina que rodea a la fase β rica en Zn conteniendo perlita gruesa. 3500 x.



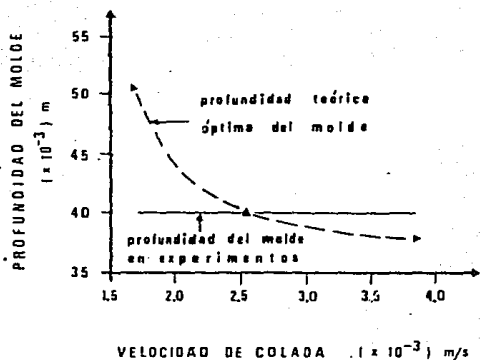
FOTOMICROGRAFIA No. 10: Perlita fina con partes de perlita gruesa y una fase rica en Zn perfectamente delineada.



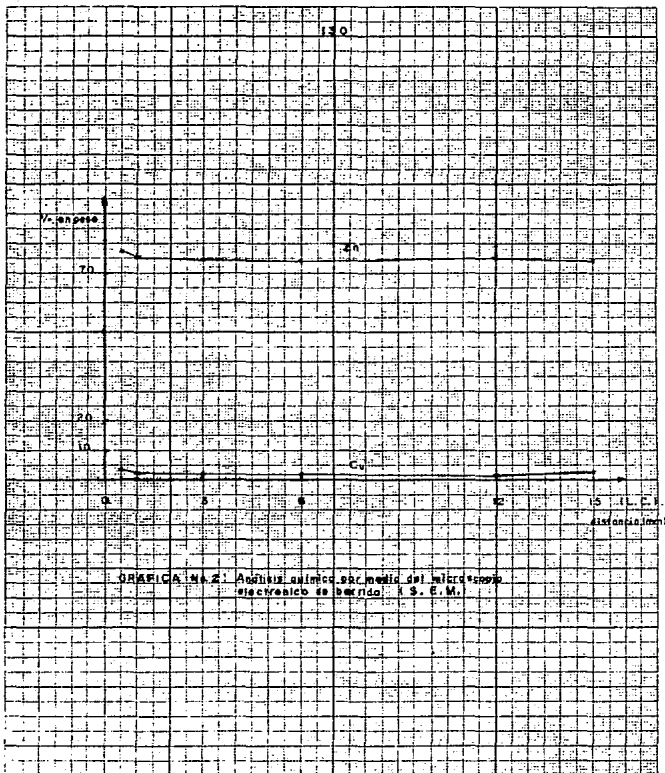
FOTOMICROGRAFIA No. 11: Observación a 5000 x de la fotomicrografía No. 9. Nótese la perlita gruesa sin transformar dentro del líquido interdendrítico



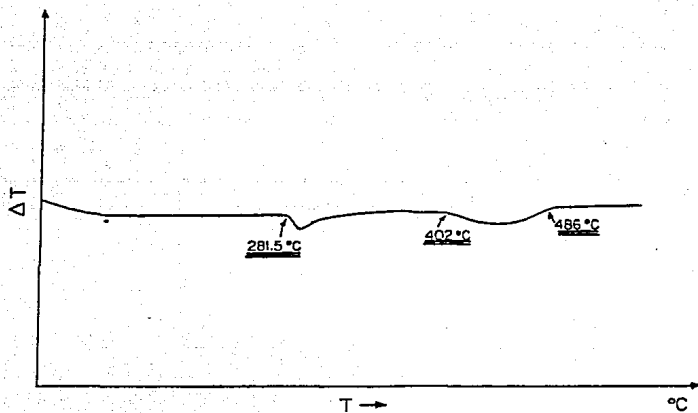
FOTOMICROGRAFIA No. 12: Igual que la anterior.



GRAFICA No. 1: LONGITUD EFECTIVA DEL MOLDE REQUERIDA PARA UNA DETERMINADA VELOCIDAD DE COLADA, TAL QUE NO OCURRA RECALENTAMIENTO EN LA CASCARA DEL LINGOTE.

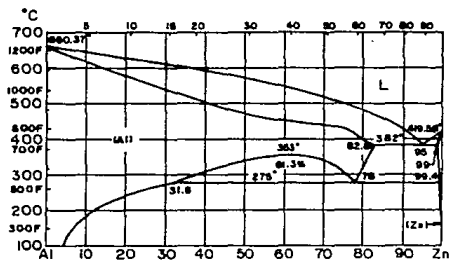


GRAFICA No. 2. Analisis químico por medio del microscopio electrónico de barrido. I. S. E. M.

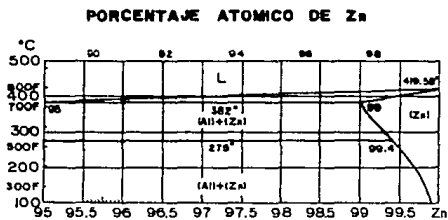


GRAFICA No. 3 ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL DE ZINC

PORCENTAJE ATOMICO DE Zn

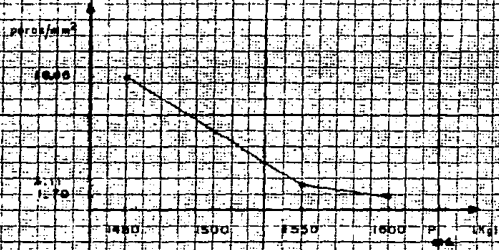


PORCENTAJE EN PESO DE Zn

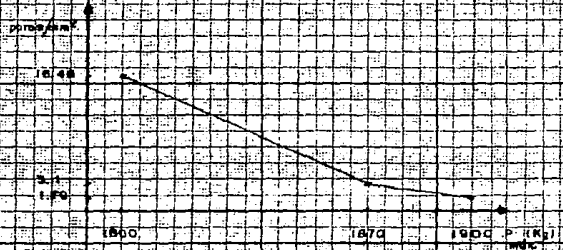


PORCENTAJE EN PESO DE Zn

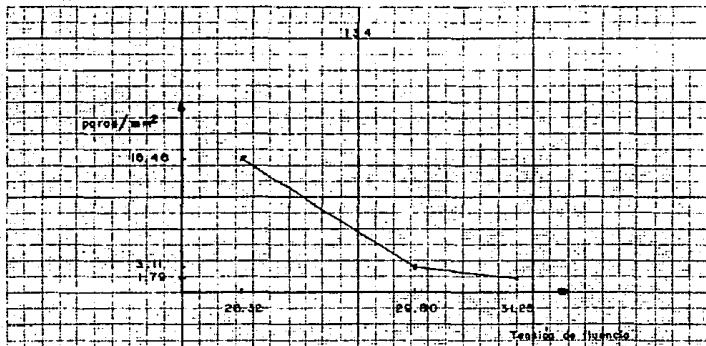
GRAFICA No. 4: Diagrama de fases Al-Zn.



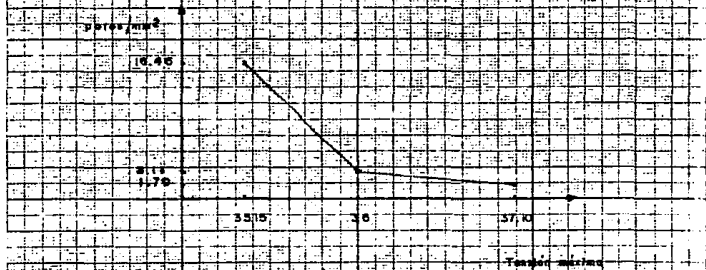
GRAFICA No. 8: poros/mm² V.S. Carga de presión.



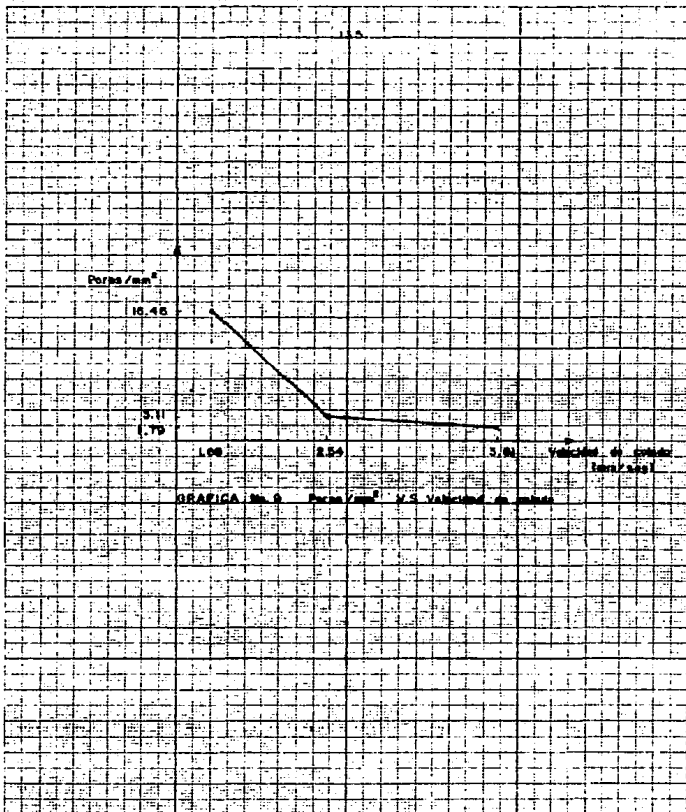
GRAFICA No. 9: poros/mm² V.S. Carga de presión.



GRAFICA No.7 pdros/mm² V.S. tensión de cedencia



GRAFICA No.8 pdros/mm² V.S. tensión máxima



BIBLIOGRAFIA.-

- 1) El Aluminio en Latinoamérica. Teresa E. Pérez. Volumen I, p. 208-220.
- 2) Transferencia de Calor. J.P. Holman. Cía. Ed. Continental. México, 1986, p. 186-193.
- 3) La producción de Bronce por colada continua. Ing. Gunther Joseph. Cuprum, revista del Cobre, año 2, No. 5.
- 4) Aluminium Transformation, Technology and Applications. A. S.M. p. 335-352.
- 5) Diseño de Máquinas de Colada Continua para aleaciones de Zn-Al-Cu. A. Hernández, G. Torres. VI Encuentro de Investigación Metalúrgica. Instituto Tecnológico de Saltillo. Noviembre 21, 22 y 23. 1984
- 6) El Aluminio. Volumen 2. p.202-213. Biblioteca del Edificio "D". Facultad de Química.
- 7) Design of Continuous Casting. Eugene A. Mizikar & J. K. Brimacombe. University of British Columbia.
- 8) Propiedades Mecánicas de Aleaciones Zn-Al en la región rica en Zn. Negrete J. Tesis, I.P.N. 1980.
- 9) Influencia del Mg en las propiedades mecánicas de una aleación eutectoide Zn-Al-Cu. Dominguez C., Tesis, U.N.A.M. 1985.

- 10) Efecto de Cu en la estructura y propiedades mecánicas de la aleación superplástica Zn-22%Al. VII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería. Oax. Méx. 1981.
- 11) Metals Engineering Quaterly. Marshall J.G., Stewars T. J. & Bobcok T.C. November 1973. p. 12.
- 12) An Investigation of the Zn-Al sistem. International Zn research organization. Colton D.R. March 1964.
- 13) Presicion forging of a high strength superplastic Zn-Al alloy. Balliet R.W., Forster J.A. & Duncan J.L.,--- Metallurgical Transactions, Vol. 9A, 1978, p. 1259.
- 14) Ugalde Z., José A., Tesis, U.N.A.M., México, 1984.
- 15) Canadian Metallurgical Quaterly. J.K. Brimacombe, S.K. Morton & F. Weinberg. Journal of Iron and Steel Institute. January 1973, Vol. 15, No. 2 (1976), p. 15-23.
- 16) The effect of Cu on the mechanical properties of the eutectoid Zn-Al at room temperature. Torres G., Negrete J. & Valdés J.L., Congreso de Superplasticidad en - San Diego California, U.S.A., 1982.