

109



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

---

## FUSION DE LAS ALEACIONES DE COBRE

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A:  
JESUS FELIPE ISLAS CERVANTES

INGENIERIA QUIMICA METALURGICA 1978



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

TESIS 1978  
M. T. ~~1978~~ 233  
FECHA ~~1978~~ 233  
PROC ~~1978~~  
:



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE  
=====

PRESIDENTE: MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ

VOCAL: MANUEL GAVIÑO RIVERA

SECRETARIO: JOSE CAMPOS CAUDILLO

1er. SUPLENTE: MA. EUGENIA NOGUEZ AMAYA

2do. SUPLENTE: HUMBERTO MALAGON ROMERO

Sitio donde se desarrolló el tema:

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA

Nombre completo y firma del sustentante:

JESUS FELIPE ISLAS CERVANTES 

Nombre completo y firma del asesor del tema:

ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO 

A MIS PADRES:  
CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO Y  
CARIÑO POR SU APOYO Y ESFUERZO.

A MIS HERMANOS  
ESPOSA E HIJOS  
CON CARIÑO

A MI ESCUELA

AGRADEZCÓ LA AYUDA DESINTERESADA  
DEL ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO

# C O N T E N I D O

---

## INTRODUCCION

- . CAPITULO I  
SOLIDIFICACION
  
- . CAPITULO II  
PROCEDIMIENTOS DE FUSION
  
- . CAPITULO III  
MOLDEO DE LAS ALEACIONES DE COBRE
  
- . CAPITULO IV  
METODOS DE PRUEBA PARA CONTROL DE CALIDAD
  
- . REFERENCIAS

## INTRODUCCION

Indudablemente una de las principales causas de la fuerte dependencia tecnológica que nuestro país tiene de algunos países industrializados es, por una parte, la falta de -- tecnologías propias para el mejor aprovechamiento de sus recursos naturales, y por otra, la fuerte tendencia que -- existe en nuestro medio industrial a adoptar tecnologías extranjeras, en lugar de adaptarlas a las condiciones locales de recursos humanos, materias primas, medio ambiente e infraestructura industrial.

Por otra parte, tanto la falta de tecnologías propias como la frecuente tendencia a la adopción de tecnologías -- extranjeras, se deben primordialmente a la pavorosa escasez de investigadores que México padece, la cual, a su -- vez, tiene una de sus principales raíces en un sistema -- educacional deficiente en cuanto a la enseñanza y aplicación del método científico entre los educandos de cual--- quier nivel, y al no haber suficientes investigadores, se cierra un círculo vicioso pues la industria no demanda ser vicios de investigación, no se desarrollan tecnologías -- extranjeras, muchas veces obsoletas.

Por esta razón es que aún cuando el campo de la metalur--- gía no ferrosa es muy amplio, pues encontramos una diversificación de materiales como son:

- 1.- Aleaciones Base Cobre
- 2.- Aleaciones Base Níquel
- 3.- Aleaciones de Aluminio
- 4.- Aleaciones de Magnesio
- 5.- Aleaciones Base Zinc
- 6.- Aleaciones Base Plomo
- 7.- Metalurgia de Polvos

No hemos sido capaces de desarrollarla tanto como la side rúrgica. La industria siderúrgica no se hubiese desarrolla do a tal grado de no ser por la aportación de las cualida des del cobre y sus aleaciones, pues no podríamos imagi--- narnos un alto horno sin toberas de cobre o sin cajas de enfriamiento de cobre, o bien las acerías con sus hornos eléctricos y sin portaelectrodos de cobre..

Por éstos motivos, es que se ha enfocado este trabajo a proporcionar informaciones y directivas que puedan servir como guía o ayuda en la conducción de una fusión adecuada, acompañada de un molde apropiado, pues también son conocidos los innumerables ejemplos del interminable conflicto entre los departamentos de fusión y moldeo. Cada uno se inclina a culpar al otro cuando surge un problema difícil en la calidad de piezas colocadas, siendo a menudo bastante difícil asegurar responsabilidades del problema, ya que en el proceso, intervienen una gran cantidad de factores.

## 1.- 1) Generalidades y Clasificación.

Las diversas propiedades presentadas por el cobre y sus aleaciones industriales y numerosas, así como importantes, hace imposible una generalización de las propiedades que rigen sus aplicaciones prácticas. Por ejemplo, las propiedades mecánicas varían desde las de un metal blando y dúctil a las de las aleaciones duras y resistentes que son parecidas, en muchos aspectos, a los aceros templados, -- sin embargo hay que prestar atención a las características globales más importantes para lo cual, debemos identificarlas también de una manera general y encontramos así tres familias de aleaciones base cobre que son: Cobre, -- Latones y Bronces.

**COBRES.** - Se usan generalmente por sus propiedades técnicas y dado que las adiciones de otros elementos, aún en pequeñas proporciones, afectan adversamente a éstas propiedades, las aleaciones contenidas en ésta familia se limitan a un 3% máximo de adiciones más impurezas. Así encontramos entre otras aleaciones como: El llamado Cobre - Arsenical ya sea duro o desoxidado con fósforo que normalmente contienen 0.5% de Arsénico. El material recocido -- transformado, es ligeramente más fuerte que los cobres puros, y cantidades determinadas trabajadas en frío, producen un endurecimiento por trabajo mayor. La aleación retiene sus propiedades mejor y es más resistente a la oxidación a las temperaturas moderadamente elevadas, razón por la cual se usan en las cajas de fuego de las locomotoras. La variedad desoxidada con fósforo es adecuada para la soldadura.

La aleación Cobre-Cadmio.- Notable por su combinación de alta resistencia y alta conductividad en el estado de estirado duro conteniendo alrededor del 1% de Cadmio tiene propiedades que van de 3 a 7 Tm/cm<sup>2</sup> y conductividad de 90 a 85% de IACS. Esta combinación resistencia-conductividad ha conducido a un amplio uso de la aleación para conductores al aire libre, en aplicaciones ferroviarias, telegráficas y en instrumentos de computación cuando se requieren propiedades mecánicas mejoradas.

La aleación Cobre-Cromo.- El cromo es soluble en el cobre sólido de una manera limitada y la solubilidad desciende

rápida-mente con la temperatura. Esta característica se asocia en la mayoría de los materiales con la propiedad de envejecimiento o precipitación de endurecimiento, conseguida mediante un tratamiento térmico adecuado. Los elementos de aleación en solución sólida producen normalmente una disminución muy marcada en la conductividad térmica y eléctrica; la precipitación producida por este tratamiento tiene efectos mucho menos adversos sobre estas propiedades. Esta aleación puede contener del .5 al 1% de cromo y puede ser tratada térmicamente a temperaturas de aproximadamente 1000°C y 500°C, respectivamente, para obtener productos fundidos o trabajados con propiedades del orden de:

Resistencia	-----	3-6 Tm/cm <sup>2</sup>
Elongación	-----	20%
Dureza Brinell	-----	120
Conductividad Eléctrica	-----	80% IACS

Así esta aleación se aplica en piezas de electrodos, y en puntas cuando es esencial la alta conductividad y la resistencia a temperaturas elevadas.

Aleaciones de Cobre-Berilio y Cobre-Cobalto-Berilio.- Son aleaciones que responden al tratamiento térmico de la misma forma que se describen más arriba, el tratamiento supone un temple desde 800°C y un revenido a 350°C, El material para trabajado, con aproximadamente el 2% a 3% de Berilio, puede dar propiedades como:

Resistencia	-----	12.6 Tm/cm <sup>2</sup>
Elongación	-----	2%
Dureza Brinell	-----	400
Conductividad Eléctrica	-----	30% IACS

Estas aleaciones se encuentran limitadas prácticamente a herramientas de resistencia a la chispa y a muelles especiales de instrumentos.

Aleaciones Cobre-Níquel-Silicio.- Estas contienen alrededor de .75% níquel y .5% silicio, responden también a tratamientos térmicos alrededor de 900°C, produciendo fuertes productos para trabajado con:

Resistencia	-----	6.6 Tm/cm <sup>2</sup>
Elongación	-----	35%

Las aleaciones de fabricación se caracterizan por su alta capacidad de deformación en operaciones como prensado, embutición profunda, etc., y por sus propiedades de mecanizado, las cuales aumentan con el contenido de Zinc. Lo mismo que con el cobre, se requieren instrumentos de gran filo y un paso de viruta pulido.

La unión de éstos metales es realmente sencilla con metales de alto contenido de Zinc, tanto más fácil cuanto menor es el contenido de Zinc de la aleación que se desea unir.

Latones de libre Mecanizado.-- El plomo es sustancialmente insoluble en cobre sólido y se presenta en forma de partículas esféricas aisladas en latones de alto contenido de Zinc. Estas partículas rompen la continuidad de las soluciones sólidas dúctiles de Zinc en Cobre y tienen por efecto la formación de cortas virutas cuando las aleaciones son mecanizadas.

Como ya se apuntó, el plomo influye desfavorablemente en la mecanizabilidad de las aleaciones de bajo contenido de Zinc, no así en las de alto contenido de Zinc (37-42%) y el latón plomado de libre mecanización es de aproximadamente 2-3% plomo, 56-60% y el resto de Zinc. La resistencia y ductilidad del latón plomado, son más bajas que las aleaciones sin plomo, pero esto se compensa por las características de mecanización y la aleación se utiliza normalmente en forma de secciones extruídas y en aplicaciones de mecanización extensiva.

Latones Resistentes a la Corrosión.-- Las principales para éste propósito son aleaciones que contienen estaño y aluminio en 1% y 2 a 3% respectivamente. Los latones almirantazgo (70% Cobre, 29% Zinc, 1% Estaño) y naval (62% Cobre 37% Zinc, 1% Estaño), son más fuertes que las normales y más resistentes a la intemperie marítima. El latón con aluminio (76% Cobre, 22% Zinc, 2% Aluminio) es más fuerte aún más resistente a la corrosión, debido a la formación de una película superficial de óxido de aluminio. Estas aleaciones son usadas en forma de trabajado en aplicaciones navales, de las cuales las más notables es el uso del latón de aluminio para tubos de condensadores marinos.

Latones de alta Resistencia a la Tracción.-- Estos latones varían ampliamente en composición, las adiciones más im-

portantes son el Aluminio que interviene en la solución sólida de la aleación Cobre-Zinc, mejorando la resistencia mecánica y a la corrosión, Manganeso y Hierro; parte del Manganeso forma una solución sólida con efectos semejantes a los del aluminio pero en menor grado, y el resto junto con el Hierro, forma partículas duras aisladas de un compuesto intermetálico.

La presencia de tales partículas duras, promueve la formación de un grano fino con el resultado de mejores propiedades de fundición y maquinado, así como elevada resistencia del producto final.

Ciertas aleaciones contienen pequeños porcentajes de Estaño y Níquel, los cuales mejoran la fuerza y resistencia a la corrosión. Las composiciones de las aleaciones más fuertes de éste tipo, son bastante críticas; ligeros aumentos en la adición dan como resultado la fragilidad, debido a la formación de un compuesto rico en Zinc, pero muy frágil; y la producción de fundiciones satisfactorias en tales aleaciones, exige un cuidadoso control.

BRONCES.— Son aleaciones de Cobre con Estaño que pueden tener uno o más aleantes, por lo consiguiente, encontramos varios grupos como son:

Aleaciones para trabajado.— Son aleaciones Cobre-Estaño o Cobre-Estaño-Fósforo, con contenidos de Estaño del orden del 4 al 7% y ocasionalmente 10-12%, y con contenidos de fósforo de .01% a .1% ó bien de .2 a 4% llamándose comúnmente Bronces Fósforos. El Fósforo tiene la tendencia a bajar el punto de fusión (700°C) característica que se opone al trabajo caliente; estas aleaciones se suelen trabajar en frío con un recocido intermedio. Debido a que las fundiciones son frágiles y ricas en Estaño, antes de trabajarlas en frío, conviene llevarlas a solución sólida a 650°C, cuando se trabajan en frío, es conveniente recorrer después de reducciones del orden del 30% en las primeras etapas, el subsecuente tratamiento depende de la cantidad de trabajo, así como de la calidad requerida.

Las aleaciones con bajo contenido de fósforo pueden trabajarse en frío o caliente dentro de la zona de 300 a 600°C.

Estas aleaciones tienen una alta resistencia a la corro-

sión y una alta elasticidad de los materiales trabajados en frío que determinan su uso como muelles de instrumentos.

Aleaciones Fundidas.- La inmensa mayoría de los bronce de Estaño se utiliza como fundiciones en arena que pueden clasificarse como:

- 1.- Bronces Fosforosos.- Estaño 10-14% Fósforo 0.1-1%
- 2.- Metales para Cañón.- Estaño 9-10% Zinc 2-4% Fósforo hasta 0.1%
- 3.- Metales para Cañón con Plomo.- Estaño 5-7% Zinc 2-5% Plomo 2-5% y fósforo hasta 0.1%

Los Bronces de Estaño para fundición son notables debido a su moderada resistencia al choque, elevada resistencia a la corrosión especialmente en aplicaciones marítimas, excelentes cualidades de desgaste, buenas características de fundición. Además presenta buenas características de soldadura. Para los dos primeros grupos las características de maquinado son bastante buenas, las aleaciones plomadas tienen una excelente mecanizabilidad debido a las partículas libres de una fase rica en plomo.

Estas aleaciones retienen su resistencia a temperaturas moderadamente elevadas y se pueden aplicar en temperaturas hasta 250°C, no resisten bien el calor y no pueden usarse normalmente por encima de los 250°C.

A algunas aleaciones de esta clase se les hace adiciones de Níquel para mejorar sus propiedades mecánicas y con alto contenido ( $\pm 5\%$ ) las aleaciones pueden endurecerse por tratamiento térmico de precipitación y solución.

El Bronce Fosforoso por inmersión se produce normalmente en forma de tubos y varillas para mecanizarse en forma de cojinetes de alta resistencia, las aleaciones fundidas en arena se usan extensamente para cojinete, válvulas correderas, cuerpos de válvulas, cuerpos de bombas, etc., en las que son esenciales una alta resistencia a la corrosión y buenas características de desgaste. Las aleaciones de plomo tienen características de fundición superiores a las demás aleaciones y son especialmente adaptables para fundiciones hidráulicas de forma complicada.

Bronces de Aluminio.- Estas aleaciones son de las más fuertes y más resistentes a la corrosión entre las aleaciones base Cobre, y son también notables por la conservación de sus propiedades mecánicas a temperaturas elevadas. Para incrementar todavía más la fortaleza y la resistencia a la corrosión se añade frecuentemente el níquel a las aleaciones para trabajo en frío. Las aleaciones para trabajo en caliente pueden ser aleaciones binarias de contenido de aluminio más elevado o aleaciones más complicadas con adiciones de níquel, hierro o ambas. Las aleaciones fundidas en arena o por gravedad suelen tener por composición Cobre-Aluminio-Hierro o Cobre-Aluminio-Níquel. La presencia de un 2 a 3% de hierro es muy deseable en las aleaciones de fundición, en especial para las utilizadas para fundiciones en arena de piezas pesadas, ya que el hierro compensa el autorecocado, tendencia a fragilizarse que resulta de un cambio estructural durante un enfriamiento lento.

Son notablemente más ligeras que el Cobre, su peso específico es menor al aumentar el contenido de Aluminio hasta 7.5% para aleaciones con 10% de Aluminio. Retienen su resistencia a temperaturas elevadas mucho mejor que los latones y broncees al Estaño; y las partes de tensiones moderadas pueden trabajar a temperaturas de 300-400°C, y aún más elevadas para las piezas de tensiones ligeras, debido a la delgada y tenaz película de óxido (Alumina) que se forma a temperaturas elevadas la cual ayuda a obtener una excepcional resistencia a la corrosión en ambientes marinos, en atmósferas urbanas o industriales y en ciertos ácidos (Sulfúrico-Clorhídrico).

Las propiedades mecánicas de las aleaciones con 9% ó más de Aluminio, con o sin adiciones de hierro o níquel, pueden mejorarse por tratamiento térmico aumentando su resistencia a las tensiones. Su resistencia a la fatiga es elevada; los límites de resistencia son comparables a las de los aceros suaves o medios al aire; en condiciones corrosivas, este grupo es muy superior generalmente hablando a los aceros.

Debido a sus muchas propiedades altamente deseables, estas aleaciones son muy aptas para una variedad de aplicaciones, entre las que se incluyen equipos marítimos (por ejemplo, carcasas de bombas, varillas, ejes) equipo de

productos químicos (bombas para ácido, cestos de adobamiento), aplicaciones de resistencia térmica (asientos de válvulas, sujetadores de electrodos), engranajes de transmisión pesada, y aplicaciones decorativas, en combinación con las excelentes propiedades mecánicas, para que éstas aleaciones resulten útiles en ciertas conexiones eléctricas de compresión.

Bronces de Silicio.- Las aleaciones de cobre con Silicio (3-4%) normalmente con cantidades menores de manganeso (1%) y a veces Zinc (hasta 2%) se han producido en los últimos años.

El material recocido para trabajo tiene propiedades de tracción del orden de 50 000 lbs/in<sup>2</sup> y una elongación del 40%. A veces se añade plomo para mejorar la mecanizabilidad de la varilla extruída.

Las aleaciones son muy resistentes a la corrosión, pueden ser trabajadas en caliente o frío, además se soldan fácilmente por los métodos de gas o arco. Encuentran aplicaciones en fábricas de productos químicos, en las que la facilidad de soldadura, la alta potencia y la alta resistencia a la corrosión las hace valiosas.

#### 1 - 2 ) Influencia del Aleante en el Mecanismo de Solidificación.

Las aleaciones base Cobre son casi únicas en cuanto a las diferentes características de solidificación que exhiben. El conocimiento del fundidor acerca de éste comportamiento, es muy importante ya que esto controlará en gran parte la incidencia de la porosidad por rechupe, aplicando las técnicas de alimentación requerida. Debido a la amplia variación en la forma de solidificar al colar una pieza en una aleación, ésta necesita un sistema de alimentación y carga determinada, pero al cambiar la aleación, puede necesitar varios métodos diferentes de alimentación y carga.

El entendimiento de las características de solidificación de las aleaciones base Cobre, y de su impacto en la alimentación y carga, es de importancia para todo lo empleado en la manufactura de piezas de esas aleaciones. Conociendo los mecanismos básicos de solidificación, la conec

ción entre ellos, el fenómeno del rechufe y la práctica -- de alimentación, el fundidor cuenta con bases para obtener piezas sanas.

Las diferencias en la forma de solidificación permite que las aleaciones de cobre sean divididas en dos grupos que son: Aquellas que solidifican con rango de solidificación corto, (rango líquido-solidus  $100^{\circ}\text{F} - 38^{\circ}\text{C}$ ) y aquellos que solidifican con rango de solidificación largo.

El grupo dos comprende aleaciones tales como bronce de -- Estaño, Bronces Rojos y algunos Latones Amarillos.

La tabla 1 presenta una mejor vista de la clasificación -- de las aleaciones base Cobre de acuerdo al tipo de solidi-- ficación.

Grupo 1.- Aleaciones con Rango Corto:

Cobre alta conductividad  
Cobre - Cromo  
Cobre - Teluro  
Cobre - Cadmio  
Cobre - Berilio  
Cupro - Níquel  
Bronce al Manganeso (1)  
Latón Amarillo  
Bronce al Aluminio  
Bronce al Silicio (1)  
Bronce al Aluminio - Manganeso

Grupo 2.- Aleaciones con Rango Largo:

Bronces de Estaño (1)  
Bronces de Plomo (1)  
Bronce Rojo (1)  
Bronce Semi-Rojo (1)  
Plata Níquel

T A B L A No. 1

Esta clasificación esta condicionada a la composición pre-- cisa de la aleación marcada ( 1 ), pues dependiendo de -- ésta pueden tender hacia uno u otro grupo.

En las aleaciones con rango de solidificación corto, la solidificación se lleva a cabo en la forma siguiente: Al ser absorbido el calor por las paredes del molde, el metal adyacente a éstas se cae hasta el punto de enfriamiento o temperatura de liquidus iniciándose la solidificación marcada por la cristalización de numerosos cristallitos pequeños situados en la pared del molde. A medida que la temperatura disminuye, el depósito de cristallitos es mayor y originan la formación de una pared maciza conocida como frente de solidificación ananza hacia el interior de la pieza, llevando siempre una perpendicular a la pared del molde.

La única diferencia que se ha encontrado entre solidificación del cobre libre de oxígeno junto con las aleaciones eutécticas y las aleaciones con trazas de impurezas o con pequeñas cantidades de aleante ha sido referente al frente de solidificación: en el primer caso este tiene una superficie tersa, en tanto que en el segundo caso es algo rugosa debido a la tendencia existente por el crecimiento dendrítico de los cristales.

Desde el punto de vista constitucional, el rasgo característico de estos materiales es que o tienen, o no tienen, un rango de enfriamiento muy corto. La macroestructura de las piezas coladas en aleación con bajo contenido de aleante presenta cristalización columnar.

En las aleaciones de rango de solidificación largo, esta se inicia en la misma forma que en las de rango corto, con la formación de dendritas en la superficie del molde; pero a partir de ahí la solidificación continúa con la formación de cristallitos en todo el líquido restante.

El crecimiento de los cristallitos formados en las paredes del molde es casi inmediatamente retardado ya sea severa o temporalmente, esto se debe a que los cristallitos solidificados son considerablemente más pobres, en elementos aleantes, que el líquido. Cuando esos cristales están formados, los átomos del elemento aleante son arrojados dentro del líquido circundante enriqueciendo así el líquido con los elementos, esto baja sustancialmente el punto de solidificación del líquido y por lo mismo el cristal no puede continuar creciendo en la misma forma.

Continuando la extracción, de calor por las paredes del molde, la temperatura de éste líquido baja ligeramente al igual que la del líquido no afectado que se encuentra más cercano al interior de la pieza, ocasionando un segundo baño de cristalitas que nuclean justo en el exterior de la región enriquecida. Esta capa de cristalitas tiene un crecimiento limitado a un círculo ya que rápidamente se transforma un tercer baño de cristalitas más hacia el interior de las piezas justo más allá de la región enriquecida la cual ahora circunda al segundo baño de cristales.

Este círculo se repite una y otra vez hasta que los cristalitas han sido nucleados a través del volumen de la pieza; entonces el enfriamiento continúa con un gradual alargamiento de todos los cristales, éste proceso tiene lugar simultáneamente a través de toda la pieza. Los cristales más cercanos a la pared del molde crecen ligeramente más rápido que los cercanos al centro de la pieza sin ser muy marcada la diferencia. La macroestructura de las piezas en éste tipo de aleaciones con alto contenido de aleante muestra una cristalización equiaxial.

En las aleaciones de medio contenido de aleante, las primeras dendritas formadas avanzan hacia el interior de la pieza, pero debido a que el metal que se encuentra entre ellos se vuelve más rico en elementos aleantes no son capaces de eslabonarse de lado a lado sino hasta muy tarde cuando la pieza esta casi totalmente sólida, ocasionando con ésto que la zona central de la pieza posea una macroestructura equiaxial, mientras que la región exterior tenga estructura columnar.

### 1 - 3 ) Influencia de los Mecanismos sobre la Porosidad por Contracción.

Los mecanismos descritos son vitalmente importantes desde el punto de vista alimentación de la pieza, puesto que ellos darán la pauta para el tipo y distribución de la porosidad de la contracción a la cual esta sujeta la aleación.

En las aleaciones con rango de solidificación corto se encuentran cavidades de profundidad simétricas que son características. El Cobre de alta pureza formó cavidades de forma perfecta en tanto que si contiene impurezas o pequeñas cantidades de metal aleante, tiende a formar cavi-

des menos regulares, cuyas paredes son algo rugosas.

Como se dijo anteriormente cuando la temperatura disminuye, se forma el frente de solidificación el cual se agranda con la formación de más cristales, mientras esta solidificación se produce, el metal líquido se contrae al descender su temperatura y en el momento de la solidificación se produce una nueva contracción, ya que el volumen del metal sólido es inferior en un 4 a 7% al del metal líquido. Por efecto de ésta contracción se forman cavidades en la zona más tardía en solidificarse, a no ser que se efectúe una aportación de metal líquido para llenar estas cavidades. Esto se consigue situando una masa adicional de metal sobre la última zona en solidificarse, de forma que las cavidades de contracción se produzcan en estas masas.

Los alimentadores deberán estar dispuestos de manera que se fomente la solidificación direccional, esto es, el principio según el cual el metal en el molde comienza a solidificarse en los puntos más lejanos a los alimentadores y continúa progresivamente hacia el alimentador, el cual es la última parte en solidificarse.

El principio general a seguir en la alimentación de esas aleaciones es hacer uso del efecto de retardo en la solidificación del alimentador y la aceleración de las esquinas exteriores y orillas de la pieza para hacer un frente en "V" con la boca hacia el alimentador, el rápido acceso del metal alimentado a la región de la pieza donde en cualquier instante el enfriamiento se completa, esto es, el ápice de la "V" es así asegurado.

En las aleaciones con rango de solidificación largo como ya se dijo una vez iniciada la solidificación en la superficie del molde y junto a las paredes del molde, a través del líquido remanente continúa la formación de cristallitos. Se aprecia que en los primeros estados de enfriamiento o solidificación, el metal consiste de un líquido en el cual están suspendidos diminutos cristallitos de sólido en este estado el metal aún es muy fluido, y la contracción, la cual se efectúa cuando los cristales crecen, se compensa por una caída en el nivel de la masa todavía fluida, la fluidez se mantiene hasta que la pieza llega aproximadamente a un 70% de sólida.

Al final de este período la mezcla sólida-líquido se --- vuelve naturalmente muy inactiva, pero puede compensarse la contracción estableciendo masas de carga y compensa - aproximadamente  $2/3$  del total de la contracción por soli- dificación de la aleación, así una aleación que tenga -- contracción total del 6% en volúmen, tendrá alrededor -- del 4% de este 6% un suministro por este medio.

Este proceso de masas de carga se auxilia normalmente -- por la presión atmosférica la cual actúa sobre las pare- des de la pieza, oponiéndose a la formación de cavidades en la pieza. Cerca del estado al 70% sólido el crecimen- to de cristales se vuelve mayor hasta entrelazarse con - los otros empezando la rigidez de la pieza, en este esta- do la alimentación de la masa para, y de ahí el creci- miento de dendritas compete con cada uno de los otros re- manentes líquidos que se encuentran aislados en número- sos y pequeños charcos desparramados por la pieza, no es difícil ver como este tipo de solidificación permite la formación de una microporosidad dispersa, pues cada vez que uno de estos charcos aislados solidifica se forma un pequeño poro como resultado de su contracción.

En estas aleaciones, los bebederos grandes pueden resul- tar más perjudiciales que beneficiosos, por que mantie- nen en estado líquido la zona de la pieza fundida situa- da inmediatamente debajo del bebedero (a causa de la ma- sa del bebedero) sin alimentarla correctamente, frecuen- temente se forman cavidades de contracción inmediatamen- te debajo de los bebederos. A causa de la gravedad en la masa de la alimentación, es más importante en estas alea- ciones aumentar la altura de los bebederos que su diáme- tro de 3:1 ó 4: 1.

Se ha encontrado que en este tipo de aleaciones la mane- ra de obtener piezas sanas, con alta posibilidad, es ob- teniendo gradientes demasiado elevados para dirigir el - enfriamiento hacia los alimentadores como en el caso de la solidificación direccional; este gradiente debe ser - de al menos  $33^{\circ}\text{C}$  por pulgada en los últimos estados de - enfriamiento.

## CAPITULO II

### PROCEDIMIENTOS DE FUSION

#### II.- 1) Generalidades.

La fusión es una de las operaciones más importantes en la fusión de aleaciones de cobre, la calidad de la pieza depende en gran parte, de la calidad del caldo con que se ha colado, por lo que el objetivo que se debe perseguir en el departamento de hornos es el producir metal de calidad satisfactoria y a la temperatura necesaria al costo más bajo posible.

La amplia variación de aleaciones que se producen hacen imposible señalar un tipo de horno para manejar a todos, además la amplia variación en tamaño y la naturaleza de las operaciones de las fundiciones no ferrosas nos llevarían a utilizar una amplia gama de hornos y de prácticas fusoriss, en aros recientes se ha vuelto casi universal el uso de lingotes o aleaciones madre, que son lingotes de composición deseada, estas ligas madre se encuentran casi en cualquier composición, obteniéndose rápidamente la aleación deseada sin que el fundidor se preocupe por los procesos de aleación.

El tamaño y tipo de horno dependerá primeramente del volumen de producción, el tamaño de las piezas a fabricar y el carácter de las aleaciones a usar, como factores secundarios se tendrán la disponibilidad y el costo de los diferentes combustibles, así como la conveniencia de cambiar de una aleación a otra si la gama de aleaciones que se maneja es muy amplia.

Es importante considerar, para el tamaño del horno, que debe existir una relación directa entre este y el tamaño de las piezas, específicamente al número de moldes que se vayan a vaciar en una sola colada, si el crisol en que se funde el material se usará para vaciar directamente a los moldes, la capacidad de éste no deberá ser mayor que la cantidad de metal que puede vaciarse antes que se enfríe. Si la colada se efectúa con cucharas receptoras de metal fundido en horno de hogar, la capacidad del horno será igual a la capacidad de la cuchara multiplicada por el número de vaciados que se hagan, en esta forma el horno puede vaciarse rápidamente y regresar al servicio rápidamente.

## II.- 2) Tipos de Hornos Disponibles.

Como se ha indicado los tipos de hornos que se pueden usar son diferentes teniéndose así hornos eléctricos y hornos de combustible.

Dentro de los hornos eléctricos tenemos los hornos de inducción y de arco indirecto. Existen básicamente dos tipos de horno de inducción aprovechables, el tipo hogar u horno de canal y el sin núcleo u horno de crisol. Sin embargo ambos usan el mismo principio básico de inducir corriente dentro del metal a fundir, el número de bobinas, fuentes de poder y las frecuencias usadas han mostrado que algunos hornos trabajan mejor que otros en situaciones determinadas.

Estos hornos pueden usar frecuencia de línea, frecuencia media o alta frecuencia, ofreciendo diversas ventajas en la fusión de ciertas clases de bronce ó cualquier otro metal no ferroso.

La calidad del metal puede sufrir una alteración, durante la fusión como resultado de la inclusión de impurezas indeseables, esas impurezas pueden venir de la atmósfera del horno, sustancias refractarias, materiales extraños mezclados con la carga del metal o bien otra sustancia reactiva agregada a propósito.

En los hornos de baja frecuencia es común cubrir el metal con una capa de carbón para agotar el oxígeno del aire de la cámara de combustión previniendo así el enfriamiento en las orillas del baño.

En los hornos de alta frecuencia puede usarse ésta cubierta de carbón o bien cubrir con una atmósfera especial tal como nitrógeno.

En todos los hornos de inducción, las pérdidas por fusión son bajas y las adiciones de carga son rápidamente llevadas a cabo en el baño debido a la agitación electro-magnética inherente que coadyuva a la mezcla de las cargas fundidas para composición homogénea.

Los hornos de arco indirecto son altamente mecanizados y son de alta velocidad pero requieren eficiente supervi-

sión y control. Los ajustes apropiados de voltaje y reactancia son importantes para asegurar un arco claro. Una línea de voltaje variable sujeta a períodos donde el voltaje es mucho más abajo del estándar, resultará en un arco de baja potencia y con la consecuente heterogeneidad de la calidad del metal. -

El metal fundido recibe calor de dos fuentes, obtiene calor radiante del arco eléctrico y la otra fuente es el refractario el cual es calentado por el arco. El horno es girado en predeterminados incrementos de la superficie de área exponiendo más recubrimiento al calor del arco el cual entregará más calor al metal. El movimiento permite al horno fundir más rápido, produciendo un calor más homogéneo e incrementando la vida del recubrimiento del horno.

Sé deberá tener cuidado de evitar la presencia de aceite o agua en la carga del metal así como mantener libre de humedad al refractario. El control de giro deberá ajustarse de tal forma que el giro aumente uniformemente y en un rango suficiente para asegurarse una buena mezcla del material.

Las desventajas en ambos tipos de horno son el elevado costo de instalación, el costo de la corriente eléctrica y la necesidad de mano de obra especializada para el manejo de los controles de giro y ajuste, en su caso, del arco eléctrico para evitar el consumo elevado de electrodos.

Los hornos de crisol son quizás los más utilizados en las fundiciones de cobre ya que pueden fundir toda la gama de aleaciones que normalmente se utilizan. Presentan la ventaja de su extraordinaria flexibilidad, su accesibilidad para la adición de fundentes, para medir la temperatura o para desgasificar. Las pérdidas por fusión se pueden mantener en un mínimo, su costo de instalación es mucho menor que el de los hornos eléctricos y se pueden adaptar mejor para usar en baja producción.

Estos hornos pueden ser fijos y basculantes, los primeros son aquellos en los cuales se extrae el crisol del horno y se lleva a los moldes para la colada, se fabrican en gama de tamaños adecuados para alojar crisoles de

15 a 150 Kgs., de capacidad, tienen la ventaja de una extrema flexibilidad ya que pueden usarse diferentes crisoles para diferentes aleaciones, y en parte, también se pueden usar crisoles de distinto tamaño adaptándose a la producción necesaria. Los hornos basculantes son los que vierten el metal a una cuchara para su transporte a los moldes, se emplean cuando se necesita una producción relativamente grande de una aleación determinada, el crisol permanece normalmente en el horno hasta el fin de su vida, que es más larga que en el caso de los hornos fijos, pues hay menos peligro de daños físicos por una manipulación descuidada. La capacidad varía desde 70 hasta 750 Kgs., utilizando el crisol tradicional tipo alto o bien desde 500 a 1750 Kgs., cuando se emplea un crisol ancho, éste tipo de crisol permite el empleo de trozos de chatarra mucho mayores que con el crisol alto y por lo mismo es más barato para la producción.

## II.- 3) El Horno de Crisol como Elemento de Fusión.

En los hornos de crisol calentados por la combustión de la mezcla aire diesel o aire-gas, la oxidación se produce principalmente cuando hay un exceso de aire en la mezcla ocasionando una atmósfera fuertemente oxidante. Por otra parte, las condiciones reductoras pueden hacer una combustión imperfecta y ocasionar una coquización en las paredes del horno o el mismo crisol, debido a las partículas de diesel que no se queman. Esta coquización entorpece y dificulta la buena rotación de la llama alrededor del crisol. Esto, sumado a los efectos del exceso de aire, retrasan considerablemente la fusión.

El perfecto funcionamiento de los quemadores, es esencial para que prevalezca en el horno una atmósfera adecuada y pueda lograrse el máximo rendimiento del crisol.

Muy importante es también la perfecta orientación del quemador, el cual debe ser colocado tangencialmente al crisol, con objeto de dar una orientación al flujo de la flama, la cual pegará contra la pared del refractario de forma circular y tomará ésta para envolver al crisol y calentarlo uniformemente hasta la parte superior. La flama no debe chocar contra la peana ni mucho menos contra el crisol, sino que ha de dirigirse paralela o ligeramente inclinada hacia el fondo del horno, facilitando la inclinación de la rotación de la flama.

- 2) Vaciado en molde permanente
- 3) Vaciado en yeso
- 4) Vaciado por investimento
- 5) Vaciado centrífugo (puede ser también en arena)

Muchas formas de moldeo y vaciado requieren ciertas técnicas, unas de las principales son:

- 1) Vaciado en moldes de grafito
- 2) Vaciado en moldes de cerámica horneada
- 3) Vaciado por proceso de la cera perdida, el cual se - puede incluir en el vaciado por investimento.

Todos los procesos están hasta cierto punto limitados, - pero cada uno tiene ventajas definidas sobre otros y su elección, se basa en factores específicos.

Factores a Considerar en la Selección del Proceso de Moldeo.

- 1.- Costo inicial del equipo y materiales
- 2.- Costo de la mano de obra para dejar listo el molde para vaciado.
- 3.- Precisión requerida para la manufactura de la pieza.
- 4.- Controles a establecer
- 5.- Comparación de costos por otros procesos
- 6.- Qué tan costoso y difícil sería quitar unas milésimas de pulgada que la pieza tuviera de más.
- 7.- Serán piezas que se soldarán?
- 8.- Serán piezas que recibirán tratamiento térmico?
- 9.- Serán piezas que se forjarán o conformarán?
- 10.- Número de piezas requeridas por día/semana/mes u -- otra unidad de tiempo.

La cámara de combustión es factor también importante ya que ésta deberá ser proporcionada a los tamaños de los crisoles para que la combustión proporcione el máximo de calorías en la base del crisol. En general, se considera suficiente un espacio entre la pared del crisol y la del horno entre 5 y 10 centímetros.

El revestimiento refractario de los hornos se debe mantener en buen estado, ya que un recubrimiento socavado no sólo dificulta la buena rotación de la flama alrededor del crisol, sino que produce dardos que dan sobre el crisol a modo de soplete deteriorándolo prematuramente.

Una vez conocidas las características que debe poseer el horno para su buen funcionamiento, deberán conocerse los efectos de los combustibles en la fusión del cobre y sus aleaciones y así tenemos:

Absorción de Hidrógeno  
Oxidación de la Carga  
Absorción de otros componentes, productos de la combustión.

Estos efectos dependen de las condiciones ambientales en que se lleve a cabo la fusión y del tipo de combustible usado y entre estos los más frecuentemente usados son -- Diesel y Gas L.P.

El Diesel tiene la desventaja de producir gran cantidad de contaminantes y vapor de agua entre los gases producto de la combustión, que en algunas ocasiones van a pasar al metal líquido o a la chatarra y lingote que aún se encuentran en estado sólido en la parte superior del crisol.

El Gas L.P., por el contrario de aquel, se obtienen gases de combustión mucho menos contaminantes, o dicho en otra forma, más controlables.

## II.- 4) Fusión de las Aleaciones de Cobre.

Como se dijo anteriormente algunas fundiciones usan lingotes madre o ligas madre para realizar sus fusiones, -- ahora bien esta práctica ha sido desarrollada ya que al fundir y vaciar el cobre y sus aleaciones, se ha encontrado que para obtener mejores resultados es necesario --

que la fusión se realice lo más rápidamente posible, -- por esta razón y para lograr una mayor uniformidad y homogeneidad en la aleación, es conveniente efectuar la fusión de las piezas en dos tiempos:

- 1 Preparación y lingoteado de la aleación
- 2 Refusión de los lingotes y vaciado de la colada

Como en la preparación de cualquier aleación, también en las que tiene por base el cobre, conviene fundir primero el componente menos fusible, esto es, el cobre.

Hay que recordar que, para obtener los mejores resultados, especialmente en lo que se refiere a las características mecánicas, es necesario partir de materias primas lo más puras posible (cobre electrolítico) limpias y sin óxidos.

Para la preparación de la aleación se introduce en el -- crisol el cobre en trozos no muy grandes añadiéndole materiales recubrientes a base de vidrio, sosa, que por tener un punto de fusión más bajo que el del cobre, fundan primero formando una capa protectora bajo la cual se recoge el cobre a medida que se inicia y continúa la fusión; el metal queda así protegido de la absorción de gases desarrollados en la combustión y en el aire.

Cuando todo el cobre está fundido, se produce a una primera desoxidación introduciendo pequeñas cantidades de -- cobre al silicio, al manganeso y más comunmente al fósforo, estos al combinarse con el oxígeno que el cobre ha -- absorbido, forman óxidos que pasan a las escorias.

Terminada esta operación se añaden por orden los elementos de la aleación, como Estaño, Plomo, Zinc, Berilio, -- Cromo etc., procurando mantenerlos inmersos en el baño para evitar, especialmente con el Zinc, fuertes pérdidas por oxidación (combustión).

Se deja calentar suficientemente la aleación, y después de quitar la escoria que flota sobre el baño, se le vacía en moldes metálicos, generalmente paralelepípedicos, para obtener lingotes de forma y peso lo más manejables posibles.

Para asegurarse de la exacta composición de la aleación,

porque no obstante todas las precauciones, siempre se producen pérdidas por oxidaciones, se practica análisis químicos a fin de realizar las correcciones adecuadas y las adiciones necesarias para dar al metal la composición requerida.

Aunque no se obtienen los resultados que se consiguen empleando materiales nuevos, por razones económicas, para la fundición de las piezas particularmente sino se exigen determinadas concretas características, se usan chatarra y viruta de bronce cuidando únicamente que estén lo más limpias posible, puesto que el aceite y los barnices producen gases fácilmente absorbibles por la aleación.

En este caso todavía más que en el anterior, es necesario recurrir a una fusión y a un lingoteado preliminar seguidos de un tratamiento protector y desoxidante mediante recubrimientos a base de sosa y borax, y finalmente a pequeñas adiciones de cobre fosforoso y silicoso.

El metal una vez fundido es colocado en pequeños lingotes, y después de enfriado, sometido a análisis, que al revelar las cantidades de los componentes presentes, permitirá en el momento de la fundición para la colada de las piezas la adición de los metales que faltan.

Es conveniente hacer notar que los fundentes deberán ser usados totalmente secos, deben secarse en la estufa si es necesario ya que, en algunos casos, en lugar de proteger al metal de la absorción de gases introducimos más hidrógeno. Los fundentes podemos clasificarlos según la función que deseamos que desarrolle en Oxidantes, Reductores y Neutros.

**Oxidantes.**- Cuando hay impurezas le proporcionamos oxígeno que las convierte en óxidos, los cuales pasan y flotan en la superficie junto con la escoria que es retirada antes de vaciar, caso concreto del uso de éstos es en los cuproniqueles.

**Reductores.**- Se usan cuando los elementos en la carga son fácilmente oxidables si permitimos la entrada de  $O_2$ , ya sea como fundente o por flama muy oxidante, es entonces necesario usar fundente reductor como el carbón de madera que se combina primero con el oxígeno no permi-

tiendo que se siga oxidando la carga, eliminando el oxígeno como CO<sub>2</sub> permitiéndonos tener una carga limpia sin óxidos.

El caso concreto del uso de estos es en los cupro-aluminios ya que el aluminio es fácilmente oxidable, así como los cobres.

Neutros.- Llamadas escorias de protección son fundentes a base de vidrio, algo de borax y arena silicá. Junto -- con otros materiales que solo sirven como una escoria líquida protectora del metal fundido, para que el oxígeno y el hidrógeno de los gases de combustión no sean absorbidos por el metal.

## II.- 5) Fusión y colado de piezas en Aleaciones de Cobre

Sabido es que la conversión de metal sólido en líquido -- aprovechable para el vaciado, es una transferencia del -- calor producido por el quemado del combustible (gas o -- diesel) al metal para alcanzar su temperatura de fusión. Para cada aleación o metal se requiere una cantidad de -- calor específica para alcanzar su punto de fusión y otra cantidad para cambiar de estado. Si se aplica calor adicional al metal líquido, pueden ocurrir varias cosas que pueden ser peligrosas para el vaciado, las más importantes se enuncian a continuación:

1.- La temperatura del líquido será elevada. Esto -- es entendible puesto que más calor aplicado al líquido -- continuará elevando su temperatura hasta provocar otra -- acción.

2.- El metal se vuelve más fluido. Cuando se aplica calor adicional al baño de metal fundido, la actividad -- molecular del mismo se incrementa haciendo observable ma -- yor fluidez. Esto es común en muchos materiales ya que -- si la temperatura es elevada, el material se vuelve más líquido.

3.- Los constituyentes volátiles pueden ser desalojados conforme el calor adicional, aplicado al baño al-- canza la presión de vapor de un constituyente tal como -- el Zinc, que como se mencionó puede desalojarse como fu-- marola.

4.- Parte del metal de la aleación puede oxidarse.-- El porcentaje de oxidación de los varios elementos presentes en una aleación, depende un poco en la temperatura y la composición. Conforme la temperatura aumenta los varios elementos presentes tenderán a oxidarse y separar se preferencialmente.

5.- La tendencia a la disolución de gases se vuelve mayor. A diferencia del agua y otros fluidos, los metales líquidos tienden a disolver grandes cantidades de gases si la temperatura se incrementa. El metal sólido disuelve muy poco gases mientras que el metal líquido disuelve grandes cantidades dependiendo de la composición. En general, a temperaturas altas el metal disuelve grandes cantidades de gas.

Problema de Gases.-- En toda fusión, excepto la efectuada en vacío, el metal está expuesto a gases, que pueden deberse a la presencia en el aire, a ser productos de la combustión del combustible o debidos al combustible mismo. Cuando se quema gas o aceite una porción de los productos es vapor de agua y a la temperatura de fusión del bronce y el latón algo de este vapor puede disociarse para formar hidrógeno y oxígeno atómicos (gases) este último puede formar óxidos metálicos, ambos el hidrógeno y el oxígeno como óxido son entonces solubles en el metal líquido en algún grado.

Además del vapor de agua, otros productos de combustión son los gases carbónicos y los hidrocarburos producidos por combustión incompleta, los efectos de los gases producto de la combustión dependen de muchos factores sin ser el menor la temperatura puesto que ya se mencionó -- que a altas temperaturas del metal, este disuelve mayor cantidad de gases. También los metales puros se comportan diferente a sus aleaciones pues la presencia de Estaño, Plomo, Zinc, Cromo, Berilio, inhiben la disolución del oxígeno en el cobre, experimentalmente se ha demostrado que las aleaciones Cobre-Estaño, tienen menor solubilidad de oxígeno que el cobre mismo, además el hidrógeno no puede ser más soluble en las aleaciones de cobre que en cobre con cantidades apreciables de oxígeno.

No solamente los varios aleantes conducen en forma diferente con respecto a la disolución de gases, sino las solubilidades de estos en la misma aleación debe variar --

considerablemente. Esto es el hidrógeno y el oxígeno tienen probablemente solubilidades relativamente altas en las aleaciones de cobre, el nitrógeno probablemente no se disuelva significativamente ni en el estado sólido ni en el estado líquido, es sabido que los gases de carbón tienen solubilidad limitada en el estado líquido y puede ser igual con los gases de azufre. Esta diferencia en la solubilidad de los gases puede causar problemas al fundir los metales.

Considerando los efectos de los gases en las aleaciones de cobre, y sabiendo que el comportamiento de los gases es similar en el hierro, aluminio, acero y otros metales se puede concluir que los metales sólidos tienen solubilidad limitada por los gases, por otro lado los metales líquidos tienen alta solubilidad para algunos gases. Este cambio en la solubilidad conforme solidifican los metales, es la que da salida a la porosidad por gas en las piezas coladas.

En el caso de las aleaciones de cobre, hay cierta solubilidad en el estado sólido para los gases normalmente --- existentes en la atmósfera del horno, esto significa que cuando el metal solidifica, tiende a ceder una parte del gas mientras el resto permanece en el estado sólido.

Los siguientes gases son los más probablemente encontrados en el cobre y sus aleaciones:

Oxígeno.- Puede venir del aire sobre el metal o el aire usado en el quemado del aceite, probablemente tiene una solubilidad muy baja en el metal líquido, sin embargo el óxido cuproso  $Cu_2O$ , tiene una apreciable solubilidad en el cobre líquido.

Nitrógeno.- También puede provenir del aire, pero según parece éste no tiene solubilidad significativa ni en el metal sólido ni en el metal líquido.

Hidrógeno.- Puede venir del combustible, o bien de la disociación del vapor de agua producido por el quemado del combustible. Como el vapor se rompe bajo altas temperaturas o en contacto con el metal fundido, el hidrógeno se disuelve en el metal y el oxígeno forma óxidos que por solubilidad limitada puede separarse como escoria.

Monóxido y Bióxido de Carbón.- Pueden ser (y generalmente son) productos de la combustión del diesel o gas y se sabe que tienen poca o nada de solubilidad como gases, pero sí como carbón.

Azufre.- Los gases de azufre (probablemente dióxido de azufre), no son considerados importantes en las aleaciones de cobre aunque tienen especial importancia en la manufactura del cobre puro.

Hidrocarburos.- Estos pueden tener cierto efecto en las aleaciones base cobre, pero esto únicamente será como fuente de hidrógeno.

Durante la fusión en hornos de crisol, el problema de gases se vuelve crítico ya que como se usa gas o diesel como combustible, los productos de la combustión incluyen vapor de agua, el cual se disocia parcialmente a la temperatura del metal fundido o puede disociarse en contacto con el metal líquido. El hidrógeno se disolverá en el metal líquido en cantidades relativamente altas, el oxígeno se disolverá en el metal líquido formando óxidos, existirá entonces un equilibrio entre los óxidos metálicos, el hidrógeno y el vapor de agua sobre el baño, como la temperatura se incrementa, la cantidad de hidrógeno y oxígeno (como óxido) que se disuelven en el baño también aumentarán.

Así cuando se vacía una pieza con material que contiene ambos hidrógeno y oxígeno, se observará que al solidificar el metal este tiende a rechazar a ambos hacia el líquido residual, debido al gran cambio en la solubilidad entre los estados sólido y líquido. Si las condiciones son correctas el hidrógeno y el oxígeno se recombinan para formar vapor, si la presión del vapor formado excede ligeramente el frente del metal, más la presión de la atmósfera, el líquido remanente se soplará entonces hacia arriba de la cubeta o arriba del alimentador, si la presencia del gas acumulado alcanza justo la presión atmosférica, los poros del gas generalmente se presentan bajo la cubeta y en la parte superior de la pieza.

En las aleaciones con rango de solidificación corto se encuentran poros más grandes distribuidos por toda la pieza pero más prevalcientes en la última porción que

solidifica,

Las figuras a continuación muestran: Figura 1 la relación existente entre el contenido de oxígeno en el cobre y su capacidad para retener hidrógeno en solución. Figura 2 incremento de la solubilidad del hidrógeno con la temperatura.

En la figura 1.- La curva representa el punto donde el contenido de oxígeno es suficientemente alto para limitar la absorción del hidrógeno, pero al mismo tiempo, la cantidad presente no perjudica la conductividad o propiedades mecánicas apreciablemente.

En la figura 2.- Se presenta la forma en que aumenta la solubilidad del hidrógeno en el cobre a medida que aumenta la temperatura.

Prevención del Gas.- La mejor práctica de prevención es no permitir ninguna concentración del gas en el metal, es más fácil mantener fuera el gas que removerlo una vez que está presente. Si el gas está presente puede removerse un cierto grado por uno de los siguientes métodos:

1.- Vaciar el metal, dejarle solidificar y luego refundirlo. Esto permite que el gas escape del metal solidificado debido al cambio en la solubilidad ya antes descrita. Esta técnica no tiene valor alguno si al hacer la refundición se absorbe una cantidad de gas igual.

2.- El metal puede burbujearse con un gas inerte para remover el hidrógeno. El uso de nitrógeno seco o aún de aire seco para el burbujeo han probado ser eficaces en muchas ocasiones. Este burbujeo es una acción mecánica y puede ser altamente benéfico. Es muy útil burbujear el aire seco o el nitrógeno a través de la superficie del metal, ya que se baja la presión de vapor del hidrógeno sobre el baño, lo cual acelera la remoción del hidrógeno desde el metal líquido.

3.- Alguno de los constituyentes presentes, tales como el oxígeno y los óxidos metálicos, pueden removerse por desoxidación química. Esto se hace ya como una práctica común. Es posible, sin embargo, que residuos de desoxidantes o removedor de oxígeno puedan quedar en la aleación y tener un efecto dañino sobre las propiedades del

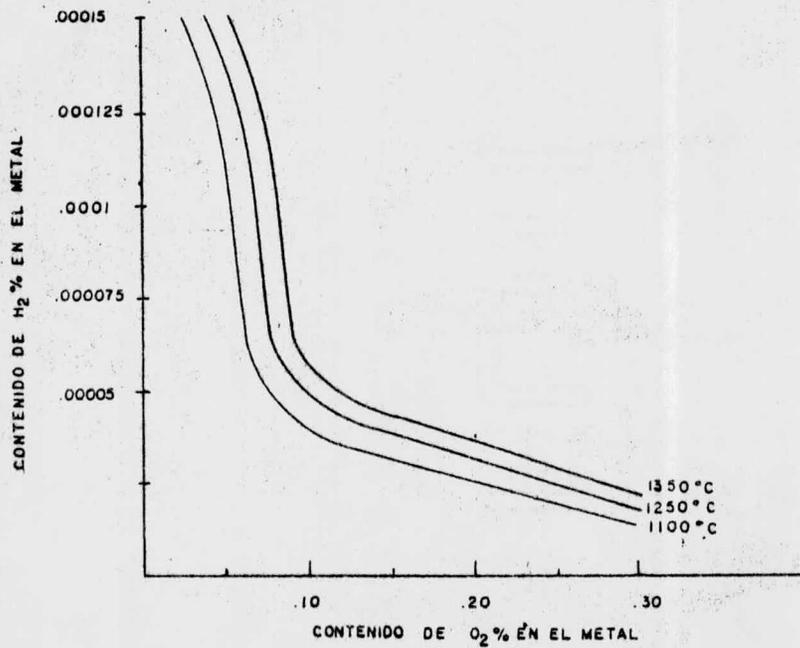


FIG. 1

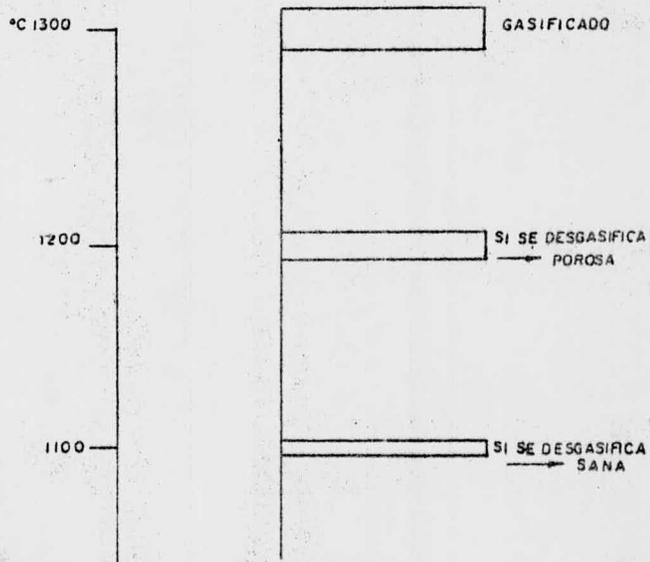


FIG. 2

material.

4.- Tratamiento al vacío del metal fundido remueve efectivamente o reduce fuertemente el contenido del gas. Esta técnica no ha probado ser comercial para las aleaciones base cobre, debido a lo caro del equipo requerido, - la excesiva pérdida de elementos volátiles, tales como Zinc y Plomo los cuales pueden afectar severamente la composición de la aleación y debido a que el vaciado debe llevarse a cabo también bajo condiciones de vacío para mantener muy bajo el contenido de gas.

Es mejor prevenir el gaseado del metal, manteniendo condiciones apropiadas durante la fusión, cualquier práctica de fusión puede ser benéfica solo que es importante tener un entendimiento de los elementos de control del gas para poder así establecer una práctica adecuada para la fusión, de acuerdo a las leyes físicas y químicas involucradas. A continuación se dan las dos prácticas que pueden llevarse a cabo.

Fusión Oxidante.- La técnica oxidante significa simplemente que todo el combustible debe ser quemado completamente y no tener más que 0.5% de oxígeno residual en los productos de la combustión. Esta técnica opera de la siguiente manera: El exceso de oxígeno o gas oxidante el cual puede ser CO<sub>2</sub>, controla el contenido de hidrógeno del metal oxidándolo en la interfase metal-gas y también por una acción de dragado sobre la superficie del metal. Con el exceso del oxígeno presente, ésta técnica permite crear óxidos de metal al mismo tiempo que mantiene el contenido de hidrógeno en el mínimo. Por esta razón antes del vaciado debe usarse un desoxidante externo para bajar el contenido de oxígeno de tal forma que haya insuficiente oxígeno para que el hidrógeno no reaccione formando vapor cuando el metal solidifique.

Es posible proveer el metal líquido de oxígeno usando compuestos con oxígeno o bien fundentes y recubrientes oxidantes, esto es muy usado en Europa e Inglaterra, no así en América, sin embargo muchos fundidores algunas veces agregan óxido de cobre al caldo para ayudar a controlar el gas.

Un número elevado de elementos y compuestos tales como: Aluminio, Magnesio, Berilio, Boruro de Calcio, Litio, So

dio, Fósforo, Zinc, entre otros, pueden ser usados como desoxidantes en las aleaciones base cobre, sin embargo - hay que tomar en cuenta dos factores muy importantes que son el costo y el efecto danino cuando quedan en solución, el fósforo de cobre (15%) se ha encontrado eficaz y no de alto costo, siendo necesario agregar un máximo - de .02%.

El propósito del desoxidante es eliminar oxígeno del líquido y prevenir la absorción del mismo durante el vaciado. Usando el oxígeno para controlar el hidrógeno y el fósforo para controlar el oxígeno se puede producir metal libre de gas.

Fusión reductora.- La práctica o técnica reductora previene la absorción del oxígeno y permite la libre disolución del hidrógeno en el metal. Puesto que la solubilidad del hidrógeno en el metal sólido es alta, es bastante posible que no ocurran porosidades aún cuando el metal se vacíe en un molde crítico.

La principal dificultad con la técnica reductora es que aunque el metal se pueda fundir provechosamente bajo condiciones reductoras (tal como una cubierta de carbón), el vaciado es hecho casi invariablemente en aire bajo condiciones oxidantes. Esto significa que el oxígeno puede ser absorbido y si es contenido de hidrógeno es alto, el oxígeno es bajo pero existe, una reacción de vapor -- (combinación de Hidrógeno y Oxígeno) puede ocurrir. Por esta razón la técnica reductora requiere especial cuidado y condiciones especiales para producir metal libre de gases.

Para lograr la atmósfera reductora se deberá tener una deficiencia de oxígeno en los productos de la combustión y no quemar todo el combustible completamente (indicado por la presencia de monóxido de carbón e hidrógeno en los productos de la combustión).

Cualquiera de estas técnicas que se han mencionado, pueden ser llevadas a cabo o bien mejorar alguna de ellas, pero el fin debe ser obtener un metal libre de gas, ya que se ha visto que la mayor parte de los efectos atribuidos a gases en el metal son más bien debidos a los gases que quedan en el metal, ya que normalmente la porosidad generalmente indica que el gas ha abandonado el

metal, dejando en su salida una porosidad. Algunos de -- los efectos dañinos de los gases pueden atribuirse como se dijo a los gases que permanecen en solución.

La presencia de gases, en las aleaciones, ya sea inter-- dendriticamente o intergranularmente, pueden reducir severamente sus propiedades físicas. Esto vuelve a ser un caso de los gases que salen de la solución y se deposi-- tan en los bordes de grano o entre las dendritas, y debilitan así la estructura metálica. En el caso del oxígeno el gas puede formar óxidos, en el azufre puede formar -- sulfuros, los cuales quedan atrapados en el metal debilitando la estructura, especialmente si se encuentran en -- los bordes de grano.

Los hoyos de los poros dejados en las aleaciones de rango de solidificación corto pueden actuar como ranuras -- que reducen las propiedades físicas durante la operación esto es, en tales aleaciones el metal enfriará en un ran-- go estrecho sin formación dendrítica y el gas puede formar una bolsa la cual puede actuar como un alimentador -- de tensiones y debilitar al material.

En las aleaciones de rango de solidificación largo sucede que el gas sale de solución en la solidificación y de-- ja poros o bien una porosidad general exagerada que baja las propiedades mecánicas al reducir la sección-transver-- sal efectiva de la sección, esto sucede especialmente -- cuando la capa exterior es maquinada, dejando el poro in-- terior.

La presencia del gas puede agravar una ya presente condi-- ción de rechupe. Generalmente es muy difícil distinguir entre la porosidad por contracción y la porosidad por ga-- ses, y en muchos casos algo de gas esta presente en la -- porosidad por contracción en un metal gaseado, el gas sa-- le de la solución cuando el metal solidifica ejerciendo una presión en el metal solidificante que debido a su -- plasticidad tenderá a alargar las cavidades de contrac-- ción (frecuentemente interdendritas) agravando la condi-- ción.

Condiciones de vaciado.- La operación de vaciado es un -- paso importante en el colado del metal, en esencia no -- puede separarse de la operación de fusión. Una razón pa--

ra esto es, que el mayor porcentaje de piezas son vaciadas al aire. Puesto que esto significa que las piezas -- sean vaciadas en una atmósfera oxidante, se vuelve esencial que la fusión haya sido hecha en el mismo tipo de atmósfera. Mientras pueda ser posible fundir bajo otras condiciones, será conveniente usar una técnica oxidante para mantener una práctica constante entre el fundido y el vaciado.

Considerando la práctica de vaciado de las aleaciones de base cobre, las aleaciones más comúnmente usadas pueden ser separadas en dos grupos. El primero incluirá las --- aleaciones que forman escoria u óxidos no fluidos tales como bronce de aluminio, bronce de manganeso, coores - al cromo y ciertas aleaciones con alto contenido de Zinc. El segundo grupo se caracteriza por la formación de escorias u óxidos fluidos e incluye muchas de las aleaciones de uso general.

El primer grupo requiere mayor cuidado en el vaciado si se quiere producir piezas de alta calidad, su comportamiento general puede compararse al vaciado de las aleaciones de aluminio, y se recomiendan técnicas de vaciado similar.

Una buena práctica de vaciado para esta clase de aleaciones puede ser considerada como sigue:

1.- Las aleaciones fundidas que produzcan capas de óxido fijas, nunca deberán agitarse, para evitar el entrapamiento de los óxidos en el metal. Después de que el crisol ha sido sacado del horno, el metal deberá ser cuidadosamente desnatado antes de vaciar pero no agitado o -- mezclado.

Toda forma de agitación debe ser evitada. Si el metal se funde en un horno basculante y debe transferirse a una - cuchara de vaciado, se deberá hacer un esfuerzo para minimizar el goteo del material, manteniendo la cuchara -- bastante cerca del labio del horno cuando se haga la --- transferencia.

2.- Un correcto diseño del canal alimentador es esencial para minimizar la aspiración del aire dentro del metal y evitar la turbulencia durante el vaciado y la entrada --

del metal en la cavidad del molde. Es recomendable usar canales rectangulares ahuzados siempre que sea posible -- ya que estas secciones rectangulares eliminan los remolinos y los hilos en el canal y reducen la entrada de aire y hacen que el metal entre en el molde tranquilamente y sin turbulencia. Si se usan canales de sección circular, esta deberá ser del menor diámetro posible sin olvidar -- el ahuzamiento para ayudar a reducir la aspiración del -- aire y el choque tan rápido como sea posible.

3.- Deberá colocarse un pozo en el fondo del canal para -- recibir el primer oleaje de material vaciado en el molde.

4.- La cubeta de vaciado deberá ser colocada en el extre -- mo del molde de tal forma que el labio de la cuchara o -- el crisol esté bastante cerca a la cubeta de vaciado. -- Las aleaciones base cobre que contienen aluminio forman una capa de óxido de aluminio que queda envuelta y atra -- pado en el chorro del metal, si la distancia de la cucha -- ra a la cubeta es grande.

5.- El vaciado deberá hacerse en una forma por demás sua -- ve para evitar el salpiqueo o el rompimiento del chorro. -- Vaciado con cuidado las aleaciones de aluminio, mangane -- so y cromo forman una cubierta de óxido alrededor del -- chorro del metal el cual protegerá al metal de mayores -- oxidaciones.

Siguiendo todos estos pasos en el vaciado de estas alea -- ciones es posible minimizar el daño al metal en las pie -- zas. Fracasas al seguirlos puede ocasionar un entrapa -- miento de capas de óxido en las piezas, reduciendo las -- propiedades mecánicas, impidiendo la alimentación apro -- piada de la contracción y causar serios defectos superfi -- ciales, los cuales se verán solamente después de costo -- sos maquinados.

El segundo grupo de aleaciones son generalmente menos -- sensitivas a la práctica del vaciado. Mientras la turbu -- lencia en el vaciado puede ocasionar defectos en la pie -- za de cualquier aleación, el hecho de que los oxidos for -- mados en este grupo pueden separarse rápidamente del me -- tal fundido significa menor entrapamiento de oxidos en la pieza misma y mayor escape de las burujas de aire en -- trante. Afortunadamente este grupo contiene a la mayoría

de las aleaciones base-cobre, especialmente aquellos de uso común.

Pero aún así para llevar a cabo un buen vaciado o sea de alta calidad es sugerible aplicar las técnicas anteriormente enlistadas aunque en un menor grado de rigurosidad.

Temperatura de vaciado.- Generalmente la presunta más común en una fundición no ferrosa es, a que temperatura deberá vaciarse tal pieza, para esto no existe ninguna regla en especial, ya que depende de muchos factores tales como tamaño, forma y composición de la aleación.

Puesto que el cuidado y la seguridad del control de la temperatura de vaciado es importante en la producción de una consistente alta calidad, se deberá usar un pirómetro ya sea portátil o estacionario pero que siempre deberá encontrarse en condiciones.

Ahora bien dado que la meta del fundidor es producir piezas de la más alta calidad, se debiera especial atención a la temperatura a la cual será vaciado el metal dentro del molde, ya que el metal vaciado frío o caliente puede causar piezas defectuosas idealmente, buscamos la temperatura más baja del metal que dé el mayor número de piezas sanas. Generalmente esta temperatura (o rango de temperatura) puede determinarse solamente por vía experimental. Esto sería relativamente fácil con un simple molde, sin embargo no sería costable hacer una serie de piezas para obtener una temperatura adecuada. La experiencia, el conocimiento del comportamiento de las diferentes aleaciones en el vaciado, y la naturaleza de las piezas ayudarán al fundidor a seleccionar la temperatura a usar.

Vaciado caliente.- Los peligros de vaciar piezas con metal a alta temperatura son bien conocidos para muchos fundidores. El contenido de gas se incrementa con la temperatura de tal forma que el metal vaciado con excesiva temperatura puede producir piezas con porosidad de gas. Muchas aleaciones base-cobre son muy factibles a tener serios problemas de contracción cuando se vacian calientes. Esto se presenta principalmente en las aleaciones con rango de solidificación largo que están sujetas a la porosidad interdendrítica.

Los óxidos metálicos y la escoria se forman más rápida--

mente a elevadas temperaturas causando no solo pérdidas de los elementos aleantes sino el incremento del entramamiento de escoria y óxidos en la pieza misma.

El vaciado caliente también incrementa las reacciones entre la arena y el metal y el corazón, formando ya sea vapores o gases del corazón los cuales deben ser ventilados al exterior, además puede causar el rompimiento del aglutinante de la arena o del corazón, afectando el terminado de la pieza por el quemado de la arena o deslaves de la misma. La fluidez de muchas aleaciones puede mejorar con el incremento de la temperatura que a la vez de ser un efecto deseable, puede causar penetración de arena y superficie rugosa en las piezas.

El metal debe sacarse del horno a una temperatura más alta de la necesaria para el vaciado, es deseable si es posible, permitir que el metal enfrie naturalmente en el crisol o en la cuchara. Esto permitirá que los gases disueltos escapen conforme la temperatura baja, no es recomendable el enfriamiento del material con scrap, ya que puede tener aceite, grasa o humedad condensada en la superficie y por tanto existe la posibilidad del gaseo cuando se haga la adición.

También hay el peligro de explosiones de metal debidas a la formación de gas por adiciones rápidas al metal fundido.

Vaciado frío.- Los más obvios efectos del vaciado frío son piezas oncompletas, un más serio problema y menos obvio puede existir, cuando las piezas se vacían con metal frío, los sistemas de alimentación y carga pueden no funcionar debido a que el metal no es fluido y por tanto no alimentan apropiadamente, esto puede ocurrir aún cuando el molde esta completamente lleno, el cargador requiere metal con movilidad y si la temperatura del metal es baja y la fluidez dañada, pueden ocurrir serias porosidades por contracción tanto internas como externas. Sin embargo en bastantes ocasiones la solución a los problemas de alimentación es incrementar la temperatura de vaciado.

El metal frío con la fluidez reducida, puede también atrapar partículas de escoria o basura, las cuales de

otra forma pueden separarse y flotar en la pieza misma, - otro efecto del vaciado frío puede ser el entrapamiento de las burbujas de aire entrante, o la insuficiente fluidez para empujar el aire a través de la arena en las secciones delgadas, la cual provocaría una pieza incompleta.

Es posible también que el metal frío, con la fluidez reducida, pueda prevenir el escape de los gases disueltos que tienden a salir, conforme el metal enfría. Esto es - muy común en las aleaciones con rango de solidificación corto cuando la burbuja es atrapada por la pieza en lugar del cargador.

## II.- 6) Cálculo de Cargas y Merma de los Metales.

Clasificados los materiales que se manejan en la fundición, es necesario efectuar los cálculos pertinentes para preparar una carga que este dentro de especificaciones, según la norma que se pida:

A continuación se dan dos ejemplos de como efectuar estos cálculos:

- 1.-Metales vírgenes para ligas nuevas.
- 2.-Una parte con análisis controlado y la otra parte de liga nueva.

Ejemplo 1.- Preparar 300 Kg. de Bronce SAE-40

Para carga de 300 Kgs.   % Cu   % Sn   % Pb   % Zn   % Ni

84.0   5.0   5.0   5.0   1.0

-----  
252 Kgs. 15.0   15.0   15.0   3.0

Aleante Cu-Ni                   - 3

50% Ni                   240 Kgs.

6 Kgs. x .5 = 3.0 Kgs. Ni

3.0 Kgs. Cu

De tal forma que la composición de la carga será:

Cu	249 Kgs.
Sn	15 "
Pb	15 "
Zn	15 "
Cu-Ni	6 "

---

300 Kgs. Totales

Ejemplo 2.- Preparar un Cupro Aluminio que tenga:

Cu	79.0 %	Ligas: Al-Fe	70-30%
Al	10.5 "	Cu-Ni	50-50"
Fe	4.0 "	Cu-Mn	70-30"
Ni	4.5 "	Cu-Al	80-20"
Mn	2.0 "	Cu en cátodo	
		Al alta pureza	
		Fe en clavo	

Carga	250 Kgs	Cu	Al	Fe	Ni	Mn
	%	79	10.5	4.0	4.5	2.0
	Kgs.	197.50	26.25	10.0	11.25	5.0
	-Cu-Mn	12.00				5.0

---

195.50 26.25 10.0 11.25

-Cu-Ni 11.25 11.25

---

174.25 26.25 10.0



tal, posteriormente oxida los elementos de la aleación - que flota en la superficie.

Debido a Fundentes oxidantes

Por cargas muy sucias

A plomos muy oxidantes

Por temperaturas muy altas y metales sobrecalentados

A tiempo muy largos de fusión

Como ya se dijo son inevitables pero si reducibles

Con plomos ligeramente oxidantes

Con Fundentes controlados

Con cargas limpias (sin aceite, que estén secas, sin arenas ni tierras ni oxidados).

Con temperaturas adecuadas de vaciado aproximadamente -- 100°C arriba de su punto de fusión.

Por ejemplo si fundimos una liga nueva o aleación con análisis controlado el Estado deberá agregarse al metal fundido cuando éste se haya desoxidado previamente ya -- que de otra manera la merma por estano será muy alta, ya que se formará óxido estanoso hasta consumir gran parte del oxígeno del metal fundido. Este óxido estanoso, causará fragilidad y fisuras intercristalinas en el caso de cobre puro.

## CAPITULO III

### MOLDEO DE LAS ALEACIONES DE COBRE

#### III.- 1) Modelos

Día a día han aumentado los industriales que demandan mayor calidad en las piezas fundidas, a la vez que resulten más económicas, pero se ha encontrado, que la fundición puede ser solamente tan buena como el modelo y la caja de corazones lo sean, por esta razón es que se tratará de dar una guía para el uso y manufactura de los modelos.

Modelos de Plástico.- Probablemente el único material -- más desarrollado en la industria de la fundición, ha sido el plástico y su adaptación al modelaje. En un principio ciertos plásticos fueron utilizados, los cuales probaron su inprovechabilidad debido, a su falta de estabilidad dimensional, pero más tarde se desarrolló un plástico llamado epoxy, éste material tenía buena estabilidad dimensional (prácticamente sin contracción) y su resistencia a la abrasión era comparable al aluminio, se probó y se encontró, que puede ser vaciado en casi cualquier tipo de molde (metal, madera, yeso o caucho) y puede ser curado a temperatura ambiente, el tiempo de curado puede acelerarse usando lámparas infrarrojas u otro método de calentamiento similar. Este puede laminarse -- con fibra de vidrio o con cualquier otro material.

Las reparaciones o los cambios menores al modelo se pueden efectuar eficientemente, puesto que la adhesión del epoxy curado y el no curado es muy buena, sin embargo se presentaba el problema de un buen trabajo de cementado, limpieza y superficie no rugosa, ésto se subsanó haciendo una serie de barrenos en los angulos contrastantes para que sirviera de ancla, los barrenos, además de alargar el área cementada, contribuía a una mejor adhesión.

Modelos de Metal.- El aluminio recibió en el presente el mayor uso, algunas de las razones son su adaptabilidad al moldeo en arena, sus buenas cualidades de realce, su buena resistencia a la abrasión y sus buenos empaques de arena alrededor de él. Comparado con otros materiales -- más duros tienen mayor tendencia al deslizamiento, es -- más ligero en peso y puede ser maquinado rápidamente y --

su suavidad le permite ser trabajado a mano y ser terminado en un tiempo relativamente corto. Muchas cajas de corazones usadas para producir corazones convencionales, (a base de resina o aceite y curados en hornos convencionales) son hechos de aluminio.

Desde el desarrollo del Shell Molding, los corazones en Shell y el proceso de caja caliente (furfural) se ha usado extensivamente el hierro fundido en la industria del modelismo, la mejor razón es su estabilidad dimensional bajo el calor, ya que la temperatura varía en un rango de  $450 - 700^{\circ} \text{ F}$  ( $232 - 371^{\circ} \text{ C}$ ), también se ha probado con muy buenos resultados el hierro gris normalizado, sin embargo hay muchas cajas hechas de aluminio que se usan en el proceso caliente con buenos resultados.

Para ciertas formas y tipos, se deben usar tolerancias - para permitir la expansión por el calor, sería difícil - establecer una cantidad para permitir la expansión ya - que ésta depende mucho de el área y la forma de la caja que se considere, sería mejor tomar una pieza de aluminio de la misma aleación en que se vaya a fabricar el modelo o la caja, aproximarla a las dimensiones y calentarla a la temperatura de operación y checar la contracción y hacer la permitancia comparable en la caja.

El latón a menudo se usa para modelos que se montaran en placas o en tapas o bases sirviendo bien para esos propósitos, pero debido a su peso y dureza su uso se minimiza principalmente donde se trabaja a mano ya que se requiere mayor tiempo y esfuerzo para terminarlo, en modelos - que pueden terminarse con maquinado y no afecte el peso tal como un equipo base-tapa, se puede considerar el latón como material adecuado.

El metal blanco, aleación de plomo con antimonio para - contrarrestar la contracción, se usa para duplicar modelos. En emergencias o donde el costo del modelo debe conservarse muy abajo, es factible usarse aunque tiene muchas desventajas, es muy suave, sujeto a la distorsión, es muy delicado al impacto y muy pesado. El metal blanco es un buen material para vaciar canales de alimentación que se monten o bien que se usen como canales de alimentación maestra en placas de aluminio integral. Pueden vaciarse usando cualquier tipo de molde, madera, cera, ar-

cilla modelada o yeso. Se prefieren los moldes de arcilla ya que un modelo para alimentador se puede formar con los dedos aunque se debe tratar con más cuidado. --- también requiere más tiempo de limpieza que el vaciado desde un modelo rígido aunque el tiempo se compensa en el modelo original volviéndolo insignificante.

Las aleaciones fusibles hacen un buen duplicado usando yeso como material de moldeo, algunas tienen una temperatura de fusión de menos de  $212^{\circ}\text{F}$  ( $100^{\circ}\text{C}$ ), esto es una gran ventaja ya que el molde no requiere un ciclo completo de secado tal como para el metal vaciado a alta temperatura, una ventaja de usar aleaciones fusibles para duplicar se compara al plástico en no involucrar ciclo de curado ya que rápidamente toman forma y rápidamente solidifican.

Esos duplicados primarios se usan para modelos maestros adicionales, no se recomiendan para montarse por la misma razón del metal blanco, salvo en casos específicos.

Las aleaciones fusibles tienen muchas aplicaciones en la industria del modelismo tales como, hechura barata de moldes para vaciado plástico, para efectuar formas irregulares en cajas de corazón, para hacer marcas.

Modelos de Madera.- La madera es el material más flexible y universalmente usado en la industria del modelismo principalmente, debido a la velocidad a la cual se maquinan o pueden maquinarse y a su adaptabilidad para la fabricación.

El pino, caoba, y secoya, son los más usados, existen maderas sintéticas las cuales se han vuelto más populares, la mayor ventaja es que no requieren ser laminadas para combatir la torcedura, se maquina bien y no requieren pintura, la desventaja de las sintéticas, es que requieren un adhesivo especial y son algo más lentas en el armado que la cola normal para madera. También hay que considerar el costo por metro, el cual es considerablemente mayor que la madera natural, sin embargo conforme el tiempo y las desventajas se minimizan, las maderas sintéticas pueden volverse un material en extremo importante en la industria del modelismo.

Selección del Material.- Cada trabajo requiere un análisis

sis individual, muchos factores se involucran y cada uno de los cuales puede consumir mucho de la eficiencia ya sea por el exceso de mantenimiento, o el temprano reemplazo del equipo debido a un diseño original desapropiado, o a la falta de investigación para determinar el material y el tipo de equipo más adaptable. Aún cuando se pida cierto material para un tipo específico de modelo, es muy importante saber algunas cosas de la fundición en donde este será usado.

Muchas de las piezas elaboradas en fundición no ferrosas son hechas de placa, sin embargo, hay que considerar varios factores para su elaboración tales como el tipo de desmoldeo que se usará, ya que debido a esto podría romperse los canales alimentadores.

El factor más importante concerniente a la selección del material, es la producción por año, el siguiente es la estabilidad del diseño, estos dos factores son los que controlan el precio apropiado para el equipo de fundición.

Además, el equipo se considerará aprovechable o útil cuando el trabajo producido, puede efectuarse ya sea por moldeo automático o bien por moldeo a mano.

Por ejemplo.- Consideramos una producción de 200,000 piezas por año moldeadas en máquina sistema cope-drag; dada la cantidad deberá considerarse como un diseño estable - ahora si la partición es regular, el montaje de los moldes de latón, aluminio o hierro, se hará en placa de magnesio, hierro fundido o aluminio, si la partición es irregular y el vaciado de la placa es inminente es más favorable vaciar la placa en aluminio.

Algunos modelos con partes o formas un tanto irregulares se hacen maquinando con un duplicador formado en hierro, habiéndose moldeado con el mismo diseño del modelo (solamente que se agrega una cantidad mínima de terminado, la cual se maquina con el duplicador) esto lleva a la elaboración de un buen modelo aunque un poco caro, lo cual obliga a un exámen detallado en lo que respecta al valor de tales modelos comparados con los de aluminio fundido.

Los modelos en resina epoxica, se han hecho con bastante éxito, sin embargo deben darse todo tipo de consideración

nes para éste tipo de equipo basados en el comarable -- costo del metal.

Si el único equipo disponible, son las prensas de sacudida, se deberá usar entonces placas vaciadas en aluminio, la gente que se especializa en el moldeo del yeso y vaciado bajo presión, hace un buen trabajo en la producción de modelo-placas, sin embargo aún se están haciendo mejoras, las cuales son necesarias en dos grandes áreas problema la necesidad de tener un mejor terminado y la igualmente importante necesidad de eliminar los defazamientos de modelo. Nuevos métodos y materiales están continuamente bajo investigación para minimizar estas discrepancias y mejorar los métodos generalmente.

Selección de Material para cajas de Corazones.- Uno de los métodos más avanzados en la manufactura de corazones y su horneado, ha sido la introducción de hornos dieléctricos y el desarrollo de cajas plásticas, los corazones se soplan en una posición horizontal directamente dentro de la mitad baja de la caja, la cual también sirve como secador, la mitad alta de la caja se fija en la cabeza -sopladora de una máquina para soplar corazones. Para esta operación se usa arena aglutinada con resina, las cajas están hechas de fibra de resina por estar impregnadas con carbonato de calcio para empastar y se forman bajo presión de 300 psi y se curan con la aplicación de calor aproximadamente (220-240<sup>o</sup>F), 104-116<sup>o</sup>C, el ciclo de curado es de aproximadamente 5 minutos, un buen plan es conservar el máximo de área a 100 m<sup>2</sup>.

Cuando el molde se diseña a más del área máxima, se vuelve difícil mantener las cajas rectas, si normalmente el corazón maestro, se saca de el molde simétricamente, de tal forma que la cabeza sopladora, o sea la parte superior de la caja y la parte baja de la caja o sea el secador, pueden moldearse del mismo molde, los corazones que no pueden sacarse simétricamente, necesitarán dos moldes uno para la parte alta y uno para la parte baja, incrementando considerablemente el costo.

Este método no puede aplicarse universalmente, el máximo de área es una limitación, los corazones con pequeñas secciones delgadas, deben considerarse con cuidado, ciertos diseños pueden desarrollar algo de fractura cuando se extraen del secador, en algunas ocasiones se puede co

locar un alambre en el secador antes del soplador para incrementar la resistencia de la sección delgada para permitir la salida del corazón sin fracturas, con la posibilidad de ocho soplos por minuto, se pueden tener pérdidas normales por varias causas y aún así producir más corazones que con cualquiera de los otros métodos antiguos.

El tiempo de curado para corazones de resina en hornos dieléctricos varían algo en relación al peso del corazón y promedia aproximadamente 6 minutos.

Normalmente 100 secadores con una sola parte superior para la cabeza sopladora, son más que suficientes para completar el ciclo soplar, hornear y regresar el secador y cío al operador, el plástico se usa debido a que al hornear apropiadamente los corazones en horno dieléctrico, es necesario un material no conductor para transportar el corazón a través del horno.

Existe otro método para soplar y hornear corazones muy similar al proceso plástico (excepto que las cajas y los sopladoras se hacen de aluminio) este proceso se utiliza donde el dieléctrico no es aprovechable, y los corazones deben hornearse en un horno convencional. La cabeza sopladora es similar al plástico, y se monta en la placa para aprovechar el aprovisionamiento para el cual está destinada; las cajas se vacían a presión en moldes de yeso, el número de cajas soplantes necesario, se determina en base al tipo de aglutinamiento usado.

Corazones en shell.- Para un buen equipo, se recomienda hierro gris normalizado, en la categoría de pequeños corazones y en donde la producción lo justifica, se ha vuelto muy práctico el uso de una caja del máximo tamaño en placa; colocando tantas cavidades como sea posible, o bien, diseñando una cuadrilla donde sea posible. Antes de que se tome la decisión definitiva para efectuar la hechura de la cuadrilla, se deberá efectuar un croquis para colocar el sistema alimentador pues hay ocasiones en que los modelos agrupados de tal forma que no afecte a la eficiencia de los corazones puede limitar la alineación a un punto en que pueda causar problemas, esto puede evitarse checando, antes de terminar el diseño, el agrupamiento de corazones.

La Alimentación y su Relación con la hechura de Modelos. Sin importar a quien corresponda el diseño del sistema de alimentación, corresponde al modelista hacer el corredor, contribuyendo para mejorar el flujo del metal o solamente buscar la limpieza, esto se complementa con un radio siempre que sea posible. La mitad de la alimentación se coloca en el cope y la mitad en el drag, esto elimina las esquinas pronunciadas en la línea de partición y permite un flujo libre, la entrada del metal dentro de la cavidad del molde, se lleva a cabo tal como un ángulo para generar el mínimo de turbulencia.

Estas sugerencias se basan en generalidades y no se aplican a todos los moldes pero pueden usarse como un punto de partida para planear los métodos para cualquier problema que se encuentre.

### III.- 2) Métodos y Materiales de Moldeo.

La diferencia entre los materiales y los métodos de moldeo que se usan en la fundición ferrosa, son muy pequeñas a los usados en las fundiciones no ferrosas. Estos métodos y materiales se alteran principalmente para satisfacer al personal o para ajustarse a la operación individual.

Procesos de Colada y Prácticas de Moldeo.- Los procesos de colado se clasifican de acuerdo a los materiales usados en la hechura de los moldes, y así tenemos varios tipos de moldeo para vaciar en arena:

- |                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| 1) Arena en verde              | 6) Auto curado        |
| 2) Arena de cáscara seca       | 7) Proceso G, Cáscara |
| 3) Arena en seco               | 8) Moldeo en piso     |
| 4) Moldes con corazón estufado | 9) Arena abierta      |
| 5) Moldes de cemento           | 10) $\text{CO}_2$     |

Otras clasificaciones de proceso los cuales no involucran arena son:

- 1) Vaciado en dado

11.- Saber si existe la necesidad de agregar equipo a la fundición o si se pueden manufacturar las piezas con lo existente.

12.- Tipo o método de limpieza que será empleado

Más allá del hecho de que uno de los procesos parezca ser más ventajoso que otro, existen otros factores para establecer el precio de venta de las piezas producidas, tales como inversión de capital, costo de instalación, cambios en planta, períodos de amortización, integración con otros métodos y procesos, mano de obra aprovechable, interrupciones internas de producción, control de requerimientos y facilidades, y control de calidad entre otros.

Se ha generalizado acerca de los métodos de moldeo que se pueden usar así como los factores que afectan a su selección, sin embargo nos enfocaremos al método que se ha vuelto muy tradicional en nuestras fundiciones y es el método de arena en verde.

Arenas de Fundición. - Los moldes, hechos en arena, que se usan en fundición, se encuentran destinados a recibir la colada y para esto deben poseer las siguientes cualidades:

- 1.- Ser plásticos
- 2.- Tener cohesión y resistencia, al objeto de poder producir y conservar la reproducción del modelo.
- 3.- Resistir la acción de las temperaturas elevadas, es decir, ser refractarias.
- 4.- Permitir la rápida evacuación del aire contenido en el molde y de los gases que se producen en el acto de la colada por la acción del calor sobre el mismo molde, esto es, deben ser permeables.
- 5.- Disgregarse fácilmente para permitir la extracción y el pulimentado de la pieza, o sea, deben ser disgregadas.

Los materiales dotados de éstas cualidades que se encuentran en la naturaleza, son las arenas de fundición, constituidas por granos de cuarzo (bióxido de silicio, muy -

refractario) y por arcilla (silicato hidratado de aluminio) que es el elemento de unión y confiere plasticidad y disgregabilidad al molde, la estructura granular propia de la arena asegura la permabilidad.

Una primera clasificación de las arenas naturales, puede basarse en su contenido de arcilla distinguiéndose cuatro clases:

- 1.- Arenas arcillosas o tierras grasas cuyo contenido de arcilla es superior al 18%
- 2.- Arenas arcillosas o tierras semigrasas cuyo contenido de arcilla va del 8 al 18%
- 3.- Arenas arcillosas o tierras magras cuyo contenido de arcilla va del 5 al 8%
- 4.- Arenas silíceas, cuyo contenido de arcilla es inferior al 5% (llegándose a considerar como impurezas)

Una segunda clasificación puede hacerse atendiendo a la forma del grano:

- 1.- Arena grano esferoidal
- 2.- Arena grano angular
- 3.- Arena grano sub-angular

Finalmente en relación con las dimensiones del grano, -- pueden distinguirse:

- 1.- Arena de grano grueso
- 2.- Arena de grano medio
- 3.- Arena de grano fino

Las arenas de fundición, tienen un origen común, ya que se derivan de la roca madre que es el granito, compuesto de feldespato cuarzo y mica, el feldespato (silicato doble de aluminio y potasio o sodio) actúa de substancia aglomerante de la mica y el cuarzo, bajo la acción tenaz y constante de los agentes atmosféricos, se disocian los dos silicatos que compone el feldespato. El silicato de aluminio, al hidratarse se convierte en arcilla, en tanto que los silicatos de potasio o sodio (como tales, o transformados por carbonatos por la acción del anhídrido carbónico del aire) son arrastrados por las aguas me---

teóricas , constituyéndose, así los vastos depósitos de arenas naturales, las cuales, por otra parte, presentan características distintas según que el proceso de disgregación esté más o menos avanzado (en este último caso, -- existen residuos de feldespato, el cual, es fusible y -- ocasiona un decremento en la refractariedad) y que la disociación de la arena se haya realizado en el mismo lugar o con acciones de transporte que forman depósitos -- distintos en arena sílica o de arcilla.

No siempre pueden emplearse las arenas tal como llegan a los depósitos, sino que deben someterse a algunos procesos de modificaciones, los casos más importantes de modificación de las arenas, se presentan cuando se procede a la mezcla de arenas de tipo diverso, sea para variar la distribución del grano o para rebajar o reforzar la arena (o bien a la adición de aglomerante). En el primer caso se trabajan arenas naturales y en el segundo, arenas aglomeradas que se obtienen partiendo de arenas silíceas lo más puras posible, a las cuales, se añaden, diversos porcentajes, sustancias aglutinantes.

El uso de las arenas aglomeradas, se ha incrementado establemente, dado las innegables ventajas que presentan -- respecto a las arenas naturales, en primer lugar, posee más características más uniformes, y por otra parte, la arena base, está exenta de polvo impalpable que el aglutinante se añade en cantidades previamente comprobadas a fin de reducir al máximo el límite de humedad y obtener no solo una refractividad más elevada, sino también una mayor permeabilidad.

En cambio, el intervalo de humedad que permite la elaboración, es mucho más restringido en las arenas sintéticas que en las naturales, se secan más rápidamente y --- ofrecen más dificultades para el acabado y la separación de los moldes.

Aglomerantes Aglutinantes. - Los aglutinantes adaptados -- para la preparación de las arenas de moldeo y de las arenas para corazones, o para reforzar arenas arcillosas naturales, dando origen a la arena semiaglomerada, pueden clasificarse en:

- 1.- Aglutinantes inorgánicos de tipo arcilloso... Arcillas  
Bentonitas

2.- Aglutinantes inorgánicos cementosos .....Cemento  
Silicatos

3.- Aglutinantes orgánicos.....Cereales  
Lignina  
Melaza  
Alquitrán  
Resina  
Aceites

1.- Aglutinantes Inorgánicos de Tipo Arcilloso.-Las propiedades aglutinantes de la arcilla, dependen de las dimensiones y de la forma de las escamas cristalinas de que está compuesta; cuando más pequeñas son éstas últimas, tanto mayores son las propiedades coloidales y por lo tanto, el poder aglutinante, en consecuencia, se puede afirmar que la cohesión de una arena aglutinada con arcilla no depende solamente de la cantidad, sino también y especialmente de las características de la misma arcilla, el contenido de agua, en cambio tiene una notable influencia sobre la plasticidad. En general, cuando se moja una arena aglomerada con arcilla, se obtiene un valor de plasticidad correspondiente al valor mínimo de la densidad.

La bentonita, que esta constituida en montmorillonita, es un ejemplo de arcilla coloidal. En general, la acción de la arcilla natural y de la bentonita, es cualitativamente similar a la de la arcilla geológicamente aglutinada a las arenas arcillosas naturales.

La bentonita se diferencia de la arcilla en su capacidad de absorción mucho más elevada, (en el agua se hincha -- hasta 16 veces su volumen primitivo) y su poder aglutinante es de 2 a 7 veces mayor que el de la arcilla. Se emplea en una proporción del 2 al 4% del peso de la arena seca, se entiende; se añade después del 3 al 4% de agua y se amasa durante 5 a 15 minutos, se puede adicionar a la mezcla un fijador de la humedad, por ejemplo -- dextrina, en proporción del 1 al 2%.

2.- Aglutinantes Inorgánicos Cementosos.- Entre estos podemos citar el cemento portland, que se emplea en proporción del 8 al 10% en mezcla subhidratada (8% de agua) con arena silíceas. En los moldes confeccionados con arenas aglomeradas con cemento, el endurecimiento, se obtie

ne a la temperatura ambiente por el fenómeno del fraguado del cemento, por lo cual el empleo de este tipo de arena, no requiere el uso de estufas de secado.

Consideraciones similares, se pueden hacer a propósito del silicato de sodio que, por otra parte, altera sensiblemente la permeabilidad y el punto de sinterización o vitrificación de la mezcla. Su efecto aglutinante es debido a su descomposición y a la formación, por la acción del  $\text{CO}_2$  del aire, de carbonato y sílice coloidal. La disgregabilidad de la mezcla se facilita añadiéndole harina de madera (aproximadamente un 2%).

3.- Aglutinantes Orgánicos.- Casi todos aumentan la cohesión de la arena verde, y arden a baja temperatura, se adicionan a la arena silícea en cantidades que van del 1 al 3% y pueden ser de diversos tipos.

Del grupo de los aglutinantes cereales, citaremos la dextrina, la cual se extrae del almidón de los granos; se emplean generalmente para impedir que la superficie del molde pierda rápidamente su humedad. Reducen la evaporación del agua y permiten trabajar la arena con un porcentaje de humedad más bajo del que se necesita, usando otros aglutinantes. Debido a que arden a altas temperaturas se disminuye la resistencia de la arena haciéndola más disgregable. Por otra parte, presentan la desventaja de obstruir los huecos de la arena, disminuyendo de este modo su permeabilidad, esto se agrava ya que al arder, originan productos gaseosos en mayor proporción a los que producen, en cantidades similares, la arcilla o la bentonita.

La dextrina se añade como ya se mencionó, en proporción del 1 al 2% con un 2% de agua, obteniéndose en verde de 35 - 45 g/cm<sup>2</sup> y cohesiones en seco de 36 a 38 Kg/cm<sup>2</sup>, los corazones deben conocerse a 130-120 C por 2-4 horas.

La lignina, tiene características similares a las de la melaza con la diferencia de que no fermenta como ésta, por lo que sus características no se modifican grandemente, se acostumbra emplear la Lignina en unión de aglutinantes arcillosas para evitar un secado demasiado rápido y la formación de costras en la superficie de los moldes o de los corazones hechos en arena en verde. Se añade en proporciones del 2.5 al 3% con muy poca agua, obteniéndose

se cohesiones en verde de  $100 \text{ g/cm}^2$  y cohesiones en seco de  $30$  a  $32 \text{ Kg/cm}^2$  se cuece a  $220^\circ \text{C}$  por  $1.5 - 3$  horas.

El alquitrán, es un aglomerante que confiere elevada resistencia en seco, por lo cual se emplea especialmente para arenas destinadas a moldear corazones grandes. Es muy resistente a la absorción de la humedad, además de tener la ventaja de ser muy económico. Se añade en proporción del  $2\%$  con la misma cantidad de agua, obteniéndose cohesiones en verde de cera de  $45 \text{ g/cm}^2$  y de  $25-50 \text{ Kg/cm}^2$  en seco. Se cuece de  $230$  a  $240^\circ \text{C}$  durante  $2 - 4$  horas.

Las resinas naturales o sintéticas, se comportan como el alquitrán, pero solo desarrollan su acción aglutinante cuando se someten al calor, aunque como el alquitrán, retardan lo perdido de resistencia del molde seco expuesto a una atmósfera húmeda.

Entre las resinas naturales, recordemos la de pino, que se extrae con solventes de la madera o tratado al vapor la misma madera finamente triturada. De las resinas sintéticas, citaremos una categoría especial, la de las resinas termoendurecibles que, a diferencia de las otras, en vez de ablandarse con el calentamiento y endurecerse en el enfriamiento sucesivo, se endurecen de modo permanente con exposiciones a temperaturas relativamente bajas de  $100$  a  $150^\circ \text{C}$ .

Los aceites se emplean especialmente en la preparación de arena para corazones, el prototipo de esta categoría, es el aceite de linaza, que responde muy bien a las exigencias de la fundición, pero debido a su costo se tiende a substituirlo por otros aceites vegetales. La cohesión en verde conferida por los aceites, es muy escasa por lo que es necesario emplearlos juntamente con otros aglutinantes (dextrina o arcilla).

Se añaden en proporción del  $1.5-2\%$  con un  $2\%$  de agua, obteniéndose cohesiones de  $30-35 \text{ g/cm}^2$  en verde y de  $45-50 \text{ Kg/cm}^2$  en seco. Es común substituir un  $0.5\%$  de aceite por un  $1\%$  de arcilla o de dextrina para mejorar las cohesiones en verde. Se cuece de  $220$  a  $240^\circ \text{C}$  durante  $2-4$  hrs.

Preparación de la arena para moldeo en verde. Como es sabido con esta arena se preparan moldes en los que se efectúa la colada sin someterlos a ningún secado, tiene la ventaja de ser más económico y permitir las producciones en serie y un empleo menor de utensilios - cajas de moldeo -.

Es conveniente efectuar una distinción entre la arena de careo y la arena de relleno; la primera se aplica en contacto directo con el modelo y al formar la superficie del molde, sufrirá la acción directa del metal líquido, por lo tanto exige una comprobación cuidadosa y una preparación exacta que permita garantizar la refractariedad, permeabilidad y cohesión deseable.

La arena de relleno sirve para completar el molde y no requiere tanto cuidado como la arena de moldeo, sin embargo, hay que evitar el error de no dedicarle atención alguna.

Por efecto de la elevada temperatura a que se somete, en la colada, la arena sufre entre otros, dos importantes fenómenos:

- a) El agua de combinación del aglutinante arcilloso se evapora y la arcilla pierde una parte de su poder aglutinante. La propiedad de una arcilla de resistir al calor antes de perder sus características aglutinantes es variable por lo que también varía la degradación que sufre. Existen arenas arcillosas de mayor o menor grado de resistencia al envejecimiento.
- b) Una parte de los granos de sílice, por efecto del súbito cambio de temperatura se rompen.

Las consecuencias de estos dos fenómenos son una cohesión menor y la modificación de la granulometría de la arena con el aumento de materiales impalpables (finos) y un empeoramiento sensible de la permeabilidad y es precisamente en razón de la permeabilidad que debe efectuarse una comprobación sistemática de la arena empleada.

La preparación de la arena varía debido a las costumbres de las fundiciones y a los aparatos disponibles, sin em-

bargo, normalmente se mezcla arena nueva con arena usada en anteriores moldeos, añadiéndole ingredientes adecuados.

La finalidad de esta preparación es obtener una masa homogénea sin terrones, cuerpos extraños o polvo, compuesta solamente de granos de sílice separados unos de otros y recubiertos de una capa suficiente de arcilla humedecida u otro aglutinante.

Como ya se apuntó, las arenas con el tiempo, al estar en contacto con el metal fundido, pierden sus propiedades plásticas y refractarias, de forma que periódicamente hay que mezclarlas con arena nueva. La arena que se utiliza normalmente está compuesta de arena vieja, arena nueva, agua y polvo de carbón, añadiendo para evitar que la arena se adhiera a las piezas, obrando como reductor al descomponer el óxido formado en la zona externa de las mismas al entrar en contacto el metal fundido con la humedad de la arena, verificándose la reacción siguiente:



Impidiéndose así la formación de una capa de óxido de hierro superficial.

A continuación se da una tabla de preparación de arenas de moldeo (aglomeradas naturalmente).

Grueso de la pieza	Arena Nueva	Arena Vieja	Polvo de Carbón
hasta 6 mm.	6 partes	20 partes	1.5 partes
de 6 a 12 "	8 partes	20 partes	1.75 partes
de 12 a 20 "	10 partes	20 partes	2.5 partes
de 20 a 35 "	15 partes	20 partes	3.0 partes
de 35 a 60 "	20 partes	20 partes	4.0 partes

Esta composición de arenas es únicamente para la arena de careo que es la que estará en contacto con el metal, la proporción de humedad es del orden del 3 al 8% dependiendo dicha proporción del tipo de piezas y del sistema de moldeo utilizado, esto es, si se moldea a mano o en máquina. Este contenido de humedad influye como ya se anotó en la plasticidad, permeabilidad y resistencia de los moldes y por lo tanto, en el curso del tiempo y por

la acción de las sucesivas coladas en que la arena sufre un calentamiento debido al metal fundido, va disminuyendo el contenido de agua de la arena, por lo que debe estar humedecida constantemente a fin de que no pierda sus propiedades. Si bien, por una parte, un alto grado de humedad produce un gran desprendimiento de gases durante la colada que pueden originar grietas y defectos en las piezas fundidas, por otra parte, con una arena muy seca resulta muy difícil cuanto no imposible la preparación de los moldes. Es conveniente efectuar ensayos de una manera constante a fin de determinar el contenido de humedad en la arena y mantenerlo siempre en la proporción -- más conveniente.

Las arenas sintéticas, cuyo uso se ha extendido en la actualidad; se preparan a base de arena silicea y un aglomerante mineral, la bentonita. Una buena composición para arena de moldeo (arena de careo) es la siguiente:

Arena silicea vieja	60% en peso
Arena nueva	34 a 37%
Bentonita	1 a 4% según resistencia requerida
Polvo de carbón	2%

Toda la arena de moldeo para aplicación como arena de careo debe utilizarse lo más seca posible, la humedad media puede ser del orden del 3 al 4%, algo inferior a lo requerido para las arenas aglomeradas naturales.

Muchas fundiciones utilizan una preparación a base del - 80% de arena vieja, un 10 a 15% de arena nueva, 2 a 5% - de bentonita y 1 a 5% de polvo de carbón.

En algunas fundiciones ha dado buen resultado la composición siguiente para moldeo a máquina usando personal de poca experiencia, arena silicea 86% Bentonita 13%, polvo de carbón 1%.

Para la preparación de arenas sintéticas para corazones, se dan dos composiciones que han dado buen resultado.

Para piezas de tamaño mediano:

Arena Silicea	93%
Aceite de linaza	5%
Bentonita	2%

Para piezas de paredes gruesas:

Arena Silicea	83%
Aceite de linaza	5%
Arena Silicea muy fina	9.5% (AFS-200)
Bentonita	2%

A continuación se enlistan algunas composiciones para la preparación de arenas de moldeo y arenas para machos.

Composición.- 1) Para moldeo en verde

Arena Silicea	90%
Bentonita	4%
Aglomerante cereal	1%
Agua	3a4%

Composición.- 2) Para moldes que deben ir a la estufa:

Arena ordinaria	90%
Bentonita	5%
Agua	2 a 2.5%

Composición.- 3) Arena para piezas de paredes gruesas:

Arena Silicea	65%
Arena Silicea muy fina	20%
Bentonita	5%

Melazas 5%

Agua 6 a 7%

Composición.- 4) Arena para piezas de paredes delgadas:

Arena Silicea 70%

Arena Silicea  
muy fina 20%

Bentonita 4%

Melazas 1.5%

Agua 5a 6%

Composición.- 5) Arena para corazones tamaño medio:

Arena Silicea 90%

Arena Silicea  
muy fina 6% - AFS 200

Aceite de linaza 2.5%

Bentonita 1.5%

Composición.- 6) Arena para corazones en piezas de paredes gruesas:

Arena Silicea 40%

Arena Silicea  
muy fina 50% - AFS 200

Bentonita 4%

Aceite de linaza 4%

Es aconsejable pasar a la arena mezclada por una peinado-  
ra o desintegradora, antes de utilizarla para preparar --  
los moldes, con lo cual se mejora la permeabilidad, así -  
homogeneidad, especialmente por lo que respecta a la dis-  
tribución uniforme de la humedad. Es aconsejable, asimis-

mo la preparación de las arenas algunas horas antes de su uso, lo cual ayuda a desarrollar completamente sus propiedades aglutinantes.

Las propiedades más recomendadas para las aleaciones de - cobre son:

Humedad	3 a 4%
Permeabilidad	13 a 20
Compresión en verde	.45 a .55 Kg/cm <sup>2</sup>
Arcilla	11 a 13%
Grano No.	150 a 140

### III.- 3) ALIMENTACION

Elementos de Colada.- La función de un sistema de alimentación, es permitir la entrada de metal limpio a las cavidades del molde, sin reducir la calidad del metal, --- cualquier sistema de alimentación, debe reunir ciertas características entre las cuales las más deseables son: --- fácil moldeo, alta resistencia al vaciado y facilidad en el corte de las entradas a la pieza, sin embargo, estas características deben olvidarse cuando ellas dicten un diseño que contribuya directamente a la producción de --- piezas de baja calidad.

La turbulencia en el sistema y en la calidad del molde, --- es la causa primaria del entrapamiento de escoria y aire o gases del molde, la alta velocidad en los cambios de dirección del flujo, es la causa principal de la turbulencia, esta puede ser minimizada curvando los recorridos en el canal y regulando el tamaño del mismo. Por --- ejemplo, un estrangulador en el corredor, es una obstrucción que suaviza el flujo y puede acentuar la turbulencia.

A los elementos para la colada inadecuados, se le imputan muchas causas de defecto, esto se comprende cuando se piensa en la complejidad de las funciones que deben cumplir en la variedad de tipos y dimensiones de las piezas, en las características de las aleaciones fundidas, en las arenas y su manera de preparación; por esto es --- que se han desarrollado varios tipos de sistemas de alimentación compuestos por elementos de colada que deben ser estudiados cuidadosamente y aplicados caso por caso según las exigencias de la pieza y de los fines perseguidos, para llevar a cabo este estudio es necesario conocer los elementos que componen el sistema y que son:

- a) Cubeta
- b) Cuello
- c) Corredor
- d) Entradas o Bocas

a) Cubeta.- La cubeta o basin de vaciado, permite que el cuello se llene rápidamente y mantenga un frente constante durante el vaciado, un frente constante da un tiempo razonable para reproducir los vaciados e incrementar la probabilidad de llevar a cabo calidad reproducible en ---

piezas subsecuentes.

Un nivel de unas cuantas pulgadas de profundidad mantenido en la cubeta, prevendrá la formación de un remolino arriba del cuello, los remolinos deben evitarse ya que se succiona aire y la escoria de la superficie cae al cuello, el chorro procedente del crisol o la cuchara debe ser vaciado en el área de la cubeta que se encuentre más lejana de la abertura del cuello, de otra manera el frente de vaciado se incrementará por la altura del labio de la cuchara dando como resultado una proporción de vaciado variable, además que la escoria de la superficie puede caer hacia el cuello con mayor facilidad.

Con una copa de vaciado colocada junto a la cubeta, un fondo plano y esencialmente lados verticales, se obtienen mejores resultados que si se usa la forma cónica, pues esto permite que se llene fácilmente y mantenerlo a ras, la entrada del cuello a la cubeta, deberá tener un radio de 1" a 1 1/4", ya que paredes cuadradas causarían una contracción en el chorro que entra al cuello, y esta contracción puede ocasionar aspiración de los gases de molde además de reducir la capacidad del flujo del cuello en cerca de un 20%.

b) Cuello.- Es un conducto vertical, cilíndrico y ligeramente ahuzado con la base abierta en la cubeta, este se practica en la caja superior y a veces se prolonga a la caja inferior. La velocidad del chorro se encuentra en su máximo en el fondo del cuello y es proporcional a la raíz cuadrada de la altura de caída del metal, así es que generalmente la turbulencia se presenta en el chorro que cae por el cuello. La agitación en un cuello ahuzado es menos severa que en un cuello recto, también el daño al metal, es menor no solo debido al menor grado de agitación, sino debido a que el cuello ahuzado puede llenarse más rápido y mantenerse lleno fácilmente, un cuello completamente lleno no aspira gases de molde a través de las paredes laterales, un cuello recto no se llena completamente sino hasta el último del vaciado cuando se desarrolla la presión ejercida por el metal que choca en el corredor o bien, la ejercida por la cavidad totalmente llena cuando ya en el corredor no choca.

El ahuzamiento requerido para un cuello adecuado a las -

necesidades de las aleaciones base cobre, se encuentra dado por la ecuación.

$$A_t = A_B \sqrt{\frac{h_s + h_b}{h_b}} \quad \text{----- 1)}$$

Donde:

$A_t$  .- Es el área en la base superior del cuello

$A_B$  .- Es el área en la base inferior del cuello

$h_s$  .- Es la longitud del cuello

$h_b$  .- Es la altura del metal en la cubeta

Es muy benéfico, como ya se apuntó, elaborar un pozo en el fondo del cuello que sirve como colchón para el chorro que cae en el cuello, minimiza la erosión del molde en este punto elimina el área de baja presión que ocasiona la aspiración de gases del molde en la entrada al corredor y disminuye la velocidad dentro del corredor en cerca del 10%, las dimensiones del pozo pueden darse por las siguientes relaciones:

Para Corredor Profundo  
y estrecho

Para corredor poco profundo  
y ancho o cuadrado

Diámetro del pozo

$2\frac{1}{2}$  x el ancho del corredor para  
un sistema de corredor doble

$$2.24 \sqrt{\text{Diámetro del fondo del cuello para ambos sistemas.}}$$

2 x el ancho del corredor para  
un sistema de corredor sencillo

Profundidad del pozo

Igual a la profundidad del  
corredor

2 x la profundidad del  
corredor

Los corredores deberán ser hechos a la vez con el borde superior del pozo.

c) Corredor y d) Entradas o bocas.- El primer metal vaciado es inevitablemente dañado en cierto grado, por lo que es necesario hacerle una extensión al corredor que pase la última boca y así esta extensión, retenga el primer material vaciado y asegure que el metal más limpio entre en la última boca. Con el corredor en la caja interior y las bocas en la caja superior, el corredor se llena antes de que el flujo llegue a las entradas, así el metal más limpio fluye a través de las entradas.

Todas las bocas se llenan casi al mismo tiempo y tienen la misma relación de flujo, si el área del corredor es reducida por el área de la entrada tanto como ésta este abierta y si el área del corredor no es de paso reducida en cada entrada, mucho del flujo será a través de la entrada más lejana y la alta velocidad desarrollará remolinos en la cavidad del molde.

En un sistema que consta de una cubeta, un cuello ahuzado, un pozo en la base del cuello y un corredor con área igual al área en la base inferior del cuello, la fricción en el sistema decrece la velocidad y la relación del flujo en el corredor en un 25% del valor para un cuello libre, si el área del corredor es hecha dos veces el área de la base inferior del cuello la velocidad en el corredor se reducen en 50%, pero la relación del flujo se reduce solamente alrededor del 10%. Si el corredor se escalona hacia abajo tanto como entradas se agreguen a este sistema, para producir una relación de alimentación 1:2:2 (relación del área de la base inferior de un cuello ahuzado a el área total de los corredores a el área total de las entradas) la velocidad en cada entrada igualará la velocidad en el corredor. El decremento de la velocidad en el corredor es inversamente proporcional al incremento en área sobre el área del cuello en su base inferior. Un sistema despresurizado basado en la relación de alimentación permite el llenado más rápido de los moldes a una velocidad más baja que en un sistema sujeto a presión, de tal forma que un sistema despresurizado crea menos turbulencia en la cavidad del molde y también reduce la probabilidad de una punta fría.

En un sistema despresurizado, el fondo de un cuello ahuzado es el regulador para el sistema y controla la relación de vaciado, si se tiene un cuello recto o un cuello

con ahuzamiento inverso se debe usar un corredor regulado el cual hace posible efectuar una presión inversa para que el cuello se pueda llenar rápidamente y pueda -- mantenerse totalmente lleno durante el vaciado. Un regulador efectivo es aquel que crea un pasaje que tenga un área en sección transversal que no exceda tres cuartos del área del cuello, deberá tener un ligero contorno -- con una longitud de varias veces o altura para minimi--zar la turbulencia del chorro que pasa sobre él, se de--berá colocar tan cerca como sea posible al cuello permitir la disipación de la turbulencia antes que el chorro alcance las entradas.

Las coladeras a menudo se consideran efectivas en la remosión de escoria en el chorro, no es razonable esperar que separen partículas de escoria que sean más pequeñas que las aberturas. La presión del chorro puede romper -- partículas largas de escoria detenidas en el colador y forzarlas a través de las aberturas, las coladeras invariablemente restringen el flujo y deben considerarse como reguladores en el sistema más benéficos que como coladores. Un sistema de alimentación diseñado apropiada--mente y una práctica de vaciado apropiada, harán innecesario acudir a los dispositivos para colar, las colade--ras pueden ser de valor con prácticas inferiores tales como un cuello de ahuzamiento invertido, esos dispositi--vos en ningún momento pueden considerarse como un susti--tuto aceptable para una práctica de alimentación.

Relación de vaciado.- La relación de vaciado para una -- pieza dependerá de factores tales como peso, tamaño de -- sección y tipo de aleación a vaciar, con una cuchara manual la relación controlable por el operador rara vez -- excede a 4 lb/seg.

Generalmente la relación de vaciado debe ser lo más ba--ja para que evite las juntas frías, una relación baja -- minimizará la erosión del molde y la agitación del met--tal y asistirá en la obtención de la solidificación di--reccional, la cual es particularmente deseable en alea--ciones de intervalo de solidificación corto, de otra manera para aleaciones de intervalo de solidificación largo, una relación de vaciado alta y el uso de múltiples -- entradas ayuda en la distribución de la microporosidad -- ampliamente. Una alta relación de vaciado, es deseable -- para bronce amarillos para evitar condensación excesi--va.

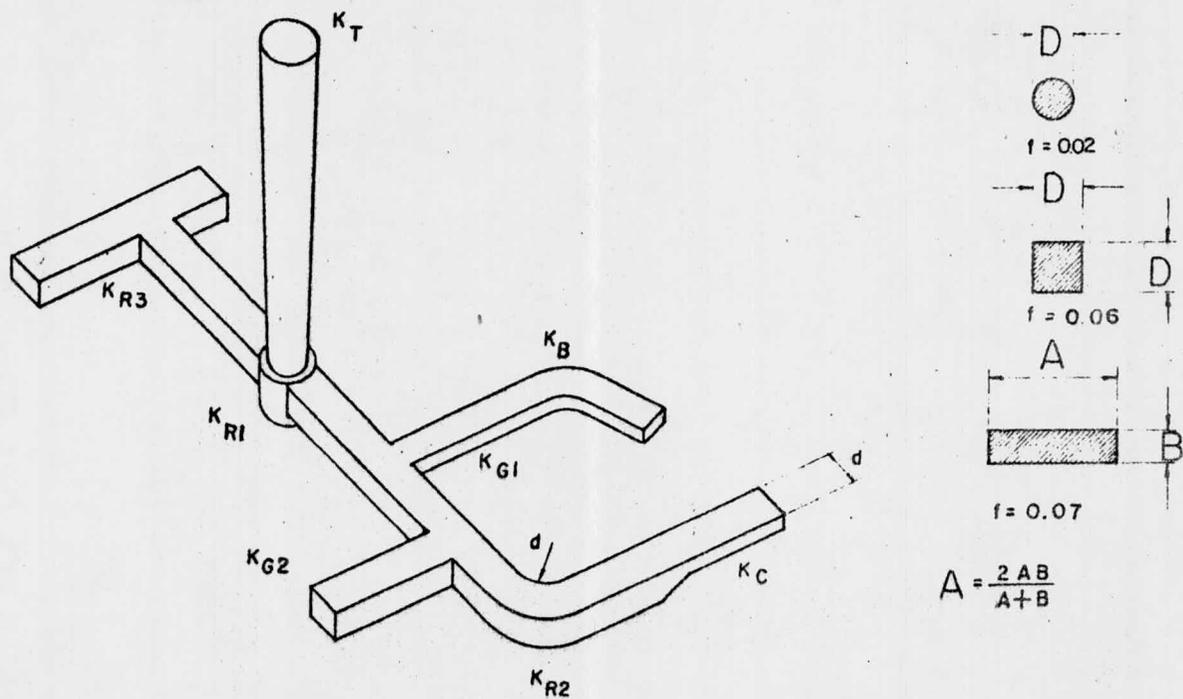


FIG.3.—COEFICIENTES DE PERDIDA PARA CURVAS EN UN SISTEMA DE ALIMENTACION.

va en las paredes del molde lo cual origina un terminado irregular en la pieza, un vaciado rápido puede también ser necesario si los moldes están sujetos al despendimiento por el prolongado tiempo de exposición al calor del metal que asciende lentamente en el molde, esto es particularmente cierto para aleaciones de alto punto de fusión tal como bronce al níquel.

La relación de vaciado puede calcularse con cierta aproximación partiendo de la ecuación:

$$W = \frac{\sqrt{W_T}}{0.86 \quad 1.09 T} \quad \text{-----2)}$$

Donde:

W .- Es la relación de flujo en libras por segundo

$W_T$  .- Es el peso de la pieza en libras

T .- Es el promedio de adelgazamiento en la sección del espesor en pulgadas.

Para poder obtener esta relación, es necesario que se o tenga un valor adecuado en la base inferior del cuello ahuzado para una pieza de sección transversal uniforme, el valor de esta base, se puede encontrar por la ecuación:

$$A_B = \frac{2W}{C \rho} \frac{(h - \sqrt{ah})}{(h - a) \sqrt{2gh}} \quad \text{-----3)}$$

Donde:

W .- Es la relación de flujo en libras por segundo

H .- Es la distancia desde lo alto de la cubeta de vaciado al fondo de la cavidad del molde en pulgadas

a .- Es la distancia desde lo alto de la cubeta de vaciado a la parte alta de la cavidad del molde en pulgadas.

$\rho$  .- Es la densidad del metal líquido en libras por ---

pulgada cúbica.

g.- Es la aceleración debido a la gravedad, con valor de 386 pulgadas por segundo.

C.- Es el coeficiente de descarga, el cual contabiliza las pérdidas en el chorro por la fricción en los canales.

Para un cuello recto,  $A_B$  se vuelve el área del pasaje -- que se tiene con un corredor provisto de un regulador en el cual el área del cuello es mayor que  $A_b$ , para un cuello recto sin regulador alguno en el sistema,  $A_B$  es el área del cuello que se calcula por la siguiente ecuación:

$$A_B = \frac{W}{C \cdot \rho \sqrt{2gh_B}} \text{-----4)}$$

El coeficiente de descarga C, es una medida de la eficiencia del sistema en el transporte del metal líquido y se define como:

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 + K \left(\frac{A_B}{A_C}\right)^2 + f_s \frac{L_s}{D_s} \left(\frac{A_B}{A_B}\right)^2 + K_B \left(\frac{A_B}{A_R}\right)^2 + f_R \frac{L_R}{D_R} \left(\frac{A_B}{A_R}\right)^2 + K_g \left(\frac{A_B}{A_g}\right)^2 n + f_g \frac{L_g}{D_g} \left(\frac{A_B}{A_g}\right)^2}} \text{-----5)}$$

Donde:

$A_B$  .- Es el área de la base inferior de un cuello ahuzado en un sistema despresurizado o el área del regulador en el sistema.

$A_T$  .- Es el área de la base superior del cuello ahuzado.

$A_R$  .- Es el área total de los corredores.

$A_g$  .- Es el área total de las entradas.

n .- Número de entradas cuando se usa un corredor escalonado para igualar las velocidades en cada entrada.

$f_s, f_r, f_g$  .-

Coficiente de fricción para el cuello, corredores y entradas respectivamente.

$L_s, L_r, L_g$ .- Longitud total del cuello corredor y entradas respectivamente.

$D_s, D_r, D_g$ .- Diámetro hidráulico del cuello corredor y -  
entradas respectivamente.

$K$ .- Es el coeficiente de la pérdida con los va-  
lores siguientes según se muestra en figura  
# 3.

$K_T$ .- 1 para un canal de esquinas vivas, redondo  
o cuadrado.

0.2 para un canal de esquinas redondeadas,-  
redondo o cuadrado.

$K_{R1}$ .- 2 para una curva esquinada, no para pozo.  
0.5 para una curva radiada, no para pozo.  
1.2 para un pozo.

$K_{R2}$ .- 2 para una curva viva a  $90^\circ$  en un canal cua-  
drado.  
1.5 para una curva radiada a  $90^\circ$  en un ca-  
nal cuadrado.  
1.5 para una curva viva a  $90^\circ$  para un canal  
redondo.  
1 para una curva radiada a  $90^\circ$  en un canal -  
redondo.

$K_{R3}$ .- 5 para una unión T a  $90^\circ$  con esquina vivas.

$K_{g1}$ .- 1.5 para una unión a  $90^\circ$  y viva con al me-  
nos 25% de reducción de área.  
1 para una unión a  $90^\circ$  y radial con al me-  
nos 25% de reducción de área.

$K_{g2}$ .- 2 para una unión viva y a  $90^\circ$  sin cambio de  
área.  
1.5 para una unión radiada y a  $90^\circ$  sin cam-  
bio de área.

$K_B$ .- 0.7 para una curva radiada y a  $45^\circ$  en un ca-  
nal cuadrado.  
0.5 para una curva radiada y a  $45^\circ$  en un ca-  
nal redondo.

$K_c$ .- 0.33 para una contracción en el área de un -

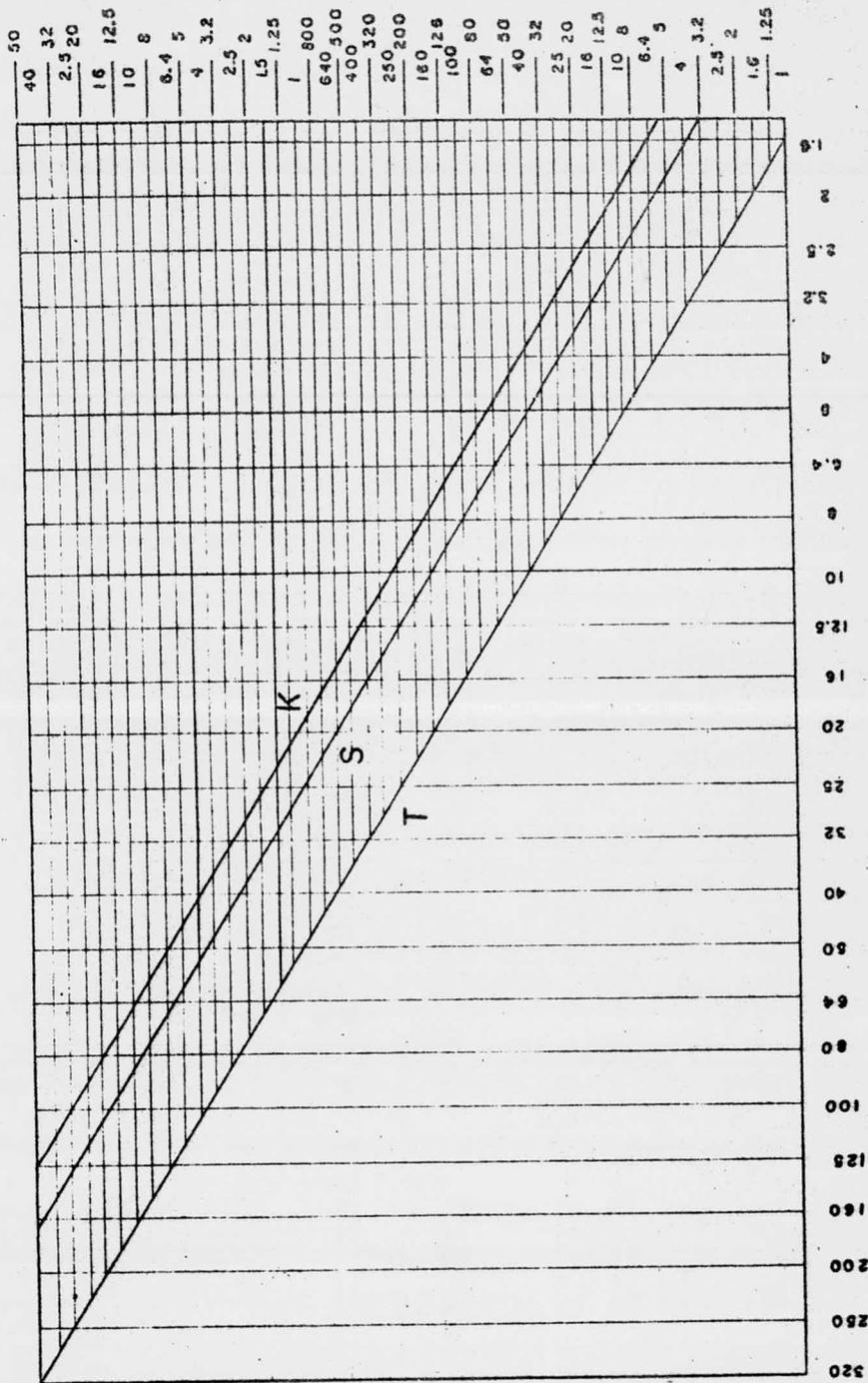


FIG. 4.—DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA SECCION DE ENTRADAS A LA PIEZA Y EL TIEMPO DE COLADA.

canal.

Esta última ecuación asume que el número y colocación de los corredores y entradas, han sido predeterminadas, --- cuando la relación de vaciado ha sido seleccionada, --- entonces los valores absolutos para las áreas de los canales no necesitan calcularse por medio del coeficiente de descarga. Cuando el área de la base inferior del cuello se obtiene por la ecuación del coeficiente de descarga, --- el área de la base superior se obtiene por la ecuación --- #1, el tamaño de los corredores y entradas son proporcionales a la relación de vaciado seleccionada y finalmente la dimensión del pozo, se determina como ya se había indicado.

Existe otro método para calcular el tiempo de colada y --- la sección de las entradas a la pieza como se muestra en la figura #4, en el eje de las abscisas están referidos los pesos de las piezas de 1 a 50,000 Kgs., en el eje de las coordenadas, el tiempo de colado T en segundos y con las mismas cifras significativas, la sección total S de las entradas en centímetros cuadrados, y la capacidad K en kilogramos por segundo de los mismos; el diagrama está cruzado por tres rectas, T, S y K. Su lectura es sencilla, suponiendo que se debe colar una pieza del peso de 3200 Kgs., se levanta una vertical que parte del punto 3.2 toneladas sobre el eje de las abscisas, en el encuentro de esa vertical con la recta T (tiempo) se leerá en el eje de las coordenadas, a la izquierda el valor de 80 segundos de tiempo de colada, en el encuentro con la recta S (sección), el valor de 42 cm<sup>2</sup>, sección total de los canales de entrada a la pieza y en el encuentro con la recta K (capacidad) el valor de 32 Kg/seg., capacidad de dichos canales. El diagrama se ha construido para la velocidad de paso del metal por los canales de entrada a la pieza de 1 m/seg. y da valores medios que en la práctica pueden modificarse en algo.

Una vez que se ha dado las reglas para una alimentación exitosa, es necesario conocer también las reglas de enfriamiento y carga que se pueden aplicar a la práctica --- para producir piezas sanas o de calidad aceptable por el cliente, se reconoce que el grado de calidad deseada determinará la economía de las técnicas de enfriamiento y carga empleadas.

Proceso de Solidificación Direccional.- Este proceso es-

ta definido como el medio por el cual, el metal en el molde comienza a solidificar en los puntos más lejanos a los cargadores y que la solidificación continúa progresivamente hacia el cargador, el cual es la última parte en solidificar, de tal forma que la contracción se verifica en el cargador obteniéndose una pieza sana, además este tipo de solidificación intenta que la solidificación de las paredes laterales de la pieza no sea tan rápida que ocasione un puente a través de la sección y evite el flujo del metal líquido desde el cargador a la parte más lejana de la pieza.

La solidificación de las paredes laterales, es llamada solidificación lateral en tanto que la solidificación de las paredes paralelas al molde, es llamada solidificación longitudinal, cuando la relación entre ambos se ajusta para producir una pieza sana, se alcanza la solidificación direccional controlada. La solidificación direccional, intenta que los grados de las relaciones de solidificación progresiva a lo largo de la pieza sean tales que las posiciones en la línea central, cerca de los lados de la pieza, enfrien antes que los puntos similares cercanos al cargador como se observó en la figura #5.

La solidificación direccional, hasta ahora describe la solidificación de los metales puros, bronce al aluminio y otras aleaciones, las cuales solidifican esencialmente a la manera de la formación de piel, desafortunadamente, muchas aleaciones base tienen una forma de solidificación múltiple. Como el fundidor sabe, las piezas en arena en esas aleaciones invariablemente contienen una cierta cantidad de porosidad distribuida (microporosidad) y la tendencia a este defecto aumenta con el tamaño de la pieza. Las piezas en estas aleaciones, presentan problemas al fundidor ya que ellos se abstienen en obtenerlas por medio de la solidificación direccional, el promedio de piezas vaciadas en esas aleaciones, puede contener de 1 a 2% de porosidad, y es muy difícil reducirla abajo del 1% en todas, excepto para piezas pequeñas, se ha intentado incrementar el tamaño de los cargadores para reducir la porosidad, sin embargo a menudo no da resultado y en lugar de reducirla la incrementa.

Carga de las Piezas en Aleaciones de Cobre.- La dificultad para la carga de las piezas en estas aleaciones, se encuentran detalladas en el trabajo de Jackson, quien ex

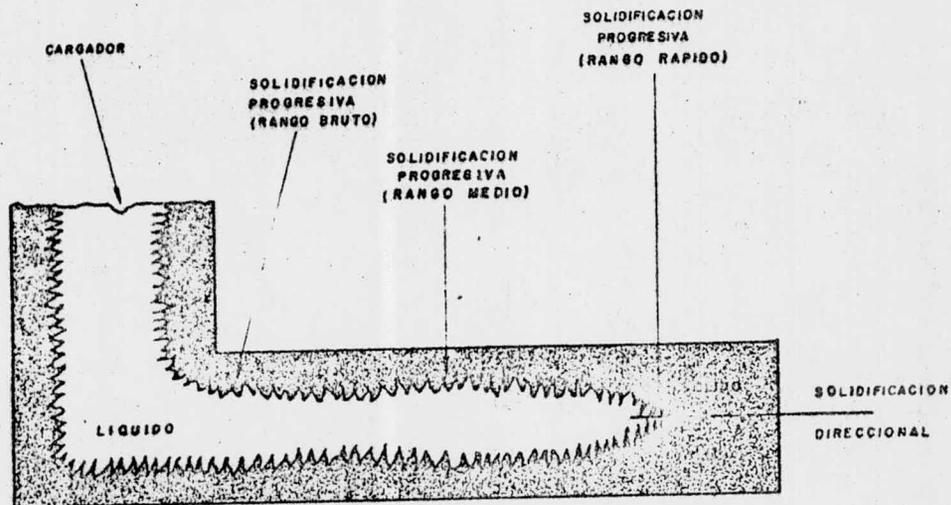


FIG.5.—REPRESENTACION DE LA SOLIDIFICACION PROGRESIVA Y DIRECCIONAL.

perimentó con un bloque de 4" x 4" x 8" vaciado en bronce rojo, este encontró que al incrementar el tamaño del cargador más allá de lo necesario para eliminar la porosidad en la pieza esta se incrementaba, Jackson concluyó que la solidificación direccional no mejoraba la calidad de las piezas en esta aleación y que la más importante función del cargador es aplicar la presión durante los primeros estados de solidificación, cuando la pieza esta en estado múltiple de pastosidad.

Durante los primeros estados de carga, la masa de carga indudablemente puede compensar el rechupe como describe Baker para las aleaciones de magnesio, la masa de carga consiste del movimiento de una masa pastosa de líquido y sólido análogo al endurecimiento de un material granular como el concreto, probablemente para cuando la pieza esta sólida en un 75% aproximadamente, sin embargo este porcentaje variará ampliamente con la aleación que se use. Puesto que la carga cesa virtualmente en este punto la porosidad dispersa se forma entonces en los estados finales de solidificación.

Las diferencias en la forma de solidificar, permite a las aleaciones de cobre en dos grupos, aquellas que solidifica con formación de piel ( rango-líquidos-sólidos -  $38^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{F}$ ) y aquellas que solidifican en forma pastosa, ejemplo de cada grupo:

Grupo 1.- Aleaciones con Formación de Piel.- Cobre, bronce al manganeso, bronce al silicio, bronce al aluminio, bronce amarillos de intervalo de solidificación corto, cobre al berilio y cuproniquel.

Grupo 2.- Solidificación Pastosa.- Bronces de cañón, latón rojo, bronce fosforado y bronce amarillos de intervalos de solidificación largo.

Las técnicas de carga usadas con las aleaciones del grupo #1, son similares a las usadas con el acero, Las entradas y los cargadores se colocan de tal forma que se establezca la solidificación direccional con debida consideración dados los rangos de alimentación.

La figura #6 muestra las técnicas usadas, la pieza hipotética consiste esencialmente de una placa a la cual se une una sección delgada C, y una saliente B, una rundi-

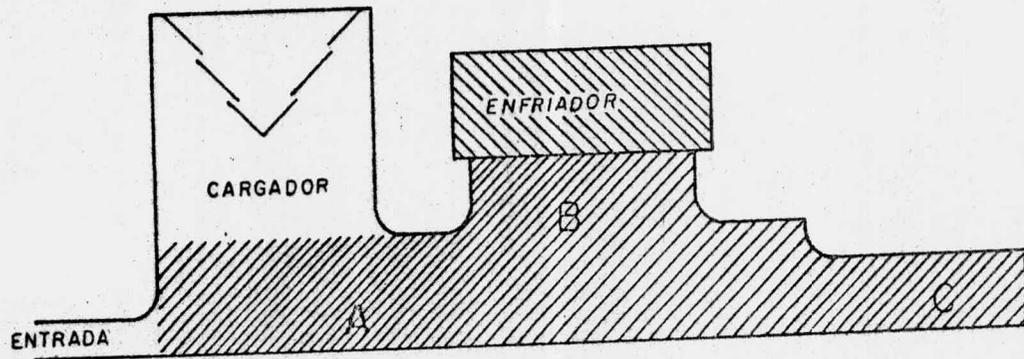


FIG 6-PIEZA HIPOTETICA PARA ILUSTRAR LOS PRINCIPIOS DE LA SOLIDIFICACION DIRECCIONAL.

ción comercial raramente produce placas y secciones de barra como las descritas pero una pieza complicada, puede considerarse como una combinación de varias secciones tipo barra y placa, y las recomendaciones pueden aplicarse a cada sección. En cualquier ensamble de placas y barras, la localización de los cargadores debe ser de acuerdo a su rango de alimentación.

La orilla delgada C, se enfriará rápidamente después del vaciado como el resultado del efecto de enfriamiento de las orillas (edge-cooling), así es mejor colocar el cargador en el lado opuesto de la pieza en la sección pesada A, de forma que mientras C solidifica rápidamente, A solidifica lentamente, entonces el modelo de solidificación direccional puede aumentarse alimentando la pieza en la sección pesada A.

Las salientes tales como B presentan principalmente debido a los puntos calientes que pueden formar en sus alrededores con su consecuente cavidad, bajo ciertas condiciones un cargador adicional se puede colocar sobre la saliente, sin embargo esto generalmente permite porosidad bajo el cargador por lo que resulta mejor colocar un enfriador (templadera) en lo alto de la saliente, un enfriador de acero de espesor igual al de la saliente provocará que el metal solidifique rápidamente verificándose la solidificación direccional controlada desde el final de C a la sección pesada A.

Los procedimientos para la alimentación y carga, se han desarrollado con el tiempo y después de métodos matemáticos muy complicados basados en relaciones empíricas se han puesto en práctica para fundición de piezas ferrosas estos métodos se tratarán de describir brevemente.

Para una pieza simple, de forma tosca, la aplicación de la regla de CHVORINOV.

$$t = K \times (V/A)^2$$

Es un método fácil, en esta ecuación tenemos:

t = Tiempo de solidificación de la pieza

K = Constante

V = Volúmen de la pieza

A = Area de la pieza

Para esta regla, la relación V/A, se calcula de la pieza y la relación del cargador, es hecha de tal forma que el tiempo de solidificación del cargador, es cerca del 25% más alto que el de la pieza, de esta manera tenemos que:

$$\begin{aligned} (V_c/A_c)^2 &= 1.25 (V_p/A_p)^2 \\ (V_c/A_c) &= 1.12 (V_p/A_p) \end{aligned}$$

Los índices indican cargador y pieza respectivamente.

La regla de CHVORINOV, ignora los efectos de las orillas el cual, tiene un efecto considerable en el enfriamiento en placas, barras y piezas, altas y delgadas, por tanto, la aplicación de la regla, mientras es satisfactoria para piezas simples, produce cargadores de tamaño excesivo con piezas altas y delgadas, para llenar los requerimientos del cargado en tales piezas, CAINE desarrolló la siguiente ecuación:

$$F = X \div (Z - B) + C$$

Donde:

F = El tiempo de alimentación relativo definido como  
( Ap Vp. ) / ( Ac Vc )

Z = Vc/Vp

CAINE demostró experimentalmente que para latones, X y B eran igual a 0.04 y 0.017 respectivamente y para bronce al aluminio y bronce al silicio, se sugieren los valores de 0.24 y 0.017 respectivamente, la constante C es normalmente 1.0 para un cargador abierto.

Sin embargo las últimas investigaciones han desarrollado el Factor de Forma para calcular las dimensiones del cargador, este Factor de forma es:

$$\frac{L + W}{T}$$

Donde:

L = Longitud de la pieza en pulgadas

W = Ancho de la pieza en pulgadas

T = Espesor de la pieza

Los datos originales obtenidos por BISHOP en el establecimiento de la relación empírica entre el factor de forma y la relación de volumen del cargador al volumen de la pieza, se encuentran dados en la figura # 7.

Los datos de las dimensiones correctas de los cargadores que alimentarán adecuadamente a una pieza solamente han sido establecidos para aleaciones ferrosas, es de particular interés el hecho de la afinidad existente entre el factor de forma y la relación  $V_c/V_p$  para cada aleación estudiada. Los datos contenidos en la figura #7, se basan en el hecho de que los cargadores usados con aleaciones ferrosas, tienen un rango de alimentación de  $4\frac{1}{2}$  T para placas y 6 T para barras, siendo T el espesor en pulgadas, esto significa que cuando se tienen piezas de diseño simple, la distancia de alimentación se incrementa con el incremento de espesor, sin embargo las investigaciones sobre los rangos de alimentación y carga de las aleaciones no ferrosas, han sido totalmente limitadas, algunas pruebas efectuadas en el Laboratorio Naval de Investigaciones, sugieren que los rangos de alimentación en el bronce al manganeso, pueden ser mayores que en piezas de acero, por ejemplo, en placas vaciadas los rangos de alimentación, son alrededor de  $5\frac{1}{2}$  T en contra del  $4\frac{1}{2}$  T, dado que las pruebas fueron pocas, los rangos no han sido totalmente establecidos.

En la actualidad, es mejor usar las reglas desarrolladas para acero, complementadas con datos encontrados para la aleación Al 7 Mg.

Los estudios de la dinámica técnica de esta aleación, -- llevados a cabo en Batelle, fueron dirigidos debido al conocimiento de su tendencia a mostrar elevados rechupes cuando no se alimenta adecuadamente, aunque se requieren más pruebas antes de precisar las recomendaciones para las aleaciones ligeras, las deducciones pueden ser de valor para el óptimo desarrollo de la carga de aleaciones ligeras y con la interpretación de valor por los fundidores de aleaciones base - cobre.

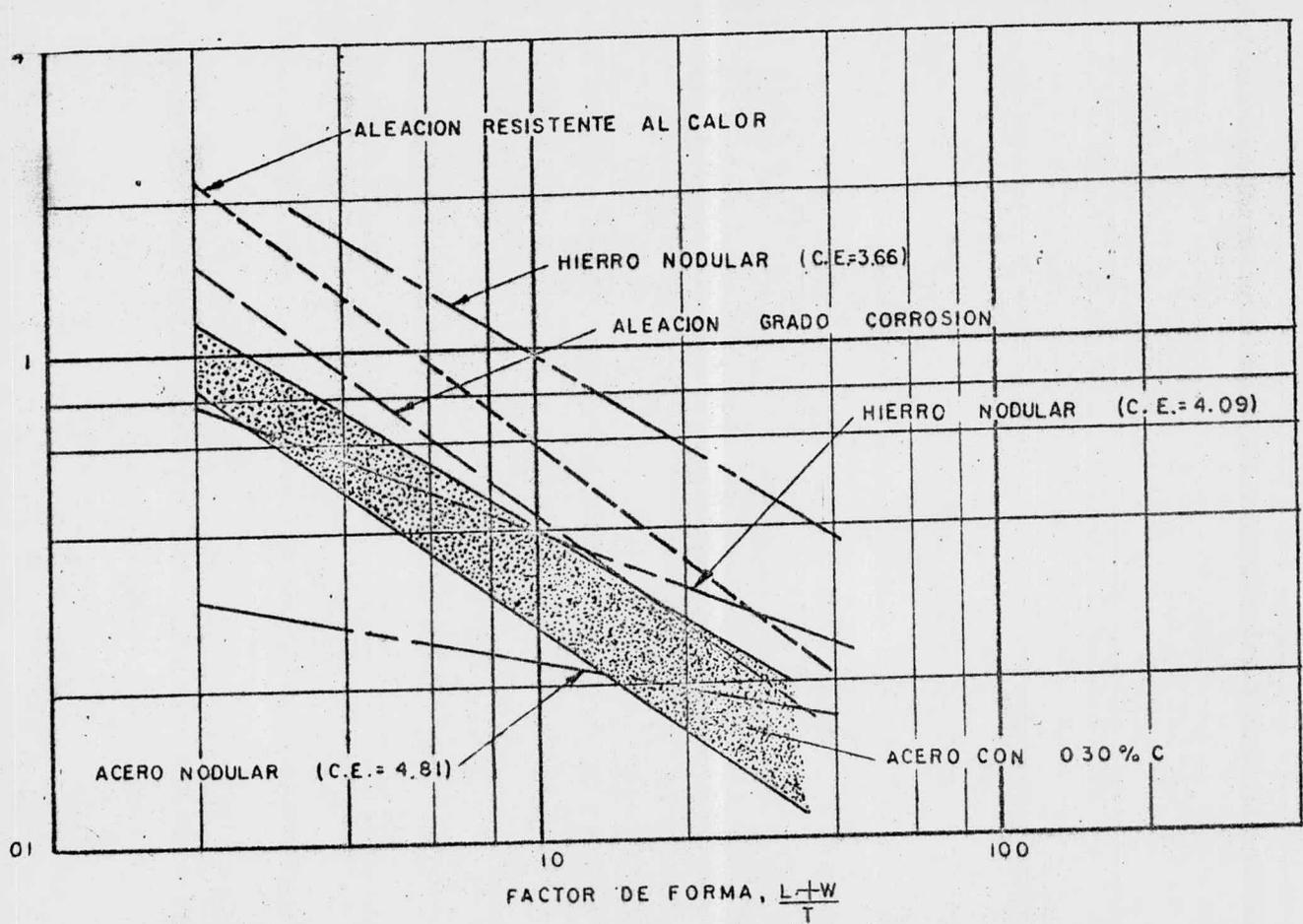


FIG. 7.— RELACION ENTRE EL FACTOR DE FORMA CONOCIDO Y LA RELACION  $\frac{V_c}{V_p}$

Al contratio del acero, los rangos de alimentación para la aleación Al 7 Mg expresados en términos del espesor, decrecen conforme aumenta el espesor. Los valores bajo los cuales se encontró una pieza sana, se muestran en la siguiente tabla:

Espesor T pulgadas	longitud pulgadas	Longitud como un múltiplo - del espesor.
1/2	4	8 T
1	5	5 T
2	6	3 T

El rango solidus-liquidus de la aleación, es aproximadamente  $72^{\circ}\text{C}$  y es típica de las aleaciones no ferrosas con forma de solidificación pastosa, deduciendo desde el campo de las aleaciones base cobre sería lógico asumir que la aleación 85-5-5-5 sigue el principio encontrado para la aleación Al 7 Mg, el rango de alimentación de un cargador es más corto conforme el espesor se incrementa, -- sin embargo la regla para la calidad como función del -- gradiente térmico, es totalmente diferente para esas dos aleaciones, en la aleación Al 7 Mg fué necesario tener un gradiente solamente de  $3^{\circ}\text{C}/\text{in}$  en tanto que para la -- aleación 85-5-5-5 es necesario alcanzar un gradiente de  $33^{\circ}\text{C}/\text{in}$ .

Desde un punto de vista eficiencia térmica, y facilidad de moldeo, la forma más deseable de un cargador es la de un cilindro con una relación altura - diámetro (A/D) en el rango de 0.5 a 1.5 para piezas pequeñas, pueden usarse cargadores ciegos con tope y fondo hemiesféricos, tales cargadores se conectan a la pieza por un cuello corto y la entrada generalmente ataca al cargador para mejorar los resultados, en este caso es muy importante no colocar varios cargadores ciegos para prevenir la alimentación de uno a otro por medio de la acción hidrostática -- pues esto reduce la eficiencia de ellos y ocasiona severos rechupes en la pieza.

Se obtienen altas resistencias de aproximadamente el 80% o más cuando se usan cargadores exotérmicos, en las aleaciones del grupo 1, el volumen del cargador, puede ser -

solamente del 15 al 20% de la pieza, el bronce al manganeso y el bronce al aluminio, pueden requerir una relación cargador/pieza de 20 a 25%, la relación altura/diámetro de cargadores exotérmicos será alrededor de uno. El espesor del exotécnico moldeable usado alrededor del cargador, se da como sigue:

Diámetro del Cargador Pulgadas		Espesor de la Pared de la Manga Pulgadas
Hasta	$2\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$2\frac{1}{2}$	- 6	$\frac{3}{4}$
6	- 9	1
9	- 12	$1\frac{1}{4}$
12	- 16	$1\frac{1}{2}$
16	- 24	2
24	- 30	$2\frac{1}{2}$

Sin importar la técnica de moldeo, lo alto del cargador, siempre deberá cubrirse con polvos o materiales exotérmicos para promover la máxima eficiencia alimentadora, las pérdidas de calor por radiación de la superficie superior del cargador expuesta al medio ambiente son considerables, particularmente cuando se usan mangas exotérmicas.

Como ya se estableció, las piezas en aleaciones del segundo grupo, presentan grandes problemas a los fundidores, todo lo anteriormente establecido para el grupo #1, puede aplicarse al grupo #2. Sin embargo, encontramos que la solidificación direccional sola no es suficiente, debe acompañarse de altos gradientes térmicos hacia el cargador, esto puede llevarse a cabo por medio de los enfriadores que virtualmente cubren la superficie entera de la pieza. Cuando se sigue este procedimiento, se obtienen piezas altamente sanas.

Johnson y Flin recomiendan ampliamente el uso de enfria-

dores ahuzados para obtener un grado suficiente de solidificación direccional en esas aleaciones, la colocación de estos se ilustran en la figura #8, cuando se aplica - un enfriador de este tipo, se aplica a ambos lados de la sección, desafortunadamente los enfriadores como los de la figura #8, son antieconómicos para la producción de piezas de calidad comercial, en su lugar el fundidor inconcientemente, acepta la premisa del 1 a 2% de tolerabilidad en la porosidad y busca distribuir esta porosidad a lo largo de toda la pieza, desde el punto de vista fundición, este porcentaje de porosidad, no afecta la funcionalidad de la pieza ya que generalmente son para ajustes a presión, sin embargo los clientes no siempre aceptan este problema y cuando requieren alta calidad a bajo precio, el fundidor debe emplear técnicas de moldeo mejoradas, esto puede llevar a tomar una de dos alternativas:

- 1.- Desarrollar y profundizar en el manejo de los enfriadores, y la solidificación para alcanzar la solidificación direccional controlada.
- 2.- Evitar la solidificación direccional y hacer que la pieza solidifique tan uniformemente como sea posible.

Para hacer mejor uso de la solidificación direccional -- controlada, se deben entender varios conceptos:

- 1).-El rango de alimentación de las aleaciones base cobre que solidifican en una forma pastosa, pueden incrementarse considerablemente con el uso de enfriadores de diseño correcto.
- 2).-Altos gradientes térmicos, deben ser alcanzados y -- deben progresar desde la más lejana orilla de la pieza hacia los cargadores.
- 3).-Los cargadores no deben considerarse necesariamente como depósitos de material de carga, sino como fuente de calor, este concepto es importante ya que debe recordarse que un aumento en el tamaño del cargador no aumenta la calidad de una placa o barra la cual -- excede su rango de alimentación, el cargador en este caso actúa principalmente como una fuerza de calor.

Con estos conceptos estudiados, podemos pasar a una dis-

cusión detallada de los efectos de los enfriadores en la solidificación, es deplorable que no se hayan efectuado muchos trabajos con aleaciones base-cobre, pero ellas -- mismas no permiten estudiarlas convenientemente debido a su amplio rango de solidificación. Así es que muchos trabajos se han hecho con acero y algunos se extienden a la aleación Al 7 Mg, FLIN ha hecho trabajos similares pero no podemos asegurar nada del rango de alimentación de cada aleación hasta que cada aleación se estudie individualmente.

El efecto de los enfriadores en la calidad de las piezas de acero, se ha estudiado con gran interés, las investigaciones muestran que un enfriador de T espesor colocado al final de una placa barra de acero, contrario al cargador, incrementa el rango de alimentación por 2 pulgadas para placas y por T pulgadas para barras.

La información en el efecto de enfriadores convencionales sobre los gradientes térmicos en piezas no ferrosas, es sin embargo, escasa, tales datos son necesarios si se establecen técnicas mejoradas para producir piezas sanas en aleaciones ligeras o en aleaciones base cobre.

Después de la formación de una película sólida inmediata al enfriador, el calor debe extraerse a través del metal solidificado, así la conductividad térmica del metal solidificado, se vuelve el factor de control para la disipación de calor por el enfriador. Como resultado el efecto del enfriador final sobre la solidificación direccional controlada, no se extiende a una gran profundidad -- dentro de la pieza ni es posible estratégicamente localizar tales enfriadores para mantener el gradiente térmico a través de la pieza arriba del nivel requerido para la calidad de las piezas.

Lo opuesto a la solidificación direccional controlada, es hacer que la pieza solidifique tan uniformemente como sea posible, para lograr esto la alimentación deberá hacerse en la sección más delgada de la pieza para retardar la solidificación en esas regiones, el abrir varias entradas, ayuda a distribuir el metal fundido más uniformemente, los cargadores serán usados tan escasamente como sea posible ya que en este tipo de solidificaciones, los cargadores sirven solamente para evitar la formación

de resumideros y puntos calientes internos. Los cargadores deben ser cilindros pero con aleaciones grupo II, la relación A/D será al menos 3 a 1, en este tipo de solidificación alcanzado por la práctica de la alimentación y carga, la porosidad en rango 1 a 2% estará dispersa a través de la pieza.

ENFRIADOR LATERAL DE  
DOBLE AHUZAMIETO

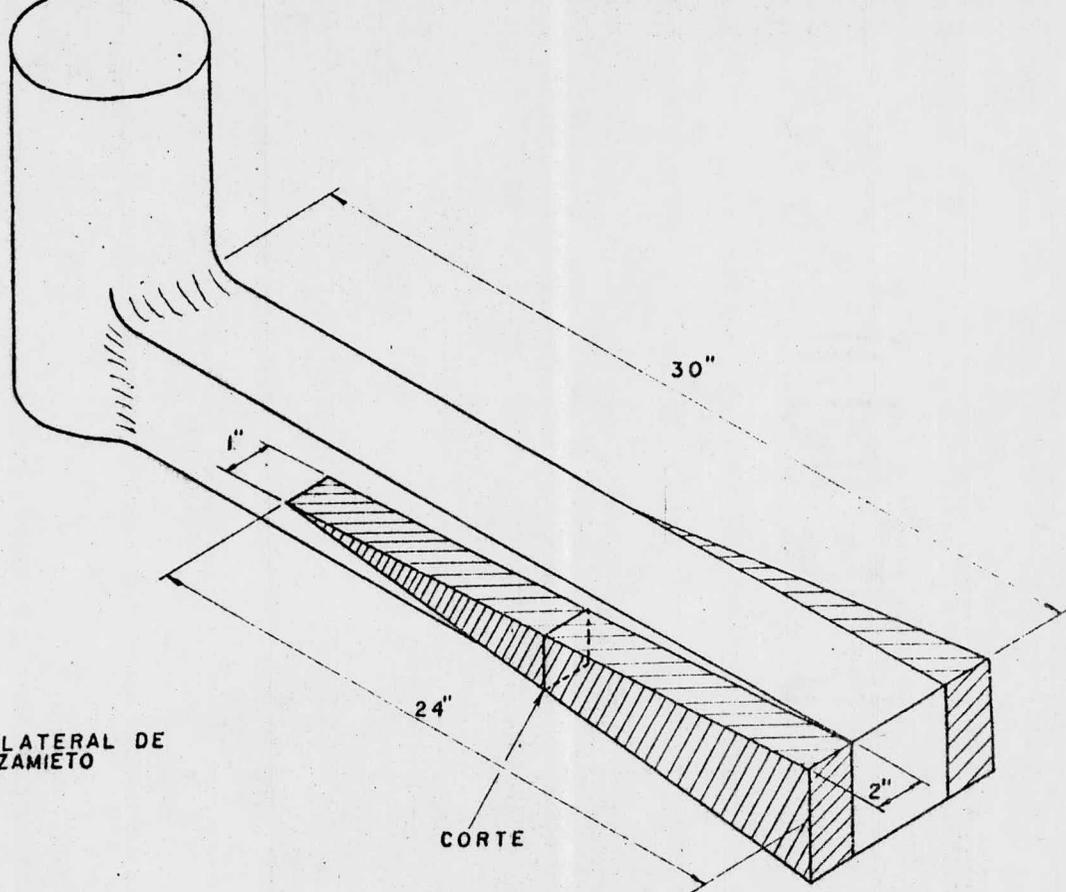


FIG. 8

## CAPITULO IV.

### METODOS DE PRUEBA PARA CONTROL DE CALIDAD

La ciencia de las pruebas destructivas y no destructivas conjunta todos los metodos para la detección medida de las propiedades significativas o para probar la utilidad de los materiales básicos y de la pieza final. El control de calidad se debe empezar desde la compra de la materia prima, seguido por el análisis del material recibido o fundido, pruebas físicas y mecánicas de la estructura de la pieza, examinación metalúrgica para checar el proceso y pruebas no destructivas del producto final.

El factor guía en el montaje y sofisticación del control de calidad es la economía, para usos militares y otros compradores exigentes hay especificaciones a seguir sin desviación, los productos comerciales también deben tener una alta calidad asegurada, pero a menudo sus requerimientos de uso no son pedidos y por tanto se pueden evitar muchos métodos de control que resultan antieconómicos, remplazándose por pruebas menos caras, es aquí donde se entablan polémicas acerca de cuanto trabajo de control es necesario y esencial.

Es mejor rechazar una pieza defectuosa en la fundición que tenerla maquinada y ensamblada antes de detectar el defecto, sin embargo es necesario para pruebas simples y baratas, proyectar para fundiciones pequeñas como para fundiciones grandes especificaciones para usarse como guías para control de calidad, por lo cual se detallarán varios métodos de prueba, con la finalidad de seleccionar el más apropiado para evaluar el producto en cuestión.

Muchas fundiciones usan bocas y cuellos de sus piezas, estos estarán segregados y deberá ejercerse demasiado cuidado para evitar mezcla en los análisis, en algunas ocasiones las fundiciones usan las rebabas del maquinado de sus piezas, y se torna responsabilidad de la fundición ver que estas no sean fundidas antes de quitarles humedad, aceite y partículas de hierro, en especial estos dos últimos. Es posible que algunos metales primarios tales como cobre, estaño, plomo, zinc, níquel, etc. sean también usados en la fundición.

Dada la cantidad de piezas hechas en una fundición, las cuales no pueden ser rápidamente juzgadas por su apariencia o cuya eficiencia no es observada fácilmente, - se han desarrollado varios métodos que puedan sentar la base para la aceptación de las mismas, estos métodos po demos dividirlos en métodos de control de campo y métodos de control de laboratorio.

#### IV - 1) METODOS DE CONTROL DE CAMPO

Control de Temperatura.- Cualquier fundición ya sea--- grande o chica, debe tener una manera de medir la tempe ratura si su objetivo es la producción constante de pie zas de alta calidad. Probablemente como muchas piezas - defectuosas pueden asignarse directa o indirectamente - a una temperatura de vaciado no apropiada, también pueden asignarse a cualquier otra condición de la fundi--- ción. Aún si se puede determinar la temperatura exacta de vaciado, para cualquier pieza, será imposible vaciar todas las piezas a la misma temperatura, debido a la -- caída de temperatura del metal durante la operación de vaciado.

Considerando que el promedio de metal que se vacia desde una cuchara o crisol es de 100 Kgs., la caída de tem peratura en el vaciado de esta cantidad en un mínimo de  $55^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) y a menudo se va hasta  $83^{\circ}\text{-}111^{\circ}\text{C}$  ( $150 - 200^{\circ}\text{F}$ ) esta caída puede reducirse con cucharas refractarias, pero se vuelven imprácticas cuando se funde y se vacia en el mismo crisol. Es necesario, sin embargo ini ciar una temperatura en la cual, si no es la mejor, se obtenga piezas satisfactorias, de tal forma que el último metal vaciado esté suficientemente caliente si esto es imposible, entonces es necesario vaciar con crisol - más chico o bien vaciar solamente parte del metal de un crisol grande.

La temperatura apropiada de vaciado es generalmente determinada por el tamaño y sección transversal de la pie za tanto como por el número de piezas en el molde. Sin inquirir mucho en el dominio de la fundición práctica, - es fundamentalmente sano vaciar en la temperatura más - baja posible, pero aún lo suficientemente caliente para evitar puntos fríos y rechupes internos.

Hay en el mercado muchos pirómetros buenos para la ----

determinación de la temperatura de vaciado del bronce y el latón y practicamente todos son del tipo de inmersión los pirómetros ópticos son raramente usados, debido a la formación de una capa de óxido en la superficie del bronce y el latón cuando se exponen a la atmósfera reduciendo las posibilidades de una lectura correcta.

Control de la Fusión.- La literatura publicada sobre los delatorios efectos de los gases reductores en el latón y el bronce es voluminoso, naturalmente mucho de esta contaminación puede llevarse a cabo durante la operación de fusión, una discusión de la teoría de fusión bajo atmósfera ligeramente oxidante, no se verificará en este párrafo pues la práctica es casi mandatoria. Cuando se funde en hornos diesel, gas o coque o en hornos de flama abierta el fundidor tiene tres métodos para determinar el tipo de atmósfera que rodea al material durante la fusión, en los tres métodos es incorrecto checar la flama mientras el metal está en estado sólido o parcialmente sólido, es mejor esperar hasta que el metal esté fundido estas pruebas se detallan a continuación:

Prueba visual.- Una corta punta de flama, un ligero tinte verde alrededor de la orilla exterior indica una atmósfera oxidante, es una idea equivocada que una flama verde es siempre oxidante, una larga, perezosa flama verde se ha encontrado que es reductora en el mayor número de ocasiones. Por ésta razón si la prueba no es hecha por un operador altamente práctico, es a menudo insegura. Una flama amarilla, amarillo rojiza o humeante es indicación de una atmósfera reductora.

Prueba con Analizador de Gases El Orsat o cualquier otro equipo da un análisis exacto del  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_2$  en la muestra, la dificultad está en la toma de la muestra ya que se presenta el peligro de una reacción con el tubo de muestreo, sin embargo el tiempo necesario para correr la muestra es corto.

Prueba del Zinc.- Probablemente este sea, practicamente el método cualitativo más exacto debido a su simplicidad practicabilidad y velocidad consiste en pasar una barra de Zinc vírgen a través de la flama abierta por cinco segundos, si se torna negro, la atmósfera es altamente reductora, si se torna amarillo paja o ligeramente gris, -

es ligeramente reductora, si no cambia de color la atmósfera es oxidante, su simplicidad permite una prueba en cada horno, una vez que el metal fundió, y de corregir la flama si es necesario. Aún cuando la flama es oxidante en el punto donde sale del horno, y se combina con el aire, esto no necesariamente indica que la atmósfera sea oxidante sobre la superficie del metal aunque las posibilidades son muy altas, sin embargo si la flama es reductora en donde sale del horno, es seguro que será reductora sobre la superficie del metal.

Control de fundición por fractura de Pieza.- La prueba más simple usada tanto en las fundiciones grandes como en las pequeñas, para determinar la calidad del metal de las piezas en poco tiempo es la fractura, sin embargo el fundidor o el metalurgista deberá familiarizarse con las fracturas típicas y su interpretación. Cuando la pieza se debe fundir bajo condiciones oxidantes, llevarla a una temperatura alta y vaciarlo en una barra que se pueda fracturar fácilmente, el metal debe enfriarse y la barra vaciarse después de cada 35° J (100° F) de caída de temperatura hasta que la pieza este cerca del estado pagoso, este proceso debe repetirse con metal a condiciones reductoras.

Es importante examinar la fractura inmediatamente después de hecha, ya que tiende a sancharse una vez que se expone al aire y conduce a una determinación engañosa, la fractura ayuda a encontrar el mejor rango de temperatura así como a distinguir las estructuras de metal fundido con atmósferas oxidante o reductora.

Así por ejemplo cuando se prueba una pieza bajo presión de agua, resultando defectiva, se fractura en el punto exacto de la grieta, si se encuentran inclusiones de arena o escoria, el remedio es obvio, si la fractura es porosa y descolorida puede ser por un rechupe interno, el cual se puede prolongar, la pieza entonces se fractura en uno o más puntos que no presentan grietas, si la fractura es ahí homogénea y de color uniforme, la observación del rechupe es correcta, pero si todas las fracturas son descoloridas entonces el problema es más probablemente debido a una alta temperatura de vaciado o el haber fundido en condiciones reductoras.

Control por Gravedad específica de piezas.- La gravedad

específica de una sustancia es sabido que es su peso en aire dividido por el peso de un volumen de agua igual al volumen de una muestra a probar, es una prueba simple -- que da buenas herramientas para fundición a presión cuyas propiedades físicas generalmente se incrementan con la gravedad específica.

En muchos casos en que las piezas son con corazones que hacen extremadamente difícil una medición con exactitud, particularmente las secciones internas, las cuales es -- importante tengan espesor correcto para asegurar que la pieza final no tenga peso adicional que el permisible, -- que las secciones no sean del espesor diseñado el cual -- podría disminuir la resistencia de la pieza, y las cavidades de los barrenos no se reduzcan en área por el material de más en las secciones por lo que cualquier flujo de líquido o gas intentado por el diseñador se reduce.

**Ensayo de Dureza.** -- Cuando se requiere prueba de dureza -- se usan las más conocidas que son la Brinell y la Rockwell ya que la Vickers y la Knopp son para casos muy especiales. La dureza se puede definir prácticamente como la resistencia a la penetración o la abrasión.

La prueba Brinell consiste en forzar una bola de acero -- endurecida, de diámetro determinado, bajo una presión de finida, en la superficie del metal, el diámetro de la im presión se usa para calcular la dureza.

La prueba Rockwell consiste en forzar una bola de acero endurecida en la superficie de metales relativamente suaves o un cono de diamante en la superficie de metales relativamente duros con penetradores bajo cargas determinadas, la medición no se basa en la penetración total sino en el incremento de la profundidad debido al incremento -- de carga de un menor a mayor valor. Mientras más grande sea el incremento más suave es el material y viceversa.

La ventaja de esta prueba son su rapidez y el hecho de -- que los resultados son usados para rechazos o aceptación.

#### IV - 2) METODOS DE CONTROL DE LABORATORIOS

**Análisis Químicos.** -- Muchas fundiciones operan exitosamente sin checar el análisis químico constantemente, debido a que por su alta producción estos reportes llegan mu---

chas veces tardíamente. Sin embargo hay excepciones donde el análisis químico debe mantenerse, por ejemplo en piezas con resistencia a la corrosión o de alta conductividad eléctrica, la composición generalmente será un factor predominante para la funcionalidad del material.

Los métodos de análisis químicos, se encuentran detallados en el ASTM. Chemical Analysis of Metals. Parte No.32.

Ensayo de Tensión.- Es la prueba mecánica de laboratorio más asociada con las aleaciones de cobre fundidas, sin embargo hay otras pruebas que se pueden determinar a partir de ésta y son límite elástico, módulo de elasticidad por ciento de elongación y por ciento de reducción de área. Para determinar estas propiedades mecánicas es necesario un determinado tipo de barra de prueba la cual se compara con un estandar, el ASTM-B 208 da las dimensiones de maquinado para la barra estandar usada en las aleaciones de cobre fundidas.

Con la barra se pueden obtener el por ciento de reducción de área y la elongación, la carga máxima registrada en la máquina de tensión dividida por el área original de la barra, es el último esfuerzo o la resistencia a la tensión del material en la barra bajo prueba.

Análisis Metalográfico.- La importancia de la examinación microscópica está en el hecho que muchas estructuras observadas en el metal, tal como tamaño de grano, la forma de ocurrencia y distribución de las inclusiones no metálicas, segregación y otras condiciones heterogéneas tienen una marcada influencia en las propiedades mecánicas del metal. Los principales usos del examen microscópico de las aleaciones de cobre son: Checar la microestructura a las temperaturas usadas en el tratamiento térmico de las aleaciones susceptibles, el tamaño, forma y distribución de plomo en los bronce fosforados y la porosidad microscópica en los bronce de estaño no visibles en la prueba de fractura.

La extensión y el carácter de las irregularidades en un metal o una aleación se revelan por macroataque en mejor forma además de no tener que usar alta amplificación, esto se llama macroscopía o macroexaminación y se distingue de la microscopía por la baja amplificación necesaria y porque se puede observar mayor área, la macroscopía

lo rodean. El propósito de esta inspección es determinar no sólo la presencia de las discontinuidades internas -- sino también la magnitud de éstas que pueden ser rechupes por porosidad, por gas, inclusiones, etc. La inspección radiográfica puede usarse como herramienta de la fundición para determinar la mejor práctica de moldeo para obtener el nivel de calidad requerido sea mantenido durante la producción, y/o como una inspección media para la aceptación final o el rechazo de la pieza o lote de piezas.

## C O N C L U S I O N E S

Este trabajo fué desarrollado en base a:

- La práctica Profesional de la Metalúrgia en el campo (experiencia).
- Información obtenida de Profesionales del ramo (experiencia)
- Investigación en diversos textos, manuales, folletos, apuntes etc., sobre Metalúrgia.

La intención que motivó el desarrollo de esta TESIS, fué recopilar conocimientos tanto teóricos como prácticos; de una manera tal, que fuera accesible para estudiantes o Profesionistas de la carrera y para aquellos que han hecho o desean hacer de la Metalúrgia su actividad principal.

MI más firme intención es lograr a través de este trabajo, poder ser útil y en manera alguna corresponder a todo lo que recibí de esta HONORABLE FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS.

R E F E R E N C I A S

---

- 1.- "MANUAL MODERNO DE FUNDICION"  
DANA E J. TORRES / EDICIONES TECNICAS
- 2.- "TECNOLOGIA DE LA FUNDICION"  
EDOARDO CAPELLO / EDITORIAL GUSTAVO GILI, S.A.
- 3.- "GASES IN COPPER - BASE ALLOYS"  
P. ROENGTEN / FOUNDRY - 90
- 4.- "THE INFLUENCE OF ALLOY COUSTITUTION ON THE MODE  
OF SOLIDIFICACION OF SAND CASTINGS"  
R.W. RUDDLE AND A.L. MINCHER / J.INST. METALS
- 5.- "RISERING COPPER ALLOY CASTINGS"  
R.W. RUDDLE / FOUNDRY 87
- 6.- "MANUAL PARA EL CONTROL DE ARENAS"  
AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY
- 7.- "COPPER - BASE ALLOYS FOUNDRY PRACTICE"  
AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY