

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE PIEZAS DE CuSn Y CuPb
VACIADAS EN MOLDES DE ARENA EN VERDE Y EN SECO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A

FERNANDO MUÑOZ JIMENEZ

MEXICO D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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
DE 4.8. 302
FECHA
PROC.



2 1 2 1 2

ENCUADERNADO EN TELA DE

INCUBADOR QUIMICO METALURGICO

ENCUADERNADO EN TELA DE

ENCUADERNADO EN TELA DE

1978

**A mis queridos Padres que con
su abnegación y sacrificio he
logrado concluir mi carrera.**

**A mis hermanos y cuñados(as) por
el ejemplo de superación que he
visto en ellos.**

**A mis maestros en agradecimiento
de sus consejos y conocimientos
que obtuve de ellos.**

Jurado asignado:

PRESIDENTE	Prof. Manuel Gaviño Rivera
Vocal	" Kurt H. Nadler Gundeisheimer
Secretario	" José Campos Caudillo
1er.Suplente	" Humberto Malagof Romero
2o. Suplente	" Enrique Curiel Reyne

Sitio donde se desarrolló el tema:

Ferrocarriles Nacionales de México, Terminal Aguascalientes, Ags.

Nombre completo y firma del sustentante: Fernando Muñoz Jiménez

Nombre completo y firma del asesor del tema: Ing. Q.M. Kurth H. Nadler
Gundeisheimer.

C O N T E N I D O .

- I.- INTRODUCCION.
- II.- GENERALIDADES DE LA ALEACION Cu-Sn.
- III.- INFLUENCIA DEL MOLDE DE ARENA EN LA ESTRUCTURA DE LA PIEZA COLADA.
- IV.- DEFECTOS COMUNES EN LAS PIEZAS DE BRONCE COLADAS EN MOLDES DE ARENA, Y MANERA DE EVITARLOS.
- V.- COSTOS.
- VI.- CONCLUSIONES.

I.- INTRODUCCION.

a.- BREVE DISERTACION DE LA HISTORIA METALURGICA.- A la luz de los actuales conocimientos metalúrgicos y habida cuenta de los muchos problemas -- que quedan por resolver, verdaderamente resulta sorprendente que los anti -- guos fuesen capaces de reducir los minerales, afinar los metales resultantes y colarlos en forma de objetos útiles. Los metales desde la antigüedad han sido objeto de numerosas investigaciones, especialmente por parte de los alquimistas que dedicaron a su estudio mucho esfuerzo y perseverancia. No obstante, el verdadero descubrimiento de los metales no debía iniciarse hasta mediados del siglo XVIII, es decir, hace poco más de doscientos años; así, mientras que con anterioridad al siglo XV no se conocían más de siete metales (Au, Ag, Fe, Cu, Hg, Pb, Sn), el número de estos actualmente es bastante elevado.

Así pues, durante más de cinco mil años los artesanos han hecho gran cantidad de piezas fundidas con fines varios artisticos o utilitarios con los metales conocidos. En los museos del mundo se exhiben ejemplares de dichos objetos, que desde luego, no es con el fin de mostrar el desarrollo de la industria de la fundición, sino más bien para estudio de temas como el arte de la antigua china, la civilización romana, etc.

Los procesos y técnicas metalúrgicos tienen muchos años de antigüedad, por lo que puede decirse que la metalurgia es un arte antiguo, pero una ciencia relativamente moderna, ya que en la actualidad los problemas metalúrgicos han llegado a ser demasiado complicados para que puedan resolverse con la experiencia del arte metalúrgico.

Puede decirse que en la actualidad para resolver los problemas metalúrgicos que constantemente se presentan debido al gran incremento de los metales en la industria, es condición comprender perfectamente la naturaleza física y mecánica del metal y los factores que gobiernan el comportamiento del mismo en el servicio; es necesario primero conocer las diferentes propiedades y características de los metales para posteriormente aplicar este conocimiento a los procesos técnicos que forman el actual campo de la metalurgia.

En el presente siglo la necesidad de utilizar cada día más metales o aleaciones metálicas en la industria, ha originado que determinados metales o aleaciones metálicas, por su creciente demanda industrial, sean objeto de constantes estudios, así como de un adecuado control en la producción, como sucede con las diferentes aleaciones de hierro y del aluminio por ejemplo: pero desgraciadamente no toda la metalurgia de transformación tiene un campo tan amplio industrialmente, lo que origina que algunas de esas industrias de transformación metalúrgica aun sigan dependiendo de la experiencia del maestro fundidor cuyo único mérito en la mayor parte de las veces es haber heredado el oficio.

Este es el caso típico de las fundiciones de bronce (por lo menos en nuestro país), que no obstante su antigüedad histórica (pues justamente fue una aleación de cobre y estaño la que dio el nombre a la llamada "Edad de Bronce", que siguió a la edad de piedra y precedió a la de hierro), no ha logrado industrializarse y la poca demanda que tiene en el mercado dicho producto no es lo suficientemente económica, lo que les impide sostener personal técnico capacitado para que las dirijan, ocupando para tal fin a fundidores prácticos con determinada experiencia en el oficio; consecuencia lógica de esa falta de asesoramiento técnico es que el producto carece de garantía.

b.- OBJETO DE LA TESIS.- La oportunidad que he tenido de estar en relación directa con industrias de fundición de bronce, me ha servido para percatarme de las deficiencias técnicas con que se trabaja en la mayoría de las fundiciones de bronce en México; así mismo he podido observar la influencia que puede tener la arena de moldeo y el tiempo de permanencia de la pieza en el molde después de colada, en la estructura final de la pieza.

Es natural pensar que en una pieza de bronce colada en molde de arena hay una serie de factores que influyen en mayor o menor grado en la estructura de la pieza y consecuentemente en las características físicas de la pieza con relación al molde, son por ejemplo, el mayor o menor grado de humedad en la arena del molde y la permeabilidad de la misma, así como el tiempo de permanencia en la pieza en el molde después de colada y otros. Ahora, si se toma en cuenta que la pieza de bronce colada generalmente en molde de arena, pasa a desempeñar de inmediato el trabajo para el cual es destinada, es indispensable que por lo menos se tenga conocimiento del grado en que perjudican los factores antes señalados, pues así se estará en condiciones de controlar estructuralmente (aunque en forma relativa), a la pieza colada con lo atender las características de la arena de moldeo y el tiempo de permanencia de la pieza colada en el molde. Con esto se quiere decir que si se tiene un material de moldeo con buena conductividad de calor hacia el exterior, -- más rápidamente solidificará y enfriará la pieza colada; lo mismo, que si la pieza colada permanece mucho tiempo en el molde, dicha pieza enfriará lentamente. En ambos casos la pieza tendrá una estructura determinada, y lógicamente las características físicas de la pieza serán distintas, recomendables o no para el tipo de trabajo deseado.

Como es de suponer, estos conocimientos son de vital importancia sobre todo cuando se tiene una producción en serie y homogénea en sus dimensiones-

lo que facilita el trabajo, dando a la vez una mayor seguridad en el resultado deseado. Esta es la causa que ha motivado el presente estudio, y que se espera permita establecer algunas condiciones de trabajo en el moldeo y desmoldeo de piezas de bronce vaciadas en moldes de arena, con las cuales se esté en condiciones de controlar la estructura final y obtener los resultados físicos deseados en la pieza colada.

II.- GENERALIDADES DE LA ALEACION Cu-Sn.

A la aleación cobre-estaño comercialmente se le conoce con el nombre de BRONCE y en ella ambos elementos pueden entrar en proporciones distintas con resultados también distintos en cuanto a las características físicas de la pieza. Esta aleación llamada bronce, tiene una serie de variantes, es decir, que entran en ella otros elementos además del cobre y estaño, los que a la vez le dan a la aleación cobre-estaño características físicas determinadas haciéndola más apta para trabajos determinados.

Los metales que más comunmente entran en la composición de los bronce (aparte de los ya mencionados), son, el zinc, plomo, aluminio; con proporciones más pequeñas de otros metales como son el níquel, hierro, manganeso-silicio, fósforo, que aunque en pequeñas cantidades, confieren características especiales a las aleaciones.

Al allear el cobre con otros metales se obtienen los llamados bronce-al aluminio, bronce al manganeso, bronce al níquel, etc. De hecho, un bronce comercial puede no tener estaño en absoluto, y adición de elementos extraños a la aleación binaria cobre-estaño se regulan de acuerdo con las propiedades físicas deseables en la pieza colada y costo de la misma.

Es un tanto problemático establecer y estandarizar normas de calidad para las piezas de bronce y el uso de las mismas, ya que se tiene una serie de obstáculos que impiden tal control, entre los que pueden citarse aleantes y procedencia de la pieza; pero en general, los bronce se utilizan para una infinidad de piezas de usos varios, pues sus características lo hacen apto lo mismo para piezas hornamentales, como para piezas antifricciónantes, anticorrosivas, etc. en las que los elementos que se adicionan dan características determinadas al bronce. En nuestro país, las industrias respetables y económicamente fuertes (tanto productoras, así como consumidoras

de material de bronce), se rigen por las especificaciones ASTM; pero se debe recordar que las fundiciones de bronce en pequeñas escalas y las industrias también pequeñas fabrican y adquieren tipos de bronce con especificación europea, es por lo que en párrafos anteriores se señalaba la dificultad de estandarizar químicamente la producción de bronce.

a.- ALEACIONES MAS COMUNES Y SUS USOS.- En el mercado existen bronce de diferentes composiciones y aleantes; a continuación se dan algunas composiciones de los bronce más usados en la industria en general .

Las normas británicas B.S 1400, relativas a lingotes y piezas coladas de aleaciones de cobre, cubren una serie de aleaciones a base de cobre, normalmente suficientes para las necesidades generales de la técnica. Esas aleaciones derivaron de la War Emergency Specification (Tipificación de Emergencia en tiempo de la guerra), que fueron establecidas por la industria británica. Las aleaciones actualmente tipificadas son:

Dos bronce de cañones: G1-C, G2-C.
Tres bronce de cañones con plomo: LG1-C, LG2-C, LG3-C.
Tres bronce al plomo: LB1-C, LB2-C, PB3-C.
Tres bronce fosforados: PB1-C, PB2-C, PB3-C.
Un Bronce fosforado al plomo:LPB-C.

La tipificación de esta serie de composiciones ha permitido una racionalización del considerable número de aleaciones de cobre que antes exigían los usuarios, muchos de los cuales habían establecido sus propias especificaciones.

Las aleaciones más empleadas son las LG2-C y LG3-C, cuyos componentes son:

ALEACION LB2

Cobre ..85 %
Estaño.. 5 %
Zinc ... 5 %
Plomo .. 5 %

ALEACION LG3-C

Cobre ...86 %
Estaño... 7 %
Zinc 5 %
Plomo ... 2 %

En el ASTM se encuentra una serie muy amplia de bronce para usos va

rios, entre los que se pueden citar, por su mayor uso:

Aleación A.- Para piezas en contacto con material de acero muy duro a bajas velocidades bajo una presión no superior a 3,000 lb/in²; por ejemplo - en cojinetes metálicos de disco de puentes colgantes.

Aleación B.- Para piezas en contacto con materiales de acero muy duro a baja velocidad bajo una presión no superior a 2,500 lb/in²; por ejemplo, - cojinetes de discos metálicos usados en placas jiratorias y cojinetes de -- centros de puentes colgantes; para piezas en contacto con acero (bajo una - fuerza de tensión de 60,000 lb/in²) a bajas velocidades bajo presión no supe rior a 1,500 lb/in²; por ejemplo, muñones de puentes móviles y para cojine- tes y placas de expansión bajo presiones no superiores a 2,500 lb/in².

Aleación C.- Para cojinetes de maquinaria ordinario, y para cojinetes y placas de expansión bajo presiones que no excedan a 1,000 lb/in².

Aleación D.- Para engranajes, gusanos de torno, tuercas y partes simi lares sujetas a fuerza de compresión.

Aleación E.- Para fabricar casquillos, pernos y aplicaciones similar- es donde el movimiento angular es ligero y la fuerza de compresión mayor -- alcanza 8,000 lb/in².

BRONCES PARA PIEZAS DE PUENTES Y PLACAS JIRATORIAS
ASTM DESIGNACION: B22-52

%	Aleación A		Aleación B		Aleación C		Aleación D		Aleación E	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Mas.
Cu	79.0	82.0	82.0	85.0	78.0	82.0	86.0	89.0	60.0	68.0
Sn	18.0	20.0	15.0	17.0	9.0	11.0	9.0	11.0	--	0.2
Pb	--	0.25	--	0.25	8.0	11.0	--	0.3	--	0.2
Zn	--	0.25	--	0.25	0-	0.75	1.0	3.0	resto	
Ni	--	--	--	--	--	1.0	--	1.0	--	--
Fe	--	0.25	--	0.25	--	0.15	--	0.15	2.0	4.0
Sb	--	--	--	--	--	0.75	--	--	--	--
P	--	1.0	--	1.0	0.1	--	--	0.25	--	--
Al	--	--	--	--	--	--	--	--	3.0	7.5
Mn	--	--	--	--	--	--	--	--	2.5	5.0

PIEZAS FUNDIDAS DE BRONCE PARA VALVULAS Y VASTAGOS DE
VALVULAS
ASTM DESIGNACION :B61-52

Esta especificación es una aleación de alta calidad para fabricar vastagos de valvulas, valvulas y equipo sometido a trabajo de vapor.

%	Min.	Max.
Cu	86.0	90.0
Sn	5.5	6.5
Zn	3.0	5.0
Pb	1.0	2.0
Ni	--	0.25
Fe	..	0.25
P	--	0.25

BRONCES FUNDIDOS PARA PARTES DE MAQUINARIA.
ASTM DESIGNACION: B66-52

Esta especificación comprende cuatro tipos de bronce fundidos usados en maquinaria. La composición química de la pieza será de acuerdo al trabajo a desarrollar.

Bronce Fosforado.- Adecuado para usarlo donde hay fuertes fricciones entre metales, como por ejemplo, zapatas para frenos mecánicos y cuñas, re-vestimientos o forros de barras y cojinetes, y otros.

Bronces Duros.- Son aleaciones de uso general, cuyas piezas se vacían en moldes de arena o metálicos, se usan para forros de barras, zapatas para frenos mecánicos y cuyas, crucetas de chavetas, acopladores de remolques, -- punzones para troqueles y forros para cojinetes.

Bronces Medios.- Se pueden vaciar en moldes de arena o metálicos para cajas de motores y acopladores de remolques, ejes y forros de superficies de contacto de cojinetes.

Bronces Blandos.- Este tipo de piezas de bronce generalmente se vacían en moldes de metal, y se usa en donde se requiere un material maleable y blando.

%	Bronce fosforado		Bronce duro		Bronce medio		Bronce blando	
	min	max	min	max	min	max	min	max
	resto		resto		resto		resto	
Cu	7.0	9.0	6.0	9.0	6.0	8.0	4.0	6.0
Sn	9.0	12.0	10.0	16.0	16.0	22.0	23.0	27.0
Pb	---	0.75	---	1.25	---	1.25	---	1.25
Zn	---	1.0	---	0.50	---	---	---	---
Ni	---	0.15	---	0.20	---	---	---	---
Fe	---	0.75	---	0.75	---	---	---	---
Sb	---	---	---	---	---	---	---	---
P	0.20	0.50	---	0.05	---	---	---	---
Imp	---	0.50	---	0.35	---	0.75	---	0.75

Otras aleaciones de bronce que también tienen empleo amplio en la industria (talleres de la marina), son:

<u>Bronce 1</u>	<u>Bronce 2</u>	<u>Bronce 3</u>
Cobre 84%	Cobre 86%	Cobre 88%
Estaño 16%	Estaño 14%	Estaño 12%

La primera aleación es dura y quebradiza, y se emplea en cojinetes de transmisiones de maquinas herramienta, mientras que la segunda aleación es menos dura y menos quebradiza que la anterior, empleandose para bombas, valvulas de paso, embolos de rozamiento metálico, etc.

El bronce tres es de color anaranjado, es muy fuerte y tenaz, resiste los esfuerzos de torsión, da magnificos resultados cuando la pieza no se somete a fuertes rozamientos, empleandose para tapones, tornillos, pernos, tuercas, bombas y embolos de rozamiento no metálico, etc.

<u>Bronce 4</u>	<u>Bronce 5</u>	<u>Bronce Mecánico</u>
Cobre 90%	Cobre 94%	Cobre 90%
Estaño 10%	Estaño 10%	Estaño 6%
		Zinc 4%

El bronce 4 es tenaz, con poca resistencia al rozamiento, pero buena resistencia a la tracción, se emplea mucho en la fabricación de frenos, tuercas, enlaces, etc. La particularidad de la aleación 5 es que se forja como el cobre al que está destinado a sustituir, la adición de estaño sirve para hacer mejor la colada y obtener un metal de mejores condiciones.

La aleación más comunmente usada en las fabricas del ministerio de guerra frances, es el comunmente llamado bronce mecánico, Otras aleaciones destinadas a obtener materiales ferroviarios, principalmente en Francia, son las siguientes:

DESIGNACION:	Cu %	Sn %	Zn %
Aleación ligera para valvulas, grifos, etc.	78.0	11.0	11.0
Aleaciones ligeras para aros de excentricos	86.5	11.5	2.0
Otras aleaciones para aros de excentricos	84.0	14.0	2.0
Aleaciones pesadas para cuerpos de bombas y cajas de valvulas	88.0	10.0	2.0
Silvatos de alarmas	80.0	18.0	2.0
Silvatos de alarma de tono menos estridente	81.0	17.0	2.0
Prensaestopas, obturadores de valvulas	86.0	10.2	3.6
Tuercas de tornillo de paso grande	86.2	11.4	2.4
Aleaciones ligeras para chumaceras, cojines	84.5	13.0	2.5
Aleaciones para cojinetes de vagones	80.5	17.5	2.0
Aleaciones para cojinetes de bielas y ejes	82.0	16.0	2.0
Metales para templar	58.0	16.5	25.0
Anillos para cilindros de vapor	88.5	2.5	9.0
Distribuidores de vapor	80.5	17.5	2.0
Mandos de engranajes	88.8	8.5	2.7
Mandos de engrajajes	88.0	10.0	2.0

Las aleaciones constituidas por cobre, estaño y zinc resultan tanto más tenaces, maleables, coloreadas, faciles de limar y de torneare, cuanto mayor es la cantidad de cobre que entra en ellas.

Los compuestos ternarios a base de cobre-estaño-zinc que dan mejor resultado son aquellos en los que la cantidad de cobre no es inferior al 66% con respecto al compuesto. El estaño se usa para aumentar la dureza del cobre y su resistencia al desgaste.

En general las aleaciones de empleo más común son:

a.- Aleaciones compuestas de sólo cobre y estaño, entrando ambos compuestos en la aleación en proporciones que van del 90% al 80% para el cobre y del 10 a 20% para el estaño. Estas aleaciones están particularmente indicadas para elementos sometidos a fricción, como levas, cojinetes, o a presión, como valvulas, etc.

Por razones económicas se puede sustituir parte de estaño por zinc --

(2% de zinc sustituye 1% de estaño), y por plomo, obteniéndose aleaciones de mayor fluidez y con buenas características mecánicas al corte.

b.- Aleaciones con cobre, estaño, zinc y plomo. La composición de estas aleaciones está comprendida entre los siguientes límites:

Cobre	del 93 al 81 %
Estaño	del 4 al 8 %
zinc	del 2 al 8 %
plomo	del 3 al 4 %

Las características mecánicas resultan ligeramente inferiores a las de las aleaciones de sólo cobre y estaño, teniéndose: carga de rotura a la tracción alargamiento y dureza Brinell ligeramente inferiores.

Estas aleaciones se emplean para la fusión de piezas que no hayan de ser sometidas a esfuerzos excesivos, como manguitos de protección aparatos eléctricos, válvulas y grifería para bajas presiones.

c.- Una última categoría de bronce considerados por las normas italianas es la de los bronce llamados al plomo, que entra en ellas con fuertes porcentajes.

El plomo, sustituyendo también una parte del estaño, permite a las aleaciones mantener buenas cualidades antifriccionantes:

cobre	del 64 al 84 %
estaño	del 10 al 3 %
plomo	del 30 al 40 %

En este último tipo de bronce, la carga de rotura a la tracción R, que en estos casos no tiene mucha importancia, va de los 20 a 14 Kg/mm²; el alargamiento, del 15 al 4 %, y la dureza Brinell, de 40 a 80 H.

Los bronce citados son los de uso más general en la industria, pero las variaciones aportadas a estas aleaciones para la obtención de piezas con características especiales, como son, mayor tenacidad, resistencia a la corrosión, a la presión, al roce, etc., son numerosísimas, y entre las más importantes se pueden recordar las adiciones de pequeñas proporciones de ní---

quel, para lo referente a tenacidad, corrosión y erosión, y de fósforo para lo que atañe al roce.

b.- ALEACIONES ESPECIALES Y SUS CARACTERISTICAS.

BRONCE FOSFORADO.- El fósforo se le añade al bronce que contiene desde 1.5 al 10 % de estaño, durante la fusión del colado para fines desoxidantes- sin embargo este elemento de gran fluidez al metal fundido, por lo que aumenta la facilidad de colarlo en piezas finas ayudando a obtener piezas más sanas. Sin embargo, cuando un bronce contiene un 5 a 7% de fósforo, se vuelve de textura granular, de color amarillo grisáceo y su dureza siendo mayor que la del bronce ordinario, esto es, que el fósforo se combina con el cobre formando un compuesto duro Cu_3P , el cual se combina con el Cu_3Sn presente en estas aleaciones, aumentando la dureza y resistencia al desgaste.

Desde el punto de vista químico, el fósforo, actuando en el compuesto- como cuerpo reductor, hace desaparecer los oxidos metálicos que se forman durante la fusión de las aleaciones de cobre y estaño. Además se admite que --obre también como disolvente de los metales que constituyen los bronce y -- que, por lo mismo aumenta su fluidez y los vuelve más homogéneos.

El porcentaje de fósforo recomendable en piezas a las que se les adiciona tal elemento es entre 0.08 a 0.25%, que desde luego puede aumentar.

BRONCE AL MANGANESO.- En la actualidad se fabrica este tipo de bronce, destinado a piezas de rozamiento, como en años pasados se hacía con el bronce fosforado. El manganeso, al unirse con el cobre, proporciona una aleación -- muy maleable, de color rojo, que tiende a tomar el amarillo verdoso con el tiempo.

Las aleaciones de cobre y manganeso son dúctiles, ambos metales tienen gran afinidad entre sí. Este tipo de aleación se emplea mucho en construcción de hélices para buques. Las proporciones admitidas son las siguientes:

cobre	90 %
zinc	5 %
manganeso	2 %
estaño	3 %

Dicha aleación posee una resistencia a la tracción de 40 kg/mm^2 ; su límite de elasticidad es de 20 kg/mm^2 .

BRONCES AL ALUMINIO.- Las aleaciones de cobre que contienen aluminio - en lugar de estaño se conocen como bronce al aluminio. El aluminio actúa sobre el cobre de una manera análoga a como lo hace sobre el hierro. Empleados en proporciones muy pequeñas depura las aleaciones de cobre a la vez que las hace más homogéneas. Aumenta grandemente su tenacidad sin afectar en forma considerable las otras cualidades, especialmente la conductividad eléctrica. Desde este punto de vista su empleo es preferible al del plomo, del manganeso y del silicio, que a poco que están en exceso hacen perder al cobre la mitad de su conductividad.

La estructura de las aleaciones cobre- aluminio enfriadas lentamente - puede transformarse completamente a la fase alfa (del diagrama Cu-Al), al alcanzar la temperatura ambiente; sin embargo, a elevadas temperaturas, la fase alfa se convierte en beta, la cual se retiene, en parte, a la temperatura ambiente por medio de un enfriamiento rápido.

Es posible mejorar la dureza y otras propiedades de la mayoría de estas aleaciones calentando a la temperatura de la fase beta, aproximadamente a 899°C seguido de un enfriamiento rápido. Al recalentar a $371-593^\circ\text{C}$ la fase beta retenida se hace inestable y sufre una transformación, convirtiéndose en cristales finos alfa y delta. Tal cambio es causa de un marcado aumento en la dureza y resistencia mecánica a expensas de la ductilidad.

Los bronce al aluminio tratados térmicamente se usan para herramientas de mano, tales como cinceles, donde la no producción de chispas es esencial para evitar incendios y explosiones. Se usan extensamente en refinerías de petróleo y demás industrias en que se manejan líquidos y gases inflamables.

Las proporciones que dan mejores resultados parecen encontrarse alrededor de 10 partes de aluminio y 90 de cobre.

aluminio	10 %
cobre	90 %

proporciona un metal frágil y perfectamente homogéneo, que no da lugar jamás a licuación y permanece constantemente igual aunque sea sometido a fusiones-repetidas. El bronce al aluminio tiene gran fluidez por lo que rellena a los moldes más delicados; se obtienen con él piezas delgadas y superficiales lisas, obteniendo piezas coladas tan perfectas como las obtenidas con bronce-estatuarios. Pero cuando se trata de colar piezas de gran volumen, es susceptible de sedimentación y exige la aplicación de abundantes respiraderos y grandes mazarotas.

BRONCE AL PLOMO.- Este elemento no se alea con el cobre pero puede mezclarse con él por agitación o mezcla mecánica mientras se halla en el estado líquido y, en condiciones apropiadas, se cuela satisfactoriamente en moldes dando como resultado que el plomo quede bien distribuido en toda la pieza en forma de partículas pequeñas.

El plomo se le puede añadir ya sea al bronce o al latón ya que este elemento ayuda a obtener piezas de más fácil mecanizado, actuando a la vez como autolubricante en piezas que están sometidas a desgaste por deslizamiento; ejemplo de ello cojinetes y otras.

El plomo es realmente una fuente de debilitación y se mantiene generalmente por debajo del 2%, pero algunos bronce para cojinetes pueden contener hasta 50%; no obstante los problemas que puede provocar ese elemento, se usa debido a sus propiedades como son su blandura y naturaleza grasosa, que reduce el coeficiente de rozamiento de la aleación. El principal problema que presenta el plomo al colar una pieza en que dicho elemento entra en proporción considerable, es la segregación de éste, por lo que deben tomarse una serie de precauciones al colar la pieza, sobre todo, cuando se trata de piezas muy voluminosas.

BRONCE AL SILICIO.- Los bronce que contiene además del cobre y estaño, silicio, se les denomina bronce al silicio, entrando este elemento en -

una proporción de 1 a 4 %. El silicio se añade con el fin de mejorar las características del endurecimiento producido por trabajo en frío, aumentando la resistencia mecánica con el laminado o embutido en frío. Además de la elevada capacidad para el endurecimiento por medio del trabajo, los bronce-silicio exhiben excelente resistencia a la corrosión producida por algunos ácidos orgánicos, soluciones de azúcar, soluciones de sulfitos, etc.

Hay algunas otras aleaciones de bronce recomendables para otras clases de piezas como son por ejemplo los objetos artísticos y hormamentales, entre los cuales pueden darse las siguientes:

BRONCES PARA CAMPANAS.- Este tipo de aleación está constituida únicamente por:

cobre	84% a 78%
estaño	16 a 22

Es una aleación dura y frágil que da una sonoridad a las campanas que no dan otros componentes.

Cuando se trata de colar objetos artísticos de bronce, hay que tener precaución en muchas cosas, como por ejemplo, ver condiciones que satisficen los bronce para objetos artísticos que son: color amarillo rojizo, evitar a toda costa el amarillo verdoso y el amarillo pálido; fusibilidad y fluides suficiente para que puedan penetrar facilmente en todas las cavidades del molde y reproducir exactamente los más pequeños detalles del mismo.

Las aleaciones a base de cobre, estaño y zinc son las que dan mejores resultados para la fabricación de estatuas, y actualmente se hace gran uso de ellas, entrando los metales en las proporciones siguientes:

<u>Bronce</u>		<u>Latón</u>	
cobre	84%	cobre	64%
zinc	10%	zinc	33%
estaño	6%	estaño	3%

aunque también se les puede añadir a éstas aleaciones un poco de plomo el -

que les da mejor aspecto y los vuelve más suaves; resultando entonces una aleación de termino medio.

<u>Aleación</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
cobre	92.0%	89.5%	82.5%
zinc	6.0%	0.45%	10.5%
estaño	2.0%	10.0%	4.0%
plomo	---	0.05%	3.0%

Las aleaciones empleadas para fabricar objetos que se han de dorar -- además de poseer las características de los bronce estatuarios, deben ser muy compactos para reducir al mínimo la cantidad de oro necesario para el dorado, que sean fáciles de cortar y torneare.

Las aleaciones de cobre y estaño son demasiado porosas y pálidas; las de cobre y zinc, de consistencia pastosa, absorben demasiada amalgama, y al enfriarse después del dorado en caliente, se agrietan. Aumentando mucho la cantidad de zinc para que la aleación resulte más dura, ésta pierde el color amarillo que se requiere para el dorado.

Desde luego, en este tipo de aleaciones también entra el plomo en proporciones pequeñas además del cobre, estaño y zinc transformando la aleación en ternaria a cuaternaria, y según opinión de buenos fabricantes de bronce las mejores aleaciones para objetos que se hayan de dorar responden a una de las combinaciones siguientes:

<u>Aleación A</u>	<u>Aleación B</u>
cobre 69%	cobre 78%
zinc 24%	zinc 17%
estaño 2%	estaño 3%
plomo 5%	plomo 1.5%

Todos los bronce antes citados ya sea en forma de aleación binaria ternaria o cuaternaria son muy variados en sus porcentajes, por los que no se deben considerar como normas de calidad universal las que en este trabajo se mencionan, aunque hasta cierto punto sean aceptadas por la industria carente

de normas de calidad. En sí, los países más industrializados como son los E.U.A., Inglaterra, Francia, etc. poseen especificaciones propias para sus respectivas industrias del bronce.

Después de los muchos experimentos, que efectuaron especialistas en la materia, sobre las aleaciones binarias cobre-estaño y sobre las aleaciones complejas de bronce aleado con zinc, plomo, etc., ha quedado plenamente demostrado que estas últimas tienen el inconveniente de alterarse al someterlas a nuevas fusiones, de que prácticamente presentan gran dificultad para obtenerlas en forma homogénea, además que requieren de un cuidado especial al proceder a la colada, aparte de que es muy difícil asegurar que den buenos resultados. Esa es la principal razón por la cual se prefiere que en trabajos delicados se haga uso de la aleación binaria cobre-estaño.

Una de las ventajas más importantes de esta aleación es que adquiere las mejores condiciones de homogeneidad que es posible lograr en la práctica. El estaño vuelve al cobre más duro, pero más frágil y tiene a separarse de la aleación y volatilizarse por el calor, pudiendo desaparecer también por efecto del rozamiento; si el estaño se separa del cobre o está mal combinado, quedan granos más ricos en estaño, bastante fusibles y poco adherentes para que, con el trabajo a que están sometidos se fundan o separen, dejando al cobre en forma de masa esponjosa y sin consistencia.

Los broncees, cuando en ellos predomina el cobre hasta la proporción - 85%, y 15% de estaño aproximadamente, resultan fuertes, tenaces, un poco maleables, susceptibles de adquirir brillo y tienen gran aplicación en la industrial.

A partir del 15% de estaño, los broncees son un poco más duros, más quebradizos y más difíciles de limar, hasta llegar a la proporción del 25%. -- Cuando el bronce está constituido por 65% de cobre y 35% de estaño resulta ya muy frágil, presentando una textura blancusca y la lima no lo ataca.

Tal fragilidad y dureza van en aumento en la pieza conforme aumenta el

porcentaje de estaño, hasta llegar a las proporciones de 50% de cobre y 50% de estaño.

Los bronce en los cuales la cantidad de cobre disminuye, desde las proporciones de 10% de cobre y 90% de estaño hasta 1% de cobre y 99% de estaño, vuelven a adquirir tenacidad, se vuelven dúctiles, menos quebradizos y pueden también emplearse como metales propios para estar sujetos a rozamientos o como metales de cojinetes.

Todo lo anterior demuestra que los bronce de mala calidad no son, pues, precisamente aquellos en cuya composición entra mayor cantidad de estaño, como generalmente se cree, los de mala calidad, porque son en realidad los más quebradizos y los más duros, son los bronce cuya composición está comprendida entre 85% de cobre y 15% de estaño, por un lado y 20% de cobre y 80% de estaño, por el otro.

Sin embargo debe recordarse que quedan exentos de esta regla los bronce de campanas, que alcanzan el máximo de sonoridad entre los límites de 79% de cobre y 21% de estaño, y 75% de cobre por 25% de estaño. Estas aleaciones son duras y resisten la lima.

Para un mejor entendimiento de la aleación binaria cobre-estaño a continuación se dará el diagrama de dicha aleación, El diagrama de equilibrio aparentemente tiene poca relación con la fundición en general, sin embargo, hay que conocer las particularidades importantes de la aleación empleada. Las aleaciones están raramente compuestas de sólo dos metales, y aunque así fuera, los metales no suelen ser puros.

En lo concerniente a la fundición de bronce, dicha aleación consistiría exclusivamente de cobre y estaño, sin embargo, dentro de la práctica tal aleación puede contener zinc, aluminio, níquel, y otros aleantes más. Aparte de que el hecho de que ninguna aleación es enteramente cobre y estaño, la solidificación rápida que sigue al llenado del molde impide que se puedan alcanzar las condiciones de equilibrio, por lo que, aunque es de gran importancia el diagrama de equilibrio, no debe olvidarse nunca que las aleaciones de fundi---

ción no son aleaciones binarias sencillas y que la velocidad de solidificación produce resultados que no fácilmente se deducen del diagrama de equilibrio.

c.- DISCUSION DEL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Cu-Sn.- El diagrama general de equilibrio es, como se ve, bastante complicado. Aparecen en él ocho zonas de una sola fase. La solución líquida y las fases sólidas alfa, beta, gama, delta, epsilon, eta y omega (la fase eta y, según algunos autores, también la beta, se transforman al enfriarse en otras fases; eta prima y beta prima). Las fases delta y epsilon, en el enfriamiento, son dos compuestos que corresponden a las formulas Cu_4Sn y Cu_3Sn , respectivamente; las demás son soluciones sólidas. Así mismo, en el diagrama, existen cuatro transformaciones peritéticas P, P', P'' y P''' y una peritectoide, una eutectoide y dos eutectoides.

La fase beta se produce a $799^{\circ}C$ por una reacción peritectica entre la solución sólida alfa saturada (13.2% de estaño) y la solución líquida (25% de estaño). Dicha fase beta desaparece a $587^{\circ}C$ por una reacción eutectoide, transformandose en las dos soluciones sólidas alfa y gama.

Por otra parte, la fase beta reacciona peritéticamente con la solución líquida (31% de estaño), dando origen a la fase gama. Esta fase gamma tiene, a $520^{\circ}C$, una reacción eutectoide, transformandose en la fase alfa (16% de estaño) y la delta (31-8% de estaño). La aleación eutectoide contiene 26.8% de estaño. La fase gamma reacciona peritecticamente, a $635^{\circ}C$ con la solución líquida (58% de estaño), para producir la fase epsilon (38.36% de estaño). Un fenómeno poco usual es la forma en que la fase epsilon se segrega de la solución líquida y sólida gamma, como se ve en el diagrama, (la temperatura máxima de formación del compuesto es de $677^{\circ}C$) a $420^{\circ}C$, la fase epsilon reacciona peritecticamente con la solución líquida (92% de estaño), dando -

origen a la fase eta. A 582°C , las dos fases epsilon y gamma reaccionan en forma peritectoide, formandose la fase delta. A 226°C , se forma una eutéctica con una concentración de 99% de estaño, formada por las soluciones sólidas eta y omega. La saturación de ésta última se obtiene, a esa temperatura, para 99.8% de estaño. Por último la solución sólida eta se transforma en eta prima a una temperatura de unos 188°C .

Reseñando someramente el diagrama total de equilibrio, debe recordarse que en la industria es difícil que se empleen bronce con más del 33% de estaño (con esta concentración se produce la aleación blanca, muy dura y frágil), por lo que no aparece el diagrama completo por considerarlo innecesario.

En la práctica de la ingeniería, los bronce no suelen contener más del 16% de estaño (excepcionalmente se llega al 20% de estaño), y los más utilizados tienen concentraciones del 8 al 11% de estaño.

A la temperatura ambiente, los bronce industriales estarán constituidos, como se ve en el diagrama, por solución sólida alfa pura, o por una mezcla de la fase alfa y delta.

La concentración máxima de la solución sólida alfa, es de 16% de estaño, a 520°C . Por debajo de esta temperatura, la concentración de saturación en cada vez menor, y a la temperatura ambiente, el bronce alfa se encuentra normalmente en estado metaestable. Con frecuencia, incluso un bronce con sólo 5% de estaño puede no estar constituido únicamente por solución sólida alfa, sino tener cristales de eutécticoide (alfa más delta).

Sin embargo, por medio de recocidos cuidadosos y prolongados, a temperatura de 700°C a 900°C , puede conseguirse que sólo existan cristales de la solución sólida alfa, si el estaño no pasa del 13%.

Como la concentración del eutécticoide (alfa más delta), es de 26.8% de

estaño, para concentraciones comprendidas entre 13.9 y 26.8% la solución estará formada por cristales de solución sólida alfa y cristales de eutectoide -- (alfa más delta). Si el estaño varía entre 26.8 y 31.8% la aleación tendrá -- cristales de delta y cristales de eutectoide (alfa más delta). Pero los cristales de delta corresponden, como se dijo, al compuesto Cu_4Sn , y son muy duros y frágiles, por lo que la maleabilidad y ductilidad del bronce disminuye considerablemente al aumentar la cantidad de constituyentes delta, desapareciendo prácticamente la ductilidad cuando el bronce tiene un 20% de estaño.

III.- INFLUENCIA DEL MOLDE DE ARENA, EN LA ESTRUCTURA DE LA PIEZA COLADA,

a.- NATURALEZA Y CARACTERISTICAS DE LAS ARENAS DE MOLDEO.- Generalmente las arenas de fundición están constituidas por granos de cuarzo, forma cristalina de la sílice, asociados con algunas arcillas, y es muy frecuente además, que contengan otros minerales en cantidades pequeñas, los cuales dependen de la roca de la que se originó la arena. La multitud de partículas que forman un depósito de arena es el resultado de la lenta desintegración de las rocas originada por los fenómenos físicos naturales como lo son el calor y el frío, el viento y agua.

Los yacimientos de arena pueden clasificarse atendiendo al agente principal que influyó en la formación de los depósitos, de la siguiente manera:

- 1.- Arenas eólicas o arenas arrastradas por el viento.
- 2.- Arenas pluviales o arenas de río.
- 3.- Arenas lacustres o arenas de lago.
- 4.- Arenas de estuarios de río o de desembocadura de río.
- 5.- Arenas glaciares.

aunque también se les puede clasificar atendiendo la edad geológica.

COMPOSICION DE LAS ARENAS.- El constituyente fundamental de las arenas de fundición es el cuarzo (sílice); los otros minerales presentes son usualmente compuestos de sílice y alúmina, y silicatos complejos que contienen en proporciones distintas cal, magnesia, óxidos de hierro, de metales alcalinotérreos y de metales alcalinos.

Estos compuestos de la arena se pueden dividir en tres grupos:

- a.- CUARZO, que es el constituyente principal de los granos de arena
- b.- MATRIZ ARCILLOSA, que es el aglutinante que envuelve los granos de cuarzo.
- c.- FELDSPATO, MICA Y OTRAS SUSTANCIAS FUNDENTES, cuya presencia no -

es deseable en los materiales refractarios, pero que generalmente se encuentran en los yacimientos de arena.

Los límites de composición de las tierras de moldeo son:

Sílice	80 a 90%
Alcali libre	desde trazas a 3%
Alúmina (como arcilla)	4 a 14%
Cal y magnesia	desde trazas a 3%
Oxido de hierro	1 a 4%

Debe hacerse notar que cuanto más bajo es el contenido en alcalis y cal o magnesia, más refractarias son las arenas. La composición química de las arenas es una buena guía por lo que respecta al carácter refractario de las mismas, pero los factores que determinan esencialmente la utilidad de una arena de moldeo son:

- a.- La forma, tamaño, distribución y carácter superficial de los granos; así como el carácter refractario de los mismos.
- b.- La calidad y tipo de arcilla (aglutinante).
- c.- La humedad.

Atendiendo el primer punto, la forma y tamaño de los granos de arena tiene mucha importancia en relación con la capacidad del empaquetamiento de una masa de granos, lo que repercute en la porosidad, permeabilidad y plasticidad y de la arena. El grano en una arena o tierra de moldeo, puede ser de forma:

- a.- Redondeado.
- b.- Angular.
- c.- Semiangular.

Cuando se tiene el primer tipo de granos, estos dan la máxima plasticidad y la mejor permeabilidad, que, desde luego, depende de la homogeneidad en la granulometría. Cuando se tiene un grano angular, éstos dan más resistencia mecánica que los redondeados, para la misma cantidad de arcilla aglutinante, por lo que, cuando se necesita la máxima resistencia, son ventajosos los granos muy angulosos.

Atendiendo el carácter superficial de los granos, estos pueden ser:

- a.- De superficie rugosa o picada.
- b.- De superficie lisa.

Los primeros son más aptos para el trabajo de moldeado dado su carácter de permitir un mejor anclaje de las películas de aglutinante.

Atendiendo el segundo punto, la calidad y tipo de arcilla es variable ya que lo mismo se considera la arcilla pura, blanca o caolín, hasta las arcillas refractarias, duras y negras. La propiedad típica de las arcillas es su plasticidad, que se comunica a la masa de arena en presencia de humedad. A temperaturas elevadas las arcillas se ablandan y sufren cambios físicos y químicos formándose cuerpos fundidos vítreos; la temperatura de ablandamiento de las arcillas varía con el tipo y la pureza, para la mayoría de las arenas aglutinadas naturales oscila entre 1250 y 1440°C.

Actualmente se sabe que las arcillas con tamaños de partículas más -- pequeñas y con más capacidad de absorción de humedad son las que proporcionan más resistencia de aglutinación y adhesión a los granos de arena, mientras que la duración de poder aglutinante, es decir, la facilidad con que pierden su agua combinada y dejan de servir para la aglutinación, varía con la composición de la estructura.

Los términos tierra de moldeado y arena de moldeado, provoca cierta confusión entre los fundidores, pues en la práctica se emplean como sinónimos. - Con la palabra arena o tierra nos referimos a una serie extensa de materiales minerales granulados que, además de las tierras o arenas de moldeado, incluyen los destinados a revestimientos refractarios de los hornos, etc.

En la práctica, a las arenas naturales aglutinadas se les denomina -- tierras de moldeado; y a las arenas preparadas artificialmente, se les denomina arenas sintéticas. Estas últimas se preparan a partir de arena de sílice prácticamente pura a la que se le adiciona arcilla aglutinante adecuada, como es el presente caso.

Las arenas sintéticas pueden contener, y contienen con frecuencia, una cierta proporción de arena aglutinada natural. La denominación incluye en su sentido general a las arenas aglutinadas con cemento y con medios orgánicos, como las harinas de cereales y los aceites, que normalmente se consideran como aglutinantes para machos.

En el presente trabajo sólo se hace uso de bentonita como aglutinante para la arena sintética, razón por la que no se habla de los diferentes --- aglutinantes en el mercado para moldeo.

En cuanto al tercer punto, la humedad de una arena de moldeo es tan esencial como la sustancia arcillosa misma y existe en dos formas:

- a.- Humedad libre, que puede eliminarse por secado a 110°C .
- b.- Humedad combinada o absorbida, que solo se le puede hacer desaparecer a temperaturas más altas, y variables con la naturaleza particular de la arena.

b.- MOLDEO.- Una pieza moldeada por fusión y colada se obtiene colando el metal líquido en un molde, donde ha de solidificar para tomar la forma de la cavidad del molde. Desde luego, hay muchas etapas intermedias necesarias para lograr la pieza moldeada y controlar sus propiedades, algo no muy sencillo; las condiciones a lo largo de todo el proceso afectan en forma extraordinaria a las características de la pieza lograda. Entre aquellos se pueden citar la naturaleza del molde, la naturaleza del metal, la temperatura del metal líquido, los procedimientos de fusión y colada, el tamaño de la pieza a obtener y la velocidad de enfriamiento.

El moldeo por fusión y colada es muy antiguo, uno de los más antiguos para producir piezas de forma determinada, pero sólo recientemente se han - estudiado a fondo algunos de los factores que afectan la calidad del producto.

Conviene considerar el trabajo de moldeo por colada desde dos puntos de vista diferentes: uno, el de los fundamentos metalúrgicos de la fusión y

colada, y otro, referente a los diferentes detalles de procesos empleados.

En el presente estudio se aborda primeramente el moldeo de arena en-verde y en seco, y posteriormente se hablará de los fundamentes metalúrgicos.

El moldeo es de vital importancia en todo tipo de fundición tratase de tipo ferroso o no ferroso; la tierra o arena de moldeo en material básico empleado en las fundiciones para confeccionar el molde, por lo que el estudio de las arenas de moldeo es una de las ramas principales de la tecnología de la fundición. En los primeros años de este siglo todavía -- era un arte la labor del fundidor y la preparación de las mezclas de tierras para moldes o machos, haciendo que se emplearan determinadas tierras de moldeo para cada clase de trabajo, donde era indispensable la habilidad y experiencia del moldeador, que lograba conseguir resultados bastante buenos, dada su experiencia, le bastaba con aplastar la tierra en su puño para advertir sus cualidades.

En los últimos veinte años se han producido cambios considerables en los métodos, equipo y materiales empleados en el moldeo, que permiten simplificar al mínimo los costos por este concepto. En la actualidad, una fundición moderna que produce en serie, cada unidad de arena puede circular a través del sistema varias veces, y la planta de arena controla automáticamente la humedad, la adición de aglutinante y la temperatura de la arena, el control de la preparación y conservación de arena dentro de límites predeterminados de humedad, aglutinación, permeabilidad y otras propiedades, desempeña un papel importante en la preparación de buenos moldes.

Además de el control de la tierra o arena de moldeo para una mejor preparación del molde, las características de la misma influyen sobre la estructura de la pieza colada, Esto hace indispensable que se tenga conocimiento de las propiedades térmicas de los materiales para moldes que se

usan.

c.- ENSAYO DE LAS ARENAS Y TIERRA DE MOLDEO EN VERDE EN EL LABORATORIO.-

La estructura final obtenida en una pieza colada en un molde de arena debe ser en relación a la conductividad térmica de la arena utilizada; al menos, en las piezas de hierro y acero (donde se ha estudiado tal fenómeno en forma más amplia), se ha demostrado plenamente la validez de la influencia del molde en la estructura final de la pieza colada.

Tratando de conocer en la práctica los efectos estructurales de las piezas de bronce coladas en moldes en verde y en seco de arena, se corrieron algunas pruebas al respecto, concentrando la atención en el control de la arena y tierra de moldeo; para el efecto se realizaron una serie de coladas en moldes de arena y tierra en los que se varió:

- a.- Humedad
- b.- Granulometría
- c.- Aglutinante
- d.- Relación de arena nueva en arena vieja.

y solamente variando en tres ocasiones la aleación de bronce. A continuación transcribo las distintas variaciones en las arenas y tierra de moldeo, y los resultados físicos, macro y microscópicos considerados de importancia en las piezas coladas.

Aprovechando los dos tipos de arena sílica y la tierra para moldeo que hay en la fundición, y cuyos análisis granulométricos se dan en la tabla No.1 así mismo, se dan los análisis químicos de las mismas en la tabla No.2; se realizó una serie de pruebas tendientes a encontrar el máximo de permeabilidad y compresión en tales materiales. Esto fue en el fin de conocer primeramente bajo que condiciones cada uno de los materiales de moldeo utilizados dan condiciones óptimas conjuntas de permeabilidad y compresión. Para tal fin se tomaron las siguientes precauciones:

a.- Se fue variando la humedad en 1,2,3,4,6,8,10 y 12% dejando fijas -- las proporciones de aglutinante y granulometría de la arena sílica nueva.

b.- Se fue variando el porcentaje de bentonita en 1,2,3,4,5,6,8,10,12 y 14% permaneciendo fija la humedad y granulometría de la arena sílica nueva.

c.- A base de arena vieja se fue agregando arena nueva en proporción de 5,10,15,20,30,y50% en ambas arenas sílicas.

Lo mismo se hizo en la tierra de moldeo exceptuando el punto (b). Los resultados obtenidos más aceptables se dan en la tabla No.3

T A B L A No.1

NO. DE MALLA	Retenido en %		
	ARENA SÍLICA GRUESA	ARENA SÍLICA FINA	TIERRA DE MOLDEO
30	9.4	--	--
40	26.3	--	7.0
50	33.8	1.6	4.2
60	15.4	5.5	3.1
70	5.5	9.6	2.5
80	4.4	15.0	4.2
100	2.7	15.8	12.0
100	<u>2.3</u>	--	--
	99.8		
120	--	7.8	24.5
140	--	12.6	26.6
170	--	10.2	10.5
200	--	6.7	1.5
200	--	<u>14.8</u>	<u>3.5</u>
		99.6	99.6

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LAS ARENAS Y TIERRA DE MOLDEO UTILIZADAS.

T A B L A No.2
ANALISIS QUIMICO EN %

TIPO DE MATERIAL	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO+CaO	FeO+ Fe ₂ O ₃
ARENA SILICA	89.0	1.8	2.5	1.9
Tierra de moldeo	82.5	8.6	2.7	3.0
Bentonita	62.0	15.6	5.4	2.1

Análisis químico de la arena, tierra y bentonita.

T A B L A No. 3

Tipo	Material Viejo	Humedad	Aglutinante	Permeabilidad	Compresion Kg/cm
Tierra de Moldeo	0	6	0	110	0.28
Tierra de Moldeo	90-80	6	0	100	0.32
Arena Sili-ca gruesa	0	4	3.5	120	0.27
Arena Sili-ca gruesa	90-80	4	1.5	100	0.34
Arena Sili-ca fina	0	4	3.5	95	0.35
Arena Sili-ca fina	90-80	4	1.5	75	0.40

Los datos que aparecen en la tabla No.3 son el producto de una serie de pruebas realizadas en el laboratorio de arenas, en las que como anteriormente se hizo notar, se varió tanto la humedad, aglutinante, relacion de arg na nueva en arena vieja, y después de confrontar los diferentes datos obteni

dos en dichas pruebas, se llegó a la conclusión de que las óptimas condiciones de trabajo son precisamente las anotadas en la tabla mencionada.

En la Fig. No.1 se muestra la granulometría de las arenas sílicas en la que puede apreciarse la heterogeneidad del grano en la arena "A" correspondiente a la arena sílica fina, mientras que la arena "B" que corresponde a la arena sílica gruesa, el grano es un poco más homogéneo y más grueso. Las curvas aditivas indican el tanto por ciento de la arena retenida en cada tamiz, más lo retenido en todos los más finos. Las curvas aditivas, cuando se desplazan a la derecha (en una arena en servicio), indican que la arena es fracturada por el calor y va decreciendo el tamaño medio de partículas, con lo cual disminuyen la permeabilidad y la resistencia.

Una curva aditiva de mucha pendiente indica una arena con tamaño de grano no bien dosificado, mientras que una de poca pendiente denuncia una arena con partículas de tamaño de grano demasiado variados; ejemplo del primer caso es la arena "B" y del segundo, la arena "A".

Así mismo, en la Fig. No.2 se representa gráficamente la influencia de la humedad en la permeabilidad y resistencia de la arena sílica gruesa obtenida en las pruebas llevadas a cabo para tal fin.

Como se puede ver, las propiedades óptimas de resistencia casi coinciden, afortunadamente, con la mejor permeabilidad. Esta última propiedad es una medida de la capacidad de la arena de moldeo para dejar que los gases fluyan a su través, y es proporcional al número y tamaño de los poros que quedan entre la partícula de arena. Cuando la tierra o arena está demasiado seca, no hay aglutinación y disminuye la resistencia de la arena de moldeo apisonada; también-

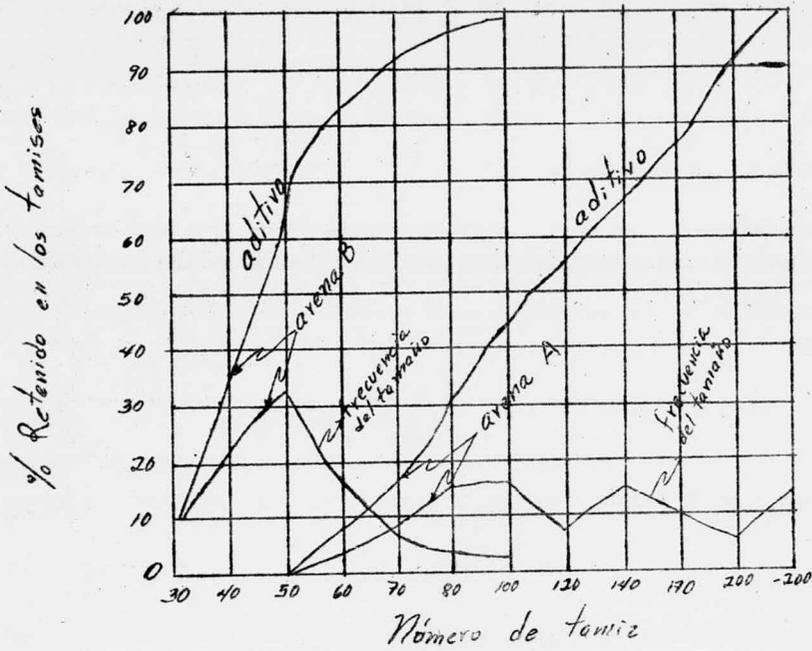


Fig. No. 1

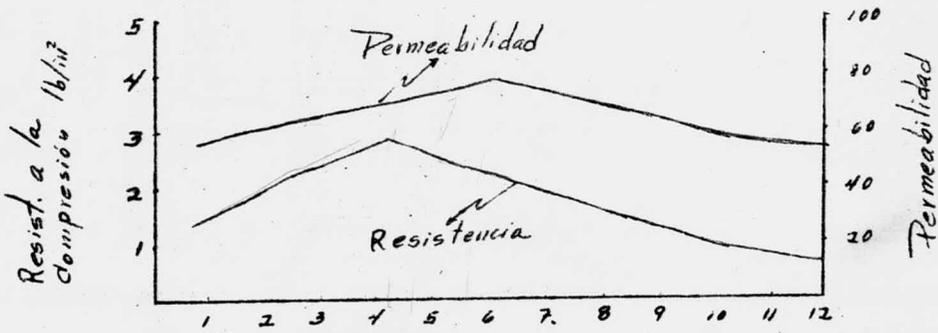


Fig. No. 2

disminuye la permeabilidad, pues los intersticios se rellenan con la arcilla y arena seca desmenuzada.

Cuando la tierra o arena tienen demasiada humedad, la arcilla forma lodo, que rellena los poros y hace descender la permeabilidad. Sólo en el caso en que los granos de sílice están recubiertos por una capa plástica y delgada de arcilla, con consistencia relativamente grande, quedan poros grandes y la permeabilidad es máxima.

Observando la figura 2, se ve que coinciden aproximadamente las composiciones que proporcionan máxima permeabilidad y máxima resistencia a la compresión. La arcilla seca aglutina poco y proporciona escasa resistencia la - que es demasiado húmeda se hace fangosa y no liga bien los granos de arena, - por lo que vuelve a disminuir la resistencia. Sólo cuando la relación de arcilla o aglutinante a agua es correcta se produce un recubrimiento delgado - de los granos de sílice, que los aglutina bien y produce el máximo de resistencia.

Los anteriores conceptos relativos a las arenas de moldeo indican la importancia de una buena mezcla de aglutinante con la arena sílice; las mejores propiedades se logran cuando cada grano de arena está recubierto por - una capa uniforme delgada de aglutinante.

En la resistencia y permeabilidad de las arenas y tierra de moldeo también debe considerarse el apisonamiento de las mismas. Al apisonarse juntan - entre sí los granos de arena y el revestimiento de aglutinante que los recubre formando capas comunes entre los granos vecinos, que por esto se pegan. La resistencia es proporcional a las áreas de aglutinante que se ponen en - contacto. Si son pequeñas, la aglutinación y la resistencia también lo son, mientras que si se apisona demasiado, los granos de sílice se juntan más teniendo a formar un mejor empaquetamiento compacto, lo que desde luego aumenta la resistencia. Pero también un apisonado excesivo disminuye la permeabi

lidad, por lo que se es indispensable no sobrepasar un cierto grado de apisonado.

El fin de encontrar el máximo de permeabilidad en las arenas de moldeo en verde, se realizó para favorecer la solidificación rápida del metal dentro del molde; o sea, que si hay una rápida evacuación de gases logicamente habrá una mayor transmisión de calor a través del molde de arena al exterior - del mismo, que provocará un descenso de temperatura más acelerado. Ahora, de acuerdo con el diagrama Cu-Sn y el porcentaje de estaño en la aleación se -- tendrá la estructura correspondiente.

d.- MOLDEO EN SECO.- En el moldeo en seco prácticamente no hay diferencia en cuanto a preparación con el moldeo en verde, ya que solo difiere en cuanto a glutinantes, los que le dan al molde características determinadas - superiores de resistencia que es lo que difiere a uno y otro tipo de moldeo. El moldeo en seco es mucho más resistente y rígido que el molde en verde, -- aguanta mejor el manejo y se puede parchar; la superficie del molde en seco se puede alisar o revestir por pulverización con refractarios que aseguren - una superficie limpia en la pieza colada.

Un molde en seco se puede preparar, inclusive, a base de arenas naturales. Al trabajar con tierra o arena para moldes en seco es preferible emplear mezclas de dos o más tipos de tierra o arena aglutinada natural que aseguren un aglutinamiento y permeabilidad al molde, para lo que puede combinarse por ejemplo una tierra o arena muy arcillosa y otras silíceas relativamente gruesas que aseguren una buena permeabilidad a la mezcla. Las arenas sintéticas para moldes secos suelen tener una base de arena silícea con adiciones - de bentonita, arcilla refractaria, harina de sílice o dextrina.

Las dextrinas son almidones manufacturados de cereales, cuyas características son:

- a.- Proporcionan buena resistencia en verde.
- b.- Proporcionan buena resistencia en seco.
- c.- No absorben aceite como la arcilla.

d.- Se queman rápida y completamente.

ACEITE DE LINAZA.- Es otro tipo de aglutinante orgánico empleado para moldeado en seco; se utilizan los mismos tipos de arena silícea que en las arenas sintéticas. El aceite de linaza es el más empleado, aunque hay otros; se mezcla con facilidad y bien con la arena silícea y cubre cada grano con una película. En el cocido se oxida y endurece esta película de aceite y une firmemente entre sí a los granos de sílice; el aceite de linaza que embuelve a los granos se acumula en los puntos de contacto entre ellos y al endurecerse pega perfectamente unos con otros sin rellenar los espacios vacíos. Así se produce una aglutinación resistente manteniéndose una buena permeabilidad a los gases.

La mezcla más sencilla para una arena al aceite es de 40 Kg de arena silícea (seca), 800 g de dextrina, 0,5 lt. de aceite de linza y 1.0 lt de agua.

El proceso CO es otra técnica para fabricar moldes en seco y machos. Se agregan de 3 a 4% en peso de silicato sódico a una arena de sílice seca, juntamente con 0.5 a 1 % de una materia orgánica tal como harina de madera o polvo de carbón. La mezcla aglutinada se apisona a mano o mecánicamente, después se pasa sobre el molde una corriente de anhídrido carbónico, lo que suele llamarse gasear el molde. El efecto del anhídrido carbónico consiste en una reacción con el silicato sódico que produce un endurecimiento de la arena.



ARENA AL CEMENTO.- En los últimos años en los EE.UU. se ha usado cemento portland como material de moldeado para fabricar moldes en seco; aportándose el método RANDUPSON de moldeado con cemento en muchas fundiciones fe

reas y no férreas. El método se desarrolló en una fundición de acero france se y emplea el primer fraguado o endurecimiento de una mezcla de arena, ce-- mento y agua, que se produce dentro de un intervalo de 24 a 48 hs. después - de la mezcla. La mezcla empleada se compone de arena de sílice limpia, de -- buena granulometría, como la empleada para otras mezclas sintéticas, aproxi-- madamente un 10% de cemento portland y entre 4 y 6% de agua.

La mezcla húmeda se mantiene en condiciones de moldeabilidad durante 2 a 3 hs. Después del moldeo, se depositan los medios moldes sobre plataformas y se almacenan en una atmósfera húmeda para que fraguen durante un tiempo de 18 a 24 hs. Luego se pueden secar más rápidamente para conseguir el endureci miento completo. Los moldes se cierran y cuelan de la manera usual; el tiem-- po que debe transcurrir entre el moldeo y la colada es de 36 hs o más.

El proceso es particularmente apropiado para colar piezas grandes, pues la arena aglutinada con cemento tiene más resistencia mecánica y permite em-- plear moldes de paredes más delgadas que los normales, conservando elevada-- permeabilidad. Otras ventajas que se atribuyen al proceso son un ahorro gran de en costo de mano de obra, porque se puede emplear mucha mano de obra no - especializada; también se ahorra tiempo en el moldeo y no son necesarias es-- tufas de secado.

Hay otros aglutinantes y procesos para preparar moldes en seco, cada - uno de ellos tiene características determinadas y el empleo de uno u otro mó todo mas bien se basa a las condiciones de trabajo.

Como se ha visto, el metal puede ser colado en el molde en cuanto esté terminado dicho molde, es decir, todavía húmedo (molde en verde), o en mol-- des secos (moldes en seco). En este último caso, los moldes antes de ser ce-- rrados, son secados en cámaras adecuadas llamadas estufas de fundición. Los moldes en fosa o de gran tamaño se secan con estufas portátiles.

e.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FISICAS Y ANALISIS MACRO Y MICROSCOPICOS PRACTICADOS EN LAS PROBETAS.- Aunque se obtuvieron las condiciones de máxima

de permeabilidad y resistencia en las arenas y tierra de moldeo, en los moldes de las probetas que se colaron, se varió primeramente la humedad de dichos materiales de moldeo dejando fijo el aglutinante; los resultados fueron los siguientes, con los tres tipos de aleación:

1.- Tierra con 2% de humedad, no fue posible lograr la probeta por desmoronamiento del molde al contacto con el caldo.

2.- Tierra con 4% de humedad, se logró la probeta cuyos resultados de pruebas físicas se darán más adelante.

3.- Tierra con 6% de humedad, se logró la probeta cuyos resultados de pruebas físicas se darán más adelante.

4.- Tierra con 8% de humedad, se logró la probeta cuyos resultados de pruebas físicas se darán más adelante.

5.- Tierra con 10% de humedad, se logró la probeta pero no se le practicó exámen físico por presentar microporosidades.

6.- Tierra con 12 y 14% de humedad, se lograron las probetas pero con macroporosidades (sopladoras), por lo que no se les practicó exámen físico.

1.- Arena con 1% de humedad, no se logró la probeta por desmoronamiento del molde al contacto con el caldo, en ambos casos (arena sílica gruesa y arena sílica de fina).

2.- Arenas con 2% de humedad; con la arena gruesa se obtuvo una probeta no satisfactoria ya que acusó cierto desmoronamiento en el molde. En la arena fina fue un poco menor el efecto, pero en sí, en ambos casos no fue satisfactorio el resultado.

3.- Arena con 3% de humedad, se lograron probetas aceptables en ambos casos (con la arena sílica gruesa y sílica fina) y los resultados de las pruebas físicas se darán más adelante.

4.- Arena con 4% de humedad, se lograron probetas aceptables en ambos casos (con las arenas sílica gruesa y sílica fina) y los resultados de pruebas físicas se dan más adelante.

5.- Arena con 6% de humedad, aunque se lograron las probetas, éstas no resultaron del todo satisfactorias ni en el molde de arena sílica gruesa, ni en el de arena sílica fina. Presentaron prosidad externa.

6.- Arenas con 8, 10 12 % de humedad, en el primer caso se lograron -- las probetas pero presentaron porosidad externa e interna: en los dos últimos casos se produjo hervidero del caldo en el interior del molde, más marca do en el molde de arena fina.

En cuanto a la cantidad de aglutinante agregado en las arenas y de relación de material (arena y tierra) nuevo en material viejo, en sí, las observaciones son:

1.- Cuando se agrega poco aglutinante (2.5% o menos) a las arenas, estas no tienen cohesión suficiente provocando desmoronamientos del molde, el cual, tiene en cambio una elevada permeabilidad. Y cuando se les agregadema-siado aglutinante (4.5% o más), su resistencia es elevada, aunque se pierde considerablemente la permeabilidad del molde, además debe tenerse en cuenta que entre mayor sea la cantidad de bentonita, más cantidad de agua absorberá volviendo al material fangoso.

2.- La relación de material nuevo en material viejo, cuando la relación del primer material es baja (20%o menos), no hay cambio aparente en la resistencia y permeabilidad del molde, pero si las proporciones son mayores, enton ces si aumenta un poco más la permeabilidad y disminuye un poco la resistencia del molde.

Pero en sí, estos últimos dos puntos deben considerarse desde dos puntos de vista diferentes, siendo uno puramente económico, y el otro práctico. Y más bien, el mayor o menor uso de bentonita y material nuevo, obedece a -- condiciones de trabajo, o sea, que se toma en cuenta el tipo de pieza que se va a moldear.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PROBETAS DE BRONCE SOMETIDAS A ESTUDIO

FISICO.

PROBETA NO. 1.- Con análisis químico: 95% Cu y 5% Sn, colada en molde de arena en verde (4% de humedad).

resistencia a la tracción	28 Kg/mm
alargamiento	17 %
dureza Brinell	57
estructura: solución sólida alfa	

PROBETA NO. 1.- Con análisis químico: 95% Cu y 5% Sn, colada en molde de arena en seco.

resistencia a la tracción	28 Kg/mm
alargamiento	17 %
dureza Brinell	58
estructura: solución sólida alfa	

PROBETA NO. 2.- Con análisis químico: 90.3% Cu, 9.7% Sn colada en molde de arena en verde (4% humedad).

resistencia a la tracción	22 Kg/mm
alargamiento	12.8 %
dureza Brinell	71
estructura: solución sólida, Cu saturado de Sn.	

PROBETA NO. 2.- Con análisis químico: 90.3% Cu, 9.7% Sn colada en molde de arena en seco.

resistencia a la tracción	21 Kg/mm
alargamiento	12.5 %
dureza Brinell	72.3
estructura: solución sólida, Cu saturado de Sn.	

PROBETA NO. 3.- Con análisis químico: 85.6% Cu, 14.4% Sn colada en molde de arena en verde (4% humedad).

resistencia a la tracción	17.5 Kg/mm
alargamiento	6 %
dureza Brinell	115
estructura: solución sólida alfa+delta	

PROBETA No.3.- Con análisis químico: 85.6% Cu, 14.4% Sn colada en molde de arena en seco.

resistencia a la tracción	17.0 Kg/mm
alargamiento	5.9 %
dureza Brinell	119
estructura: solución sólida alfa+delta.	

La dureza brinell se tomó con bola de diámetro de 10 mm y 500 lb de presión: así mismo la estructura de las probetas se observó microscópicamente. - También se aclara que no se les practicó examen físico a todas las probetas - por considerarlo innecesario; como se ve, se tomaron las probetas mejor logradas con el fin de que los resultados físicos obtenidos fueran lo más reales - posibles.

IV.- DEFECTOS COMUNES EN LAS PIEZAS DE BRONCE COLADAS EN MOLDES DE ARENA Y MANERA DE EVITARLOS.

a.- DIFERENTES CAUSAS QUE PROVOCAN DEFECTOS EN PIEZAS COLADAS EN GENERAL.- Los defectos que se presentan en las piezas coladas férreas y no férreas, se deben a muchas causas, entre las que se pueden citar, por presentarse con mayor frecuencia, las siguientes:

1.- DEFECTOS PROVOCADOS POR GASES (sopladuras, porosidad, ampollas).

SOPLADURAS (bolsas de gas).- Son cavidades asimétricas, a veces esféricas, otras aplastadas o bien alargadas, producidas por generación de gases o aire encerrado durante el proceso de solidificación del metal en el interior de la cavidad del molde. Las sopladuras producidas por burbujas de gas encerradas en el metal, se encuentran raras veces en la superficie inferior de la pieza. Se pueden presentar como una lisa y uniforme depresión sobre los lados o en la parte superior, o también como una serie de desigualdades e irregulares depresiones en la parte alta de la pieza, especialmente cuando se trata de piezas con superficies planas en dicha zona.

POROSIDAD.- Se produce por el vapor o gas que atraviesa al metal en estado líquido.

AMPOLLA.- Así se le llama a las sopladuras con una tenue película de metal sobre ellas, que aparecen en las superficies de las piezas.

a.- Durante la colada pueden desprenderse cantidades anormales de gases, que obedecen a empleo de excesiva o inadecuada pintura (cuando se pinta el molde), o bien, por un elevado contenido de humedad en la arena (principalmente la arena de revestimiento). Las reacciones metal-molde provocadas por la humedad de la arena de revestimiento, son diversas, especialmente cuando el metal contiene propiedades apreciables de fósforo (bronce fosforado), -

originando poros bajo la piel de colada y aumentando la porosidad general dispersa. Al respecto, la British Non-ferrus Metals Research Association efectuó pruebas para el mejor conocimiento de la reacción metal-molde, encontrando -- que los contenidos de fósforo 0.04 a 0.1 % en los broncea aumenta considerablemente la fluidez del caldo favoreciendo la alimentación de las secciones del molde peor alimentadas.

b.- La entrada turbulenta del metal en el molde, principalmente cuando la temperatura del caldo es baja, puede dar lugar a admisión en el molde de aire arrastrado por el metal, que al solidificar rápidamente queda atrapado formando burbuja o poro.

c.- La cantidad de gases absorbidos durante la fusión; si es muy elevada, abre un desprendimiento de estos durante la solidificación, resultando sopladuras macroscópicas. Si la cantidad de gases es pequeña y la solidificación rápida, la porosidad que resulte será microscópica.

Los broncea al estaño son particularmente propensos a la porosidad de contracción (rechupe) por su largo intervalo de solidificación, a lo que se une el desprendimiento de hidrógeno. Al aumentar la temperatura de fusión aumenta la solubilidad del hidrógeno, decreciendo tal solubilidad al disminuir la temperatura, produciéndose con frecuencia una considerable liberación del gas al solidificar entre las dendritas las últimas cantidades de aleación rica en estaño. Cuando la cantidad de gas es excesiva, el desprendimiento del mismo durante la solidificación será elevado, pudiendo originar el fenómeno conocido como exudación del estaño o mazarotas en coliflor.

Daniels y Bayley han demostrado que existen dos tipos de defectos debidos a los gases:

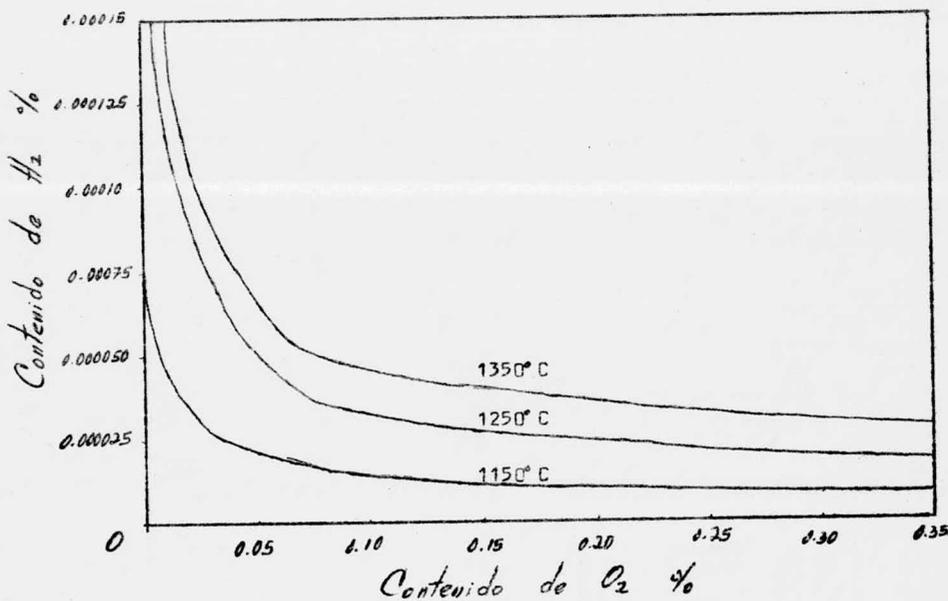
1.- El debido a la disolución de un gas elemental (hidrógeno) y a su desprendimiento en la solidificación.

2.- El causado por los gases formados por reacción de dos componentes disueltos, hidrógeno y oxígeno (que como óxidos de cobre se encuentran en la

aleación), que reaccionan formando vapor de agua que es insoluble y se desprenden.

El hidrógeno contenido en el metal procede de dos fuentes de los materiales de la carga y de la atmósfera del horno; por tal razón se debe procurar -- una chatarra limpia, seca y libre de materiales volátiles así como un control de la atmósfera del horno.

La fig no.1 muestra la relación de equilibrio entre oxígeno e hidrógeno disueltos en el cobre líquido, en dicha figura se observa que la solubilidad del hidrógeno disminuye por la presencia de oxígeno, y que al aumentar la temperatura aumenta la solubilidad.



Equilibrio O₂-H₂ en Cu fundido a distintas temperaturas.

En forma concreta, las principales causas que pueden producir los defectos antes citados (sopladuras, porosidad y ampollas), son:

a.- Debido a la arena de moldeo:

- 1.- Elevada humedad.
- 2.- Baja permeabilidad debido a:
 - a) tamaño del grano demasiado fino.
 - b) Bajo porcentaje de grano fino y pobre distribución del mismo.
 - c) Elevada resistencia en verde.
 - d) Elevada cantidad de materias de bajo punto de fusión que al quemarse producen gases.
 - e) Arena pobremente mezclada, esto es, que no hay homogeneidad en el mezclado o preparación de la arena, por lo que puede presentar distintas características desfavorables para el molde.

b.- Debido a la práctica del moldeo:

- 1.- Alguna combinación de materiales fríos con materiales calientes.
- 2.- Insuficientes vientos en el molde, ya sea en verde o seco.
- 3.- Cuando el molde lleva macho y los vientos del primero hacia el exterior son más pequeños que los del segundo, lo que impide -- que el gas sea evacuado con la prontitud requerida, lo cual provoca hervidero del metal en esa zona.
- 4.- Apisonado duro de la arena de moldeo, lo cual hace que la permeabilidad sea demasiado baja.
- 5.- Revestimiento o pintado del molde en capas demasiado gruesas o materiales no secados.

c.- Debido a la práctica del fundidor:

- 1.- Caldo demasiado frío (falta de fluidez).
- 2.- Metal oxidado, debido a:
 - a) Falta de protección (escoria) en el caldo.
 - b) Exceso de aire insuflado, lo cual provoca una atmósfera rica en hidrógeno y oxígeno, mismos que se disuelven en el metal fundido.
 - c) Chatarra demasiado sucia.
 - d) Humedad en el canal de colada.

d.- Debido a la práctica del colar en el molde:

- 1.- Cucharas frías, húmedas o verdes (labios y revestimientos de las cucharas).

Aunque no es propiamente una porosidad causada por gas, puede clasificarse como tal al defecto causado en las piezas de bronce colado, por los bebederos y mazarotas de tamaño inadecuado, o mal colados que pueden producir una defectuosa alimentación no suficiente para compensar la contracción producida durante la solidificación; tal defecto (porosidad por contracción interdendrítica), mucho se asemeja a la también porosidad interdendrítica debida a gases.

La causa principal que provoca tal defecto es:

a.- Debido a los bebederos y mazarotas:

- 1.- Presión principal (o de colada) demasiado baja, debido a insufi-

ciente altura del canal de colada.

- 2.- Presión de colada demasiado baja como resultado de enfriarse la mazarota demasiado aprisa (bebederos demasiado largos y delgados).

II.- CAVIDADES PLANAS Y COSTURAS.

Una cavidad plana se forma generalmente sobre superficies lisas, donde los gases atrapados (encerrados) impiden que la cavidad moldeada sea llenada completamente por el metal.

La costura es un defecto que se presenta cuando el metal se escurre --- (filtra) en la cavidad plana formada.

Tales defectos se producen debido a diferentes causas entre las que se pueden citar:

a.- Al proyectar el molde:

- 1.- Secciones no uniformes en la pieza, lo cual hace que la corriente del metal fluido no sea continua.

b.- Debido a las cajas del moldear y aparejos:

- 1.- Movimiento de la parte superior e inferior de la caja de moldear produciendo secciones de las partes de la pieza más delgadas que el moldeo.
- 2.- Defectuosa salida del moldeo.
- 3.- Cajas de moldear con insuficientes trabesaños, con lo cual puede undirse la parte superior.
- 4.- Asiento de arena en donde se coloca la caja para su vaciado.

c.- Debido a bebederos y mazarotas:

1.- Bebederos impropios:

- a) bebederos cuya colocación hace que converjan corrientes de metal y provoquen bolsas de gas.
- b) Número insuficiente de bebederos.
- c) poca separación entre los bebederos.
- d) presión de colada demasiado baja.

d.- Debido a las arenas de moldeo:

- 1.- Elevada presión de gases como consecuencia de una baja permeabilidad, debido a granulación muy fina.
- 2.- Débil apoyo de la arena, que produce movimiento dentro de la caja una vez moldeada de la caja.

f.- Debido a la práctica del moldeo:

- 1.- apisonado duro de la arena.
- 2.- Vientos defectuosos.
- 3.- Apisonado (atacado) no uniforme
- 4.- Apisonado (atacado) débil, lo que permite un descenso de la parte superior del molde y produce delgadas secciones en la pieza.
- 5.- Excesivos remiendos en el molde.

- g.- Debido a la composición del metal:
- 1.- cuando el metal no es lo bastante fluido, debido a su composición.
 - 2.-
- h.- Debido a la práctica de fusión:
- 1.- Metal frío (falta de fluidez).
 - 2.- Metal oxidado.
- i.- Debido a la práctica de colar en el molde.
- 1.- Colada a temperatura baja.
 - 2.- Interrumpiendo la colada en el molde.
 - 3.- Colado con poca presión (negligencia del operario).
 - 4.- Hervidero del metal en el molde por alguna causa.
 - 5.- Presión de colada en el molde demasiado reducida por ser insuficiente el canal de colada.

III.- PERDIGONES O GOTAS FRIAS.

Tales defectos se presentan o son pequeños globulos de metal adheridos pero no directamente fundidos, a la pieza. En muchos casos los perdigones -- pueden ser debidos a una agitación del metal en el interior del molde, no -- obstante, una vez que ha cesado el hervidero, la masa fundida forma un todo -- con excepción de las partes finamente divididas, que quedan en forma de go -- tas frías o perdigones.

Causas que pueden producir tal defecto:

A.- Debido a los bebederos y mazarotas:

- 1.- El bebedero admite que se produzca un fino desmenuzamiento en el metal.
- 2.- Después del canal de alimentación no hay depósito de metal que sea suficiente para alimentar la pieza fundida.

B.- Debido a la arena de moldeo: (solo si se produce hervidero o agitación).

- 1.- Elevada humedad que produce hervidero del metal dentro del molde.
- 2.- Baja permeabilidad debido a: grano muy fino.
- 3.- Malas condiciones en la preparación de la arena, permitiendo mezclarse trocitos de madera, clavos, inclusiones, etc.
- 4.- Baja temperatura y vaciado muy rápido.

C.- Debido a la práctica del colar en el molde:

- 1.- Descuido en la colada del molde.
- 2.- Colada interrumpida en el molde.
- 3.- Metal frío.
- 4.- Caída libre del caldo en el interior del molde.

IV.- RECHUPES CAVIDADES Y DEPRESIONES.

Un rechupe, cualquiera que sea su tamaño, resulta de los distintos valores de la contracción, mientras el metal pasa del estado líquido al estado sólido.

Un verdadero rechupe es una cavidad asimétrica o area esponjosa, limitada por una superficie de cristales llamados dendríticos. Una depresión de rechupe sobre la superficie de una pieza es un descenso del verdadero plano de la superficie del molde.

Diferentes causas que pueden producir tal defecto:

a.- Al proyectar el molde:

- 1.- Cambio de sección demasiado bruscos.
- 2.- Gruesas secciones aisladas, las cuales no pueden ser alimentadas.
- 3.- Insuficientes alimentadores.
- 4.- Exagerados alimentadores.

b.- Debido a los bebederos y mazarotas:

- 1.- Los bebederos y mazarotas no permiten una progresiva solidificación.
- 2.- Bebederos o mazarotas insuficientes o inadecuadas.
- 3.- Mazarotas demasiado pequeñas.
- 4.- Bebederos y mazarotas muy grandes.

c.- Debido a la composición del metal:

- 1.- Composición química inadecuada para las secciones de la pieza a colar.
- 2.- Inadecuada preparación de dicha pieza.

d.- Debido a la práctica de colar en el molde:

- 1.- Colado con metal demasiado frío, lo cual permite que las mazarotas se solidifiquen antes de haber alimentado a la pieza.
- 2.- Caldo demasiado caliente, sin la adecuada previsión de alimentadores.

V.- GRIETAS Y RAJADURAS EN CALIENTES.

Son superficies discontinuas o fracturas producidas por tensiones extrañas o por combinación de ambas acciones sobre la pieza.

Las causas que pueden originar tales defectos son:

a.- Debido a la caja de moldear:

- 1.- Trabesaños de las cajas de moldear demasiado cerca a la mazarota o caña del bebedero.

b.- Debido a bebederos y mazarotas.

- 1.- Bebederos o coladas demasiado cerca de los trabesaños de la caja de moldear

c.- Debido a la arena de moldear.

- 1.- Baja contracción de la arena.
 - 2.- Baja deformación en caliente, a causa de:
 - a) naturaleza de bentonitas y arcillas empleadas o un empleo in adecuado de éstas.
- d.- Debido a los machos:
- 1.- Coeficiente de contracción pequeño, por resistencia excesiva en seco o en verde.
 - a) contenido demasiado elevado de materias finas.
 - b) empleo inadecuado o excesivo de bentonitas y arcillas.
 - c) excesivos materiales de elevado punto de vitrificación.
 - 2.- Baja deformación en caliente, cuando va acompañada de baja contra ción.
 - 3.- Resistencia en caliente demasiado elevada, a causa de:
 - a) naturaleza y tipo de bentonitas y arcillas empleadas.
 - 4.- Machos muy duros o excesivamente armados, que impiden la libre contracción del metal, etc.
- e.- Debido a otros causantes:
- 1.- Agrietado durante la separación de los bebederos.
 - 2.- Al caer o secar las piezas fundidas de la caja.
 - 3.- Rotura en el rebarbado, especialmente en piezas de sección delgada.
 - 4.- Acciones internas bruscamente modificadas o determinadas variaciones térmicas.
 - a) enfriado demasiado lento para la sección de las piezas.
 - b) sacudidas demasiado prematuras.

VI.- INCLUSIONES: TIERRA, ESCORIA Y OTRAS MATERIAS.

Son partículas no metálicas de materiales mezclados en el metal fundido. Si tales inclusiones quedan en la superficie de la pieza, generalmente se separan de la misma durante la limpieza, y solamente dejando los huecos. Las inclusiones de arena en las piezas pueden ser el resultado de erosiones o arrastre de arena en el interior del molde; aunque también pueden producirse por adiciones en la cuchara y que no han sido totalmente disueltas por el metal, o bien deberse a segregación.

Las cavidades con arena son agujeros de forma y tamaño irregulares cuyas caras interiores presentan adherencias de materias granulosas. Las inclusiones de escoria pueden deberse a la escoria procedente del metal de la cuchara o de los materiales del macho; y varían desde la ceniza de carbón a una maza vitrificada, pudiendo confundirse con cavidades de arena y sopladuras si las inclu-

han sido separadas.

Las causas que pueden producir tales defectos son:

- a.- Debido a bebederos y mazarotas:
 - 1.- Bebederos inadecuados:
 - a) estrangulamiento insuficiente para impedir que penetre escoria o suciedad en el molde.
- b.- Debido a la arena:
 - 1.- Bajo poder refractario de la arena, que produce escoria en los moldes.
- c.- Debido a la práctica del moldeado:
 - 1.- Descuidos en el moldeado, dejando arena suelta en el interior del molde.
 - 2.- Empleo de materiales de separación poco refractarios.
 - 3.- Tierra suelta a causa de raspados o roturas del molde o de macho durante la colocación del mismo o cerrando la caja moldeada.
- d.- Debido a la práctica de fundir en el horno:
 - 1.- Adición de elementos no solubles en la aleación.
 - 2.- Caldo frío y sucio.
 - 3.- Elevado volumen de aire y volumen insuficiente de escoria.
- e.- Debido a la práctica de colar en el molde:
 - 1.- Colada a baja temperatura, lo cual contribuye a que la escoria se adhiera al metal fundido.
 - 2.- Baja resistencia a la rotura en caliente del material de revestimiento.

Todo lo antes escrito relacionado con las probables causas de defectos en las piezas coladas, da una idea de los diferentes problemas a que se tiene que enfrentar el técnico, que para resolverlos satisfactoriamente tendrá que hacer determinadas y minuciosas observaciones, mismas que le permitirán tomar las designaciones adecuadas tendientes a erradicar el problema en cuestión.

Desde luego, como ya se dijo al principio, los diferentes defectos de fundición y causas que los provocan, en este caso, se deben en forma general y más bien prácticas. Así mismo se notará, como una misma falla provoca una serie de defectos en la pieza colada, lo que hace interesante el conocimiento de tal o cual falla.

b.- PREVENCIÓN DE DEFECTOS EN PIEZAS COLADAS.

Si se conocen las probables causas que originan los múltiples defectos

en las piezas coladas, lo más lógico es pensar en como eliminar tales causas antes de colar la pieza. Para lograr tal fin se debe tomar una serie de precauciones mismas que empiezan desde el moldeo mismo.

Como medidas inmediatas tendientes a evitar las diferentes causas de defectos, pueden citarse:

I.- ELECCION DE ARENA:

En el presente caso debe tenerse en cuenta que se trata de una fundición de metales no ferrosos, por lo que el material de moldeo tiene alguna excepción. Las diferentes prácticas principales resultan de:

1.- Las temperaturas de colada más bajas, con la consiguiente mayor duración de aglutinación de la arena.

2.- El carácter penetrante de las aleaciones no férreas, que, unido al deseo de obtener buenas superficies, conduce a emplear una arena lo más fina posible.

El empleo de la arena o tierra fina para la fabricación del molde es con el fin de obtener superficies tersas en la pieza colada para evitar un posterior maquinado de la misma, y cuando se trata de piezas hornamentales, para que graben perfectamente bien el dibujo que pudiera llevarse. Por causas especiales, tales como el acabado superficial, la resistencia a la penetración por el metal, o una excepcional resistencia en verde o plasticidad, suele ser frecuente la adición de harina de sílice o una arena silícea de grano fino.

Si se quiere mantener una permeabilidad razonable con una arena fina es necesario que el grano sea de tamaño muy uniforme. Cuando más fino y uniforme sea el tamaño del grano, mejor será el acabado de la pieza. Por lo regular, para evitar el problema de la permeabilidad del material de moldeo, se utiliza material muy fino (material de contacto).

En fundición se emplea un buen número de sustancias para proteger las áreas de los moldes y las superficies de los machos contra la acción del caldo y para que ayuden a producir superficies limpias y lisas en las piezas coladas,

evitando la penetración del metal líquido. Aparte de las sustancias usuales- altamente refractarias que pueden resistir sin fusión la temperatura del cal- do, hay ciertos revestimientos que tienen propiedades especiales que los ha- cen adecuados para este empleo. Tales revestimientos suelen aplicarse como - una capa cubriente muy delgada sobre la cara preparada de arena por:

- 1.- Espolvoreo o frotamiento con el material seco.
- 2.- Pulverización o pintado a brocha en forma de suspensión líquida.

Los materiales utilizados para tales fines se pueden clasificar como:

- a) materiales carbonosos como la plombigina y los negros.
- b) polvos minerales refractarios como la harina de zirconio, el talco - y el ceolín.

También debe considerarse la humedad, preparación y permeabilidad del - material de moldeo, que debe controlarse para así tener un mínimo de defectos causados por el material de moldeo.

II.- ATMOSFERA DE LOS HORNOS.

Los diferentes procedimientos de fusión del bronce que aparentemente no tiene importancia, desde el punto de vista técnico son determinantes en el re- sultado de las piezas, ya que de ello depende en buena parte la mayor o menor cantidad de gas disuelto en el caldo.

Los hornos de fusión empleados en la industria para fundir bronce suelen ser de varios tipos, entre otros se citan:

- 1.- Hornos de foso calentados por gas o coque; pueden ser estáticos o - basculantes.
- 2.- Hornos de llama directa calentados por combustible líquido o gas,- estáticos o semirrotativos.
- 3.- Hornos eléctricos de arco o de inducción.

En general, se pueden considerar los hornos como pertenecientes a dos - tipos:

- a.- Aquellos en los que el metal está protegido durante la fusión.

b.- Aquellos en los que el material no tiene protección y está en contacto directo con la flama y los productos de la combustión.

En el primer tipo se incluyen los hornos que funden la carga en crisoles, y en el segundo, los semiprotativos calentados por combustible líquido o gaseoso, y los de reverbero. Para elegir entre uno de estos dos tipos de horno deben tenerse en cuenta varios puntos de vista, en forma especial las pérdidas de metal por fusión, tales pérdidas son por oxidación del metal que cuando no se toman precauciones alcanza hasta 2.5%.

También debe considerarse la atmósfera del interior del horno, pues en gran parte ella es la responsable de caldos sucios y con mucho gas absorbido. Una atmósfera reductora (rica en combustible y deficiente en aire), nos da un caldo cargado de gas, aunque menos oxidado; una atmósfera oxidante (falta de combustible y exceso de aire), nos da un caldo más oxidado. Y actualmente se prefiere que la atmósfera del horno sea ligeramente oxidante.

No es deseable la presencia en la atmósfera del horno del vapor de agua, pero aun es peor la presencia de hidrógeno libre, siendo esta una de las razones que aconseja mantener en el horno condiciones ligeramente oxidantes. Otro factor es que en estas condiciones se forma óxido de cobre sobre la superficie del metal y la presencia de óxidos disueltos, hace mínima la absorción de hidrógeno por el caldo.

Por otro lado, es perjudicial un exceso de oxígeno en el metal porque se forman peligrosas películas de óxido. Un metal muy oxidado es peroso para colar y la alimentación se hace con dificultad.

Desde mucho antes de conocerse los factores que afectan la absorción de gases y las reacciones gas-metal, los fundidores llegaron a establecer por tanteo las condiciones satisfactorias de trabajo y fusión de sus hornos particulares. Como por lo general, antiguamente se usaban mucho hornos de fosa ca-

lentados por coque, con crisol de fusión, el problema era relativamente sencillo, pues les bastaba con recubrir el caldo con una delgada capa de carbón vegetal.

El conocimiento de la absorción de los gases y de las reacciones metal-gas hace posible la adopción de precauciones en la fusión que eviten la obtención de caldos defectuosos cargados de gas. Es evidente la necesidad de conocer las reacciones de los gases, ya que actualmente se emplean en mayor escala las aleaciones propensas a la absorción de gases así como los hornos de fusión de llama directa, porque funden más rápidamente y economizan combustible. Debe desde el punto de vista de la fundición, lo más importante es hacer mínima la absorción de hidrógeno por adopción de prácticas correctas de fusión.

La fusión en crisoles ha de realizarse bajo condiciones ligeramente oxidantes, usando coque seco, si es este el combustible, o carbón vegetal seco - si se le emplea para cubrir el baño. Mejor protección se consigue empleando fundente cuyas composiciones no sólo aseguran la protección, sino también la limpieza y purificación del caldo.

FUNDENTES.- Con el término fundentes se designan una serie de sustancias que actúan de una y más de las formas siguientes:

- 1.- Como cubiertas protectoras que impiden el contacto con los gases y las consiguientes oxidaciones y pérdida de metal.
- 2.- Como agentes oxidantes y de eliminación de hidrógeno.
- 3.- Como agentes limpiadores.
- 4.- Como desoxidantes.

La primera función la desempeñan materias que forman una cubierta sobre el baño e impiden la oxidación; pueden ser sustancias que forman una escoria fluida o materiales infusibles tales como el carbón vegetal o mezcla del mismo y otras sustancias. Los fundentes pueden ejercer su acción por formar una capa de escoria sobre la superficie del metal, por la acción química directa con las impurezas del metal y por oxidación, por un efecto mecánico, tal como el desprendimiento de gas y burbujeo a través del baño.

DESOXIDANTES.- El mejor desoxidante para los bronce es el cupro-fósforo. La desoxidación de los bronce de estaño debe considerarse como una operación normal; se emplean de 60 a 90 g de cuprofósforo del 15% de fósforo por cada 100 Kg cantidad que suele ser suficiente. Tratándose de bronce de estaño ordinarios es necesaria la desoxidación completa, pero sólo deben quedar-trasas de fósforo en el caldo; pueden emplearse también otros desoxidantes - de acuerdo con el tipo de aleación, y que pueden ser litio, boro, silicio, - manganeso, calcio. Las cantidades necesarias de desoxidantes para obtener -- los mejores resultados en una determinada aleación, y bajo unas condiciones-dadas de fusión, se deben determinar experimentalmente, siendo preferible rea-lizar esta experimentación bajo la dirección del laboratorio.

Los agentes desgasificantes son normalmente óxidos metálicos y sustan-cias que pueden producir oxígeno, empleados sobre la base de que la presen-cia de oxígeno elimina el hidrógeno.

III.- IMPUREZAS DEL BRONCE.

Las impurezas (otros elementos) que por lo regular hay en el bronce -- son grandemente perjudiciales principalmente por afectar en forma directa las características físicas de las piezas coladas, tales elementos pueden ser por ejemplo:

1.- El plomo, que si bien es verdad que en pequeñas proporciones hasta del 1-5% no perjudica a la pieza, sino por el contrario le da propiedades me-jores de resistencia a la tracción y de ductilidad, debe tenerse en cuenta - que dicho elemento no se disuelve en el bronce sino que queda disperso en -- forma de glóbulos y propenso a segregaciones.

2.- El hierro, que por lo regular procede de la chatarra o de las viru-tas de torno, aunque en pequeñas cantidades (inferior al 0.3 %) no afecta -- grandemente las propiedades mecánicas del bronce, sí perjudica a éstas prin-cipalmente por dar lugar a formación de zonas duras debido a partículas ri--

cas en hierro (pues el hierro sólo se disuelve en el bronce hasta 0.2%), además que perjudica la fluidez del caldo volviendolo pastoso.

3.- El aluminio, regularmente se obtiene como impureza en la chatarra y es muy perjudicial en los bronce a grado tal que basta una pequeña proporción de 0.01% para que cause perturbaciones; las cantidades más elevadas producen pérdidas de resistencia por formación de películas e inclusiones de óxido, las cuales se pueden apreciar en el mecanizado provocando porosidad.

4.- El fósforo, que en cantidades considerables forma Cu_3P (no hay que olvidar que sólo se disuelve una pequeña parte, el resto forma fosfuros) que es relativamente duro y frágil, aumenta la dureza Brinell y disminuye la solubilidad del estaño en el cobre.

5.- El zinc, níquel, silicio y otros elementos también son impurezas en los bronce de estaño que afectan en forma distinta las propiedades mecánicas y aumentan las piezas defectuosas de bronce.

IV.- TEMPERATURA DE COLADA.-

Suponiendo que se establecieron condiciones satisfactorias de fusión, es de la mayor importancia emplear temperaturas de colada correctas y bien controladas. Para determinar la temperatura de colada en un caso dado hay que considerar las secciones y masa de la pieza a colar y la distancia que el metal ha de recorrer hasta llenar completamente el molde. Por lo regular, las temperaturas de colada del bronce son de $1100^{\circ}C$ a $1240^{\circ}C$, colando las piezas grandes a las temperaturas más bajas y las delgadas a las más altas. Aunque en bronce alto en fósforo o en plomo la temperatura de colado puede ser de $1000^{\circ}C$.

Por otra parte, entre mayor sea la temperatura de colada, mayor será la absorción de gases por el caldo, y la cantidad de material oxidado también au

mentará, siendo las pérdidas mayores en los elementos de más bajo punto de fusión (si hay en la aleación más de dos elementos). La mayoría de los metales absorbe fácilmente hidrógeno de la atmósfera del horno cuando se encuentran en estado líquido y en contacto directo con la flama, o simplemente hay absorción de gases cuando no se ha protegido bien el caldo. Por tal motivo debe tenerse muy en cuenta en la fundición de bronce el período de fusión y el sobrecalentamiento del caldo.

La figura muestra esquemáticamente la variación de la solubilidad del hidrógeno en un metal a diversas temperaturas, deduciéndose de ella que la solubilidad del gas es considerablemente mayor en el líquido que en el sólido para la temperatura de fusión.

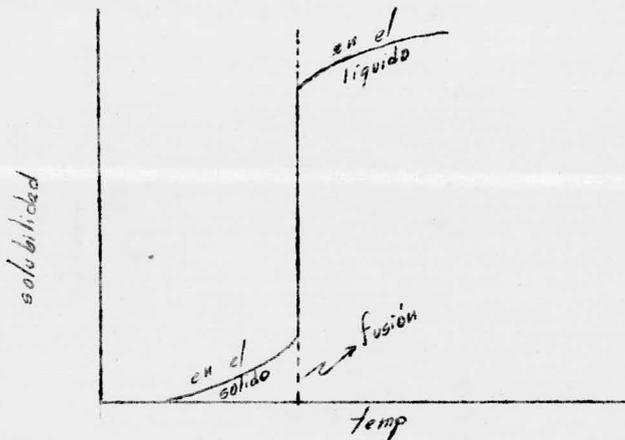


Fig.2 Efecto de la temperatura sobre la solubilidad del H_2 en un metal.

Los gases disueltos en el metal líquido se precipitan en la intercara sólido-líquido durante la solidificación. Al enfriar y solidificar el metal, -- disminuye la solubilidad del gas y se produce una sobre saturación, formandose burbujas dentro del líquido y sobre la intercara sólido-líquido. En algunos - casos, estas burbujas pueden ascender a través del metal líquido y escapar a

la atmósfera, pero en otras se forman en espacios interdendríticos y no pueden escapar. Quedarán como pequeñas sopladuras dentro de la pieza colada.

V.- PRACTICA DE MOLDEO.

Si se practica un mal moldeo es lógico pensar en las consecuencias que esto acarreará. En el moldeo influye una serie de factores que obligan a tener cuidado muy especial para la preparación del molde; entre otras cosas, debe presentarse la atención por ejemplo:

- a.- Características granulométricas del material de moldeo que nos indicará la probable permeabilidad del molde, y por lo tanto la forma de prepararlo.
- b.- Características de la pieza a colar, que nos indicará la forma más adecuada para colarla, haciendo arreglos determinados en el moldeo con el fin de prevenir en forma adecuada los defectos que pudieran presentarse en dicha pieza.
- c.- Características del modelo, que nos permitirá proyectarlo en forma tal que no nos cause graves problemas en el moldeo.
- d.- También deben tomarse en cuenta los moldes que llevan corazón. Debe buscarse la forma más adecuada para que los corazones se coloquen en forma tal que no causen problemas posteriores en la pieza, principalmente debe asegurarse dichos corazones para que no se caigan.

Los problemas señalados en los incisos b, c, d, arriba citados aunque teóricamente no deberían existir como problemas para los moldeadores ya que se considera que son problemas del modelista; en la práctica dichos problemas son frecuentes y hay necesidad de resolver en forma conjunta (modelista y moldeador) dichos problemas.

En sí, los diferentes problemas que presenta el moldeo y que son causas de piezas defectuosas, como en los casos ya vistos, son motivo no nada más de un solo factor. Sobre todo, debe procurarse que el molde esté bien proyectado

y bien hecho.

Si se controlan bien las arenas de moldeo y de machos, pueden evitarse defectos en las piezas moldeadas. Si la arena no tiene resistencia superficial suficiente se deformará el molde durante la colada afectando la forma o dimensiones de la pieza; suele ocurrir cuando el apisonado es defectuoso.

VI.- PRACTICA DE COLADA.

En la forma como se cuele una pieza tiene que influir considerablemente el resultado de la misma, pues muchos defectos en las piezas coladas son producto de una mala colada. Muchas veces al estar colando la pieza, el chorro de la cuchara al bebedero no es constante, lo que facilita en gran parte que el metal alcance a solidificar antes de que llene el molde; así mismo, si se cuele rápidamente, la evacuación de gases será mucho más difícil ya que tiene menos oportunidad de escapar al exterior, lo cual provoca explosiones dentro del molde. También, en ocasiones, al proyectar el chorro de metal al bebedero del molde, muchas veces no se proyecta bien o se corta, lo que origina que parte del metal penetra al molde y solidifique dando como consecuencia piezas a ñadidas o con perdigones, o gotas de metal frío que no alcanzaron a fundir.

Aun hay muchas otras medidas de prevención para evitar al máximo piezas defectuosas en la colada. Sería muy difícil explicar los múltiples problemas de las fundiciones y como resolverlos, ya que esto último queda más bien a -- criterio del técnico, por lo que todo lo anterior referente a las causas que originan los defectos y como evitarlos en las piezas coladas, es muy deficiente, y más bien se está un bosquejo general de los diferentes problemas más comunes en las fundiciones y con los que inevitablemente hay que enfrentarse, ya que no son problemas unicos en la fundición de bronce sino en la fundición en general.

V.- COSTOS.

a.- COMPARACION DEL COSTO DEL MOLDEO EN VERDE Y DEL MOLDEO EN SECO.- La comparación de costos entre el moldeo en verde y el moldeo en seco es relativa, ya que si bien, el moldeo en verde ha tenido un mayor auge que el moldeo en seco, esto se debe en parte a la mayor facilidad con que se obtiene la materia prima y al mayor volumen de piezas que se moldean en un período de tiempo determinado.

El empleo de uno u otro tipo de moldeo, más bien obedece a las características de la pieza a colar, pues indudablemente que es el factor decisivo para elegir el tipo de molde que debe emplearse independientemente de los costos que pueda representar dicho molde; esta es la razón por la que la mayor parte de las fundiciones cuentan con equipo para ambos métodos de moldeo. Sin embargo, como se decía anteriormente, el moldeo en verde ha alcanzado mayor auge, el que puede explicarse si se hacen las siguientes consideraciones:

1.- Las materias primas utilizadas en el moldeo en verde (arena sílica-bentonita y arcilla y agua), abundan en la naturaleza, por lo que se obtienen fácilmente y a un costo mínimo. En el moldeo en seco aunque también se hace uso de los materiales antes citados, se necesita adicionar otros tipos de materiales que requieren de un proceso más complicado para poder utilizarlos, lo que agrava en cierta forma el costo de el molde.

2.- La cantidad de piezas moldeadas por el método de moldeo en verde -- puede ser muy elevada debido principalmente a la facilidad con que se fabrica este tipo de moldeo en fundiciones mecanizadas. El moldeo en seco debido principalmente a las características especiales de los aglutinantes, se hace difícil mecanizarlo.

3.- Así mismo, la rapidez en la producción es considerable con el mol--

deo en verde, pues las piezas moldeadas se pueden colar, an luego se termina el molde. El moldeo en seco necesita de más tiempo para el secado del mismo.

4.- El moldeo en verde necesita de una area de trabajo reducida y de una mínima cantidad de materia prima de moldeo debido principalmente a que no hay almacenamiento de moldes y a que el material de moldeo puede usarse repetidamente en un mismo turno de trabajo.

Entre otras, las antes citadas son las principales causas que han dado - al moldeo en verde un incremento considerable, y que aparentemente lo hacen menos costoso en comparación con el moldeo en seco, que desde luego, si se trata solo del moldeo se estaría en la cierto, pero deben hacerse consideraciones respecto al producto que es donde practicamente se igualan los costos de ambos tipos de moldeo.

Comparando el producto obtenido por uno y otro tipo de moldeo, facilmente nos damos cuenta de la diferencia que hay en el aspecto de uno y otro producto; además de las características en general de los mismos. Luego entonces, a las consideraciones ya anotadas anteriormente y que dan una idea del por qué se ha generalizado el moldeo en verde, es necesario agregar las desventajas del mismo haciendo las siguientes consideraciones:

1.- El moldeo en verde necesita de mano de obra especializada debido a - las multiples dificultades que presenta de dicho moldeo para su correcta preparación. En cambio en el moldeo en seco puede prescindirse de ella ya que las dificultades del mismo son mínimas.

2.- El porcentaje de piezas defectuosas principalmente cuando por los gases en el molde en verde es considerable, lo que no sucede, o sucede en mínima parte en los moldes en seco.

3.- Las piezas coladas en moldes en verde cuando necesitan de un acabado mucho más costoso que el de las piezas coladas en moldes en seco.

4.- Las piezas coladas en moldes en verde cuando son muy voluminosas, - dan origen a segregaciones de importancia; tal defecto es menos marcado en las piezas coladas en moldes en seco.

Por todo lo antes expuesto se ve claramente que las ventajas económicas que ofrece el moldeo en verde respecto a el moldeo en seco, son compensadas con las ventajas que ofrece este último tipo de moldeo; basandose en ello es por lo que al principio del presente capítulo se decía que los costos entre uno y otro tipo de moldeo eran relativos, ya que si bien, con el moldeo en verde se obtiene un elevado volumen de producción haciendolo más costeable, el producto es de calidad inferior en comparación con el producto colado en moldes en seco; además las pérdidas por concepto de piezas defectuosas son más elevadas en moldes en verde que en moldes en seco.

b.- CALCULO COMPARATIVO (costo), POR MAND DE OBRA Y MATERIA PRIMA EN EL MOLDEO EN VERDE Y MOLDEO EN SECO.- En el presente caso se consideró el trabajo promedio desarrollado por los trabajadores ya en la práctica, por turno de trabajo; así como la cantidad de piezas defectuosas que se tienen en uno y otro tipo de moldeo y el material a utilizar. En ambos casos se moldeo a mano y se hace el mismo tipo de molde.

Se estima que por cada tonelada de piezas coladas de fundición se emplea una tonelada de arena.

MOLDEO EN VERDE (material a utilizar, otros gastos y demás).

Una tn de arena sflica	\$660.00
35 Kg aglutinante (bentonita)	90.00
16 moldes por turno de trabajo (\$7.00 C/U)	
sueldo del operario	110.00
De inmediato se puede colar el molde	
Eficiencia promedio 87%, lo que significa que de los 16 moldes fabricados - sólo se obtendrán de 13 a 14 piezas, con lo cual aumenta el costo por molde a \$7.69 promedio.	
GASTO TOTAL POR TURNO DE TRABAJO	\$860.00
GASTO TOTAL POR Tn DE PIEZA COLADA	\$860.00

MOLDEO EN SECO (material a utilizar, otros gastos y demás).

Una tn de arena sílica	\$660.00
12.5 lt aceite de linaza	86.00
20 Kg dextrina	30.00
10 moldes por turno de trabajo \$10.00 C/U	
suelo del operario	100.00
combustible para el secado de los moldes	30.00
20 hs. promedio para poder colar la pieza	
eficiencia promedio 97%, lo que significa que de los 10 moldes fabricados se obtendrán 9 piezas como mínima, por lo que practicamente el costo original del molde no se altera.	

c.- VENTAJAS OBTENIDAS EN CADA UNO DE LOS METODOS DE MOLDEO.- En el anterior inciso (a) del presente capítulo, con el fin de evaluar los costos entre el moldeo en verde y el moldeo en seco, se hacen algunas consideraciones mismas que caben en el presente inciso ya que realmente representan los pros y contras en ambos tipos de moldeo; además, pueden hacerse algunas otras con sideraciones aunque de menor importancia tales como:

1.- El molde en seco tiene elevada resistencia, por lo que consecuente mente puede manipularse con mayor facilidad sin que sufra averías, lo que di ficilmente se logra con los moldes en verde.

2.- El molde en seco es facil de parchar y alisar sus caras de contacto, con refractarios adecuados para obtener piezas de mejor acabado, lo cual dicilmente se puede hacer en moldes en verde.

3.- En moldes en seco se pueden vaciar piezas de gran tamaño sin problemas de la presión que puede producir el metal colado en el interior del molde, o bien, producir hervidero en la pieza colada debido a gases. En un molde en verde facilmente pueden presentarse los dos casos antes señalados.

4.- Las piezas cuando son muy voluminosas, presentan mejores propiedades físicas cuando se cueban en molde en seco ya que en parte se evita la li cuación de los aleantes (algunos).

Como se ve, uno y otro tipo de moldeo ofrecen ventajas distintas y más

bien queda a criterio del técnico el empleo de uno u otro tipo de moldeo, que desde luego dependerá de las características que se le exijan a la pieza a co
lar.

VI.- CONCLUSIONES.

El presente trabajo fue con el fin de demostrar ya en la práctica en forma satisfactoria las múltiples dificultades que presenta la fundición de bronce en piezas coladas en moldes de arena, así como el conocimiento de los resultados estructurales (influencia) de las piezas de bronce coladas en moldes de arena en verde y en seco; principalmente esto último era de gran importancia ya que dicha experiencia en lo sucesivo se tendrá un criterio más amplio para elegir el tipo de moldeo que se debe emplear atendiendo las necesidades de las características físicas y de acabado requeridas en la pieza a obtener.

De acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas físicas practicadas en las probetas que a propósito se colaron, los resultados no muestran diferencia alguna en las probetas de igual análisis químico pero coladas en moldes en seco y en verde; así mismo, vistas al microscopio en las estructuras que presentan las probetas, no se observa diferencia alguna.

De acuerdo con experiencias obtenidas ya dentro de la práctica, se ha observado, ya a propósito se ha sugerido que cuando se trate de colar piezas de volumen considerable o en las que la aleación contenga considerable porcentaje de plomo (8% o más), se haga en moldes en seco y el resultado ha sido el siguiente:

1.- Cuando la aleación contiene un porcentaje de Pb considerable, dicho elemento se cuela y aflora en las partes inferiores de la pieza colada (transpiración del Pb) tal fenómeno disminuye considerablemente cuando la pieza se cuela en molde seco.

2.- Cuando el estaño se encuentra en cantidades elevadas (15% o más) la aleación tiende a la licuación, esto es, a la separación en el estado sólido de los componentes; tal fenómeno se aprecia en mayor grado cuando la pieza se

cuela en molde en verde.

3.- Finalmente, a base de residuos de granalla de acero (que se utiliza para limpiar las piezas de hierro colado), mezclada en proporciones aceptables con arena de moldeo, se han confeccionado algunos moldes para vaciar piezas de volumen considerable y cuya aleación contiene Pb superior al 8% (desde luego, en este caso se utiliza arena de revestimiento), y los resultados han sido muy aceptables ya que se ha evitado casi en su totalidad la transpiración del Pb.

De las experiencias de trabajo antes expuestas, se concluye que sí hay influencia estructural en las piezas coladas en moldes de arena en verde y en seco; y desde luego, para evitar licuaciones y transpiración en las piezas de bronce, se precisa de moldes que faciliten la radiación de calor. Esta observación no se manifestó en las probetas sometidas a examen físico probablemente debido a que los moldes no eran voluminosos, por lo que la solidificación de las probetas prácticamente se efectuó con la misma rapidez, impidiendo en esa forma cualquier diferencia estructural.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- TECNOLOGIA DE LA FUNDICION.
por el Ing. Dr. Eduardo Capello.
- 2.- METALURGIA.
por Carl G. Johnson.
- 3.- ALEACIONES LIGERAS.
por el Ing Dr. Alfred Vn Zeerleder.
- 4.- MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES.
por el Ing J. Duponchelle.
- 5.- TRATADO PRACTICO DE FUNDICION.
por el Ing. E. D. Howard.
- 6.- METALURGIA APLICADA.
por Maclelm S. Burton.
- 7.- TECNOLOGIA DE MATERIALES (primer curso)
por los Ings. Carlos Sordo y Carlos Ordoñez.
- 8.- ANALYSIS OF CASTING DEFECTS: PREPARED BY ANALYSIS OF CASTING DEFECTS
COMMITTEE.
AMERICAN FOUNDRYMEN'S ASSOCIATION INC.
- 9.- MOLDEO Y PREPARACION DE TIERRAS
por el Prof. Dipl. Ing. U. Lohse y Frenemann.