

# INFLUENCIA DEL MOLDE Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LAS PROPIEDADES DEL BRONCE-ALUMINIO

## IT INFLUENCES OF THE MOLD AND THERMAL TREATMENT IN THE PROPERTIES OF THE BRASS ALUMINIUM

Eusebio Dionicio Padilla\*, Víctor Vega Guillén\*, Edgardo Tabuchi Matsumoto\*, Oswaldo González Reynoso\*, Samuel Rosario Francia\*, Luis Villacorta\*, Nelson Dionicio Díaz\*

### RESUMEN

El estudio de investigación «Influencia del molde y tratamiento térmico en las propiedades del bronce aluminio» ha experimentado diferentes mezclas de arena de moldeo en verde a fin de obtener las mejores propiedades en lo concerniente a permeabilidad y resistencia a la compresión, obteniéndose que con 7% de bentonita sódica y 4% de humedad se obtiene una permeabilidad de 235; y una resistencia a la compresión en verde de 13,10 lb/in<sup>2</sup>, con una arena de óxido de silicio lavado que tiene un índice de finura: AFS de 52.

El material fundido corresponde a una aleación de cupro-aluminios polifásicos complejos (Cu<sub>3</sub> Bronce NiAl) de propiedades mecánicas promedios: resistencia a la tracción kg/mm<sup>2</sup> 88,13, límite elástico, kg/mm<sup>2</sup> 28,3, porcentaje de alargamiento en 2", 10.

La estructura metalográfica del estado fundido corresponde a una estructura de fase  $\alpha$  y el eutectoide  $\alpha + \gamma_2$  con presencia de fase  $\kappa$ .

**Palabras clave:** Molde, moldeo de arena en verde, fundición en arena.

### ABSTRACT

The influence of the moisture and sodium bentonite in the qualite moulding was tested; however one of the mixes was much better, which is the following: Sodium bentonite 7%, Water 4%, Silica sand 87%, ( AFS grain fineness 52).

The physical properties of the molding sand was: permeability 235, green compression, lb/in<sup>2</sup> 13,1.

Cast nickel aluminium bronze Cu<sub>3</sub> was tested: Tensile strength, kg/mm<sup>2</sup> 88,13, Yield strength, kg/mm<sup>2</sup> 28,3, Elongation in 2 inch, % 10, Metallography: etchant, amonium persulfate. Showing light  $\alpha$  phase, eutectoide  $\alpha + \gamma_2$  and  $\kappa$  phase.

**Key words:** Molds, greensand molding, castings in greensand.

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Arenas de moldeo

Definimos como arena de moldeo a la mezcla preparada en base a una arena generalmente sílice, aglutinante y agua, que se emplea en la fabricación de partes de un molde. Todas las alea-

ciones de cobre pueden amoldarse exitosamente, en moldes de arena.

En estas arenas de moldeo los aglutinantes son arcillas.

Este método es el más económico para fabricar piezas fundidas y tiene mayor flexibilidad para tamaños y formas. Específicamente, las aleacio-

\* Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica-UNMSM.  
E-mail: iigeo@unmsm.edu.pe.

nes de bronce aluminio presentan dificultad en colarse en moldes de arena verde (es decir, que contienen humedad) debido a las altas tendencias de oxidación de los aleantes y la posibilidad de una superficie con agujeros finos y porosidades en la pieza fundida y acabada.

Los defectos causados por la alta humedad en los moldes de arena verde pueden ser minimizados por el empleo de moldes secos. Cuando se hace la fundición en moldes de arena verde el contenido de humedad será controlado, será lo más bajo posible para evitar los pinholes y porosidad. La excesiva humedad puede contribuir a la formación de superficies oxidadas.

Es necesario el empleo de un molde más permeable o arena de grano grueso para evitar que el vapor de agua se agite a través del metal particularmente cuando grandes áreas planas serán recorridas. Generalmente no es recomendable usar arena de contacto (arenas de cara) para los broncees aluminios debido a la alta tensión superficial causada por la presencia de la delgada capa de óxido de aluminio durante el vertido. Es importante señalar como ventaja que superficies mucho más finas (mejor acabadas) normalmente se encuentran sobre piezas fundidas de bronce aluminio, en una determinada arena, que sobre piezas fundidas en bronce estaño moldeadas en la misma arena. Entonces, podemos señalar que para el moldeo de piezas que van a ser coladas en bronce aluminio puede utilizarse cualquier arena que normalmente sirve para broncees al estaño, incluso aceros, cuidando su permeabilidad, ésta no debe ser inferior a cuarenta, y la humedad debe ser la más baja que se pueda conseguir.

En cuanto a los machos utilizados en los broncees aluminios, deben tener poca o ninguna tendencia a la formación de gases; si los machos se almacenan, se debe de asegurar que se deben de encontrar libres de humedad antes de su utilización.

### 1.1.1. Materias primas empleadas

#### Arena de Sílice: (SiO<sub>2</sub>)

En nuestro país tenemos abundantes yacimientos y su empleo es muy adecuado para la elaboración de moldes y machos usados para la fabricación de piezas fundidas. Una característica importante de esta arena, para su empleo es que sea lavada y presente características definidas.

La arena sílice procede de la sierra central y sus características son las siguientes:

Número de finura A.F.S.: 52

Número de tamices: 4 – rechazos 90,05%

Grano medio: 0,32 mm en el 50% de cernidos

Pérdidas por calcinación: 0,12%

Humedad: Variable no mayor a 8%

**Aglutinante.** Este material permite conferir cohesión y plasticidad a una mezcla en determinadas proporciones de éste con arena y agua. La adhesión es una característica de los aglutinantes, ya que forman películas alrededor de los cuerpos extraños (arena) y se adhieren a ellos cuando son mezclados con una cantidad de agua en proporciones bien definidas. Como aglutinante se empleará la bentonita PRF de la compañía minera Agregados Calcáreos.

**Aglomerantes.** Estos materiales se emplean principalmente en la preparación de mezclas para fabricar almas, algunas de las mezclas se emplean para fabricar moldes. Algo que debemos de tener en cuenta en el empleo de aglomerantes es el tiempo de utilización, algunos son de corto tiempo de vida, que garantice su uso; de ahí, que se debe considerar esta apreciación cuando se trata de un producto a importar.

El aglomerante es un producto que mezclado con la arena lavada y seca forma una película alrededor de los granos de arena, la cual endurece y los liga entre sí, dando al alma o al molde la resistencia requerida.

Las mezclas preparadas con aglomerantes y arena no tienen cohesión ni plasticidad, como consecuencia su resistencia a las condiciones mecánicas prácticamente es nula.

Los aglomerantes se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a. Productos inorgánicos como el cemento, silicatos
- b. Productos orgánicos como aceites, resinas, etc.

Las resinas de fraguado en frío básicamente son furánicos, fenólicos, alquídicos-uretano y fenólicos-uretano.

Estos aglomerantes para conferir las propiedades características requieren:

- Aporte de calor (el caso de los aceites)
- Tiempo de reacción (resinas autoendurecibles)
- Producto de reacción (silicato de sodio / gas carbónico)

**Características del silicato de sodio:**

Módulo  $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$ : 2,6  
 Densidad: 1,381 o 400 Be

**Características de la resina fenólica:**

**Descripción General.** Resina alcalina de curado en frío, formada por una resina diluida en un medio alcalino y catalizado por esterres orgánicos a temperatura ambiente.

**Aplicaciones.** Es usada en fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos, en la confección de moldes y machos hasta 200 toneladas, utilizando arena sílica, lavada, seca, libre de impurezas de A.F.S. 45/50, pudiendo usar también arena de cromita, zirconio. Se usa 1.2% a 1.5% de resina sobre el peso de arena y de 20% a 30% de catalizador.

Propiedades principales de la resina:  
 Formol libre: máximo 0.80%  
 Peso específico (25 °C) 1.240 - 1.280 g/cm<sup>3</sup>

**Aditivos**

Los aditivos son productos que mejoran sus características y mejoran el comportamiento del molde durante la colada. Su empleo puede ser muy adecuado, siempre que sea suministrado por firmas conocidas y garantizados. Para el molde se emplea Mixad-61, este producto químico que se mezcla con la arena, para mejorar el funcionamiento de la bentonita, modificando su estructura e incrementando la resistencia de la arena sin detrimento de fluencia; este producto no tiene efectos directos sobre la permeabilidad, pero disminu-

ye las oscilaciones que pueda tener ésta en el molde. Aumenta la fluencia, mejorando el acabado superficial de la pieza. Reduce los defectos de erosión y expansión (formación de darts, colas de rata y similares).

**II. TECNOLOGÍA DE LA FUSIÓN DE LOS BRONCE ALUMINIO****2.1. Importancia tecnológica**

Se puede considerar que es fácil colar piezas moldeadas de cupro-aluminio al igual que otros bronce o aleaciones de otros materiales, en el caso de los bronce al aluminio, teniendo el equipo adecuado, las piezas sólo resultarán sanas al control radiográfico y, por lo tanto, de calidad elevada si el fundidor pone en práctica algunas reglas y técnicas fundamentales.

Las exigencias impuestas a los metales no férricos, puestas de manifiesto en el último decenio, traen como consecuencia tomar precauciones y control en la técnica de fusión y colada para que las piezas fundidas alcancen las propiedades físicas, químicas y mecánicas exigidas.

Los tipos de exigencias, normalmente, requeridos por los usuarios, las causas más comunes de defectos y los factores que en la fundición se deben controlar, son los siguientes:

- Composición de la aleación
- Fusión y Colada
- Alimentación
- Moldes

**Tabla N.º I.** Control de calidad de las piezas.

Control exigido	Causas de los defectos	Controles de fundición para evitar los defectos
Control Radiográfico	Porosidad de rechupe	Técnicas de alimentación y cálculo de mazarotas
	Inclusiones de escoria	Técnicas de fusión, decolada y alimentación de mazarotas y de moldes
	Porosidad de gas	Técnicas de fusión, desgasificación, prueba de depresión
Características mecánicas sobre probetas de tracción	Composición inadecuada	Análisis de la materia prima, técnica de fusión
	Inclusiones de escoria	Técnica de fusión de colada y alimentación
	Porosidad de gas	Técnica de fusión, desgasificación, prueba de depresión

## 2.2. Composición de la Aleación

La aleación establecida para propósitos de este estudio ha sido:

<b>Al</b>	10-11.5	8.2-10.3	8.-10.5
<b>Ni</b>	3-5.5	4-6.3	4.5-6.5
<b>Fe</b>	3-5	4-5.8	1.5-5.5
<b>Mn</b>	3.5 más	3.0 más	1.5 más
<b>Cu</b>	78	Dif	Dif
<b>Otros</b>	min	0.8 Zn P Sn	0.5% Zn más

La técnica de fusión, de colada, alimentación y sistemas de mazarotas que se obtengan para la composición indicada serán adecuadas para otros bronce al aluminio complejos.

La composición química de los bronce al aluminio, en general y, sobre todo, en los complejos tiene notables efectos sobre sus características mecánicas.

En general, la resistencia mecánica aumenta a expensas de la ductilidad; pero alrededor del 10% de aluminio es posible obtener una gama muy amplia de cargas de rotura con composiciones muy similares, a causa de pequeñas variaciones en la microestructura.

Las aleaciones que contienen rosetas, regularmente de fase k, rica en hierro, tienen cargas de rotura notablemente inferiores a las de las aleaciones de composición análoga con distribuciones irregulares de la fase k, y otras modificaciones asociadas de la microestructura; actualmente, no se conocen a fondo las causas de la formación de este tipo de microestructura debido a que tales variaciones son inevitables en fundición por la diversidad de temperaturas de colada, de los materiales de moldeo, de la densidad del molde, de los espesores de pared, del momento de desmoldeo, etc.

Convendría evitar el empleo de una aleación que contenga más del 0% de Al.

Los efectos de otros elementos principales de aleación (Fierro, Níquel), sobre las características de tracción de los bronce al aluminio son pequeños en comparación con los del aluminio. Incluso, para muchas aplicaciones, es muy importante ob-

tener una buena resistencia al choque. El aumento del contenido de Al implica una discriminación de la resiliencia, paralelamente a la disminución de ductilidad.

Cuando se requiere obtener piezas con buena resistencia es importante tener en cuenta los contenidos de Fe y Ni.

Para resultados mejores se debe buscar una relación Fe/Ni mayor de 1.

La composición que respetando las especificaciones, facilita, a la larga, una buena combinación de características mecánicas y mínima sensibilidad a las variables de fundición, es la siguiente:

- Fe: 5.0 - 5.5%
- Ni: 4.5 - 5.0%
- Al: 9.5 - 10.0%

El efecto de las impurezas sobre las características mecánicas es, indudablemente, un tema muy amplio.

Los bronce al aluminio para piezas moldeadas de gran calidad deben ser fabricados normalmente partiendo de materias primas muy puras, así, por ejemplo, si las piezas van a ser soldadas deben considerarse exentas de plomo y bismuto.

## 2.3. Fusión y colada

La misión de la fusión es producir una aleación líquida de la composición química deseada a la temperatura de colada deseada exenta de escoria y exenta de gas.

Al fabricar piezas fundidas de bronce que contienen aluminio, el fundidor se enfrenta en dificultades mayores que las que se presentan habitualmente en las aleaciones de cobre. Principalmente estas dificultades son consecuencia de las características especiales de:

- Dificultades tecnológicas de fusión y colada como:
- Fácil oxidación del aluminio dando la formación de alumina defectos muy perjudiciales en las propiedades mecánicas. Absorción de gases, principalmente hidrógeno; segregación por gravedad, y la gran contracción que presentan al solidificar.
  - La técnica de preparación de bebederos, canales de alimentación de la pieza y mazaretado,

factores todos que han de asegurar un llenado del molde sin que se formen espumas, ni pieles.

- De la maquinabilidad ya que los bronce al aluminio complejos fundidos dan lugar a un desgaste de herramientas superiores al considerado normal.

#### 2.4. Problemas metalúrgicos y marcha de fusión

Los principales problemas que son netamente metalúrgicos durante la fusión que analizamos, son Oxidación, Gases ( $H_2O$ ) y Segregación por gravedad.

**Oxidación:** El oxígeno es soluble de una manera prácticamente irreversible en los bronce al aluminio, formándose  $Al_2O_3$  debido a la gran facilidad con que el aluminio formado en las condiciones del proceso de fusión no se puede someter a reducción con ninguno de los desoxidantes habituales. Así mismo, al fundir bronce ya preparado hay que proteger al metal, en las medidas de las posibilidades de la acción del oxígeno del aire. De acuerdo a lo expuesto, el material quedaría desoxidado siempre, la alumina  $Al_2O_3$  por su menor densidad pasa a la parte superior en forma de escoria, es decir no se encontrará porosidad debido a las reacciones del vapor, como sucede en las piezas de bronce al estaño zinc, insuficientemente desoxidadas. De igual manera, no puede eliminarse la porosidad, debido al hidrógeno disuelto mediante la técnica de oxidación reducción adoptada para los bronce al estaño y zinc.

La presencia de aluminio disuelto en el cobre, no tiene lugar la reacción siguiente con el  $SO_2$ :



Sino que la intervención del dióxido de azufre en estas aleaciones es la siguiente:



a las temperaturas habituales de las fusiones de bronce al aluminio complejos al equilibrio, está desplazándose hacia la derecha. De aquí se deduce que hay que tratar por todos los medios de evitar la presencia de atmósfera que contenga  $SO_2$ , pues tanto la formación de óxido de aluminio, como de sulfuro de aluminio, dan lugar a pérdidas en aluminio.

En este sentido, para la conducción de la fusión y la técnica de su tratamiento es importante

conocer si la carga inicial del horno de fusión se compone exclusivamente de metal nuevo o si se incluye alguna proporción de metal de retorno.

#### Tratamiento de fusión de materiales de cobertura purificadores desoxidantes

**Cobertura.** Una regla general es que todos los bronce se han de proteger durante la fusión.

En los bronce al aluminio complejo se emplean, rara vez, fundentes propiamente dichos (productos para cobertura). Generalmente, para esta misión se aplican productos purificadores es decir mezcla de sales que sean capaces de disolver y combinar óxidos, o bien mezclas que además de la anterior produzcan efectos desgasificantes.

Estas mezclas pueden contener boratos, fluoruros, silicatos, carbonatos y también hidrocarburos clorados. Se puede emplear una mezcla de fluoruro de sodio y cloruro de sodio en partes proporcionales.

Se discute mucho el empleo de cobertura en la fusión de bronce que contiene aluminio. No puede negarse que la piel oxidada natural de una fusión sin fundente de cobertura ejerce una acción protectora del metal líquido, pero también existe el peligro de que ciertas partes de esta piel oxidada pasen al metal fundido, ocasionando impurificaciones adicionales. Los que sostienen que debe fundirse bajo cobertura salina indican que no puede, con ésta, existir penetración de óxidos en el metal, simplemente porque no puede haber  $Al_2O_3$  libre sobre el metal gracias a la acción disolvente de óxidos de fundente empleados.

Los que consideran que no es necesario el empleo de fundentes de cobertura indican que al tratar una piel natural de óxido protectora del metal, aumenta la probabilidad de gasificación del caldo.

Pero si se tiene en cuenta que el hidrógeno, si suponemos el trabajo en hornos de crisol calentados por combustibles, puede penetrar a través del refractario del crisol, sobre todo, si la llama es reductora, habría que concederse la preferencia al trabajo con cobertura en la fusión de bronce al aluminio ya que difícilmente pueden establecerse objeciones a la acción protectora que ejerce, ante todo, si se trata de escoria salina muy fluida.

Solamente en los hornos eléctricos de inducción, la fusión del bronce aluminio con cobertura tiene poco sentido, pues a causa de los movimien-

tos del baño, en ocasiones muy violentas, no resulta posible el mantenimiento de una capa cerrada sobre la superficie, aunque es de esperar que por el movimiento del baño citado (efecto Pinch) penetren óxidos en el seno del metal, se recomienda fundir estas aleaciones sin cobertura en los hornos eléctricos de inducción. Como compensación, una vez alcanzada la temperatura de coladas, ha de concederse una atención mucho mayor a la purificación final.

**Purificación:** La misión principal de los preparados purificadores consiste en escorificar las impurezas metálicas, naturalmente se trata casi exclusivamente de óxido de aluminio, subiéndola a la superficie del baño. Para ello, es necesario que se sumerjan hasta el fondo del crisol u horno, con una campana de inmersión y después de haber desconectado o apagado la fuente de calor. Productos que, adicionalmente contienen hidrocarburos clorados, se desprende en el seno metálico cloro en estado naciente, que elimina el hidrógeno tanto por reacción directa como por disminución de la presión parcial del sistema.

Simultáneamente, produce el cloro acción purificadora sobre otras impurezas no metálicas, por coagular éstas y arrastrarlas a la superficie.

El uso de nitrógeno gaseoso para desgasificar debe ser seco y exento de humedad para evitar la gasificación del metal originado por la concentración de vapor de agua.

**Desoxidación:** En estos tipos de bronce, no se puede aplicar la palabra desoxidación; pues, prácticamente, es muy difícil obtener la reducción de la alumina formada en la fusión. Algunos especialistas señalan que por adición de determinados desoxidantes o de aleaciones especiales para desoxidar no existe una reducción de la alumina, pero tienen la interesante propiedad de globulizar y coagular las finas partículas de óxido de aluminio dispersas en el metal fundido, provocando su ascensión a la superficie donde son atrapadas por la escoria y de esta manera poderse eliminar del metal líquido.

Algunos citan al fósforo pero su adición no es recomendada por disminuir sensiblemente la resiliencia y alargamiento de la aleación a causa de la formación de fosfuros, además aumenta la tendencia a la formación de grietas en las aleaciones.

Se puede emplear desoxidantes preparados a base de boro y manganeso.

Hay productos que teniendo como base el cobre y que contienen generalmente aluminio, manganeso y otros como 0,6% Mn, 2% Mg, 1% Ca, 37% Al, la diferencia será cobre. Con el magnesio puro la sección de limpieza de los óxidos es posible, se puede recurrir al diagrama de Ellingham, relacionando básicamente el valor de la energía libre con la temperatura. Termodinámicamente es posible reducir el óxido de aluminio, utilizando magnesio metálico y formando preferentemente MgO antes que  $Al_2O_3$ .

**Gases:** La influencia de ciertos gases: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, etc., en las propiedades físicas y mecánicas de los metales y aleaciones ha conducido a que se investigue en este campo para explicar y ordenar los fenómenos que acompañan la interacción gas-metal y que sea indispensable en la tecnología de la fundición, un control analítico del contenido de estos gases en los metales. Se han desarrollado, como consecuencia, técnicas más o menos sencillas para manejar los gases en los metales fundidos eliminando o bien reduciendo o aumentando su contenido de ellos.

El gas puede disolverse en el metal, como ocurre con el hidrógeno, que se disuelve prácticamente en casi todos los metales industriales, o puede suceder que el gas no se disuelva. El hecho de que algunos gases no se disuelvan en un metal se aprovecha para extraer de éste los gases que pueda tener disueltos. Ésta es una técnica de desgasificado.

## 2.5. Reacción del metal con el molde

Hay que tener en cuenta la posibilidad de que la aleación colada, o mejor dicho, algunos de los elementos-componentes, de la aleación reaccionen con la humedad del molde. El elemento reaccionante, denominan a este respecto «elemento activo» es muy afín por el oxígeno ya que se encuentra éste libre o combinado, como ocurre con la humedad. En la reacción este elemento se oxida y hace que se desprenda el hidrógeno, posible causante de la porosidad en la pieza fundida.

Para determinar la presencia de gases es necesario hacer ensayos preliminares a la colada, con la finalidad de observar cualitativamente la cantidad de gases que contiene el metal líquido que la llamamos prueba de presión mediante el equipo, ver plano N.º TF-06-83.

Consiste en colar en un crisol metal y esperar unos segundos para que solidifique. Esta prue-

ba se hace en vacío, para impedir la acción de la fuerza de gravedad. Se puede observar:

- Si el metal líquido no contiene gas, la muestra solidificará con un rechupe normal de contracción.
- Si hay gases presentes, aunque sea pequeña la cantidad, la superficie de la muestra será plana o ligeramente abombada.
- Si el contenido de gas es muy grande se formarán burbujas que aflorarán y se romperán durante la solidificación semejante a una coliflor.

La porosidad por gases puede reducir de modo considerable las propiedades de las aleaciones de fundición de base cobre.

En general, las coladas en moldes permanentes son menos afectadas por los gases que las coladas en lenta solidificación en arena.

Los latones de alta tensión y los bronce de aluminio solidifican en un intervalo líquido-sólido muy corto.

### III. ENSAYOS Y PRUEBAS

#### 3.1. Preparación de mezclas de arena de moldeo en laboratorio

Se prepararon muestras de mezclas para moldeo teniendo en cuenta los dos aspectos fundamentales que se recomiendan para las fundiciones de bronce aluminio: la permeabilidad y la humedad, las mezclas que se prepararon tuvieron composiciones que varían dentro de los rangos que se indican:

Material	% en peso
Bentonita	4-8
Mixad-61	0,5
Harina de trigo	1,0
Azúcar	0,5
Humedad	2,0-6,3
Arena Sílice	Balance

Los resultados de los ensayos efectuados a las mezclas propuestas son como siguen:

#### 4% Bentonita

Humedad %	Permeabilidad	Resistencia a la compresión en verde Lb/In <sup>2</sup>
2,0	121	6,2
3,0	196	6,2

#### 5% Bentonita

Humedad %	Permeabilidad	Resistencia a la compresión en verde Lb/In <sup>2</sup>
1,8	251	10,00
2,3	260,5	8,80
3,4	179	6,70
4,7	174,3	8,40

#### 7% Bentonita

Humedad %	Permeabilidad	Resistencia a la compresión en verde lb/in <sup>2</sup> LB/IN LB/IN <sup>2</sup>
2,0	224	16,19
3,0	243	12,20
4,0	235	13,10
5,0	156	12,20
6,0	145	10,20

#### 8% Bentonita

Humedad %	Permeabilidad	Resistencia a la compresión en verde Lb/In <sup>2</sup>
3,9	187	12,30
5,1	203	13,00
6,3	113	10,40

#### 3.2. Composición Química

La composición química de la aleación fundida es la siguiente:

Cobre	76.68
Níquel	6.45
Fierro	5.66
Manganeso	0.86
Zinc	0.53
Aluminio	Balance

### 3.3. Análisis metalográfico

Aleación al estado fundido:

Reactivo de ataque: Persulfato de amonio al 10%.

Estructura: se observa la fase  $\alpha$  (zona clara) y el eutectoide  $\alpha + \gamma_2$  (zona oscura) y las rosetas negras con la fase  $\kappa$ , ver microfotografía N.º 1

Aleación Tratado Térmicamente:

Estado: Templado a 1030 °C

Reactivo de ataque: Cloruro férrico

Estructura: Se observa agujas finas y gruesas de la fase  $\beta$  martensítica, la fase  $\kappa$  ha desaparecido, ver microfotografía N.º 2.

### 3.4. Propiedades mecánicas

	Estado fundido	Tratado Térmicamente
Resistencia a la tracción lb/in <sup>2</sup>	88 130,0	114 409,0
% de alargamiento en 2 pul.	10	13
Dureza Vickers	192	282

### IV. Conclusiones

1. Las mezclas de arenas de moldeo para preparar moldes destinados a piezas fundidas en aleación de bronce al aluminio deberán tener baja humedad y alta permeabilidad. De acuerdo a las pruebas, se debe emplear 7% de bentonita con una humedad de 4%.
2. De acuerdo a los ensayos de laboratorio, las mezclas se preparan con arena sílice lavada; sus características y análisis granulométrico se

presentan en el cuadro «Análisis granulométrico de arena sílice».

3. El tiempo de maxalado debe ser no menor de 5 minutos ni mayor de 10 minutos para obtener los valores óptimos de permeabilidad y resistencia a la compresión en verde, así como una humedad uniformemente distribuida.
4. De acuerdo a las recomendaciones en experiencias con otras aleaciones de cobre se pueden emplear las arenas sintéticas en verde o en seco, según el espesor de la pieza a colar.

Se podría emplear aún las arenas naturales, siempre y cuando cumplan con el mínimo de características mecánicas; en este caso, deben ser arenas naturales que contengan como máximo 10% de arcillas y la presencia de carbonatos u otras impurezas no mayor de 1%.

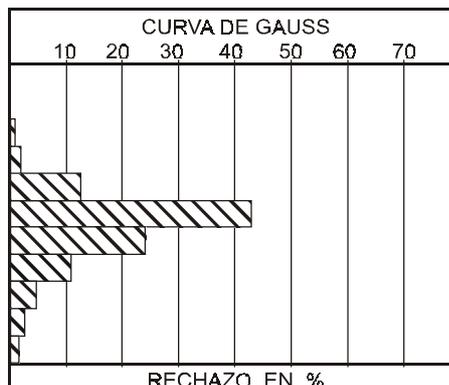
5. Se ha considerado de acuerdo a los análisis efectuados con las muestras ensayados en el laboratorio, que la mezcla que emplearemos en los trabajos de moldeo y colada será la siguiente:

Material	% en peso
Arena sílice	87,00
Bentonita	7,00
Mixad-61	0,50
Harina de trigo	1,00
Azúcar	0,50
Humedad	4,00

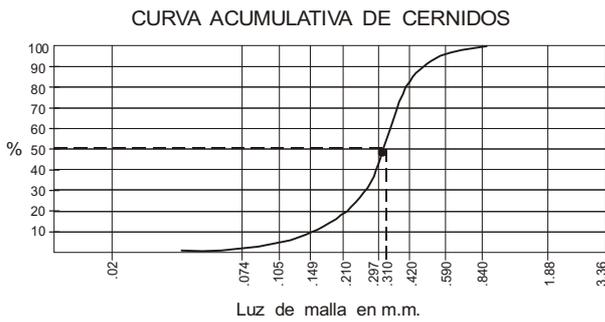
6. Las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción) del material por efecto del tratamiento térmico aumenta en un 30%.
7. El material tratado térmicamente (templado), en la fase  $\kappa$  desaparece formándose una estructura martensítica, lo cual explica una mayor dureza.

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

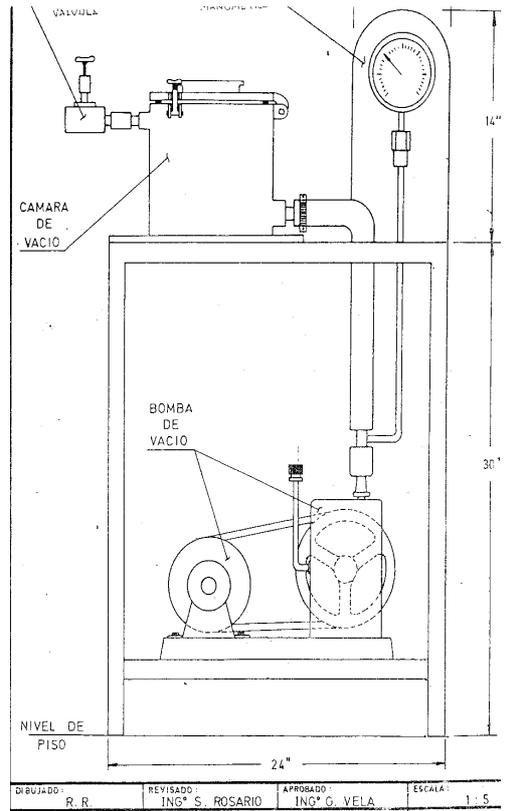
MALLA mm.	RECHAZO %
3.36	—
1.68	—
0.84	0.40
0.59	1.15
0.42	12.60
0.297	42.65
0.21	24.10
0.149	10.70
0.105	4.50
0.074	2.20
FONDOS	1.70
SUMA	100.00



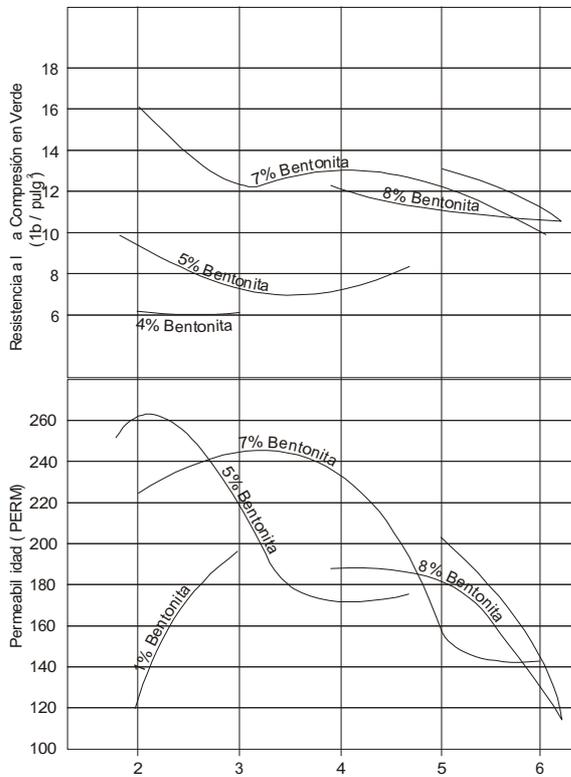
MALLA mm.	Cernidos % acumulados
3.36	—
1.68	100.00
0.84	99.60
0.59	98.45
0.42	85.85
0.297	43.20
0.21	19.10
0.149	8.40
0.105	3.90
0.074	1.70
FONDOS	—



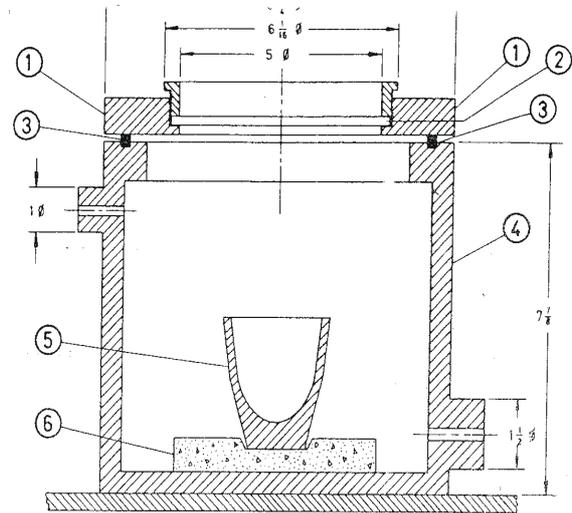
ÍNDICE DE FINURA AFS ..... 52  
 NÚMERO DE TAMICES RECHAZOS .. 90.05%  
 GRAMO MEDIO: 0.31 mm en el 50% de cernidos



**Equipo para prueba en vacío (vista de corte) TF – 06 – 83 UNMSM**



**Influencia de la humedad en la permeabilidad y resistencia de la compresión en verde.**



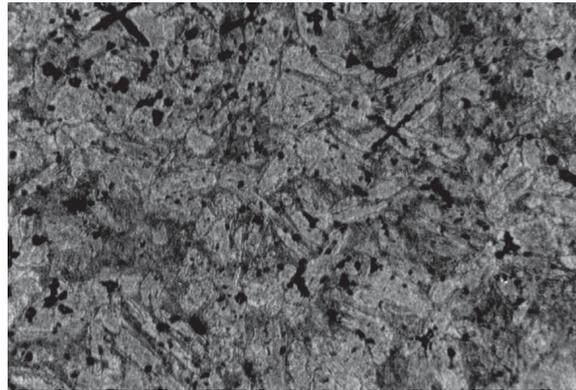
6	BASE DEL CRISOL	MAT. REFRACT.
5	CRISOL	ACERO SAE 1010
4	CAMARA DE VACIO	ACERO SAE 1010
3	EMPAQUETADURA	JEBE
2	LUNA TRANSPARENTE	VIDRIO
1	TAPA DE CÁMARA VACIO	ACERO SAE 100
N.º	DESIGNACIÓN	MATERIAL

DIBUJADO: RR. REVISADO: ING. S. ROSARIO APROBADO: ING. G. VELA ESCALA: 1:2

**Cámara de vacío (vista en corte) TF – 07 – 83 UNMSM,**

## V. BIBLIOGRAFÍA

1. E. Dionicio y colaboradores. Influencia de los microaleantes en la aleación de los bronce, Revista Facultad de IIGMMG, vol. 6 N.º 12, 2003.
2. ITINTEC. (1985) Manual de materiales para la fabricación de arena.
3. A. Lukman, R. W. Smith, M. Saho. (2002) Improved melt conditioning and filtration to improve feeding distance and quality of manganese bronze sand castings, AFS transactions.
4. J. Kershner, G. Wacker, Heat treatment, microstructure and corrosion resistance of aluminum bronze castings, material sciences. Div. Naval Base, EE.UU.
5. H.F. Taylor, M. Fleming. (1962) Foundry Engineering, Ed. Continental.
6. K.E.L Nicholas, CO<sub>2</sub> - Silicate Process in foundries, British Cast Iron Research Association.
7. S. Rosario. (2002) Fundición y moldeo, UNMSM, EAP de Ingeniería Metalúrgica.
8. G. Vela. (1999) Planta de Fundición de Materiales no Ferrosos, Ica.
9. Foseco, Fenotec, Resinas Alcalinas, Brasil (mayo 1997).



**Microfotografía N.º 1**



**Microfotografía N.º 2**