



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "CUAUTITLAN"

"TRATAMIENTOS TERMICOS EN EL COBRE Y DOS DE  
SUS ALEACIONES: LATON C36000 Y BRONCE C52100"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**ALEJANDRO PALOMINO TORRES**

ASESOR: ING. ENRIQUE CORTES GONZALEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Tratamientos térmicos en el cobre y dos de sus aleaciones: latón C36000 y bronce C52100.

que presenta el pasante: Alfredo Palomino Torres.  
con número de cuenta: 8629764-0 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 23 de Septiembre de 1997

PRESIDENTE	Ing. Gloria Villanueva Aguilar	
VOCAL	Ing. Enrique Cortés González	
SECRETARIO	Ing. Jesús García Lira	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Ma. del Pilar Zepeda Moreno	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Sergio Martín Durán Guerrero	

**DEDICATORIAS.**

**A MIS PADRES:**

*Sr. Hermenegildo Palomino González.*

*Sra. Rosa Torres Barrera.*

*Quienes con su apoyo en todo momento y su confianza en mí,  
hicieron posible la realización de esta meta; la cual es solo el  
principio de todas las que están por realizarse.  
a ellos... gracias.*

*LOS ANO.*

**A MIS HERMANOS:**

**GILBERTO, CARLOS SILVERIO, NOÉ LEONARDO,  
ROCÍO DEL PILAR.**

*Quiénes con su ayuda, cariño y comprensión nunca dejaron  
que me rindiera, apoyándome siempre... mis grandes amigos.*

**A HILARIO:**

*Quién siempre ha apoyado a la familia en momentos  
difíciles, a él... gracias.*

**A MIS SOBRINAS:**

**BERENICE, JESSICA, BEATRIZ.**

*Las cuales han brindado grandes momentos de felicidad.*

*Con todo mi cariño.*

**AGRADECIMIENTOS:**

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

*La cual me formo como profesionista, y dio las bases para mi personalidad, permitiéndome ser uno de los que están orgullosos de pertenecer a esta gran familia.*

**A MIS PROFESORES:**

*Quienes invirtieron un momento de su vida, para enseñarme el camino del conocimiento.*

**AL ING. ENRIQUE CORTÉS G.**

*Quién con su apoyo, paciencia y dedicación en este trabajo hizo posible la terminación de esta meta.*

**M. EN I. ENRIQUE CURIEL REYNA.**

*Por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.*

**A MIS AMIGOS:**

*Quienes por todo este tiempo me han brindado su amistad de forma desinteresada.*

**A MIS COMPAÑEROS:**

*Por todo el tiempo que pasamos juntos, para llegar a esta meta.*

*A todos ellos... gracias.*

**INDICE:**

**PAG.**

<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1. ANTECEDENTES.</b>	
1.1 El cobre y sus aleaciones.	4
1.2 Clasificación del cobre y sus aleaciones.	6
1.3 Tratamientos térmicos aplicables al cobre.	8
1.3.1 Recocido de homogeneización.	9
1.3.2 Recocido contra acritud.	9
1.3.3 Recocido para alivio de esfuerzos.	10
1.3.4 Endurecimiento.	10
<b>CAPITULO 2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL COBRE.</b>	
2.1 Generalidades.	13
2.1.1 Características generales del cobre.	13
2.2 Propiedades físicas.	13
2.3 Propiedades mecánicas.	14
2.4 Propiedades químicas.	15
2.5 Tipos de cobre.	15
2.6 Tratamiento térmico.	15
2.6.1 Recocido.	15
2.7 Selección de la temperatura de recocido.	17
<b>CAPITULO 3. TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL LATÓN.</b>	
3.1 Generalidades	21
3.1.1 Características generales del latón.	21
3.2 Clasificación del latón.	22
3.3 Tratamiento térmico de recocido.	26
3.4 Tratamiento térmico de envejecido.	28



**PAG.**

**CAPITULO 4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL BRONCE.**

<b>4.1 Generalidades.</b>	<b>33</b>
<b>4.1.1 Características generales del bronce</b>	<b>33</b>
<b>4.1.2 Clasificación del bronce.</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Tratamiento térmico de recocido.</b>	<b>37</b>

**CAPITULO 5 PRUEBAS EXPERIMENTALES.**

<b>5.1 Preparación de probetas</b>	<b>42</b>
<b>5.2 Análisis de los resultados obtenidos en el cobre</b>	<b>44</b>
<b>Microestructuras (fotografías).</b>	<b>48</b>
<b>5.3 Análisis de los resultados obtenidos en el latón.</b>	<b>49</b>
<b>Microestructuras (fotografías).</b>	<b>52</b>
<b>5.4 Análisis de los resultados obtenidos en el bronce</b>	<b>58</b>
<b>Microestructuras (fotografías).</b>	<b>59</b>

<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>64</b>
----------------------	-----------

**APENDICE.**

<b>TABLA A</b>	<b>ii</b>
<b>"Guía de selección de aleaciones de cobre"</b>	
<b>TABLA B</b>	<b>xii</b>
<b>"Información general de aleaciones de cobre"</b>	
<b>TABLA C</b>	<b>xv</b>
<b>" Escalas de dureza Rockwell"</b>	

## **INTRODUCCIÓN.**

Se sabe que a nivel industrial, la utilización de metales no ferrosos en su forma pura es muy difícil que tengan aplicación práctica alguna, ya que generalmente se utilizan en combinación con otros metales y elementos, es decir, se emplean aleados.

Estas combinaciones de elementos nos dan diferentes propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo a las características que tengan estos elementos, de ahí su importancia en la industria.

El cobre, es el metal no ferroso que se estudia en este trabajo, así como dos de sus aleaciones más comerciales como son, el latón y el bronce fosforoso. El cobre, es uno de los metales que se emplea en forma pura y aleada, otro es el aluminio. Además de todo esto, el cobre es el tercer metal más utilizado en la industria, después del acero y el aluminio.

Este estudio trata básicamente sobre los diversos tipos de tratamiento térmico que pueden ser aplicables al cobre y sus aleaciones: latón y bronce fosforoso. Así mismo se pretende corroborar la literatura que sobre estos existe, ya que aparte de ser muy poca la que hay publicada en español, en muchos casos es contradictoria.

Se escogió el cobre, ya que es un metal muy usado en la industria eléctrica, por sus propiedades físicas y mecánicas; por ser considerado un metal noble a diferencia del aluminio, y por las grandes aplicaciones que se le han encontrado en forma aleada.

El bronce fosforoso y el latón, sirven como marco de referencia para observar los cambios que se tienen en forma aleada ya sean en sus propiedades físicas o mecánicas, así como en su microestructura y como actúa el tratamiento térmico en las mismas.

El tratamiento térmico puede constituir la etapa final o intermedia en la fabricación de piezas y artículos. Es importante saber el lugar que ocupa el tratamiento térmico, para poder evaluar las propiedades físicas y mecánicas del metal o la aleación.

Además el tratamiento térmico tiene como característica principal, el poder realizarse en estado sólido, después de haberse manufacturado una determinada pieza, con lo que se implica que el proceso prácticamente no altera las dimensiones de la misma.

El proceso de cualquier tratamiento térmico se describe de una forma sencilla, pero en el cuál existen muchas variables utilizadas en éste y cada una otorga una gran gama de resultados, y de estos, la selección de características para una finalidad determinada.

Dichas variantes son tan importantes que con una pequeña diferencia en cantidad entre un proceso y otro, pueden dar resultados que no suelen ser comunes

Es importante mencionar que hay un enorme hueco entre las aleaciones ferrosas y no ferrosas en cuanto a información y divulgación de la misma, ya que las aleaciones no ferrosas por tener aplicaciones específicas, no son menos importantes que las aleaciones ferrosas.

**CAPITULO 1****ANTECEDENTES.-**

Todos los ingenieros manejan cotidianamente los metales. Estas sustancias se manufacturan y procesan; con ellas se diseñan y manufacturan componentes o estructuras, se seleccionan y analizan sus fallas, o simplemente se prevé un funcionamiento adecuado de los metales.

Por lo tanto, los ingenieros desean producir y conformar metales que sean económicos y tengan propiedades cada vez mejores.

Los metales y las aleaciones, que incluyen al acero, aluminio, magnesio, zinc, cobre, hierro fundido, titanio, níquel y muchos otros, conforman una gran gama de elementos con los que cuenta el ingeniero hoy en día.

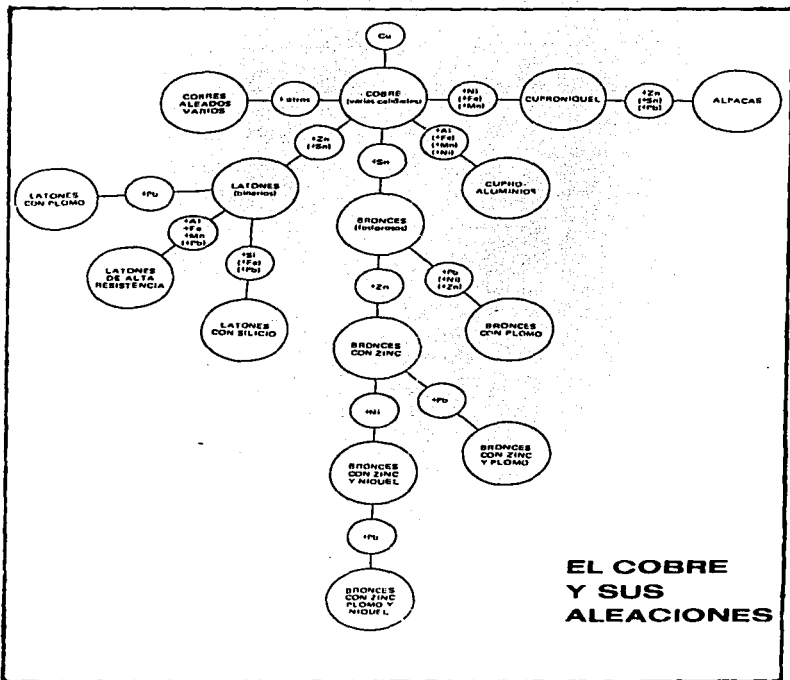
Dadas las propiedades físicas y mecánicas de cada metal, se determina su utilidad. El empleo de sus combinaciones en las determinadas aleaciones, mejora ciertas propiedades deseadas o permite una mejor combinación de los mismos.

El procedimiento de seleccionar un metal, procesarlo para que adquiera una forma útil y obtener las propiedades requeridas, es un proceso complicado en el que interviene el conocimiento de la relación estructura-propiedades-procesamiento.

La esencia de la ingeniería es; primero entender su aplicación, luego establecer las características de un metal ideal y, por último, alcanzar lo óptimo escogiendo los mejores metales disponibles para producir el componente más económico y seguro.

### **1.1 EL COBRE Y SUS ALEACIONES.**

El cobre es un metal conocido y utilizado desde el año 5000 a. de J.C. debido a que se encontraba en estado nativo. Sí, el cobre fue uno de los metales



empleados por el hombre desde los inicios de la historia, no tardaron en desarrollarse importantes aleaciones del mismo, como son los bronce y los latones.

A primera vista es fácil confundirse con la gran variedad de aleaciones de cobre. Durante miles de años los nombres bronce y latón han sido utilizados indistintamente y otros nombres como bronce de cañón, latón de almirantazgo, latón de dorar, bronce al manganeso, etc., han aumentado la confusión.

El cobre es un metal importante en la ingeniería, tanto puro como aleado con otros metales. En su forma pura tiene extraordinarias propiedades para la industria eléctrica como son alta conductividad eléctrica y térmica, resistencia a la corrosión, fácil fabricación, resistencia a la tensión, propiedades aleantes, y características de soldadura y unión en general.

Las aleaciones de cobre tienen una combinación especial de características, sin embargo no pueden servir sin más para todos los usos. Mientras que la dureza y resistencia de otras aleaciones no igualan a la de los aceros más duros, se iniciaron una serie de investigaciones encaminadas a encontrar nuevos tipos de aleaciones de cobre que satisfagan las necesidades de la industria de la electricidad y de la electrónica.

Actualmente, el cobre es el tercer metal, en cuanto a tonelaje de producción y consumo después del hierro y el aluminio a nivel mundial.

### **1.2 CLASIFICACIÓN DEL COBRE Y SUS ALEACIONES.**

El sistema numérico usado para identificar al cobre, sus aleaciones y su composición usado en Norteamérica es el UNS (Unified Numering System). Este

sistema usa la letra "C" como prefijo y cinco dígitos. La tabla siguiente muestra el rango de números que definen la categoría, los elementos de la aleación y el nombre común utilizado para dicha categoría. Es común utilizar ciertos nombres para aleaciones específicas, de acuerdo a su composición (latón 70-30), color (latón amarillo), o a su aplicación (latón de cartuchería). Las aleaciones para fundición tienen su rango numérico a partir del número C80XXX.

ALEACIONES PARA FORJA		
Número	Composición	Nombre común
C10XXX a C19XXX	Cu	Cobre o aleaciones con alto contenido de cobre.
C20XXX a C28XXX	Cu-Zn	Latones.
C31XXX a C38XXX	Cu-Zn-Pb	Latones con plomo.
C55XXX	Cu-P & Cu-Ag-P	Aleaciones fosforosas de cobre.
C60XXX a C644XX	Cu-Al	Bronces de aluminio.
C647XX a C661XX	Cu-Si	Bronces de Silicio.
C664XX a C69XXX	Cu- Zn	Misc. de aleaciones cobre-zinc.
C70XXX a C72XXX	Cu-Ni	Cuproniqueles.
C73XXX a C79XXX	Cu-Ni-Zn	Niqueles plateados.
ALEACIONES PARA FUNDICIÓN		
C80XXX a C82XXX	Cu	Cobre y aleaciones con alto contenido de cobre
C83XXX a C85XXX	Cu-Sn-Zn-Pb	Latones y Latones con plomo.
C86XXX	Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Pb	Bronces de manganeso
C90XXX a C91XXX	Cu-Sn	Bronces de estaño
C92XXX a C945XX	Cu-Sn-Pb	Bronces de estaño con plomo.
C947XX a C949XX	Cu-Al-Fe / Al-Fe-Ni	Bronces de aluminio.
C95XXX	Cu-Sn-Ni	Bronces niquelados.
C96XXX	Cu-Ni-Fe	Cuproniqueles.
C97XXX	Cu-Ni-Fe	Niqueles plateados.
C98XXX	Cu-Pb	Cobres con plomo.
C99XXX	Cu + ?	Aleación especial.



A continuación se listan algunos ejemplos.

Número	Nombre común
<b>Aleaciones para forja</b>	
C10100-C10300	Cobre libre de oxígeno.
C10800	Cobre libre de oxígeno, bajo en fósforo.
C11000	Cobre electrolítico, tough-pitch
C22000	Bronce comercial.
C23000	Latón rojo.
C24000	Latón bajo.
C26900-C27000-C27400	Latón amarillo
C28000	Metal Muntz.
C36500	Bronce arquitectónico.
C46200-C46400-C46700	Latón naval.
C51000-C52100-C52400	Bronce fosforoso.
C61800-C62300-C62500	Bronce de aluminio.
C65100	Bronce con bajo contenido de silicio.
C65500	Bronce con alto contenido de silicio.
C70600	Cuproníquel 10%
C 7100-C71500	Cuproníquel 20%, Cuproníquel 30%.
<b>Aleaciones para fundición.</b>	
C95300-C95800	Fundición de bronce de aluminio.

### **1.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS APLICABLES**

#### **AL COBRE Y SUS ALEACIONES.**

Los tratamientos térmicos aplicables al cobre y sus aleaciones, incluyen el homogeneizado, el recocido, alivio de esfuerzos, tratamiento en solución, endurecimiento por precipitación (envejecimiento), temple y revenido.

### **1.3.1 Recocido de Homogeneización.**

Es un proceso a elevadas temperaturas para eliminar o disminuir la segregación química o metalúrgica, la cual es el resultado natural de la solidificación en algunas aleaciones.

El homogeneizado es aplicado en las aleaciones de cobre para mejorar las condiciones del proceso y para requerimientos específicos de dureza, ductilidad o tenacidad.

El tiempo y temperatura requerida para el proceso de homogeneización, varía de acuerdo a la aleación, el tamaño de grano y el grado de homogeneización deseado. Regularmente el tiempo varía de 3 a 10 hrs. El rango de temperatura está 50°C abajo de la línea de solidus.

Las precauciones normales para la aplicación del recocido, se deben a la homogeneización de alguna aleación en particular. La atmósfera del horno debe ser seleccionada para el control de la oxidación interna y para la superficie del metal.

### **1.3.2 Recocido contra acritud.**

El recocido es un tratamiento térmico pensado para suavizar y para incrementar la ductilidad y tenacidad de los metales y sus aleaciones. El recocido es aplicado a los productos de forja durante y después del proceso de fabricación, así como para las fundiciones. El proceso de calentamiento y enfriamiento y toda descripción del proceso debe incluir: rango de calor, temperatura, tiempo, atmósfera del horno y rango de enfriamiento, ya que todo esto llega a afectar los resultados finales.

Para obtener mejores resultados en el recocido del cobre y sus aleaciones, se deben observar los siguientes puntos: Muestra y ensayo, preparación, efecto del tiempo, oxidación, impurezas, carga, agrietamiento, choque térmico, enfriamiento, entre otras.

### **1.3.3 Recocido para Alivio de esfuerzos.**

El alivio de esfuerzos es un proceso pensado para aliviar los esfuerzos internos de los metales o en partes donde se afectan sus propiedades. Este tratamiento térmico es aplicado a las aleaciones tanto para forja como para fundición.

Durante el proceso de fabricación del cobre y sus aleaciones, al trabajarlos en frío, su fuerza y su dureza se incrementan como resultado de la tensión plástica, ya que la tensión plástica va acompañada de la tensión elástica, los esfuerzos residuales persisten en el producto final.

Si persiste el esfuerzo residual en la superficie puede dar como resultado, el rompimiento del metal por "esfuerzo-corrosión" en almacén o en servicio y una impredecible distorsión del metal durante el corte y el maquinado.

Este tratamiento térmico se aplica generalmente a los latones con 15%Zn o más, bronce de aluminio y silicio, bronce de manganeso entre otras.

### **1.3.4 Endurecimiento.**

Los tratamientos térmicos para endurecer las aleaciones de cobre son de dos tipos en general.

Los denominados suaves, por medio del temple a alta temperatura y endurecimiento por precipitación a baja temperatura y los denominados duros que tienen una reacción directa de tipo martensítico.

Los tipos de endurecimiento por precipitación, y grado de endurecimiento, pertenecen a la gama de endurecimiento por solución en un rango de temperatura bajo e intermedio.

El temple y el revenido se usan primordialmente en bronce de aluminio y bronce de aluminio niquelado ocasionalmente en bronce de manganeso aleado con zinc (del 37% al 41%). Bronces de aluminio con el 9% al 11% Al, así como bronce de aluminio niquelados con 8.5% al 11.5% Al, responden al endurecimiento de tipo martensítico.

Las aleaciones de cobre-zinc con porcentajes de este último que van del 39% al 45% son susceptibles de endurecimiento por temple martensítico, para posteriormente experimentar revenido.

Los bronce que contienen (Cu-Sn) del 15 al 25%Sn, experimentan temple martensítico después de calentarlos a temperaturas del orden de los 750 grados centígrados y enfriarlos al agua. Un revenido posterior calentando entre 200 y 500 grados centígrados, disminuye la dureza y aumenta la tenacidad.

## **CAPITULO 2 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL COBRE.-**

## **2.1 GENERALIDADES**

### **2.1.1 Características generales del cobre.**

Existen muchos tipos y variantes de cobres comerciales, y las diferencias son ligeras o importantes, según el método de producción o las adiciones secundarias de otros metales.

Se puede decir, que el cobre es el más barato y más común de los metales nobles, puesto que se sitúa inmediatamente detrás del platino, oro y plata, lo que explica su insustituibilidad en muchas aplicaciones para las que la resistencia a la corrosión es un factor esencial.

La segunda característica importante del cobre es su conductividad eléctrica, únicamente la plata le supera ligeramente. De aquí se explica el aumento del consumo del cobre a la par con la industria eléctrica. Actualmente alrededor del 50% del consumo del cobre se debe a las grandes empresas dedicadas a producir electricidad.

El tercer factor influye a través de los siglos: el color cálido del cobre, sin equivalente entre los demás metales.

## **2.2 PROPIEDADES FÍSICAS.**

El cobre tiene un color rosa salmón característico que se oscurece con la exposición prolongada al aire. Sin embargo, el aspecto metálico se puede conservar recurriendo a un barniz apropiado. Por otra parte con la exposición prolongada a la intemperie se forma una capa que protege al metal llamada pátina de cobre.

A temperaturas elevadas la conductividad eléctrica del cobre decrece y a bajas temperaturas, por el contrario aumenta, estos valores pueden variar de acuerdo al grado de pureza y proceso de fabricación de cada tipo de cobre.

Generalmente cualquier tipo de cobre tiene una densidad de 8.9 g/cm<sup>3</sup> y su punto de fusión es generalmente el mismo (1083°C), así como su coeficiente de dilatación lineal. El calor específico, la conductividad térmica, la conductividad eléctrica, módulo de elasticidad, su módulo de rigidez, varían de acuerdo al tipo de cobre que se utilice.

Para conocer detalladamente las propiedades físicas de los distintos tipos de cobre, conviene consultar hojas de datos de publicaciones especializadas en el tema. En la tabla 2.1 se localizan algunas de estas.

### **2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS.**

El cobre se caracteriza por la mejoría de sus características a bajas temperaturas, por lo que es ideal en aplicaciones criógenas; en efecto, la resistencia a la tracción y el límite elástico son más elevadas que a temperaturas ordinarias, el alargamiento también aumenta.

A temperatura ambiente existe poca diferencia entre las propiedades mecánicas de los diferentes tipos de cobre, como son resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento, dureza y resistencia a la cizalladura (Tabla 2.2).

Para elevadas temperaturas, las propiedades del cobre se mantienen satisfactorias hasta 150°C ; por encima de este rango las características mecánicas disminuyen rápidamente, y el metal sufre un aumento de tamaño de grano, muy perjudicial para su comportamiento de servicio.

## **2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS.**

Por su posición en la escala electroquímica de los metales, se considera al cobre como un metal "noble", situado inmediatamente después de los metales preciosos: platino, oro y plata. El cobre, por lo tanto es resistente a la atmósfera, incluso contaminada, al agua limpia, y a gran número de agentes químicos, son de temer los ácidos fuertes u oxidantes, el amoníaco y sus derivados, así como el acetileno.

## **2.5 TIPOS DE COBRE.**

Dadas los diferentes tipos de cobre, así como su composición química; estas varían en un rango muy corto por lo que se pueden consultar en la tabla B del apéndice B general al final de este trabajo, al igual que sus diferentes asignaciones, sus correspondientes estándares en los sistemas o normas de clasificación como son: SAE, UNS y ASTM.

Se ha convenido internacionalmente, que una muestra de cobre "puro" tiene la conductividad de 100% IACS (International Annealed Copper Standard) o sea  $58 \text{ m}\Omega\text{mm}^2$ . En realidad algunos cobre muy puros pueden alcanzar 102% IACS.

## **2.6 TRATAMIENTO TÉRMICO:**

### **2.6.1 RECOCIDO.**

El propósito básico del recocido como ya se ha dicho es la recristalización y el ablandamiento del metal, para aplicársele trabajo en frío o bien porque el consumidor así lo requiere. El recocido es utilizado para cambiar el tamaño de grano para un esfuerzo a la tensión requerido, ya que en el recocido del cobre y



sus aleaciones, este esfuerzo está muy ligado al tamaño de grano, salvo en algunas excepciones.

Además el tamaño de grano tiene efecto en la maquinabilidad y en la rugosidad de la superficie del metal. El funcionamiento o funcionalidad del metal después de recibir el trabajo en frío depende de la uniformidad en el tamaño de grano. La uniformidad del tamaño de grano está determinada por el tipo de recocido, horno y método de operación.

Es de señalarse que tal vez la variable más importante que debe controlarse es el tiempo de permanencia; ya que a medida que cambian las condiciones del horno, las dimensiones de este y el metal, el tiempo de permanencia varía considerablemente.

Es útil dividir los efectos de la temperatura en los metales en tres regiones, en orden de temperatura ascendente.

**Recuperación.-** Esta es la gama de temperaturas inmediatamente anterior a la temperatura de recristalización. La dureza y resistencia no cambian mucho durante este período, pero la resistencia a la corrosión mejora.

**Recristalización.-** Cuando la temperatura aumenta por encima del rango de recuperación, se presenta la recristalización. En esta región la dureza y la ductilidad se modifican.

**Crecimiento de grano.-** A medida que la temperatura se eleva aún más, los granos continúan su crecimiento. Se debe añadir que estos tres efectos también dependen del tiempo.

## **2.7 SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE RECOCIDO.**

La temperatura requerida para la recristalización varía según el metal, es aproximadamente de un tercio a un medio de la temperatura de fusión de un metal puro, expresada en una escala absoluta.

Al cobre pueden aplicársele los siguientes tipos de recocido

a) Recocido de estabilización.- Tiene por objeto eliminar tensiones residuales producidas por el maquinado, deformación en frío o en el moldeo de piezas complicadas, sin afectar sus características mecánicas. Se realiza de 150°C a 375°C, durante 1 a 2 hrs, enfriando después al aire.

b) Recocido contra acritud.- Tiene por objeto ablandar el cobre contra acritud que ha sido endurecido por trabajos mecánicos en frío. Se realiza de 375°C a 650°C, debiendo permanecer el metal a la temperatura de recocido durante 1 o 2 hrs.

Se recomienda no rebasar los 650°C, ya que a partir de esta temperatura aumenta el tamaño de grano, lo que si bien no influye mucho en la resistencia mecánica aumenta bastante la ductilidad del metal, lo que en muchos casos es indeseable.

TABLA 2.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COBRE.

Material			Cu Electroilico lenaz	Cu térmico de alta conduc- tibilidad	Cu térmico lenaz	Cu azarito de oxígeno	Cu desoxidado con Nítró con bajo contenido de Nítró residual	Cu desoxidado con Nítró con alto contenido de Nítró residual
Designación			Cu - ETP	Cu - FRHC	Cu - FATP	Cu - OF	Cu - DLP	Cu - DHP
Magnitud	Unidad	Estado (a)						
Densidad	g/cm <sup>3</sup>		8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Intervalo de fusión	°C		1083	1083	1083	1083	1083	1083
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>		0.0000168	0.0000168	0.0000168	0.0000168	0.0000168	0.0000168
Calor específico (20 °C)	cal/g °C		0,0921	0,0921	0,0921	0,0921	0,0921	0,0921
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm / cm <sup>2</sup> s °C		0,94	0,94	0,80 - 0,90	0,94	0,80 - 0,93	0,70 - 0,87
Conductividad eléctrica (volumen a 20 °C)	m/Ω mm <sup>2</sup>	R	58,0 - 58,9	58,0 - 58,9	49 - 55 [1]	58,0 - 58,9	49 - 57	41 - 52 [1]
	% IACS	R	100,0 - 101,5	100,0 - 101,5	85 - 95 [1]	100,0 - 101,5	85 - 98	70 - 90 [1]
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (-100 a +200 °C)	°C <sup>-1</sup>	R	0,00393 (100% IACS)	0,00393 (100% IACS)	0,00393 (100% IACS)	0,00393 (100% IACS)	0,00393 (100% IACS)	0,00393 (100% IACS)
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	R	12000	12000	12000	12000	12000	12000
		F	12000 - 13500	12000 - 13800	12000 - 13800	12000 - 13800	12000 - 13500	12000 - 13800
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	R	4500	4500	4500	4500	4500	4500
		F	4500 - 5000	4500 - 5000	4500 - 5000	4500 - 5000	4500 - 5000	4500 - 5000

R = Recocido  
F = Forjado

[1] . Estados forjado a recocido.  
[2] . 0 - 100 °C

Tabla 2.2 Propiedades mecánicas de los cables a temperatura ambiente.

Material			Cu Electrolítico tenaz	Cu térmico de alta con- ductividad	Cu térmico tenaz	Cu exento de oxígeno	Cu desoxidado con níquel con bajo contenido de níquel residual	Cu desoxidado con níquel con alto contenido de níquel residual
Designación			Cu - ETP	Cu - PNC	Cu - FNP	Cu - OF	Cu - DLP	Cu - DNP
Magnitud	Unidad	Estado						
Resistencia a la tracción	kg./mm <sup>2</sup>	R1	22	22	22	22	22	22
		R2	23 - 24	23 - 24	--	23 - 24	--	--
		F1	27 - 36	27 - 36	27 - 36	27 - 36	27 - 36	27 - 36
		F2	36 - 45	36 - 45	--	36 - 45	--	--
Límite elástico	kg./mm <sup>2</sup>	R1	5	5	5	5	5	5
		F1	18 - 24	18 - 24	18 - 24	18 - 24	18 - 24	18 - 24
Alargamiento	%	R1	48	48	48	48	48	48
		R2	26 - 37	26 - 37	--	26 - 37	--	--
		F1	25 - 6	25 - 6	25 - 6	25 - 6	25 - 6	25 - 6
Dureza brinell		R1	45	45	45	45	45	45
		F1	75 - 150	75 - 150	75 - 150	75 - 150	75 - 150	75 - 150
Resistencia a la tracción	kg./mm <sup>2</sup>	F1	14	14	14	14	14	14
		R1	18 - 20	18 - 20	18 - 20	18 - 20	18 - 20	18 - 20

R1 = estado recocido (chapa y banda). R2 = Estado recocido (alambre). F1 = Estado de laja (chapa y banda). F2 = Estado de laja (alambres).

### **CAPITULO 3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL LATÓN.-**

### **3.1 Generalidades.**

Los latones son aleaciones a base de cobre y zinc, contienen hasta el 48% de este metal y eventualmente, varios otros elementos en pequeñas proporciones.

Según su composición, los latones, pueden ser bien moldeados y trabajados en frío o en caliente. Presentan excelente formabilidad (superior la mayoría de las aleaciones) por todos los procedimientos (estampado, rolado, etc.).

El color agradable de los latones, varía del rosa al amarillo para contenidos crecientes de zinc; su buena resistencia a la corrosión y su aptitud para los tratamientos superficiales permite realizar económicamente objetos de bello aspecto, de larga duración y de fácil mantenimiento.

#### **3.1.1 Características generales del latón.**

Las propiedades físicas, así como también el peso específico de los diferentes tipos de latón, varía de acuerdo al porcentaje de la aleación; esto puede observarse en la tabla 3.1.

El latón es menos resistente que el cobre a la acción de los agentes atmosféricos; pero resiste perfectamente el agua, el vapor recalentado y del agua de mar; sobre todo el latón con constituyente  $\alpha$ . En cambio, resisten mal la acción de los ácidos sulfúrico y clorhídrico.

Las propiedades mecánicas (tabla 3.2) de los latones, varían de acuerdo al porcentaje de la aleación y también al estado mecánico en que se encuentren, ya que los latones deformados en frío, al igual que ocurre con los cobs; son mucho más resistentes que los latones recocidos.

Se consideran elementos que benefician las propiedades mecánicas de los latones: el aluminio, el estaño, el hierro y el níquel. Perjudiciales, el antimonio, arsénico, azufre, bismuto, cadmio, fósforo, magnesio y silicio.

La influencia de los elementos citados, no siempre es beneficiosa o perjudicial, sino que depende de los porcentajes en la aleación y de la presencia de otros elementos que modifique su influencia.

### 3.2 Clasificación del latón.

Fundamentalmente, los latones pueden dividirse en dos clases: latones *ordinarios*, compuestos solo de cobre y zinc, y los latones *especiales*, que contienen además, otros elementos de aleación.

#### CLASES DE LATONES:

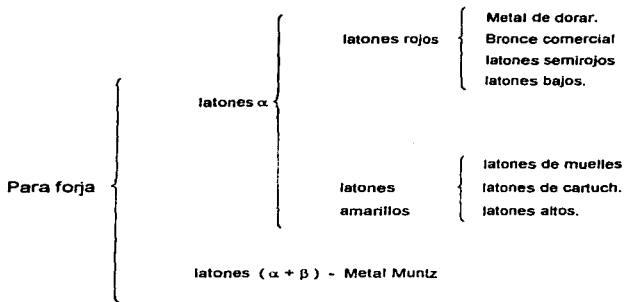
Latones  
**especiales**



Al aluminio.  
Al hierro.  
Al plomo.  
Al magnesio.  
Al estaño.  
Al silicio.  
Complejos.

Los latones ordinarios se clasifican de la siguiente manera.

Para fundición.



De los latones ordinarios hay dos grupos, como puede observarse: los latones para fundición, que contienen pequeños porcentajes de otros elementos, para facilitar su fusibilidad y moldeabilidad. Los latones para forja, tienen mejores propiedades mecánicas y son más importantes; estos se suelen clasificar técnicamente en dos clases según el principal constituyente que lo forme ya sea  $\alpha$  o  $\alpha + \beta$ .

Los latones alfa ( $\alpha$ ), están divididos en dos subgrupos diferenciados exteriormente por su color.



Los latones rojos, tiene distintas propiedades y denominación según el porcentaje de zinc; este suele ir de el 5% al 20% aproximadamente.

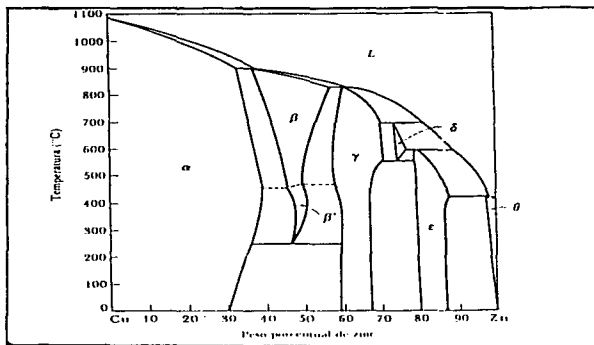
Los latones amarillos, al igual que los anteriores, también tienen diferentes propiedades de acuerdo a su porcentaje de zinc que va de un 25% a un 35%.

Los latones alfa más beta ( $\alpha + \beta$ ), están constituidos por el 36% al 46% de zinc, ya que a temperatura ambiente su constitución es alfa más beta. A temperatura ambiente la fase  $\beta$  es más dura y frágil que la fase  $\alpha$ ; por lo que estas aleaciones son más difíciles de trabajar en frío que las  $\alpha$ . A temperaturas elevadas la fase  $\beta$  adquiere una gran plasticidad y, la mayoría de estas aleaciones puede alcanzar con el calentamiento la región monofásica  $\beta$ , presentando excelentes propiedades para el trabajo en caliente.

Los latones especiales, generalmente ternarios de cobre, zinc y otro elemento como aluminio, níquel, plomo, silicio, berilio, etc.; se fabricaron al principio con la esperanza de obtener latones con características análogas a los bronce, ya que por estar estos formados de cobre y estaño (Cu-Sn) y siendo este último metal caro y difícil de obtener, resultan los bronce de más elevado precio que los latones.

El inconveniente de los latones especiales, es que, su fabricación es muy delicada y exige un control técnico muy riguroso apoyado por un laboratorio bien equipado.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Cobre-Zinc (Cu-Zn).



La temperatura de fusión disminuye regularmente al aumentar el contenido de zinc. El intervalo de solidificación es pequeño, lo que permite tener aleaciones homogéneas. Estas particularidades son indicio de buenas propiedades generales de fundición.

A temperatura ambiente, los latones comerciales, están constituidos por una sola fase  $\alpha$  (alfa) hasta aproximadamente el 35% de zinc y por una mezcla de dos fases ( $\alpha + \beta$ ) para contenidos de zinc superiores a este valor.

La fase  $\alpha$  (alfa) solución sólida de zinc en cobre, existe a cualquier temperatura inferior al solidus y es maleable en frío, al igual en caliente si esta exenta de plomo y mucho más cuando más rica es en cobre.

La fase  $\beta'$  (beta prima), estable a temperatura ambiente, proviene de la fase  $\beta$  (beta), estable a temperatura elevada, por una transformación que se produce hacia los 460 °C. La fase  $\beta$ , es maleable; mientras que la fase  $\beta'$  (beta prima), es dura y frágil.

Por lo que se deduce que los latones monofásicos  $\alpha$  (alfa) se prestan muy bien para ser trabajados en frío o en caliente; por el contrario los latones bifásicos  $\alpha+\beta$  (alfa más beta) deben ser trabajados en la zona donde la segunda fase es maleable.

### **3.3 TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO.**

Como ya se ha dicho, el recocido del cobre y sus aleaciones se efectúa con el objeto de eliminar aquellas desviaciones respecto a la estructura equilibrada que surgieron en el proceso de la solidificación o a causa de la deformación mecánica, o bien como resultado del tratamiento térmico precedente.

En el tratamiento precedente, en primer lugar el grado de deformación en frío y el tamaño del grano conformado durante esta operación, también incide sobre la temperatura de recristalización, de los latones.

El tamaño de grano inicial influye sobre el proceso de recristalización en sentido contrario al que ejerce el aumento de grano de deformación.

En el caso de los latones con un contenido de cobre superior al 63%, su recocido solo tenderá a eliminar diferencias de estructura debidas a una difusión insuficiente.

Al recocer, aleaciones de cobre con un contenido de zinc del 32 al 39% a temperaturas superiores a la de transición  $\alpha \leftrightarrow \alpha+\beta$ , se precipita la fase beta ( $\beta$ ),

lo que provoca la irregularidad en el crecimiento de grano, por lo que es preferible que

el recocido de tales aleaciones se efectúe a temperaturas que no superen la línea de equilibrio  $\alpha \leftrightarrow \alpha + \beta$  del sistema Cu-Zn.

La calidad del material recocido queda definida no solo por sus propiedades mecánicas, sino también por el tamaño de grano recristalizado. El tamaño de grano en una estructura por entero recristalizada es bastante homogéneo.

A medida que aumentan las dimensiones del grano hasta cierto límite, los latones se estampan mejor pero empeora la calidad de la superficie.

Las etapas de evolución de la estructura deformada transcurren en un tiempo prolongado, por eso se hace posible obtener una estructura recristalizada parcial o totalmente con el grano fino manipulando con el tiempo de recocido la estructura.

El recocido para disminuir las tensiones residuales se ejecuta dentro de un intervalo de temperaturas inferiores a la temperatura en que comienza la recristalización, con el fin de no reducir de manera notable las propiedades mecánicas adquiridas por acritud. Por lo general dicho intervalo se encuentra entre 250 y 330 °C, y el tiempo del recocido oscila entre 1 y 2 hrs.; este tipo de operación reduce considerablemente las tensiones residuales y como regla las nivela.

El recocido contra acritud tiene por objeto ablandar el material endurecido por deformación en frío. Se realiza a temperaturas comprendidas entre 425 y 650 °C, según el porcentaje de zinc, con permanencia de 1 a 2 hrs. y enfriamiento a la atmósfera.

Este tratamiento se aplica exclusivamente a los latones alfa ( $\alpha$ ), ya que los latones alfa más beta ( $\alpha + \beta$ ) no se acostumbran a deformar en frío.

En lo que respecta al recocido de homogeneización, se utiliza para homogenizar o igualar la estructura y la composición química; se realiza a temperaturas comprendidas entre 700 y 800 °C, durante 2 o 3 hrs., con enfriamiento lento dentro del horno.

### 3.4 TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENVEJECIDO.

Los procedimientos de que actualmente se dispone para mejorar la resistencia y la dureza de una aleación dada, son principalmente: La deformación o trabajo en frío y el tratamiento térmico. De ellos el más importante en el caso de las aleaciones no ferrosas es el tratamiento térmico conocido como envejecido.

Para que se produzca el fenómeno de envejecimiento, el tratamiento térmico debe constar por lo general de dos fases: calentamiento y enfriamiento.

La temperatura de calentamiento oscila entre los 700 y 800 °C a esta temperatura el exceso de fase beta ( $\beta$ ), se disolverá y quedará constituida una solución sólida alfa ( $\alpha$ ) homogénea. Una vez en este estado la aleación se enfría rápidamente por inmersión en agua fría o mediante agua rociada (se temple), la solución sólida con exceso de fase beta ( $\beta$ ) quedara retenida a la temperatura ambiente.

La aleación en estado de temple esta constituida por una solución sólida sobresaturada en condición metaestable, por lo que el exceso de soluto tendera a precipitarse.

Las aleaciones en las que esta precipitación es espontánea a la temperatura ambiente, alcanzando el máximo de resistencia al cabo de 4 o 5 días se denominan aleaciones de envejecimiento natural.

Por el contrario, las aleaciones que adquieren el máximo de resistencia tras un calentamiento a temperaturas elevadas se denominan envejecimiento artificial. En este proceso los latones templados se calientan de 150 a 300 °C para que se precipite el ZnCu.

Este tratamiento térmico se aplica a los latones con el 25 a 35% de zinc, es decir, a los latones amarillos.

Otro tratamiento térmico, para que el material adquiriera una mayor dureza es el temple martensítico, el cual se realiza únicamente en los latones alfa más beta ( $\alpha + \beta$ ), los cuales al enfriarlos bruscamente desde temperaturas similares a las del tratamiento de homogeneización ( 700 a 800 °C), quedan constituidos por las aleaciones alfa más beta prima ( $\alpha + \beta'$ ) en lugar de alfa más beta ( $\alpha + \beta$ ).

Esta constitución anormal endurece el material, que puede revenirse para disminuir su dureza, mejorando su tenacidad, al igual que sucede con los aceros templados.

Tabla 3.1. Propiedades físicas de los latones.

Designación		CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn26-30	CuZn33	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad								
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,85	8,80	8,75	8,65	8,55	8,50	8,45	8,40
Intervalo de fusión	°C	1055 - 1070	1025 - 1045	1000 - 1025	970 - 1010	910 - 945	902 - 940	902 - 940	895 - 900
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000017	0,000018	0,000018	0,000018	0,000019	0,000019	0,000019	0,000020
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm / cm <sup>2</sup> s °C	0,84	0,45	0,38	0,33	0,29	0,29	0,30	0,30
Conductividad eléctrica (volumen a 20 °C)	m/Ω mm <sup>2</sup>	R	32	26	21	19	16	16	16
	% IACS	R	54	44	37	32	28	28	26
Coeficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 100 °C)	°C <sup>-1</sup>	R	0,0023	0,0019	0,0016	0,0015	0,0015	0,0016	0,0017
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg./mm <sup>2</sup>	R	13000	12700	12400	12100	11700	11400	11100
	F		12300 - 13000	12000 - 12700	11400 - 12400	10400 - 12100	9900 - 11700	9700 - 11400	9700 - 11100
Módulo de rigidez (20 °C)	kg./mm <sup>2</sup>	R	4750	4450	4550	4400	4150	4050	4000
	F		4500 - 4750	4400 - 4450	4300 - 4550	4150 - 4400	3100 - 4150	3400 - 4050	3550 - 4000

R = estado recocido.

F = Estado de brisa.

Tabla 3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ALAMBRES A IMPRIMIRIA AMMERT (PRODUCTOS PLANOS).

Designación			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn28-30	CuZn33	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad	Estado								
Resistencia a la tracción	kg./mm <sup>2</sup>	R	27	28	31	32	35	35	33	35
		F	34 - 43	32 - 40	34 - 40	42 - 57	38 - 40	43 - 72	40 - 44	43 - 72
Límite elástico	kg./mm <sup>2</sup>	R	10	10	13	13	14	13	13	13
		F	24 - 36	25 - 42	25 - 42	30 - 48	23 - 58	28 - 42	25 - 58	28 - 42
Alargamiento	%	R	45	48	40	51	50	55	50	55
		F	20 - 4	30 - 5	30 - 10	50 - 5	35 - 2	38 - 2	35 - 2	38 - 2
Dureza brinell		R	45	40	80	80	70	75	70	75
		F	85 - 120	75 - 125	85 - 135	115 - 155	115 - 195	120 - 205	115 - 195	120 - 205
Resistencia a la cizalladura	kg./mm <sup>2</sup>	R	20	21	23	24	70	75	70	75
		F	24 - 24	22 - 29	24 - 31	29 - 32	115 - 195	120 - 205	115 - 195	120 - 205

R = estado recocido.

F = Estado de forja.



## **CAPITULO 4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL BRONCE.-**

#### **4.1 Generalidades.**

En un principio, los auténticos bronce son aleaciones de cobre y estaño, con contenidos, que varían de este último entre el 2 y 20%. En un mayor porcentaje se encuentra únicamente en bronce especiales, tales como los de campana. Estas aleaciones contienen con frecuencia otros elementos, tales como fósforo, zinc, níquel y plomo.

##### **4.1.1 Características generales del bronce.**

Los bronce con hasta 5% de estaño, son rosados; con contenido más alto toman un tono dorado, cada vez más oscuro hasta el 15% de estaño y empalidecen con contenidos más altos.

Es notable la excelente combinación de conductividad eléctrica y pequeño módulo elástico, ya que además, su resistencia a la corrosión es generalmente muy buena y también son amagnéticos. Sus propiedades físicas pueden observarse en la tabla 4.1.

Las características mecánicas de los bronce aumentan con el contenido de estaño, es de mencionarse que el compuesto "δ" no depende solamente del contenido de estaño, sino también del tratamiento térmico aplicado. En particular, el temple crea un aumento de porcentaje de compuesto "δ".

Las características mecánicas son susceptibles de variaciones bastante grandes, por lo que los valores de la tabla 4.2 se deben considerar únicamente como orientativos.

#### 4.1.2 Clasificación del bronce.

Los bronce pueden clasificarse en dos grandes grupos similares a los de los latones. Bronces ordinarios y bronce especiales. Los bronce ordinarios están compuestos por cobre y estaño. Los bronce especiales, son aleaciones de cobre y otros elementos, recibiendo la denominación por el metal que sirve para dicha aleación.

Bronces ordinarios

{  
Bronce.  
Bronces fosforosos.  
Bronces rojos.

Bronces especiales

{  
Bronces de aluminio.  
Bronces de magnesio.  
Bronces de níquel.  
Bronces de plomo.  
Bronces de silicio.  
Bronces de berilio.  
etc..

Como bronce ordinarios se agrupan a las aleaciones cobre-estaño, teóricamente compuestas solo de estos dos metales. En la practica sin embargo,

esto solo se cumple en las aleaciones denominadas simplemente bronce., ya que los bronce fosforosos y los bronce rojos contienen porcentajes de otros elementos tan pequeños, que entran casi en la categoría de impurezas que en la de elementos de aleación.

#### Bronces.

Los dos tipos más empleados de bronce son: el bronce de medallas, de 5 a 8% de estaño; tiene excelentes cualidades de moldeo y resistencia a la corrosión. El bronce de cañón de 8 a 12% de estaño, contiene muy buena resistencia a la corrosión y más elevadas características mecánicas que el bronce de medallas.

#### Bronces fosforosos.

Son bronce ordinarios que han sido desoxidados con fósforo. El fósforo queda en la aleación de un 0.03 a un 0.25%, este elemento aumenta la fluidez del metal fundido, y por tanto, aumenta la facilidad de colada de las piezas finas y produce fundiciones mas sanas. Los bronce fosforosos son, por lo tanto, de más alta calidad que los bronce ordinarios sin fósforo.

Los porcentajes de estaño que contienen son los mismos que los bronce sin fósforo: de 4 a 12%, según sus aplicaciones.

#### Bronces rojos.

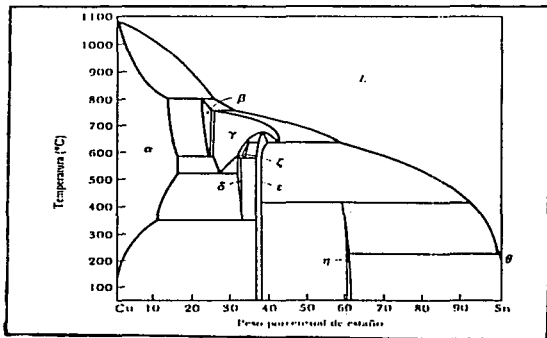
Son bronce ordinarios del 5 al 15% de estaño, y además con pequeñas cantidades de zinc y plomo. La fusibilidad de estos bronce es superior a la de los bronce fosforosos y su mecanización mas fácil, por el contenido de plomo, lo cual, tiene importancia cuando se trata de fabricación de piezas en serie. La estructura de estos bronce no resulta tan fina como la de los bronce fosforosos,

cuando estos se moldean por el procedimiento ordinario; pero en la fundición centrífuga esta resulta tan fina y exenta de poros y uniforme como en los bronce fosforosos. Por todas estas razones, los bronce rojos que son mas baratos, sustituyen a los bronce fosforosos en muchas aplicaciones.

#### Bronces especiales.

Estos poseen básicamente las características de conductividad tanto calorífica como eléctrica, de los bronce; así como la resistencia a la corrosión. Según que elementos se les adicione, tienen propiedades muy específicas en cada caso.

**DIAGRAMA DE EQUILIBRIO COBRE-ESTAÑO (Cu-Sn)**



Para comprender mejor las propiedades de los bronce, es necesario comprender el diagrama de fases. En él se observa una fase  $\alpha$  maleable, en caliente y en frío.

Con alto contenido de estaño aparece una segunda fase  $\delta$  dura y frágil; esta fase es la que da su sonoridad característica a las campanas.

Se entiende entonces que, teóricamente, los bronce para forja no pueden contener más del 15 o 16% de estaño, para evitar la aparición de la fase  $\delta$ . En la práctica su contenido de estaño no sobrepasa el 10%.

La fase  $\delta$  se transforma por calentamiento en una fase  $\gamma$  (estable por encima de los 520 °C) que, a su vez, se transforma en fase  $\beta$  (por encima de los 586 °C). El eutéctico  $\alpha+\delta$  se llama comúnmente "compuesto  $\delta$ " probablemente por su gran riqueza en fase  $\delta$ .

#### **4.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO.**

Los tratamientos térmicos que pueden aplicársele al bronce, son similares a los que ya hemos visto para los latones; recocido de estabilización, recocido contra acritud y recocido de homogeneización.

Como ya se ha dicho, el recocido de estabilización, tiene por objeto eliminar las tensiones residuales producidas por el mecanizado, deformación o moldeado de piezas complicadas. Se realiza a temperaturas entre 150 a 300 °C, durante 1 o 2 hrs., con enfriamiento posterior al aire.

El recocido contra acritud se realiza, cuando los bronce han sufrido alguna deformación en frío. Las temperaturas recomendadas para este tratamiento

térmico oscila entre 475 a 675 °C, de acuerdo a la cantidad de estaño; y de 2 a 4 hrs. con enfriamiento posterior al aire.

En cuanto al recocido de homogeneización, éste se realiza a las piezas moldeadas que han de sufrir una transformación mecánica posterior ya sea en frío o en caliente. Como ya se dijo, el objeto de este recocido, es, destruir la heterogeneidad química y estructural producida por segregaciones en el curso de la solidificación. Este recocido, se realiza, sobre todo, con los bronce ordinarios y especialmente en los que contienen del 8 al 12% de estaño, a temperaturas comprendidas entre los 700 a 750 °C, durante un rango de tiempo comprendido entre 1 y 2 hrs., con enfriamiento lento en el horno.

Con este proceso se ablandan también los bronce que han sido templados.

El trabajo en frío, como son las operaciones de estampado, laminado, doblado y embutido; tiene la cualidad o característica de que los bronce al tener en su estructura una sola fase  $\alpha$ , adquieran dureza, cuando no es posible endurecerlos de otra forma.

El temple y el revenido, se realiza a los bronce ordinarios con un contenido del 15 al 25% de estaño; al igual que ocurre con los aceros; el temple aumenta la dureza y disminuye la tenacidad y el revenido disminuye la dureza y aumenta la tenacidad. También pueden tratarse térmicamente y endurecerse por una transformación de fases; pueden requerirse intervalos de tiempo variables entre las 15 y 25 hrs., debido a la lenta velocidad de la transformación.

TABLA 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS BRONCES ( BRONCES POLIOMEROS ).

Material		CuSn2	CuSn4	CuSn5	CuSn6	CuSn8	CuSn10
Magnitud	Unidad						
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,9	8,86	8,85	8,80	8,80	8,80
Intervalo de fusión	°C	1000-1080	950-1070	930-1040	900-1050	840-1040	830-1020
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm / cm <sup>2</sup> s °C	0,36-0,55	0,15-0,28	0,15-0,23	0,11-0,15	0,11-0,14	0,10-0,12
Conductividad eléctrica (volumen a 20 °C)	m/D mm <sup>2</sup>	15 - 29 (a)	8,7 - 15	7,5 - 10	4,4 - 8,7	5,8 - 8,1	5,8 - 7
	% IACS	25 - 50 (a)	15 - 25	13 - 18	11 - 15	10 - 14	10 - 12
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 20 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,0013 - 0,0021 (a)	0,0007 - 0,0013	0,0007 - 0,0009	0,0004 - 0,0007	0,0004 - 0,0007	0,0004
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	12.800	11.200 - 12.200	10.800 - 12.400	9.000 - 12.000	9.000 - 11.400	8.400 - 11.000
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	4.400	4.150 - 4.800	4.000 - 4.400	3.300 - 4.500	3.300 - 4.200	3.100 - 4.100

(a) Dentro del intervalo de composición indicado, el contenido de estaño influye notablemente sobre la conductibilidad y la resistividad eléctrica.



Tabla 4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS BRINCES BIRANOS A TEMPERATURA AMBIENTE .

Material			CuSn2	CuSn4	CuSn5	CuSn6	CuSn8	CuSn10
Magnitud	Unidad	Estado						
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	20	33	35	37	42	45
		F	34 - 53	40 - 64	43 - 72	45 - 80	50 - 85	70 - 88
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	11	13	13	15	17	19
		F	23 - 50	25 - 58	28 - 42	32 - 74	40 - 82	64 - 85
Alargamiento	%	R	45	50	55	60	65	65
		F	25 - 3	35 - 2	38 - 2	35 - 2	32 - 1	17 - 1
Dureza brinell		R	40	70	75	80	85	95
		F	90 - 150	115 - 195	120 - 205	130 - 225	150 - 240	195 - 245
Resistencia a la cizalladura	kg/mm <sup>2</sup>	R	21	25	24	26	31	33

R = Recocido

F = Estado de forja

**CAPITULO 5****PRUEBAS EXPERIMENTALES.-**

En este capítulo se hace el análisis de los resultados de los diferentes tratamientos térmicos aplicados al cobre, latón de alta maquinabilidad y bronce fosforoso, cabe destacar que estos metales son los que más comúnmente se venden en las tiendas de metales, es decir, son metales muy comerciales. También se ven los resultados de las diferentes pruebas mecánicas aplicados a estos.

Como ya se explicó en capítulos anteriores el tipo de tratamiento térmico, así como las características principales de cada uno, únicamente se hará hincapié en los resultados obtenidos.

En lo que respecta a la prueba de impacto y de dureza, solamente se observa la información básica; Así como la secuencia de pasos para la obtención de los resultados.

### 5.1 Preparación de probetas.

Cada una de las probetas para la observación metalográfica, y la prueba de dureza se hizo por duplicado para cada uno de los diferentes metales estudiados. Para la preparación de las probetas se siguieron los pasos enumerados a continuación.

- a) Corte de la probeta; por ser metales suaves, la sección se obtuvo por corte manual (arco y sierra de diente fino).
- b) Desbaste de la probeta; con lijas de agua (de los números 150, 340, 360, 400, 500, 600) como abrasivo y una película de agua para evitar la deformación de la microestructura de la probeta por medio del calentamiento por fricción; hasta quedar con una superficie homogénea.

c) Pulido mecánico, por medio de una pulidora de velocidad variable, con paño de billar en el plato y como abrasivo, una solución de óxido de aluminio y agua destilada conocida con el nombre de "alumina".

d) Ataque químico, este se realizó con la siguiente solución como reactivo para hacer visibles las características estructurales del metal, 30 ml de HCl, 10 ml de  $FeCl_3$ , 120 ml de  $H_2O$ . La solución fue aplicada por medio de un algodón impregnado a temperatura ambiente, frotando durante 2 o 3 segundos y posteriormente enjuagada en agua corriente y secada con un paño muy suave y protegida con algunas gotas de alcohol para evitar su oxidación.

Observación de la microestructura mediante un microscopio metalográfico con un ocular de 10x y objetivos de 5x, 10x, y 40x. Discusión de la microestructura observada.

f) Fotografías.

#### Dureza.

A los referentes a la prueba de dureza, se aplicó la prueba denominada resistencia a la indentación; la cual consiste en imprimir en la probeta, la cual está en reposo sobre una plataforma rígida un marcador o indentador de una geometría determinada bajo una carga estática conocida, la cual se aplica directamente o por medio de un sistema de palancas.

El valor de la dureza obtenida en una prueba determinada sirve solo como comparación entre los metales o tratamientos.

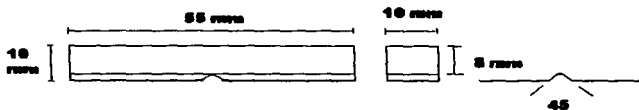
Para este trabajo se utilizó la prueba o ensayo Rockwell, utilizando la escala "F", la cual tiene una carga de 60 Kg. y un indentador o marcador tipo bola de 1/16".

En el apéndice, tabla C se pueden observar las diferentes escalas de dureza Rockwell y la condición del metal que corresponde a cada una.

### Prueba de Impacto.

La prueba de impacto (Charpy), sirve como auxiliar para observar la variación de la tenacidad del metal debido al tratamiento térmico recibido. Se aclara que la prueba de impacto indica la tenacidad relativa de un determinado metal, ya que su comportamiento esta en función de una muesca en particular.

Las características de las probetas utilizadas en esta prueba se ilustran a continuación. Para esta prueba se utilizaron cuatro probetas de cada tratamiento térmico de cada uno de los metales tratados.



### 5.2 Análisis de los resultados obtenidos en el cobre.

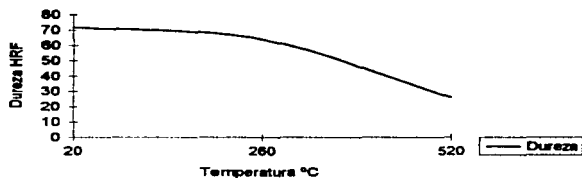
Para la realización de este trabajo se utilizó cobre electrolítico tough-pitch, con número C11000 en el sistema UNS.

En la tabla 5.2.1 se observan las diferentes pruebas, así como los resultados arrojados por las mismas.

Cobre Electrolítico Tough-Pitch C11000  Barra de 1/2" de Ø	TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	TIEMPO (hrs).	ENFRIAMIENTO	DUREZA HRF	TENACIDAD J/cm <sup>2</sup>	
	Sin tratamiento térmico (como se vende en la casa de metales)	Ambiente (21 °C)				72	166
	Recocido de Estabilización	260	1:30	Enfriamiento a la atmósfera	64	160	
	Recocido contra acritud	520	1:30	Enfriamiento a la atmósfera.	26	130	

Al gráficar los resultados de la dureza obtenida en cada uno de los diferentes tratamiento térmico a los que fue sometido el metal con respecto a la temperatura de los mismos se obtienen las siguientes gráfica.

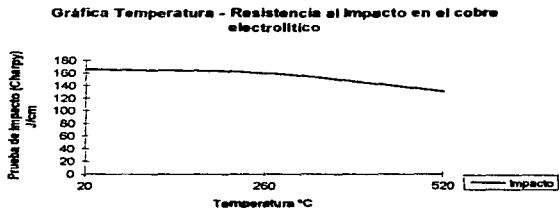
Gráfica Temperatura - Dureza en el cobre electrolítico



En esta gráfica se observa, que a mayor temperatura del tratamiento térmico de recocido, menor es la dureza del metal en este caso, el recocido de estabilización

nos proporciona la mayor dureza; mientras que el recocido de homogeneización nos da la menor dureza, con lo cuál el metal más suave puede ser sometido a un trabajo en frío mayor que el más duro; pero este criterio se aplica de acuerdo al requerimiento de la aplicación del metal.

En la siguiente gráfica se ve la relación que existe entre la temperatura con respecto a la energía que puede absorber el metal antes de sufrir una fractura total. Para este hecho se aplico el ensayo de impacto de Charpy.

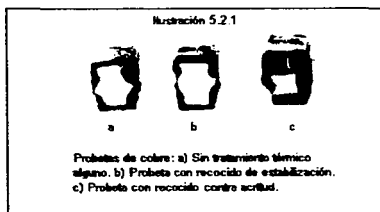


En esta gráfica se observa que a mayor temperatura, la energía absorbida por la probeta de cada tratamiento térmico es menor. Con lo cuál se diría que a mayor temperatura menor es la energía absorbida por el impacto; de no ser por un detalle que se enuncia a continuación.

La probeta de cobre electrolítico sin tratamiento térmico alguno, absorbió una mayor cantidad dado que tenía un trabajo en frío, aunado a esto hay que recordar que el cobre tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en estado puro como la mayoría de los metales. El punto es que sufrió una fractura parcial, no total, como se hubiera deseado.

La probeta que fue sometida al tratamiento de recocido de estabilización, por este hecho se suavizo como se observa en la prueba de dureza, por lo cual al ser más suave que la probeta anterior se dobla con más facilidad por lo que al llegar a la lectura determinada se deslizo por el hueco de la maquina de impacto, sin llegar a fracturarse totalmente; sufre al igual que la probeta anterior una fractura parcial.

En lo referente a la probeta que fue sometida al tratamiento térmico contra acritud, obviamente es una probeta más suave que las anteriores, por lo cual, al llegar a una lectura determinada más baja que las anteriores lecturas, se dobla y sale por el hueco formado por el yunque de la máquina y la base de apoyo de las probetas. Al igual que las probetas anteriores sufre fractura parcial, aunque en menor grado como se observa en la ilustración 5.2.1.



Obsérvese en la figura anterior, la parte en blanco de cada muestra es el área de fractura; viéndose una menor área en la probeta con recocido contra acritud debido a que el metal es muy suave, en las otras dos probetas se observa un área similar de fractura, esto debido a que ambas tienen casi la misma o parecida resistencia al impacto. Todas las probetas tienen fractura dúctil, debido a que es un metal suave en general.



**MICROESTRUCTURAS.**

Fotografía 1: Microestructura del cobre electrolítico sin tratamiento térmico a 100x



Fotografía 2: Microestructura del cobre electrolítico con recocido de estabilización a 100x



Fotografía 3 : microestructura del cobre electrolítico con recocido contra acritud a 100x

En las fotografías anteriores que muestran las diferentes microestructuras del metal debido a los diversos tratamientos térmico a los que fue sometido.

Se observa un crecimiento de grano en lo que es el tratamiento de estabilización con respecto al cobre que no tiene tratamiento térmico alguno, de ahí que el metal sea más tenaz y más suave.

A lo que toca al tratamiento contra acritud en comparación con el tratamiento de estabilización; el tamaño de grano es más pequeño, pero al igual más homogéneo en todas sus direcciones, de ahí que sea más suave pero a la vez mucho más tenaz que los anteriores, con lo cual se logra que sea sometido a un mayor trabajo en frío; obviamente este dependerá de la aplicación que tendrá el metal.

### **5.3 Análisis de los resultados obtenidos en el latón.**

El latón que se estudió en este trabajo es el denominado latón de alta maquinabilidad, cuyo número en el sistema UNS es C36000.

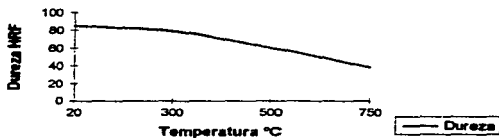
En la tabla 5.3.1 se observan las diferentes pruebas, así como los resultados arrojados por las mismas.

Al igual que con el cobre se hace el análisis para el latón de alta maquinabilidad junto con sus gráficas correspondientes en lo que a dureza y tenacidad se refiere, estos dos propiedades con respecto a la temperatura del tratamiento térmico recibido por cada una de las probetas.

Latón C36000 Barra de 1/2" de Ø	TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	TIEMPO (hrs).	ENFRIAMIENTO	DUREZA HRF	TENACIDAD µcm <sup>2</sup>	
	Sin tratamiento térmico (como se vende en la casa de metales)	20				85	23
	Recocido para Tensiones residuales	300	1:30	Enfriamiento lento dentro del horno.	79	23	
	Recocido contra acritud	500	1:30	A la atmósfera	60	53.5	
	Recocido de Homogeneizació n	750	2:30	Enfriamiento lento dentro del horno.	38	69	
	Endurecimiento por envejecimiento.	750	2:00	Enfriamiento brusco con agua	89	60	

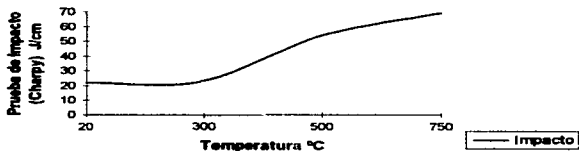
En lo que a dureza se refiere en el latón de alta maquinabilidad con respecto a la temperatura; esta tiene un comportamiento similar al que mostró el cobre, es decir, a mayor incremento en el recocido de tensiones residuales, contra acritud, y de homogeneización de la temperatura, la dureza tiende a hacerse más pequeña. Esto puede observarse en la siguiente gráfica.

Gráfica Temperatura - Dureza en el latón de alta maquinabilidad



El lo que a tratamientos térmicos de endurecimiento se refiere; solamente se aplicó el tratamiento de envejecimiento natural; obteniéndose una dureza mayor, inclusive antes de la que tenía el metal, al ser tratado. En este caso no se puede hacer la comparación con los otros tratamientos térmicos, ya que los recocidos sirven para hacer más suave el metal, mientras que este tratamiento sirve para endurecerlo.

**Gráfica Temperatura - Resistencia al Impacto en el latón de alta maquinabilidad**



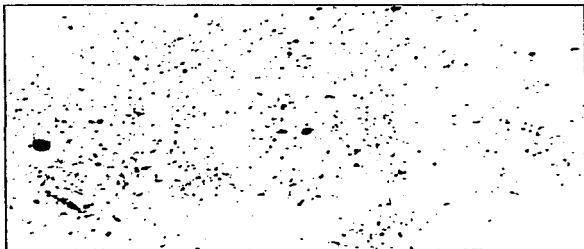
En la gráfica anterior se observa el comportamiento de la tenacidad relativa medida en la prueba de impacto Charpy, correspondiente al latón de alta maquinabilidad con respecto a la temperatura del tratamiento térmico..

Se deduce que a mayor temperatura aumenta la resistencia a la fractura, dándonos como resultado un metal tenaz. En cuanto al tratamiento térmico que nos da un metal más tenaz es el de recocido de homogeneización, seguido del recocido contra acritud, posteriormente el recocido para tensiones residuales. y por último el latón sin tratamiento térmico.

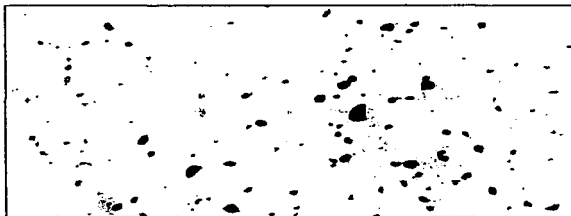
Refiriéndonos al tratamiento térmico de envejecimiento natural sucede algo muy curioso, ya que, la dureza aumenta con este tratamiento, pero su resistencia al impacto, es decir su tenacidad es muy parecida al del tratamiento de recocido contra acritud. Cuando se esperaba que su tenacidad fuera menor a la presentada.

Al igual que en el cobre la utilidad del tratamiento térmico elegido, sirve solamente para la aplicación específica del metal.

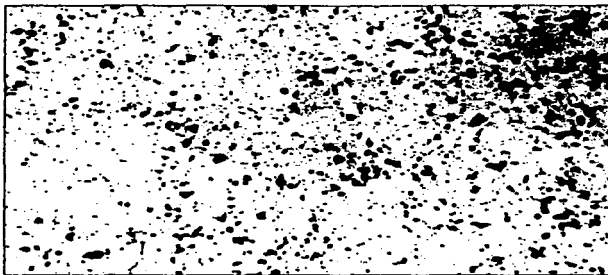
### MICROESTRUCTURAS.



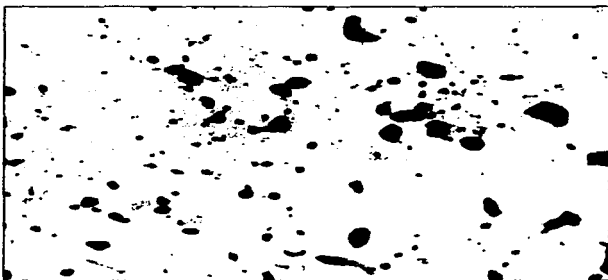
Fotografía 4: Microestructura del latón de alta maquinabilidad sin tratamiento térmico a 100x.



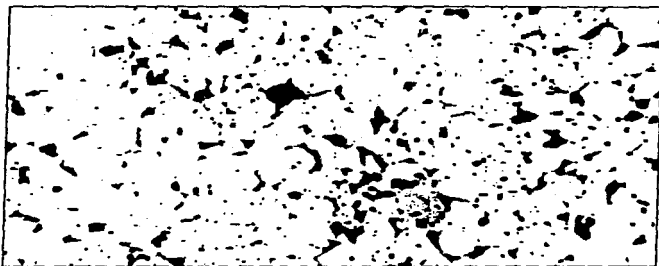
Fotografía 5: Latón de alta maquinabilidad sin tratamiento térmico a 400x



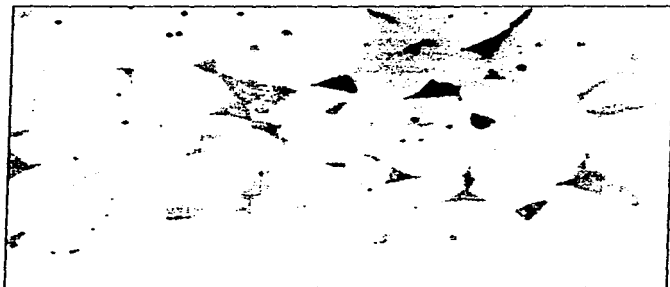
**Fotografía 6:** Latón de alta maquinabilidad con tratamiento térmico de tensiones residuales a 100x



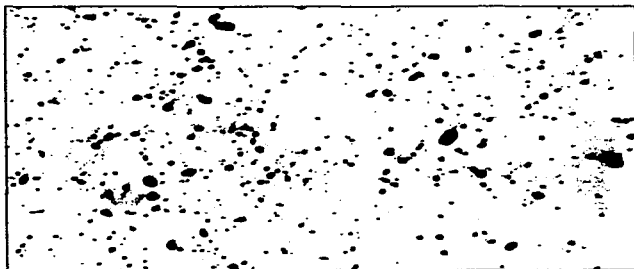
**Fotografía 7:** Latón de alta maquinabilidad con tratamiento de tensiones residuales a 400x



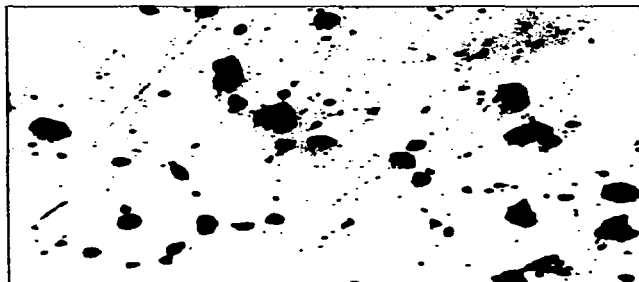
Fotografía 8: Latón de alta maquinabilidad con tratamiento térmico contra acritud a 100 x



Fotografía 9: Latón de alta maquinabilidad tratado térmicamente contra acritud a 400x

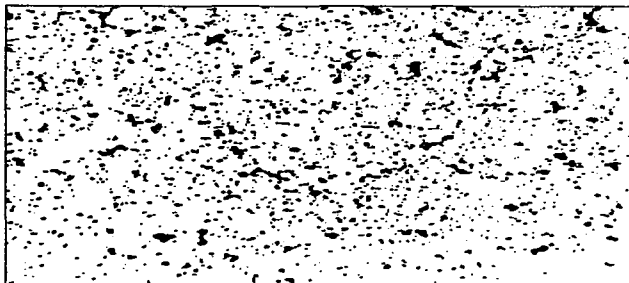


**Fotografía 10:** Latón de alta maquinabilidad tratado térmicamente con el recocido de homogeneización a 100x

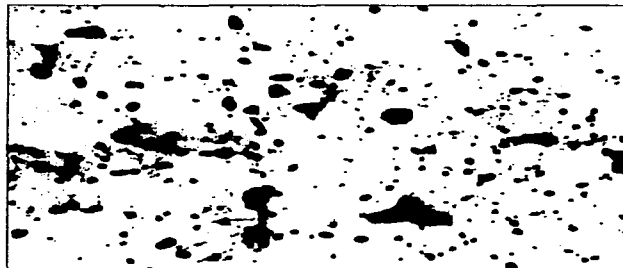


**Fotografía 11 :** Latón de alta maquinabilidad tratado térmicamente con el recocido de homogeneización a 400x





Fotografía 12: Latón de alta maquinabilidad tratado térmicamente con el tratamiento de endurecimiento por envejecimiento natural a 100x



Fotografía 13: Latón de alta maquinabilidad tratado térmicamente con el tratamiento de endurecimiento por envejecimiento natural a 400x

En las fotografías anteriores, se observan las diferentes microestructuras que se presentan en los diferentes tratamientos térmicos aplicados al latón de alta maquinabilidad.

Desde el principio se puede ver que es un latón bifásico ( $\alpha+\beta$ ); en el cuál la fase  $\alpha$  se encuentra en tono claro y la fase  $\beta$  en tono oscuro. También se alcanza a apreciar como conforme aumenta la temperatura del tratamiento térmico, esto hace aumentar el tamaño de grano en ambas fases de la aleación, viéndose perfectamente como es en el tratamiento de recocido contra acritud, que es en este en donde se presenta una mayor regularidad en el tamaño de grano, así como una distribución más homogénea de las fases. Esto se ve aún más claramente en el recocido de homogeneización, aunque en este tratamiento se aprecia un mayor predominio de la fase  $\alpha$ , en lo que a distribución de la misma se refiere.

Obviamente también se observa que con el crecimiento de grano, también hay una mayor tenacidad por parte del metal de ahí que a mayor tamaño de grano y mayor homogeneidad del mismo, el metal se vuelve mas tenaz, su tipo de fractura es dúctil, mientras que el metal sin tratamiento su fractura es frágil.

De igual forma, pasa con la dureza del metal; esto es, a mayor temperatura, mayor suavidad del metal para ser trabajado en frío, esto es disminuye su dureza; esto en cuanto concierne con los tratamientos de recocido del metal.

En lo referente al tratamiento térmico de envejecimiento natural, se observa en su microestructura una difusión muy homogénea, ya que el tamaño de grano en ambas fases es muy regular, muy parecido al del latón que no sufrió tratamiento térmico alguno; aunque al ser más homogénea su distribución su tenacidad aumento en relación con este; por lo que se ve que este tratamiento térmico si surte efecto en las propiedades del metal al cual se le hizo. Cabe decir que la

fractura que presento el latón tratado térmicamente con endurecimiento por envejecimiento fue dúctil; esto debido a la homogeneidad del tamaño de grano como ya se dijo.

#### 5.4 Análisis de los resultados obtenidos en el bronce.

El bronce que se estudió en este trabajo es el denominado bronce fosforoso tipo C, cuyo número en el sistema UNS es C52100.

En la tabla 5.4.1 se observan las diferentes pruebas, así como los resultados arrojados por las mismas.

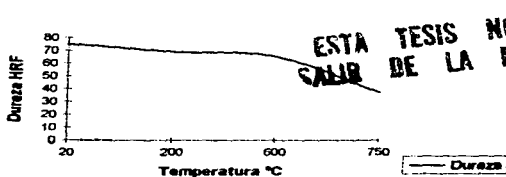
Se señala que al no existir barra cuadrada de bronce fosforoso en el mercado comercial, la prueba de impacto no se llevo a cabo.

	TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	TIEMPO (hrs).	ENFRIAMIENTO	DUREZA HRF
Bronce fosforoso	Sin tratamiento térmico (como se vende en la casa de metales	21 (Ambiente)			75
C52100 Barra de 1/2" de Ø	Recocido para Tensiones residuales	200	1:00	Enfriamiento a la Atmósfera	69
	Recocido contra acritud	600	2:00	Enfriamiento a la Atmósfera	65
	Recocido de Homogeneizado	750	1:30	Enfriamiento lento en el horno.	37

Como ya se ha visto en los otros dos metales, la relación de la temperatura con la dureza, esta se comporta de forma similar con el bronce fosforoso, por lo cuál se afirma que a mayor temperatura del tratamiento térmico a que sea sometido el metal, este, tendra a perder su dureza.

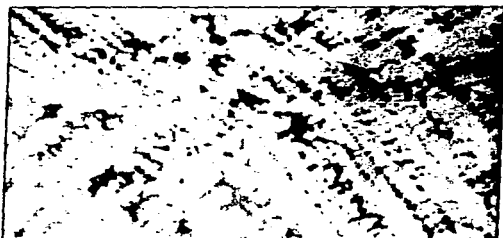
Para una mejor apreciación de esta afirmación se puede observar el comportamiento de la dureza con respecto de la temperatura en la siguiente gráfica.

Gráfica Temperatura - Dureza en el bronce fosforoso

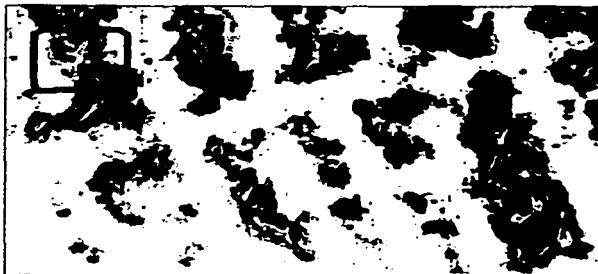


ESTA TESIS NO DEBE  
CALIBRARSE DE LA BIBLIOTECA

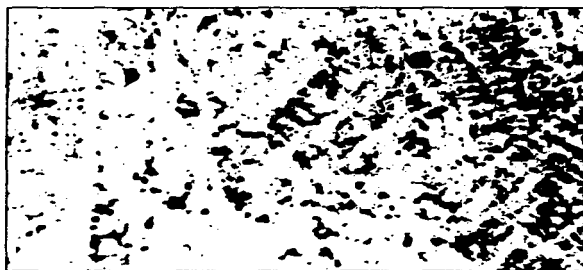
### MICROESTRUCTURAS.



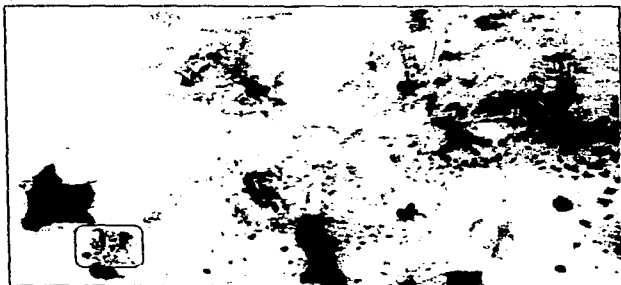
Fotografía 14: Bronce fosforoso sin tratamiento térmico a 50x



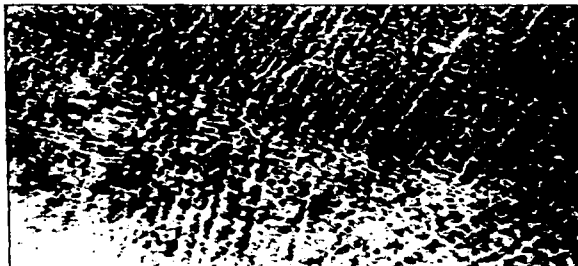
**Fotografía 15:** Bronce fosforoso sin tratamiento térmico a 400x: nótese la estructuras dendrítica típica de una fundición. Encerrada en el círculo se hace presente el fosfuro de cobre.



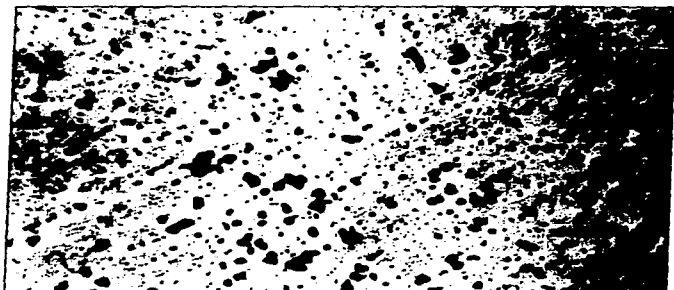
**Fotografía 16:** Bronce fosforoso con tratamiento para tensiones residuales a 50x



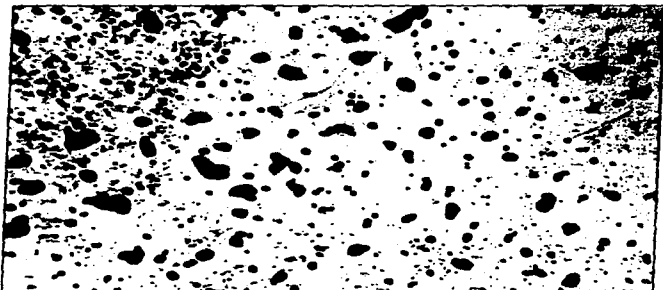
Fotografía 17: Bronce fosforoso con tratamiento para tensiones residuales a 400x. Nótese la diferencia de tamaño de la microestructura. Encerrado en el círculo se encuentra el fosfuro de cobre.



Fotografía 18: Bronce fosforoso con tratamiento de recocido contra acritud a 50x.



Fotografía 19: Bronce fosforoso con tratamiento térmico de homogeneización a 50x. Obsérvese como casi ha desaparecido la estructura dendrítica.



Fotografía 20: Bronce fosforoso con tratamiento térmico de homogeneización a 400x.

Como puede observarse en las fotografías anteriores, se trata de una estructura dendrítica debido a que es una fundición; así mismo se puede ver el fosforo de cobre, el cual tiende a disolverse a medida que se incrementa la temperatura del tratamiento térmico.

Asimismo, la estructura dendrítica tiende a desaparecer, debido a que los bronce como ya se ha dicho, son más fáciles de trabajar en caliente, que en frío, de ahí el comportamiento de la microestructura. Es una aleación monofásica  $\alpha$ , en forma de fundición.

Antes de pasar al siguiente capítulo es conveniente hacer el siguiente comentario u observación en cuanto al cobre y al latón; La ductilidad del metal no puede ser medida en este caso, ya que para hacer la prueba, las probetas no deberían de estar ranuradas, porque si el espécimen tiene una muesca o grieta antes de iniciar la prueba, esta tiende a cero.

Lo cierto es que el cobre en este caso, como es un material muy dúctil, al recocerlo contra acritud, su ductilidad aumento, de hecho, esto se observa al doblarse la probeta antes de alcanzar una fractura mayor en la prueba de impacto.



**CONCLUSIONES.-**

En lo que se refiere a los tratamientos térmicos debe quedar muy claro que no son un simple calentamiento del metal a una determinada temperatura, durante un tiempo determinado, y, un determinado método para enfriar dicho metal. En el tratamiento térmico, de hecho intervienen una gran variedad de variables como son: el tipo de atmósfera del horno, método de enfriamiento, composición del metal, tipo de horno, temperatura, tiempo, entre otras muchas; y cada una, tiene una gran importancia para el resultado del tratamiento térmico, ya que una pequeña variación de estas variables puede variar substancialmente los resultados.

Se observa que todo tratamiento térmico aplicado en un metal determinado (en este caso cobre, latón de alta maquinabilidad, y bronce fosforoso), afecta sus propiedades mecánicas, como son, dureza y tenacidad, ya que estas varían de acuerdo al tipo de tratamiento térmico a que sea sometido; viéndose que a mayor temperatura, menor es la dureza del metal y por consiguiente se hace más suave.

En cuanto a su tenacidad, se observa, que su comportamiento también está determinado por la temperatura del tratamiento térmico; ya que a mayor temperatura, mayor será la tenacidad del metal, como ya se ha dicho entre más tenaz sea, absorberá mayor energía antes de sufrir alguna fractura, ya sea esta parcial o total. Como se vio también, el tipo de fractura generalmente, al menos en estos metales, después del tratamiento térmico es del tipo dúctil; únicamente se presenta frágil en el latón de alta maquinabilidad sin tratamiento térmico alguno; lo que hace suponer que en este tipo de metales o mejor dicho en aleaciones de cobre trabajadas en frío, al realizar la prueba de impacto en ellas, presentan fractura de tipo frágil.

En cuanto a su microestructura, se ve igualmente, como al ir incrementándose la temperatura, también se incrementa el tamaño de grano en cada uno de los metales; esto en cuanto a tratamientos de recocido concierne, así también se

consigue una mayor homogeneidad del grano, la cual depende del tratamiento térmico.

En cuanto al tratamiento térmico de envejecimiento natural en el latón se observa un incremento en su dureza; pero curiosamente su resistencia al impacto es mayor que el del recocido contra acritud en el mismo metal, presentando fractura dúctil, además la distribución de sus fases es más homogénea en todas sus direcciones, así como el tamaño de grano es más regular.

Todas estas cualidades que presentan los metales estudiados, son aprovechadas para trabajar el metal en frío o en caliente, la calidad y el método utilizado así como en la selección de sus características; el tratamiento térmico juega un papel determinante.

**APENDICE.-**

TABLA A. GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE.

Aplicación.	Materiales.
<b>INGENIERÍA MECÁNICA Y GENERAL.</b>	
- Alabes de turbinas y supercompresores.	Cuproaluminio Monel.
- Cojinetes.	Bronce fosforoso. Bronce grafitado. Bronce con zinc y plomo. Bronce sinterizado. Cuproplomo. Cuprosilicio - manganeso.
- Cuerpos de bombas y válvulas, tornillos, aplicaciones estructurales en general.	Bronce con zinc. Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso. Latón alta resistencia. Latón naval. Monel.
- Engranajes y piezas mecánicas sujetas a desgaste.	Bronce fosforoso. Bronce con zinc. Cuproaluminio. Cupro-silicio-manganeso. Latón alta resistencia.
- Herramientas anti-chispa.	Cobre-berilio. Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso.
- Muelles	Bronce fosforoso. Cobre-berilio. Cuproníquel. Latón.
- Piezas extruídas y forjadas en caliente incluidas pletinas y perfiles de todo tipo accesorios de tubería y muchas piezas pequeñas para mecanismos ligeros.	Cobre. Cuproaluminio. Latón $\alpha + \beta$ . Latón $\alpha + \beta$ con plomo. Latón alta resistencia. Latón naval.

TABLA A. GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
— Piezas fundidas, estancas a presión y en general.	Bronce con zinc. Bronce con zinc y plomo. Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso. Latones $\alpha + \beta$ .
— Piezas huecas y curvadas obtenidas por estampado en frío y entallada, incluidos cartuchería, recipientes de todas clases, casquillos de lámparas y muchas piezas de alambre curvado.	Alpaca. Bronce fosforoso. Cobres. Cuproníqueles. Latón $\alpha$ . Latón. Latón con silicio.
— Piezas inyectadas, principalmente ganchos engranes, horquillas y pequeñas piezas mecánicas.	Cuproaluminio. Latón. Latón naval. Latón con silicio.
— Piezas maquinadas u obtenidas por maquinado, especialmente en máquinas automáticas.	Bronce con zinc y plomo. Cobre con azufre. Cobre con telurio. Latón alta resistencia. Latón con plomo.
— Radiadores y refrigeradores de aceite.	Cobre. Cuproníquel. Latón (cartuchería).
— Soldadura fuerte (aleaciones para).	Alpaca (con silicio). Cobre desoxidado. Cobre fosforoso. Cuproaluminio. Latón (Zn40). Latón (Zn50). Latón alta resistencia. Latón con silicio. Soldadura de plata.
— Tuberías para lubricantes, aceites líquidos, agua y vapor a baja presión.	Cobre

TABLA A GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
- Toberas, portaelectrodos y piezas fundidas para aplicaciones de alta conductividad térmica, puntas de soldadores, machos y boquillas para fundición inyectada.	Cobre. Cobre-berilio. Cobre-cadmio. Cobre-cromo. Cobre con telurio.
<b>INGENIERÍA ELÉCTRICA.</b>	
- Transporte de energía en condiciones normales.	Cobre electrolítico tenaz Cu-ETP.
- Transporte de energía en condiciones rigurosas, por cargas mecánicas, vibraciones o rozamiento.	Cobre-cadmio. Cobre con alma de acero.
- Aplicaciones de alta conductividad y temperatura relativamente elevada.	Cobre desoxidado con fósforo. Cobre-cadmio. Cobre-cromo. Cobre con plata. Cobre con azufre. Cobre con telurio.
- Aplicaciones de alta conductividad con buena maquinabilidad.	Cobre con azufre. Cobre con telurio.
- Casquillos de lámparas, tapas de interruptores y accesorios similares.	Alpaca. Cobre. Latones $\alpha$ .
- Levas, horquillas, piezas de interruptor terminales y piezas varias.	Bronce con zinc. Cuproaluminio. Latón (Zn40) con plomo. Latón alta resistencia.
- Muelles de contacto.	Bronce fosforoso. Cobre-berilio. Cuproniquel.
- Resistencia (alambre para).	Alpaca. Cuproniquel. Cuproniquel con manganeso.

TABLA A GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
— Piezas fundidas de alta conductividad incluidos electrodos para soldar.	Cobre desoxidado con fósforo. Cobre-berilio. Cobre-cromo.
— Piezas sinterizadas para electrodos de soldar y contactos.	Cobre.
<b>INGENIERÍA QUÍMICA.</b>	
— Cambiadores de calor, incluidas tuberías de condensadores y placas tubulares.	Cobre desoxidado. Cobre con arsénico. Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso. Cuproníquel. Latón con aluminio. Latón almirantazgo. Latón naval (forja).
— Cestas, cadenas y ganchos para decapado.	Cuproaluminio. Cuproníquel. Latón con silicio. Monel.
— Depósitos, vasijas, cadenas, autoclaves y caldería en general.	Bronce fosforoso. Cobre desoxidado. Cobre desoxidado con arsénico. Cuproaluminio. Cuproníquel. Latón con silicio. Monel.
— Industria papelera, incluidas telas metálicas Fourdrinier.	Bronce. Cuproaluminio con manganeso. Latón. Latón con silicio.
— Piezas fundidas, tales como placas tubulares para cambiadores de calor para aplicaciones en condiciones de no fuerte corrosión.	Bronce con zinc. Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso. Latón de alta resistencia.



**TABLA A. GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).**

Aplicación.	Materiales.
— Piezas fundidas para bombas, válvulas, etc., resistentes a la corrosión y al desgaste.	Bronce. Bronce con zinc. Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso. Latón con silicio. Monel.
— Tubería para líquidos y gases poco corrosivos.	Cobre desoxidado. Cobre con arsénico.
— Tuberías y accesorios para salmueras y soluciones similares.	Cuproaluminio. Cuproníquel. Latón con aluminio. Latón con silicio. Monel.
— Tuberías para refrigeración.	Cobre.
<b>INGENIERÍA NAVAL.</b>	
— Hélices y timones	Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso. Latón alta resistencia.
— Piezas de bombas y válvulas, boquillas de aspiración, etc.	Cuproaluminio. Bronce. Bronce con zinc. Bronce con níquel. Latón alta resistencia. Monel.
— Tubos y placas de condensadores.	Cuproaluminio. Cuproníquel. Latón con aluminio.
— Tuberías y accesorios para agua de mar.	Bronce. Bronce con zinc. Cuproaluminio. Cuproníquel. Latón con aluminio.

TABLA A GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
- Tuercas, tornillos, cadenas y ganchos.	Bronce. Bronce con zinc. Cuproaluminio. Latón alta resistencia. Latón naval. Latón con silicio.
- Telas metálicas contra insectos.	Cobre. Bronce fosforoso. Latón. Latón.
- Tubería para agua fría y caliente, gas y calefacción, vistas o empotradas Tuberías de desagüe.	Cobre desoxidado. Latón rojo (Zn15).
- Accesorios no magnéticos de bitácoras Telégrafos de ordenes, etc.	Latones.
- Accesorios decorativos.	Alpaca. Cobre. Cuproaluminio. Latón. Latón.
- Guarniciones para embarcaciones pequeñas.	Cobre. Latón almirantazgo. Latón naval.
- Ojetes de velas y pequeños accesorios diversos.	Latones.
<b>CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES.</b>	
- Calderas y calentadores de agua.	Cobre desoxidado Latón con silicio.
- Depósitos y cisternas.	Cobre desoxidado Latón con silicio.
- Radiadores y unidades de calefacción para agua caliente o vapor.	Cobre desoxidado

3.  
**TABLA A. GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).**

Aplicación.	Materiales.
— Manguitos para tuberías, grifos y válvulas.	Alpaca. Bronce. Bronce con zinc. Latón fundido.
— Metalistería arquitectónica y decorativa incluidos perfiles de puertas y ventanas.	Alpaca. Cobre. Cuproaluminio. Latón. Latón con silicio. Latones varios.
— Tejados, vierteaguas, barrera anti-humedad, canalones y trabajos de chapa en general.	Cobre desoxidado.
<b>INDUSTRIAS PAPELERA, DE IMPRESIÓN Y TEXTIL.</b>	
— Bombas, válvulas, barras batidoras, piezas fundidas o forjadas en general resistentes a la corrosión.	Bronce. Bronce con zinc. Bronce con níquel. Cuproaluminio. Latón con silicio. Monel.
— Cilindros y placas para impresión de papel y tejidos.	Cobre.
— Tintas metálicas.	Polvo de bronce y latón.
— Tuberías y accesorios para pastas y soluciones.	Bronce. Bronce con zinc. Cuproaluminio. Cuproníquel. Latón con silicio.

TABLA A GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
<b>INSTRUMENTACIÓN.</b>	
— Bobinados de discos Foucault.	Cobre de alta conductividad.
— Calibres de deformación por resistencia.	Cuproníquel.
— Muelles y diafragmas, incluidos tubos Bourdon y fuelles.	Alpaca. Bronce fosforoso. Cobre-berilio. Monel.
— Piezas pequeñas de precisión o maquinadas.	Cobre con telurio. Latón con plomo.
— Placas, ruedas dentadas y otras piezas para relojes, contadores e instrumentos similares.	Latón (de relojería).
— Resistencias eléctricas constantes.	Alpaca. Cuproníquel. Cuproníquel con manganeso.
— Termopares y conductores compensadores.	Cuproníquel.
— Tubos capilares.	Cobre. Cuproníquel.
<b>APLICACIONES DECORATIVAS Y DOMÉSTICAS.</b>	
— Acabados electrolíticos decorativos.	Cobre. Latón.
— Agujas, grapas, cadenas, escarpías y artículos domésticos varios.	Latón.
— Campanas.	Bronce de campanas. Latón con silicio.

TABLA A GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
— Carpintería metálica, incluidas vitrinas pasamanos, etc.	Alpaca. Cobre. Cuproaluminio. Latón. Latón de alta resistencia.
— Cubiertos y artículos de mesa.	Alpaca. Latón plateado.
— Estatuas y piezas fundidas decorativas incluido puertas y bastidores	Alpaca. Bronce. Bronce con zinc. Cuproaluminio. Latón.
— Jarras, cadenas, depósitos para agua caliente, paneles de protección, etc.	Cobre (estañado). Latón $\alpha$ .
— Joyería, rótulos, ceniceros y recipientes decorativos, como cajas de cigarrillos y polveras.	Alpaca. Cobres. Latón. Latón.
— Monedas y medallas.	Alpaca Bronce rojo. Cobre. Cuproniquel. Latón.
— Pinturas y tintas.	Polvos de cobre y latón.
<b>BARCOS Y BUQUES.</b>	
— Depósitos de agua.	Cobre, latón con silicio.
— Ejes.	Latón naval, cuproaluminio.
— Guarniciones.	Latón, alpaca.
— Pernos.	Latón naval. latón con silicio.

TABLA A GUÍA DE SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACIÓN).

Aplicación.	Materiales.
— Placas tubulares.	Latón Zn40 con plomo, latón naval cuproaluminio con níquel.
— Tuberías de bombas.	Latón (bajo Zn).
— Tuberías y tubería de fangos.	Latón, latón (bajo Zn).
— Tubos de condensadores y cambiadores de calor.	Latón almirantazgo, cuproaluminio latón con aluminio, latón (bajo Zn), cuproníquel.

Tabla B — Información general — Nombre, Composición general, y Comparación de estándares de aleaciones de cobre para forja.

Número de aleación UNS <sup>a</sup>	Nombre <sup>b</sup>	Composición nominal % en peso		Número SAE	Número ASTM <sup>c</sup>	SAE Número anterior
		Cu	Otros			
C10200	Cobre libre de Oxígeno (OF)	99.9	—	CA 102	B75, B152, B280	—
C11000	Cobre electrolítico Tough pitch (ETP)	99.9	—	CA 110	B3, B133 B152, B283	71, 83
C11100	Cobre electrolítico tough pitch tenaz	99.9	restos de elementos	CA 111	—	71
C11300	Cobre con plata (STP)	99.9	0.03 de plata	CA 113	B152	71
C11400	Cobre con plata (STP)	99.9	0.04 de plata	CA 114	B152	71
C11500	Cobre con plata (STP)	99.9	0.06 de plata	CA 115	B152	—
C11600	Cobre con plata (STP)	99.9	0.09 de plata	CA 116	B152	71
C12000	Cobre desoxidado con bajo contenido de fósforo residual (DLP)	99.9	0.0008 P	CA 120	B68, B75 B152, B280	75
C12200	Cobre desoxidado con alto contenido de fósforo residual (DHP)	99.9	0.02 p	CA 122	B68, B75 B152, B280	—
C14500	Cobre con telurio (DPTe)	99.9	0.5 Te, 0.008 P	CA 145	B283, B301	—
C15000	Cobre con zirconio	99.8	0.15 Zn	CA 150	B301	—
C16200	Cobre con cadmio	99.0	1 Cd	CA 162	—	—
C17000	Cobre con berilio	98.0	1.7 Be	CA 170	B194	—
C17200	Cobre con berilio	98.0	1.9 Be	CA 172	B194, B196	—
C17500	Cobre con berilio	97.0	0.5 Be, 2.5 Co	CA 175	B441, B534	—
C17800	Cobre con berilio	97.0	0.4 Be, 1.5 Co, 1 Ag	CA 178	B441	—

Tabla B — Información general — Nombre, Composición general, y Comparación de estándares de aleaciones de cobre para forja (continuación).

Número de aleación UNS <sup>a</sup>	Nombre <sup>b</sup>	Composición nominal % en peso		Número SAE	Número ASTM <sup>c</sup>	SAE Número anterior
		Cu	Otros			
C18700	Cobre con plomo	99.0	1 Pb	CA 187	B301	---
C21000	Latón de dorar	95.0	5 Zn	CA 210	B36	---
C22000	Bronce comercial	90.0	10 Zn	CA 220	B36, B135	---
C23000	Latón rojo	85.0	15 Zn	CA 230	B36, B135	74D, 79A
C24000	Latón bajo	80.0	20 Zn	CA 240	B36	79B
C26000	Latón de cartuchería	70.0	30 Zn	CA 260	B36, B134 B135	70A, 74C, 80A
C28800	Latón amarillo	66.0	34 Zn	CA 288	B36	70C
C27000	Latón amarillo	65.0	35 Zn	CA 270	B134	80B
C33000	Latón con bajo contenido de plomo (tubo).	66.0	34 Zn, 0.5 Pb	CA 330	B135	74B
C33100	Latón con plomo	66.0	33Zn, 1 Pb	CA 331	---	---
C34200	Latón con alto contenido de plomo	65.0	33 Zn, 2 Pb	CA 342	B121	---
C34500	Latón con plomo	63.0	35 Zn, 2 Pb	CA 345	B453	---
C35000	Latón medianamente aleado con plomo	63.0	36 Zn, 1 Pb	CA 350	B121, B453	72
C36000	Latón amarillo de alta maquinabilidad	62.0	35 Zn, 3 Pb	CA 360	B16	88
C46400	Latón naval	60.0	39 Zn, 0.8 Sn	CA 464	B21, B283	73
C48500	Latón naval con arsenico	60.0	40 Zn, 0.5 As	CA 485	---	---
C46600	Latón naval con antimonio	60.0	40 Zn, 0.5 Sb	CA466	---	---
C46700	Latón naval fosforoso	60.0	40 Zn, 0.5 P	CA 467	---	---
C51000	Bronce fosforoso tipo A	95.0	5 Sn, 0.2 P	CA 510	B103, B139, B159	---
C51100	Bronce fosforoso	96.0	4 Sn, 0.2 P	CA 511	B103	---
C52100	Bronce fosforoso tipo C	92.0	8 Sn, 0.2 P	CA 521	B103	77C
C52400	Bronce fosforoso tipo D	90.0	10 Sn, 0.2 P	CA 524	B103	---



Tabla B — Información general — Nombre, Composición general, y Comparación de estándares de aleaciones de cobre para forja (continuación).

Número de aleación UNS <sup>a</sup>	Nombre <sup>b</sup>	Composición nominal % en peso		Número SAE	Número ASTM <sup>c</sup>	SAE Número anterior
		Cu	Otros			
C60800	Bronce de aluminio	95.0	5 Al	CA 608	B111	—
C61400	Bronce de aluminio tipo D	91.0	7 Al, 2 Fe	CA 614	B150, B169	701D
C61800	Bronce de aluminio	89.0	10 Al, 1 Fe	CA 618	—	—
C62300	Bronce de aluminio	88.0	9 Al, 3 Fe	CA 623	B150, B169	701B
C62400	Bronce de aluminio	86.0	11 Al, 3 Fe	CA 624	—	701B
C63000	Bronce de aluminio	82.0	10 Al, 3 Fe, 5 Ni	CA 630	B150, B283	701C
C64200	Bronce de aluminio con silicio	91.0	7 Al, 2 Si	CA 642	B150, B283	—
C65500	Bronce de silicio	97.0	3 Si	CA 655	B97, B98, B283	—
C67000	Bronce de manganeso tipo B	65.0	24 Zn, 4 Mn, 4 Al, 3 Fe	CA 670	B138	—
C67300	Bronce de manganeso	60.0	34 Zn, 3 Mn, 2 Pb, 1 Si	CA 673	—	—
C67400	Bronce de manganeso	58.0	37 Zn, 3 Mn, 1 Al, 1 Si	CA 674	—	—
C67500	Bronce de manganeso tipo A	58.0	40 Zn, 0.3 Mn, 1 Fe, 1 Sn	CA 675	B138	—
C70600	Cuproniquel 10%	90.0	10 Ni	CA 706	B111, B171	—
C71000	Cuproniquel 20%	80.0	20 Ni	CA 710	B111, B122	—
C71500	Cuproniquel 30%	70.0	30 Ni	CA 715	B111, B122, B171	—
C75200	Niquel plateado	65.0	18 Ni, 17 Zn	CA 752	B122, B151	—
C77000	Niquel plateado	55.0	18 Ni, 27 Zn	CA 770	B122, B151	—

<sup>a</sup> Sistema numerico unificado.

<sup>b</sup> El nombre de la aleación generalmente no es usado. Se usa el número designado para la aleación solamente. (Ejemplo: Aleación de cobre sistema UNS número C21000).

<sup>c</sup> La lista numerica de la norma ASTM, es solamente para las formas o modo de hacer convenida en la especificación para las aleaciones de cobre para forja.

Tabla C

<sup>2</sup>Escalas de dureza Rockwell

<i>Escala</i>	<i>Carga mayor Kg</i>	<i>Tipo de marcador de muescas</i>	<i>Materiales típicos probados</i>
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de tungsteno, etc.
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas (tratadas)
D	100	Cono de diamante	Aceero superficialmente cementado.
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio.
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre recocidos
G	150	Bola de 1/16"	Cobre al berilio, bronce fosforoso, etc.
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio.
L	60	Bola de 1/4"	Plástico y metales suaves, como el plomo
M	100	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
P	150	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
R	60	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
S	100	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
V	150	Bola de 1/2"	Igual que la escala L

<sup>2</sup> • Ametck Testing Equipment Systems, East Moline, Ill.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- **MATERIALS FOR ENGINEERING.**  
Derby, Brian.  
Longman Scientific and Technical.  
New York (USA), 1992.
- **MATERIALS FOR ENGINEERING.**  
Van Vlack, Lawrence H.  
Addison - Wesley Publishing Company, 1982.
- **MATERIALS SCIENCE AND ENGEINEERING SERIES.**  
Smith, William F.  
McGraw - Hill Book Company, 1981.
- **TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS METALES.**  
Sola, Pere Molera.  
Colección "Productica - 51".  
Marcaombo S:A: Barcelona (España), 1991.
- **METALS HANDBOOK VOL.2**  
ASM handbook Committe.  
American Society for Metals, 8th Edición.
- **METALS HANDBOOK VOL.8**  
ASM handbook Committe.  
American Society for Metals, 8th Edición.
- **TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS METALES.**  
Spcht, Ernst.  
Tratado general de metalurgia Vol. V  
Sintes, Barcelona (España).
- **DIE DESING HANDBOOK.**  
National Technical Publications Committe  
McGraw - Hill Book Company. Second Edition.

- **ASM HANDBOOK VOL. 4**  
ASM Handbook Committee  
ASM Handbook, 1991.
- **MATERIALES PARA INGENIERÍA Y SUS APLICACIONES.**  
Flinn, Richard A.  
McGraw - Hill, Bogotá ( Colombia), 1989.
- **EL COBRE Y SUS ALEACIONES.**  
Asociación Mexicana del Cobre.  
Publicación CIDEC.  
100, rue du Rhône, 1211 Ginebra 3, Suiza.  
Edición española, preparada, revisada y editada por el Centro Español  
de Información del Cobre, Madrid 20.