

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“ELABORACIÓN POR MEDIO DE NORMA UNS  
DE LA ALEACIÓN C 91700“**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de

**INGENIERA MECANICA**

Presentada por:

Katusca Tamara Valle Navarro

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2004

## AGRADECIMIENTO

A todas la personas que de una u otra manera estuvieron involucradas en la realización de este trabajo y en especial al Ing. Ignacio Wiesner Falconí; Director de Tesis por su valiosa ayuda.

## DEDICATORIA

A MIS HIJOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Eduardo Rivadeneira

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

---

Ing. Ignacio Wiesner Falconí

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. José Pacheco Mosquera

VOCAL

---

Ing. Antonio Viteri Mosquera

VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL “

(Reglamento de Graduación de la ESPOL”)

---

Katusca Tamara Valle Navarro

## RESUMEN

Se han realizado pruebas de fusión con chatarra de cobre de conductores y estaño puro para hacer aleación madre y aleaciones certificadas de acuerdo a la norma UNS C 91700 que es de gran utilidad para elementos que requieren de alta exigencia mecánica incluyendo grandes esfuerzos superficiales a velocidades medias y debido a su combinación de dureza, cualidades de superficie y resistencia a la corrosión son muy usados para fabricar las coronas de los reductores sinfín-corona, bombas, construcciones marinas.

Los resultados obtenidos han sido positivos y han sobrepasado los valores mínimos que exige la norma asegurando con esto la calidad de las aleaciones.

Para esto se establecieron métodos artesanales de trabajo y métodos de control apropiados para tener resultados confiables y reproducibles en las condiciones de talleres artesanales.

## INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	3
1.1 Importancia tecnológica de la aleación .....	3
1.2 Composición y propiedades de la aleación C 91700 .....	6
1.3 Influencia de los elementos aleantes .....	9
1.4 Proceso de fusión de los bronce al estaño .....	11
1.4.1 Proceso de fusión de las aleaciones de cobre .....	11
1.4.2 Fusión de las aleaciones cobre – estaño .....	15
1.5 Diagrama de equilibrio de los bronce al estaño .....	20
1.6 Control de calidad en la elaboración de la aleación .....	27
1.7 Aplicaciones de la aleación .....	30

## CAPITULO 2

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	33
2.1 Metodología experimental .....	33
2.2 Materiales y equipo utilizado .....	34
2.3 Fusión y ajuste de composición química por el método con aleación madre .....	37
2.3.1 Diagrama de flujo de la elaboración de la aleación madre .....	37
2.3.2 Elaboración de la aleación madre 1 .....	38
2.3.3 Elaboración de aleaciones con diferentes porcentajes de estaño a partir de la aleación madre 1 .....	39
2.3.4 Elaboración de aleación madre con otra composición .....	40
2.3.5 Fusión de aleación de composición final .....	41
2.3.6 Ajuste de composición química de aleación obtenida .....	42
2.4 Elaboración de la aleación con método directo .....	43
2.4.1 Diagrama de flujo de método directo .....	43
2.4.2 Elaboración de aleación por el método directo .....	44
2.5 Control de calidad de la aleación elaborada por el método con aleación madre .....	45
2.5.1 Análisis químico.- Método de la aleación madre .....	45
2.5.2 Análisis de dureza.- Método de la aleación madre .....	46
2.5.3 Metalografía.- Método de la aleación madre .....	47
2.6 Control de calidad de la aleación elaborada por el método directo....	51

2.6.1 Análisis químico.- Método directo .....	51
2.6.2 Análisis de dureza.- Método directo .....	52
2.5.3 Metalografía.- Método directo .....	52

### CAPITULO 3

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	54
3.1 Con relación al método de elaboración .....	54
3.2 Con relación a la calidad de la aleación .....	56

### CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
4.1 Conclusiones .....	59
4.2 Recomendaciones .....	59

### BIBLIOGRAFÍA

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Rueda para tornillo sin-fin corona. Bronce al estaño .....	4
( 87 Cu, 11 Sn, 2 Ni ).	
Figura 1.2 Tuerca niveladora para molino giratorio. Bronce al estaño.....	5
( Cu 87, Sn 11, Ni 2 ).	
Figura 1.3 Impeler para bomba centrífuga de 3” de diámetro.....	5
Figura 1.4 Radiografía de bronce al estaño mostrando porosidad...	19
Figura 1.5 Radiografía de un bronce al estaño mostrando .....	19
agrietamiento linear	
Figura 1.6.- Diagrama Cobre – Estaño .....	20
Figura 1.7 Diagrama Cobre – Estaño . Porción rica en cobre.....	21
( Tomada del libro Metals Handbook 1984 )	
Figura 1.8 Estructura de un bronce ordinario con 10% de fósforo.....	23
enfriado rápidamente.	
Figura 1.8(a) Muestra pequeñas partículas de fase en una matriz.....	23
dendrítica alfa.	
Figura 1.8(b) Muestra la fase delta, 1000x.....	23
Figura 1.9 Crecimiento de dendritas en el magnesio líquido.....	24
Figura 1.10 Representación esquemática del contorno de grano .....	25
entre dos cristales	

Figura 1.11 Representación esquemática del proceso de.....	26
cristalización por nucleación y de crecimiento dendrítico	
Figura 1.12 Tornillo sin-fin con su rueda. Bronce al estaño.....	31
(87Cu, 2Ni, 112Sn) Con sin-fin de acero SAE 4340	
Figura 1.13 Coronas para sistemas sin-fin corona.....	32
Figura 1.14 Piezas centrifugadas para hacer coronas.....	32
SAE 65 (89Cu, 11Sn)	
Figura 2.1 Equipo utilizado en la realización del trabajo experimental.....	35
Figura 2.2 Probetero y separador de escoria.....	36
( Crisol, pinzas, guantes y barra para mover colada )	
Figura 2.3 Sistema de inyección de combustible.....	36
( Gas propano, diesel, ventilador y horno de crisol ) .....	47
Figura 2.5.3.1 100X MICROGRAFÍA 1 Correspondiente a la	
aleación 2 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en	
estaño es de 9.19%; Reactivo: FeCl <sub>3</sub> y NH <sub>4</sub> OH	
alternadamente	
Figura 2.5.3.2 100X MICROGRAFÍA 2 Correspondiente a la .....	48
aleación 3 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en	
estaño es de 8.94%; Reactivo: FeCl <sub>3</sub> y NH <sub>4</sub> OH	
alternadamente	
Figura 2.5.3.3 100X MICROGRAFÍA 3 Correspondiente a la .....	48
aleación 5 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en	

estaño es de 6.14%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

Figura 2.5.3.4 100X MICROGRAFÍA 4 Correspondiente a la .....49

aleación 7 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en  
estaño es de 7.68%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

Figura 2.5.3.5 100X MICROGRAFÍA 5 Correspondiente a la.....49

aleación 8 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en  
estaño es de 7.5%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

Figura 2.5.3.6 100X MICROGRAFÍA 6 Correspondiente a la.....50

aleación 9 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en  
estaño es de 11.55%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

Figura 2.6.3.1 100X MICROGRAFÍA 7 Correspondiente a la .....52

aleación A de la tabla 2.6.1 cuyo contenido en  
estaño es de 8.96%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

Figura 2.6.3.2 100X MICROGRAFÍA 8 Correspondiente a la .....53

aleación B de la tabla 2.6.1 cuyo contenido en  
estaño es de 15%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

Figura 2.3.6.3 100X MICROGRAFÍA 9 Correspondiente a la .....53  
aleación C de la tabla 2.6.1 cuyo contenido en  
estaño es de 11.14%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$   
alternadamente

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Composición de la aleación de cobre UNS C 91700.....	6
Tabla 2 Propiedades de la aleación UNS C 91700.....	6
Tabla 3 Características de unión de bronce al estaño.....	7
Tabla 4 Resistencia a la corrosión del bronce al estaño en diferentes medios.....	8
Tabla 5 Aleación madre 1.....	38
Tabla 6 Aleación madre 2.....	40
Tabla 7 Aleación de composición final.....	41
Tabla 8 Ajuste de composición química de aleación obtenida.....	42
Tabla 9 Aleaciones elaboradas por el método directo.....	44
Tabla 10 Aleación final.- Aleación C.....	44
Tabla 11 Análisis químico.- método de la aleación madre.....	45
Tabla 12 Análisis de dureza.- método de la aleación madre.....	46
Tabla 13 Análisis químico.- método directo.....	50
Tabla 14 Análisis de dureza.- método directo.....	51
Tabla 15 Ensayo de tracción realizado a probetas elaboradas..... por ambos métodos	57

## INTRODUCCION

Los descubrimientos arqueológicos y los estudios de esta naturaleza hacen remontar la historia de los primeros objetos de bronce a unos miles de años antes de Cristo; sin embargo, todavía se emplean estas aleaciones ampliamente en los componentes mecánicos con alta exigencia en resistencia al desgaste por fricción y, aún siguen siendo en buena parte los elementos aleantes iguales a los empleados hace tres mil o cuatro mil años. Actualmente se obtienen resultados superiores, por estar perfeccionados los métodos de fusión y por ser mayor el conocimiento que se tiene de las recíprocas influencias de los elementos en sí y de las aleaciones por ellos formadas.

Conocimientos actuales de prácticas antiguas también identifican a las aleaciones de cobre al estaño en la elaboración de herramientas de taller para trabajar la caliza, materiales procesados manualmente en las construcciones de las grandes pirámides, así mismo para la elaboración de armas, utensilios de cocina y bisutería.

El interés que motiva al presente trabajo es mejorar la producción artesanal que brinda servicio a la gran industria en la fundición de piezas de desgaste.

Se ha comprobado que en el medio de la fundición local la calidad no está regida por ninguna norma de fabricación y la calidad es muy variable por ello la información que aquí se presenta trata de suplir la debilidad del sector y más bien se aprovecha la información bibliográfica y la producida experimentalmente para verificar la calidad a través del uso de una norma que como la UNS la considera internacional.

# CAPÍTULO 1

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 Importancia tecnológica de la aleación UNS C 91700

Esta aleación está constituida además de cobre y estaño por pequeñas cantidades de níquel y fósforo, lo cual la convierten en una aleación especial, ya que con los aleantes mencionados se mejoran sus propiedades mecánicas ostensiblemente.

En general se puede decir que con la inclusión de estaño y níquel se incrementa su dureza, mejora la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión.

Así mismo, estos elementos ayudan a la buena fluidez, lo cual es importante en la producción de piezas sanas debido a su amplio rango de enfriamiento lo cual la hace aceptable para efectuar la colada en moldes de arena.

Es gracias a la fundición que se hace posible producir partes que tengan un modelo que no se lo obtiene fácilmente por otros métodos de fabricación, así como el maquinado.

A menudo es más económico producir un elemento fundido que uno fabricado por otro método, en especial si el elemento tiene una forma particularmente compleja, por ejemplo el impulsor de una bomba. A continuación, se aprecian en las siguientes fotos casos típicos de piezas hechas de esta aleación.



Fig. 1.1.- Rueda para tornillo sin-fin corona. Bronce al estaño ( 87 Cu, 11 Sn, 2 Ni ).



Fig. 1.2 .- Tuerca niveladora para molino giratorio. Bronce al estaño ( Cu 87, Sn 11, Ni 2 ).

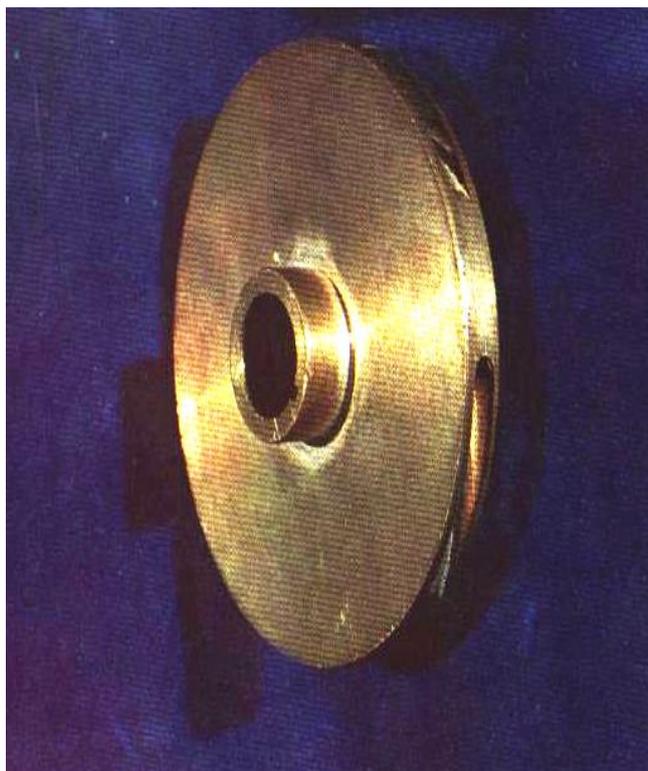


Fig. 1. 3 .- Impeler para bomba centrífuga de 3" de diámetro

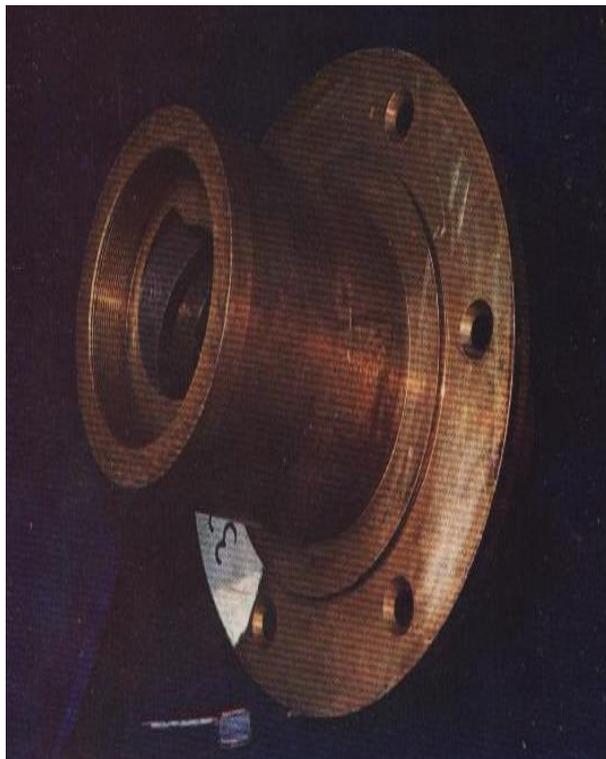


Fig. 1. 4 .- Acople con brida de bronce al estaño

## 1.2 Composición y propiedades de la aleación UNS C 91700

La aleación UNS C 91700 que se está considerando es conocida comunmente como un bronce al estaño y tiene la siguiente composición:

TABLA 1  
COMPOSICIÓN DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C91700

	Contenido en porcentaje
Cu	85.0 – 87.5
Sn	11.3 – 12.5
Pb	0.25 máx.
Ni	1.3 – 2.0
P	0.30 máx.

Con relación a las propiedades mecánicas de la misma fuente \* se obtiene la siguiente información:

TABLA 2  
PROPIEDADES DE LA ALEACIÓN UNS C 91700

Resistencia a la Tensión, mín	60 ksi
Resistencia a la Fluencia, mín	32 ksi
Modulo Elastico de Tensión	15*10E6 psi
Dureza	106 HB
Densidad	8.75 Mg/m <sup>3</sup> (0,316 lb/m <sup>3</sup> ) a 20 C ( 68 F )
Temperatura Líquida	1015°C – 1860°F
Temperatura de Solidificación	850° C – 1565° F
Conductividad Térmica	41 Btu/ft.h °F a 20° C ( 68° F )
Maquinabilidad	20% con relación al latón de maquinado rápido

Otras de las características tecnológicas que se pueden anotar sobre la aleación es sobre los comportamientos en los procesos de soldadura tal como se expresa en la siguiente tabla.

TABLA 3  
CARACTERÍSTICAS DE UNION DE BRONCES AL ESTAÑO

ARCO DE TUNGSTENO, GAS INERTE	B
ARCO CONSUMIBLE, GAS INERTE	B
OXIACETILENO	B
ARCO DE CARBON	B
ARCO DE METAL	B
SOLDADURA OXIACETILENICA CON LATON	A
SOLDADURA BLANDA CON ESTAÑO	A

Las letras A y B tienen el siguiente significado:

A – bueno, B.- suficiente.

Un parámetro importantísimo en la selección de una aleación para aplicaciones mecánicas es su resistencia a la corrosión es por esta razón que se expone la siguiente tabla de comportamiento de la aleación en diferentes medios.

TABLA 4  
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DEL BRONCE AL ESTAÑO EN  
DIFERENTES MEDIOS

MEDIO CORROSIVO	CALIFICACION
ACETILENO (a)	C
ACIDO LACTICO	A
ACIDO NITRICO	C
AGUA CONDENSADA	A
AGUA POTABLE	A
AGUA DE MAR	A
ALCOHOL (b)	A
ASFALTO	A
AZUFRE ( sólido )	C
BUTANO	A
CLORURO DE SODIO	A
DIOXIDO DE AZUFRE	A
GAS NATURAL	A
GASOLINA	A
GLUCOSA	A
GOMA	A
JARABE DE CAÑA DE AZUCAR	A
LECHE	A
LICORES	C

Las letras A, B y C tienen el siguiente significado:

A: recomendado, B: aceptable y C: no recomendado

- (a) El acetileno forma compuestos explosivos con cobre cuando está húmedo o están presentes impurezas y el gas está bajo presión. Aleaciones con menos del 65% de cobre pueden usarse satisfactoriamente. Cuando el gas no está a presión se pueden usar otras aleaciones de cobre satisfactoriamente.
- (b) El cobre y sus aleaciones son resistentes a la corrosión en casi todos los productos alimenticios. Rastros del cobre se pueden disolver y afectar en el gusto u olor; en tales casos los metales de cobre a menudo se recubren con estaño.

### **1.3 Influencia de los elementos aleantes**

Se refiere uno a uno los elementos aleantes principales y los residuales y su influencia en las propiedades de la aleación. Así:

El Zinc, agregado en estas aleaciones, tiene por objeto actuar como agente desoxidante y aumentar la fluidez del metal, mejorando la maquinabilidad de la pieza colada.

El zinc reemplaza una parte del estaño, reduciendo de esta manera el precio del metal. Sin embargo, al aumentar el contenido por encima del

2%, el color específico de los bronce se pierde, resultando un color superficial pardo oscuro, por ello nunca está presente sobre el 1%.

Como ya se ha anotado antes, la maquinabilidad de esta aleación es solamente el 20 % de la del latón de maquinado rápido, por ello a veces se agrega a la aleación una pequeña cantidad de plomo para aumentar la maquinabilidad de la pieza fundida. Para este fin se agrega hasta un 2 % de plomo. Cuando se trate de bronce para cojinetes, usados en cargas elevadas y bajas velocidades se incrementa la cantidad de plomo hasta un 30 %, para procurar llegar a zonas blandas de plomo libre donde se aloja detritos y partículas arrancadas por fricción sin lubricación.

La proporción del hierro no debe aumentarse en la pieza fundida más del 0,3 %, de lo contrario la colada se hace quebradiza y disminuye la resistencia al impacto.

La presencia del aluminio y del silicio en la aleación es del mismo modo contraproducente, porque estos elementos hacen disminuir las propiedades mecánicas de la pieza fundida y dificultan el maquinado de la misma.

El fósforo es también perjudicial en la aleación si está presente en proporciones mayores a 2.04 % ya que tiene doble efecto. Aumenta tanto

la fluidez del metal, lo cual es bueno en relación con el colado de piezas difíciles, pero este aumento de fluidez ocasiona dificultades si se efectúa la colada en moldes de arena de grano grueso sin pintura, ya que el metal se infiltra en el molde formando una mezcla arena-metal que es difícil de maquinar.

El níquel, antes era considerado como un elemento perjudicial para esta clase de aleaciones, se admite, por lo general, hasta el 2% de níquel para aumentar la resistencia mecánica de la aleación y mejorar el tamaño de grano ya que tiene la propiedad de generar centros de nucleación.

El azufre debe mantenerse debajo del 0,08 %, ya que este elemento empeora la fluidez de la aleación, aun con bajo porcentaje en la composición.

## **1.4 Proceso de fusión de los bronce al estaño**

### **1.4.1 Proceso de fusión de las aleaciones de cobre**

Las aleaciones de cobre se funden usando diversos tipos de hornos, pero los más usados son los de crisoles de grafito calentados con carbón, petróleo o gas, que pueden llegar a una capacidad de 1000 Kg.

Para la fusión de grandes cantidades de metal se emplean hornos de reverberos. Los sistemas más modernos de fusión emplean los hornos eléctricos, de resistencia o de inducción, que permiten una mejor regulación de la temperatura y disminuyen la posibilidad de absorción de los gases, que son el de mayor peligro para tener piezas malogradas por aspecto exterior e interior.

Las prácticas de fusión deben considerar los aspectos de forma de las piezas, así como los espesores. Las piezas pequeñas se funden más bien a temperatura baja; por el contrario las piezas de tamaño grande deben fundirse calientes, para que los gases se separen. Para fundir en moldes permanentes la temperatura debe ser 45° C más alta que para fundir en moldes de arena. Además, las temperaturas de fusión deben ser 55° C más altas que las temperaturas en el momento de llenar el metal en los moldes.

Es importante que se utilicen en el proceso de fusión crisoles limpios, para evitar una contaminación con otros metales; en particular deben descartarse para la fundición de bronce crisoles que hayan sido empleados anteriormente para aleaciones conteniendo aluminio, aún en porcentajes pequeños.

Para obtener los mejores resultados es necesario que la fusión de los bronce se realice lo más rápidamente posible; por esta razón, y para obtener una mayor uniformidad y homogeneidad en la aleación, es conveniente efectuar la fundición de las piezas en dos tiempos:

- 1.- Preparación, lingoteado de la aleación y control de la composición química.
- 2.- Refundición de los lingotes, ajuste de composición química y vaciado de la colada .

Para obtener los mejores resultados, especialmente a lo que se refiere las características mecánicas, es necesario partir de las materias primas lo más puras posibles, limpias y sin óxidos.

Para la preparación de la aleación se introduce en el crisol o en el horno de reverbero o eléctrico el cobre en trozos no muy grandes, añadiéndole materiales recubrientes a base de vidrio, sosa, bórax, etc., que por tener un punto de fusión más bajo que el del cobre, funden primero y forman una capa protectora bajo el cual se recoge el cobre a medida que se inicia y continúa la fusión, el metal queda así protegido de la absorción de los gases que se desarrollan en la combustión y en el aire.

Un sobrecalentamiento elevado es muy perjudicial para la fundición; se formarían óxidos de estaño, los que no se separarían, sino que quedarían en el metal solidificado, empeorando las propiedades de las piezas elaboradas y debe considerarse el aumento del costo porque hay que aportar nuevamente estaño.

Cuando todo el cobre necesario para la aleación está fundido, se procede a una primera desoxidación introduciendo pequeñas cantidades de fósforo, este metal al combinarse con el oxígeno que el cobre pueda haber absorbido durante la fusión, forman óxidos que pasan a las escorias.

Terminada esta segunda operación, se añaden por orden los elementos de la aleación, como el estaño, níquel y plomo, procurando, con adecuadas barras de hierro revestidas de grafito, tenerlos sumergidos en el baño para evitar fuertes pérdidas por oxidación (combustión).

Se deja calentar suficiente la aleación y, después de quitar las escorias que flotan sobre el baño, se la vacía en moldes metálicos.

Para asegurarse de la exacta composición de la aleación, porque, no obstante todas las precauciones, siempre se producen pérdidas por oxidación, se practica el análisis químico a fin de realizar las necesarias correcciones y adiciones adecuadas para dar al metal la composición requerida.

#### 1.4.2 Fusión de las aleaciones cobre – estaño

La práctica normal para la fundición de bronce con estaño es como sigue: El cobre, junto con la pedacería de bronce que constituye parte de la carga, se funde tan rápido como sea posible. Se agrega luego un fundente compuesto de partes iguales de escamas de laminador de cobre (óxido de cobre), bórax fundido y arena seca, que se agregan al crisol en cantidades que llegan a un 3% de la carga por peso. Cuando la carga llega a una temperatura de unos 1250 C, el fundente se hace a un lado, agregando el estaño cuando el crisol se encuentra aún en el horno. La carga se agita vigorosamente con una varilla de refractario y el crisol se retira entonces del horno. Luego se agrega arena seca al fundente para espesarlo, retirando la escoria resultante. Finalmente se agrega suficiente fósforo - cobre (es una aleación que contiene ya sea 15 o 30 % de fósforo, el resto cobre). Su uso para desoxidar es más seguro y más conveniente que el del fósforo amarillo, que era el que antes se usaba para este objeto para desoxidar la carga completamente; esto es, eliminar todo indicio de óxido de cobre que haya quedado del tratamiento con fundente. La cantidad de fósforo - cobre agregada es suficiente para asegurar un residuo de un 0.04 % de fósforo, que se disuelve en el bronce. Se usará más

fósforo - cobre en el caso de bronce fosforados, en los cuales el contenido de fósforo residual es mucho más alto. Cuando la reacción entre el óxido de cobre y el fósforo - cobre es completa y la temperatura de la carga ha descendido a 1200 °C, está lista para vaciarse y con la seguridad de estar libre de oxígeno o hidrógeno disueltos en el metal líquido con esta práctica se eliminan muchos de los defectos que se encuentran en las piezas de bronce y que dependen de que la aleación no está bien desoxidada y desgaseada, es necesario sobre todo, como ya se ha recordado, prestar la máxima atención y cuidado a las operaciones de fusión, evitando un calor excesivo.

### **1.5 Defectos típicos de las piezas fundidas de aleaciones de cobre**

**RECHUPES.-** Son cavidades que se forman en el interior o exterior de las piezas moldeadas, y que tienen por causa la disminución de volumen que experimenta el metal o aleación colada, en el momento de su enfriamiento.

Estos rechupes pueden producirse en el interior o en el exterior de la pieza. En el primer caso se trata de rechupes internos, siendo rechupes externos los del segundo caso.

Cuando el rechupe no forma más que una sola cavidad (interna o externa) se llama primario o principal, por lo contrario, cuando da lugar a un gran número de cavidades internas, el rechupe se llama secundario, y en este último caso cuando las cavidades son apreciables a simple vista y de dimensiones relativamente grandes, se le designa con el nombre de macrorechupe, tomando el nombre de microrechupe cuando no se observan más que con la ayuda de una lupa de gran aumento o del microscopio. Puede que una misma pieza se observen al mismo tiempo rechupes primarios y microrechupes, puesto que aún teniendo la misma causa, estos rechupes no tienen exactamente el mismo mecanismo de formación. En el primer caso la disminución de volumen son a causa de:

la contracción líquida sufrida por la aleación durante su proceso de enfriamiento desde la temperatura de colado hasta la temperatura ambiental.

Y los microrechupes se forman cuando la aleación presenta una estructura entre una zona en donde ya casi no existe líquido y la siguiente que es donde no hay nada de líquido o su completa solidificación.

**SEGREGACIÓN.-** Los líquidos que se han solidificado para obtener las aleaciones contienen además de los elementos de soluto añadidos intencionalmente para obtener la aleación, elementos de impureza.

Cuando solidifica una aleación los elementos del soluto presentes, son más solubles en estado líquido que en estado sólido, entonces se presenta una falta de uniformidad en el soluto especialmente en aquellas zonas que solidifican al último ( centro del lingote ), sería llamada esta macrosegregación, que se refiere al cambio en la composición promedio del metal según se mueve de lugar a lugar en el lingote; pero en las fundiciones no solo encontraremos variaciones en la composición sobre distancias grandes, sino también es posible tener variaciones de composición localizadas en una escala más pequeña que el tamaño del cristal, esto se llama microsegregación o segregación dendrítica.

**SEGREGACION DENDRITICA (CORING).-** Llamada también microsegregación, es causada por solidificación dendrítica en aleaciones. Los brazos dendríticos originales, que se proyectan dentro del metal sobreenfriado, solidifican como metal relativamente puro. En consecuencia, el líquido que rodea a estos brazos está enriquecido en solutos y normalmente, cuando este líquido solidifica, los espacios entre los brazos se vuelven regiones de elevada concentración en soluto.

El “coring” es muy común en fundiciones de aleación UNS C91700.

A continuación presentamos figuras de defectos típicos de esta aleación:

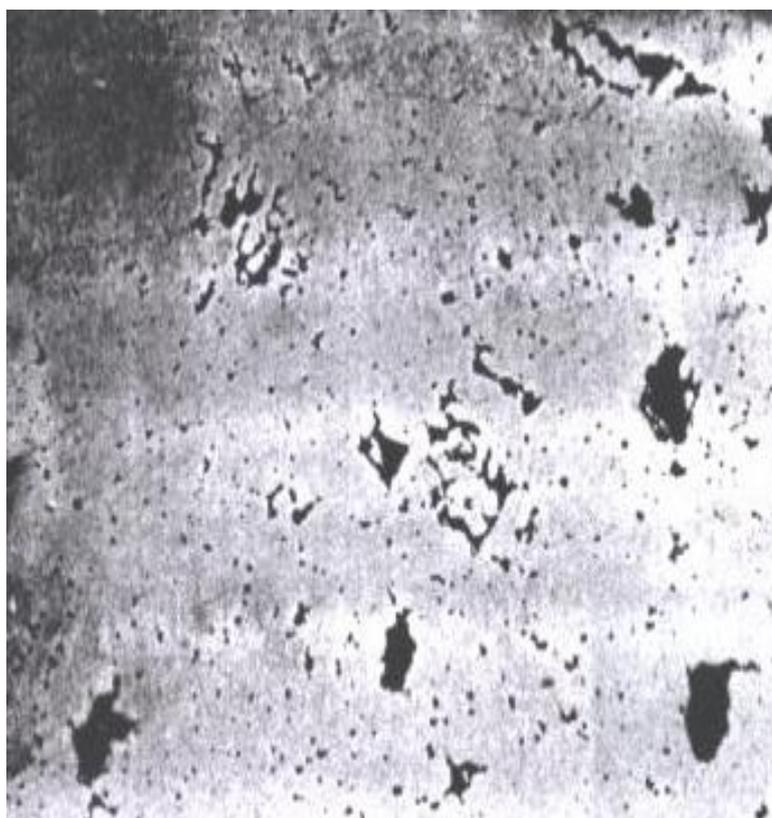


Fig. 1.5 .- Radiografía de bronce al estaño mostrando porosidad



Fig. 1.6 .- Radiografía de un bronce al estaño mostrando agrietamiento linear

### 1.6 Diagrama de equilibrio de los broncees al estaño

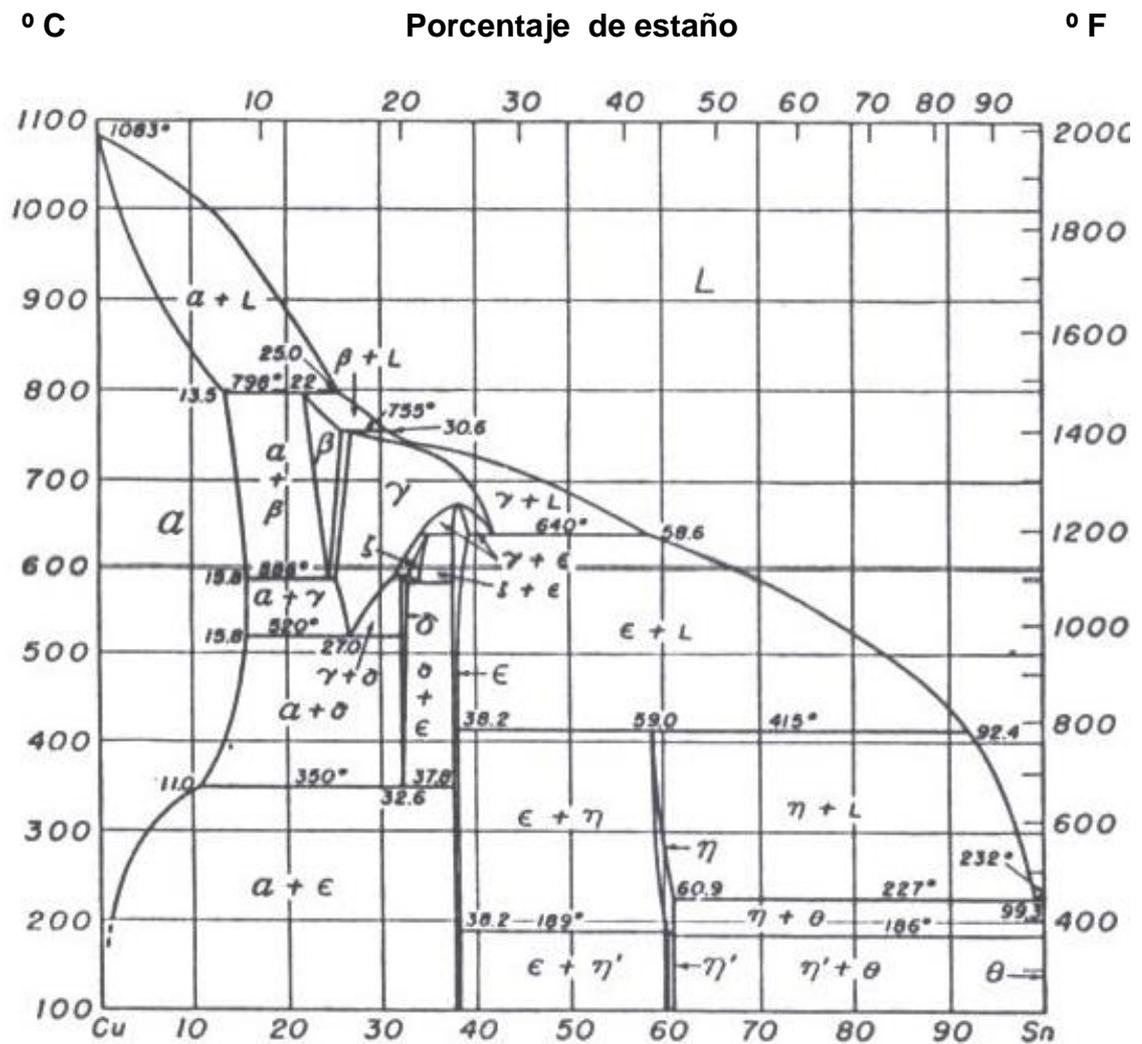


Fig. 1.7.- Diagrama Cobre – Estaño

( Tomada del libro Casting Copper – Base Alloys )

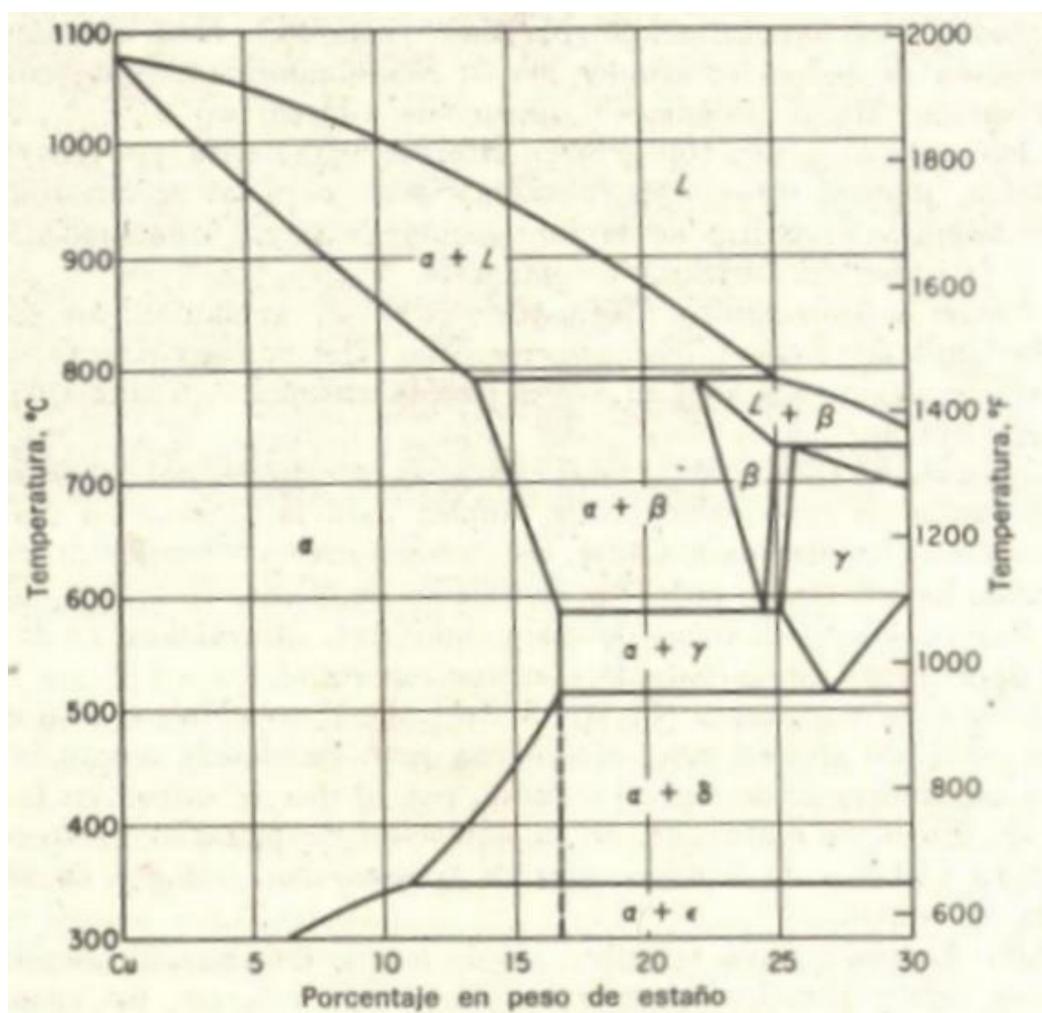


Fig. 1.8 .- Diagrama Cobre – Estaño . Porción rica en cobre ( Tomada del libro Metals handbook 1984 )

La figura 1.8 presenta la región de la solución sólida cobre - estaño rica en cobre llamada fase  $\alpha$ , por otro lado vemos que a 797 C se forma la fase  $\beta$  como resultado de una reacción peritética. A 585 C se descompone esta fase para formar por medio de una reacción eutectoide la mezcla ( $\alpha + \gamma$ ), la cual a 519 C se transforma por medio de una reacción eutectoide en ( $\alpha + \delta$ ).

El diagrama también muestra que a 350 C, y nuevamente por una reacción eutectoide, la fase delta se descompone, dando lugar a la mezcla ( $\alpha + \varepsilon$ ), pero como esta fase  $\varepsilon$  se demora en presentarse y no existe en las aleaciones comerciales. A temperaturas menores que 585 la línea de solubilidad del sólido coincide con la línea vertical de trazos indicada, por esta razón las fundiciones de bronce ordinario enfriadas lentamente, cuyo contenido en estaño es inferior al 7%, están constituidas por una sola fase, la solución sólida alfa. Por el contrario, en la mayoría de las fundiciones con un contenido en estaño superior al 7% aparece además de la fase alfa, algo de fase delta. La estructura de un bronce fosforoso al 10%, enfriado rápidamente fig.1.9(a), muestra pequeñas partículas de fase en una matriz dendrítica alfa. La fig.1.9(b) muestra ampliada esta fase delta.

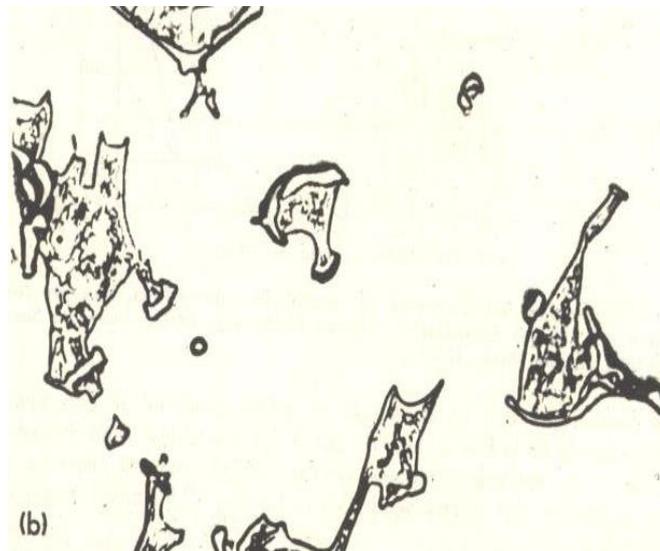


Fig. 1.9 .- Estructura de un bronce ordinario con 10% de fósforo, enfriado rápidamente. Fig 1.9(a) muestra pequeñas partículas de fase en una matriz dendrítica alfa. La fig 1.9(b) muestra la fase delta, 1000x.

Cuando la temperatura del metal líquido disminuye lo suficiente por debajo del punto de solidificación, se forman espontáneamente en distintos puntos del líquido, agrupaciones o núcleos estables. Estos núcleos, que son porciones de líquido solidificadas, actúan como gérmenes de cristalización. A medida que continúa el enfriamiento, se solidifican más átomos, los cuales se agregan a los núcleos de cristalización. Cada núcleo atrae nuevos átomos del líquido que se van ordenando con arreglo a la red espacial del metal, y estos van continuamente creciendo en las tres direcciones preferentes, que por lo general son los ejes cristalográficos. Este proceso de solidificación da origen a una estructura característica de tipo arborescente denominada dendrítica, recibiendo estas arborescencias el nombre de dendritas ( fig. 1.10 ).



Fig. 1.10 .- Crecimiento de dendritas en el magnesio líquido

Como los núcleos se crean de forma arbitraria, la orientación de los ejes cristalográficos también presentara el mismo carácter, y las dendritas que en ellos se formen tendrán direcciones diferentes en cada cristal. Las arborescencias que forma la dendrita se desarrollan hasta que al disminuir la cantidad de líquido presente, tropiezan con las arborescencias de las dendritas inmediatas, en cuyo momento cesan en su desarrollo, lo que hace que su forma externa sea muy irregular. Esta diferencia en la forma externa de los distintos cristales, ha dado lugar a que los cristales que se encuentran en todos los metales comerciales se denominen granos. Al interferir el crecimiento de unos granos con el de los otros, se crean unas zonas de contacto entre ellos llamadas contorno de grano, caracterizadas por su irregularidad ( fig. 1.11 )



Fig. 1.11 .- Representación esquemática del contorno de grano entre dos cristales. Los átomos rayados son los que forman el material de unión entre los cristales.

Esto da lugar a que las uniones intergranulares presenten una estructura no cristalina (amorfa) con los átomos dispuestos irregularmente. Como la última porción de líquido que solidifica es, generalmente, la que se encuentra en el contorno del grano, presenta una concentración de impurezas superior a la media del líquido, fig 1.12 del proceso de solidificación.

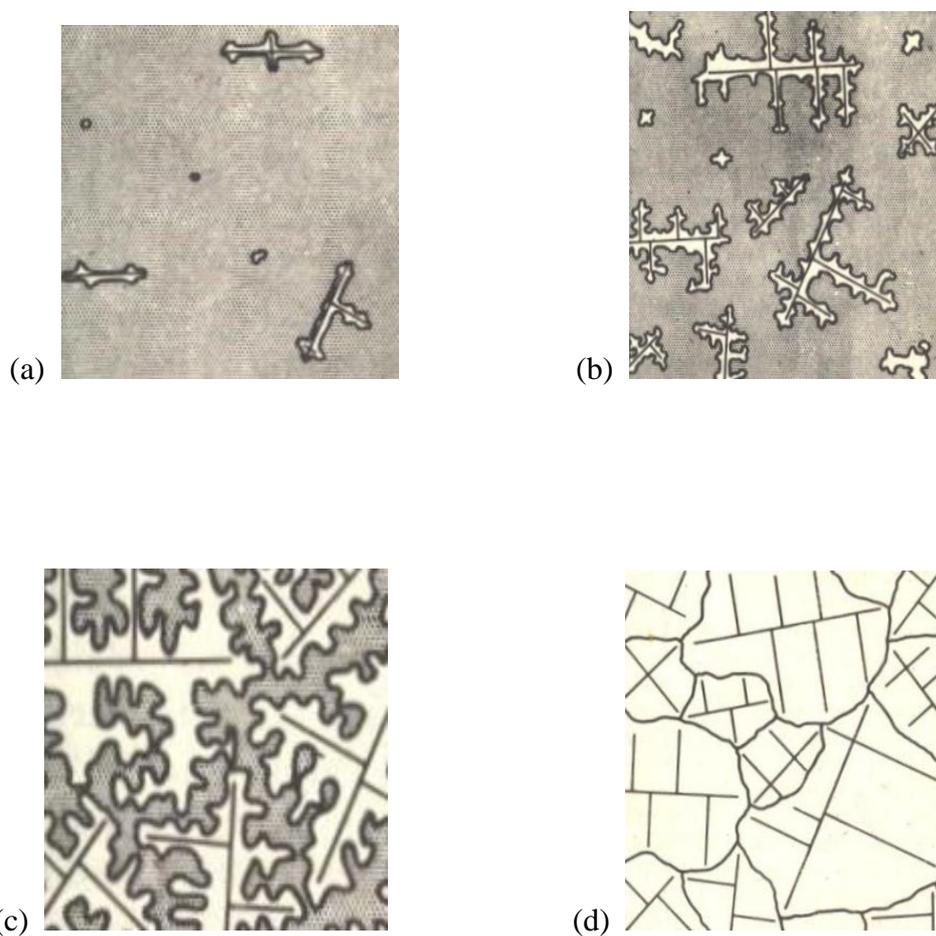


Fig. 1.12 .- Representación esquemática del proceso de cristalización por nucleación y de crecimiento dendrítico.

### **1.7 Control de calidad en la elaboración de la aleación UNS C 91700**

El término control de calidad incluye un sin número de pruebas para asegurar que el producto obtenido de la fundición cumpla con los requerimientos en todos los aspectos contemplados en una norma, aparte que debe de cumplir aspectos intrínsecos de calidad no se pueden descuidar los aspectos extrínsecos, tal como los poros debidos a las prácticas de fusión artesanal sin control de la fusión.

Siempre al solidificar el metal liquido quedan retenidos gases en su interior, se originan en la pieza moldeada poros o sopladuras. Por lo general estos defectos son más numerosos y de menor tamaño que los embudos o cavidades de contracción, y se distinguen de estas ultimas por su forma esferoidal. Estos gases, en particular el aire, pueden pasar al molde en el momento de la colada, disueltos en el metal fundido, o entremezclado con él, debido a un aumento brusco del chorro de metal líquido. Ahora bien, como los gases son por lo general más solubles en los líquidos que en los sólidos, durante la solidificación los gases disueltos se desprenden. Los gases también pueden originarse como consecuencia de la reacción entre el metal líquido y las sustancias volátiles, tales como la humedad, contenida en el molde. La porosidad se puede reducir en gran medida aireando y ventilando convenientemente los moldes, y utilizando moldes que permitan una fácil evacuación del aire y gases contenidos en su interior.

Es así que desde un principio se debe asegurar que la aleación a obtener va a cumplir con lo requerido. La chatarra de cobre viene en alambre y trozos de fusión de la producción de alambres de cobre, los mismos que serán lo más grueso posibles para minimizar las pérdidas, por oxidación. Como se añadirá estaño, el metal base debe tener la menor condición de oxidación.

También se añadirá níquel. Tanto el estaño y el níquel se los consigue en el mercado local en forma de lingotes y ánodos de sacrificio con pureza comercial de 99.9%.

El plomo se usa de chatarra de plomo, de accesorios de instalaciones sanitarias o lo que se llama plomo dulce sin antimonio y el fósforo está a nivel comercial en aleación al 14 % en aleación con cobre.

Luego se controla el ingreso del material al horno; no todos los elementos ingresan en un solo tiempo.

Primero es el cobre, cuando este ya esté fundido se le añade el estaño, níquel y plomo, en ese orden.

La manera más efectiva para minimizar la absorción de hidrógeno durante la fundición es minimizar la cantidad de hidrógeno en contacto con el material fundido, haciendo la fundición con atmósfera ligeramente oxidante.

Los hidrocarburos que se usan para la combustión son compuestos de hidrógeno y carbón que al quemarse ( unirse con el oxígeno ) forman

grandes cantidades de vapor de agua lo cual es un serio problema ya que esto comúnmente causa defectos en los productos terminados, es por esto que se aconseja fundir bajo condiciones ligeramente oxidantes; esto significa ajustar la relación combustible-aire del quemador lo que hace que exista una combustión completa, resultando una pequeña cantidad de oxígeno libre en la llama. Este exceso de oxígeno bajo circunstancias normales tiende a saturar la fundición con oxígeno y restringe la solubilidad del hidrógeno a niveles bajos aceptables.

Una técnica de control para asegurar una atmósfera ligeramente oxidante es “la prueba del zinc” la cual consiste en sostener una pieza de zinc pequeña a la salida de la llama del quemador durante 5 segundos para luego observar su apariencia; si la superficie se ennegrece entonces la atmósfera es altamente reductora, si cambia de amarillo a gris claro es reductora y si el color no cambia entonces la atmósfera es oxidante.

También debemos controlar la temperatura de la fundición que se hace este caso con termocuplas que es la manera más precisa de controlar este parámetro.

Los moldes deben estar libres de humedad para esto se los precalienta con llama directa de lanzallamas de gas propano butano ya que el aire en particular puede pasar al molde en el momento de la colada, disuelto

en el metal fundido o entremezclado con él debido a un aumento brusco del chorro del metal líquido.

El siguiente control es en el vaciado del metal que debe ser continuo y lo más rápido posible para asegurar que no haya imperfecciones al momento de solidificar.

Por último se hace inspección visual escogiendo las probetas para análisis químico, ensayos de dureza, de tracción y metalografía.

### **1.8 Aplicaciones de la aleación UNS C 91700**

La elección de una determinada aleación depende de los requerimientos de diseño, así como el esfuerzo a la que estará sometido el material, la corrosión a la que esté expuesto, lubricación, dimensiones, velocidad de rotación, condiciones atmosféricas, etc.

Esta aleación se la usa principalmente en piezas sometidas a grandes esfuerzos y medianas velocidades debido a su combinación de dureza, cualidades de superficie y resistencia a la corrosión.

Entre algunos ejemplos tenemos:

Fuelles, arandelas de sujeción, seguros, bujes, discos de embrague, resortes, engranajes, casquillos de cojinetes, tornillos sinfín.

También se la utiliza en piezas de maquinarias sometidas a corrosión así como impellers, bombas, rodamientos, construcciones marinas y se la usa para recipientes sometidos a presión.

Por su amplio rango de enfriamiento haciendo la colada en moldes de arena se obtienen piezas de formas especiales así como también se la utiliza para esculturas.

Presentamos a continuación figuras de aplicación de esta aleación:

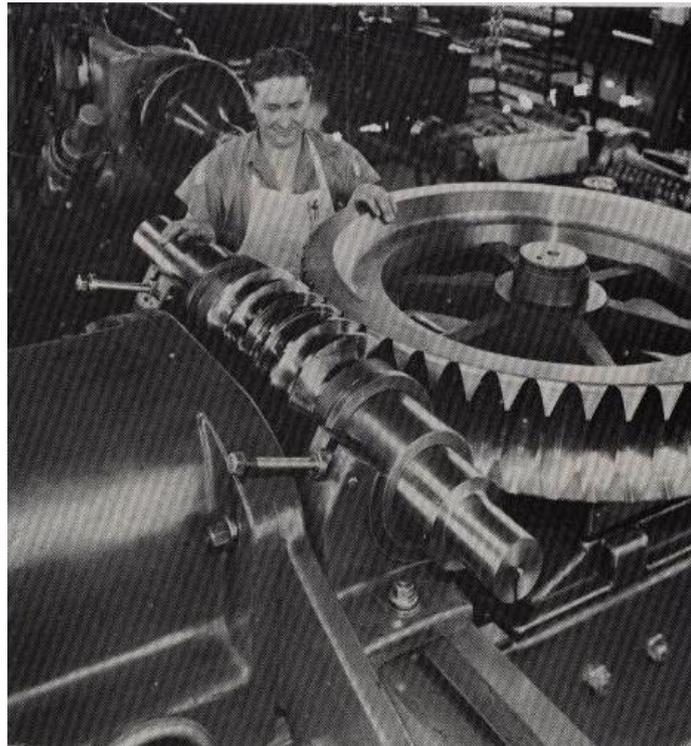


Fig. 1.13.- Tornillo sin-fin con su rueda. Bronce al estaño (87Cu, 2Ni, 112Sn)

Con sin-fin de acero SAE 4340



Fig. 1.14 .- Coronas para sistemas sin-fin corona. SAE 65 (89Cu, 11Sn)

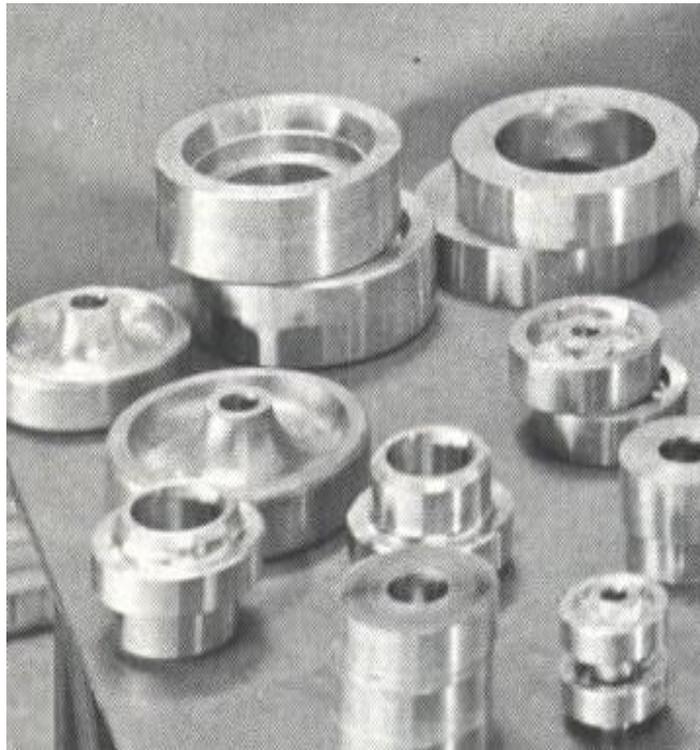


Fig. 1.15.- Piezas centrifugadas para hacer coronas. SAE 65 ( 89Cu, 11Sn )

# CAPÍTULO 2

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 Metodología experimental

La técnica experimental que se usará para desarrollar el método de trabajo artesanal se dividirá en dos partes, a saber:

1.- Se procederá a encontrar por medio de prueba y error las pérdidas típicas de los elementos principales cobre y estaño durante la fusión. Luego se procederá a la elaboración de una aleación madre por fusión constituida de cobre y estaño en partes iguales. Después se procederá a la fusión de lingotes de cobre puro a partir de reciclaje de chatarra de cobre. Luego se fundirá la aleación madre considerando el porcentaje de estaño que posee y se agregará la cantidad de cobre requerido para obtener la composición indicada en la norma. El diagrama secuencial de operaciones describe en más detalle esta técnica de trabajo.

2.- Elaborar la aleación por método directo.

Con los porcentajes encontrados de las pérdidas típicas de la fusión de la aleación obtenida por el método que utiliza una aleación madre se hará el cálculo de carga y se procederá a la fusión primero del cobre y luego se incorporará el estaño y los otros elementos de aleación.

Luego se hará el control de calidad de las aleaciones hechas por los dos métodos por medio de: análisis químico, ensayos de dureza y metalografía. Con estos datos se encontrará finalmente la aleación certificada, con la cual el fundidor artesanal puede trabajar estando dentro de la norma.

## **2.2 Materiales y equipo utilizado**

A continuación se nombra los materiales utilizados, así como también se describe el equipo usado en este trabajo experimental, mismo que es simple y de fácil adquisición de tal forma que cualquier fundidor puede hacer sus propias pruebas.

### MATERIALES UTILIZADOS

Chatarra de cobre de conductores

Estaño 99.9% puro

Chatarra de plomo de uso sanitario, plomo dulce

Níquel puro 99.9%

Fósforo en forma de pastillas (desgacificante)

Diesel

Gas propano

### EQUIPO UTILIZADO

Microscopio Leitz asistido por computadora

Balanza de 20 kg, 6 Kg

Crisol de 20 Kg, 5Kg, 3Kg

Pinzas (agarrar crisol)

Barra de hierro (mover colada)

Probetero metálico

Vidrio molido, Carbón vegetal

Horno de crisol

Termómetro digital



Fig. 2.1.- Equipo utilizado en la realización del trabajo experimental

( Crisol, pinzas, guantes y barra para mover colada )



Fig. 2.2.- Probetero y separador de escoria



Fig. 2.3 .- Sistema de inyección de combustible.  
( Gas propano, diesel, ventilador y horno de crisol )

## 2.3 Fusión y ajuste de composición química por el método con aleación madre

### 2.3.1 Diagrama de flujo de la elaboración de la aleación madre

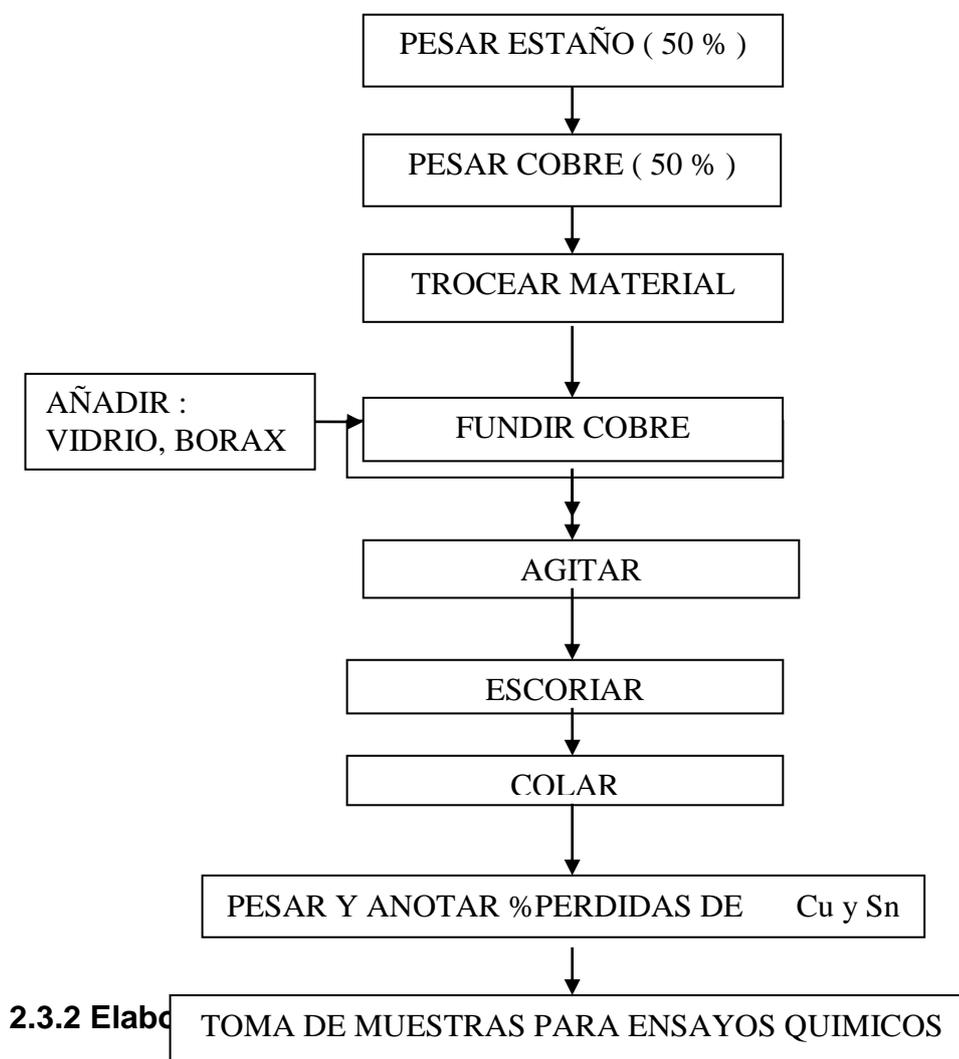


TABLA 5

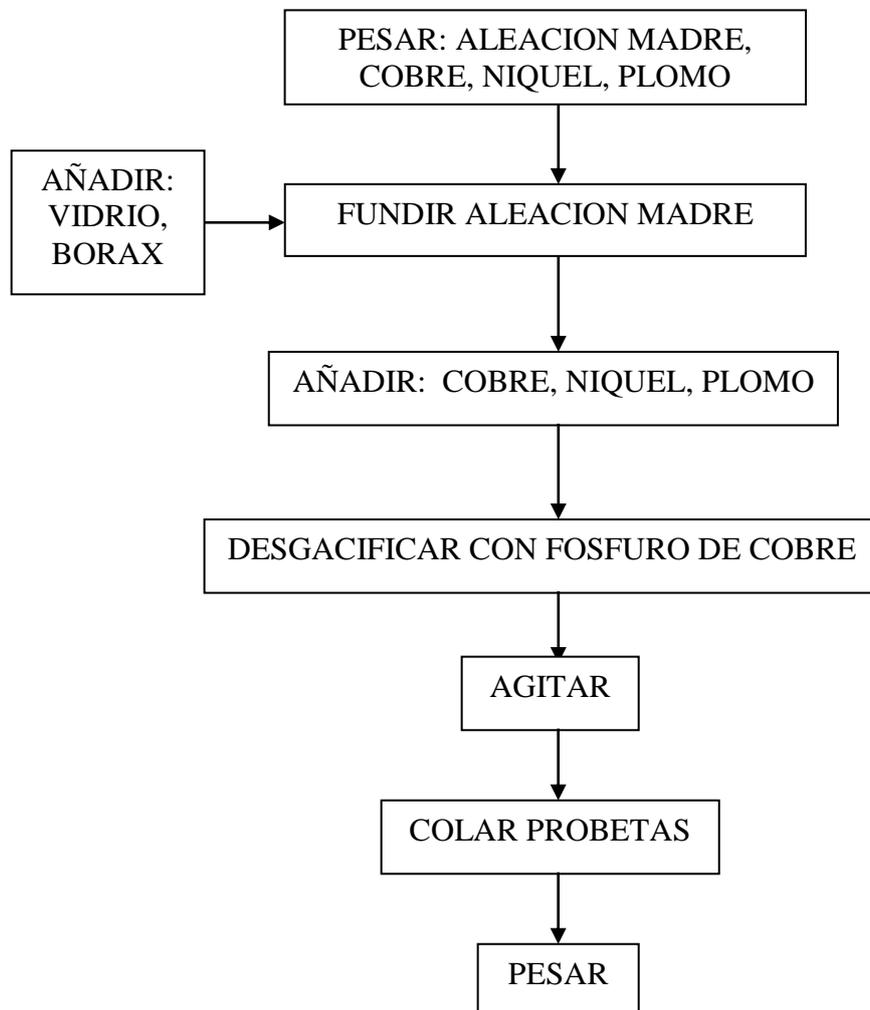
## ALEACION MADRE 1

	PESO TEÓRICO	PESO TEÓRICO	PESO EXPERIMENTAL ENCONTRADO	PERDIDAS
	gr	%	%	%
Sn	2786	48.53	46.33	2.2
Cu	3250.5	51.47	53.67	2.2

Luego de la aleación madre se procede al cálculo de varias aleaciones a obtener a fin de encontrar una composición ideal.

Como el elemento determinante es el estaño y con perdidas aproximadas de un 2 % hacemos un cálculo para obtener probetas con ocho composiciones diferentes de porcentajes de estaño de tal manera que dos caigan por debajo del porcentaje de la aleación final, dos se encuentren por encima del mismo rango y cuatro aleaciones caigan dentro del rango de la aleación final.

### **2.3.3 Elaboración de aleaciones con diferentes porcentajes de estaño a partir de la aleación madre 1**



En esta primera prueba:

Hay diferencias de porcentaje considerables que se dan fundamentalmente en el cobre, y algo en el estaño.

Se escogerá una de estas aleaciones para ajustar químicamente.

Se hará una segunda aleación madre ajustando luego a composición química de aleación definitiva que caiga dentro del rango de la aleación C 91700

### 2.3.4 Elaboración de aleación madre con otra composición

TABLA 6  
ALEACIÓN MADRE 2

	PESO TEÓRICO	PESO TEÓRICO	PESO EXPERIMENTAL ENCONTRADO	PERDIDAS
	gr	%	%	%
Sn	1010.5	48.65	41.9	6.75
Cu	1066.6	51.35	58.1	6.75

Se presentaron pérdidas considerables que está fuera de las cantidades aceptables en este método luego fue necesario repetir el experimento aunque es posible utilizar la aleación madre considerando los porcentajes encontrados.

### 2.3.5 Fusión de aleación de composición final

TABLA 7  
ALEACIÓN DE COMPOSICIÓN FINAL

	Cu	Sn	Pb	Ni	P
% CALCULADO	88.75	12.5	0.15	2	0.1
Peso ( gr )	7190.38	1012.73	12.15	159.7	8.10
% EXPERIMENTAL					
ENCONTRADO	75.40	13.46	0.1	1.60	0.1
DIFERENCIAS					
PORCENTUALES	13.35	0.96	0.05	0.4	-
( % )					

En este ensayo el valor de la pérdida de cobre también se muestra excesiva así como también se muestra una aumento en el valor porcentual del estaño, lo cual será corregido en nuevas coladas; en todo caso como los contenidos de los elementos de aleación no caen dentro del rango de la aleación C 91700 se procede a ajustar composición química a partir de la aleación con contenido en Sn de 13.46 %:

Se añadirá los 13,35% de Cu de la primera prueba y se considerará un 5 % de pérdidas en esta segunda fundición ya que la que se obtendrá proviene de una aleación que casi cae dentro del rango requerido, por consiguiente no habrá mayores diferencias.

### 2.3.6 Ajuste de composición química de aleación obtenida

TABLA 8

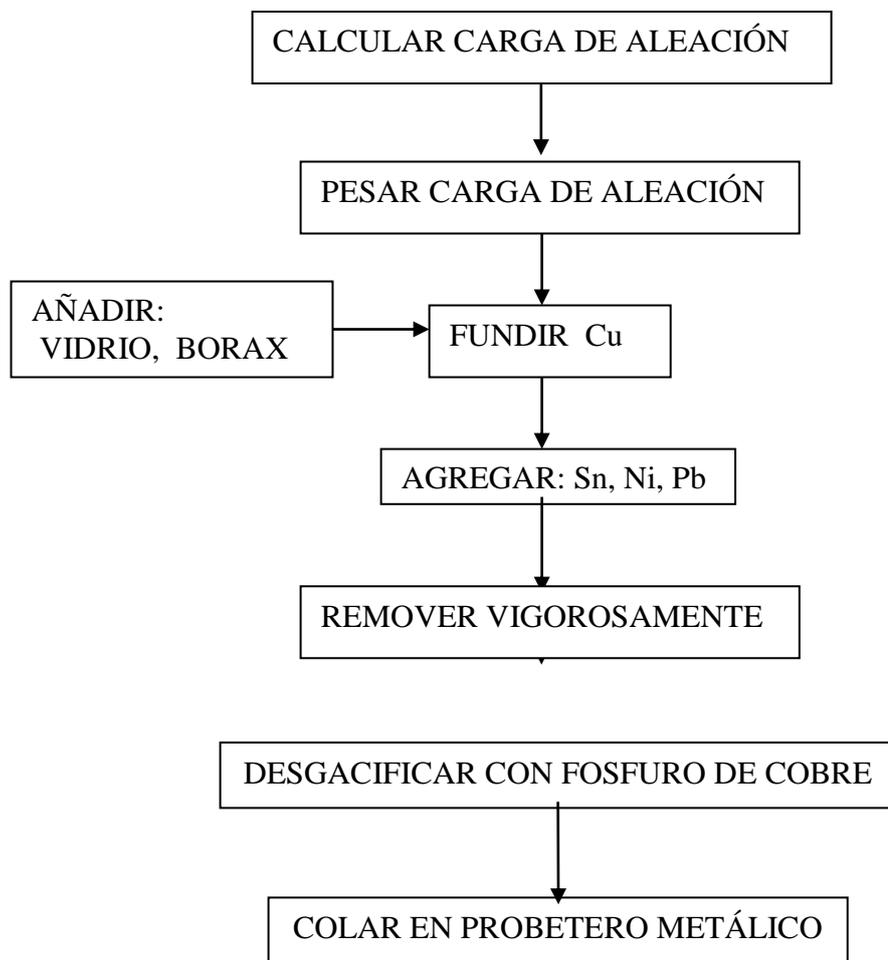
AJUSTE DE COMPOSICION QUIMICA DE ALEACION OBTENIDA

	Cu	Sn	Ni	Pb	P
% TEÓRICO CALCULADO	75.40+13.35+5				
	93.75	13.46	1.6	0.1	0.1
% EXPERIMENTAL ENCONTRADO	85.03	11.55	1.26	0.13	0.1
DIFERENCIA PORCENTUAL (%)	9.21	1.91	0.34	-	-

En este ensayo el valor del estaño se encuentra en el rango de composición, luego esta aleación se toma como ajustada a la norma UNS C 91700.

## 2.4 Elaboración de la aleación con método directo

### 2.4.1 Diagrama de flujo de método directo



### 2.4.2 Elaboración de aleación por el método directo

Haremos una pérdida aproximada de este método.

TOMAR MUESTRAS PARA ANÁLISIS: QUÍMICO, DUREZA Y METALOGRAFÍA

TABLA 9

ALEACIONES ELABORADAS POR EL METODO DIRECTO

	ALEACION A	ALEACION B
Cu	90	90
Sn	12	13
Pb	0.15	0.15
Ni	2	1
P	0.1	0.2

Siguiendo la secuencia de operaciones establecidas en el diagrama de bloques. Para el cálculo de los pesos que entrarán en el crisol se consideró una pérdida máxima de 10% para el cobre y los cálculos se ubican en la siguiente tabla:

TABLA 10  
ALEACION FINAL .-ALEACION C

	Cu	Sn	Pb	Ni	P

% CALCULADO CONSIDERANDO	85.25+10				
10 % PÉRDIDAS	= 95.25	12.5	0.15	2	0.1

### **2.5.2 Análisis de dureza- Método de la aleación madre**

Los ensayos de dureza se realizan con durómetro Brinell y usa penetrador de bola de acero de 10mm de diámetro y se aplica una carga de 1500kg, se la deja actuar por espacio de 5 seg.

TABLA 12

## ANALISIS DE DUREZA.- METODO DE LA ALEACION MADRE

ALEACIÓN	% Sn	DIAMETRO DE LA IDENTACION (mm)	DUREZA BRINELL (BHN)
ALEACIÓN	% Sn	DIAMETRO DE LA IDENTACION (mm)	DUREZA BRINELL (BHN)
1	10	4.25	102
2	9.19	4.33	99.0
3	8.94	4.4	93.6
4	7.8	4.49	90.4
5	6.14	-----	-----
6	8.8	4.45	92.0
7	7.68	4.50	89.3
8	7.5	4.60	85.2
9	11.55	3.90	121

\* Las probetas son provenientes de solidificación en molde metálico.

### 2.5.3 Metalografía.- Método de la aleación madre

El análisis metalográfico establece el diagrama y las fases presentes; se realizó usando las técnicas de preparación metalográfica normales y que se resumen por un pulido intermedio con lijas desde 200 hasta 600 y un pulido final con pasta de diamante de 1 micra, luego se procede a hacer ataque químico con dicromato de potasio y pulido con alúmina por tres veces consecutivas y se pasa a realizar la observación visual.

A continuación se presenta las microfotografías tomadas a las probetas ensayadas por este método:



Fig. 2.5.3.1 100X MICROGRAFIA 1

Correspondiente a la aleación 2 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en estaño es de 9.19% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente

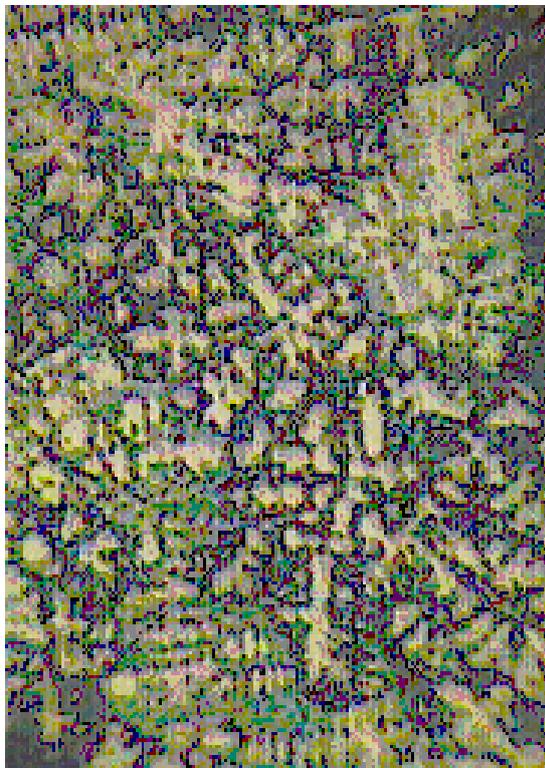


Fig. 2.5.3.2 100X MICROGRAFÍA 2

Correspondiente a la aleación 3 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en estaño es de 8.94% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente.

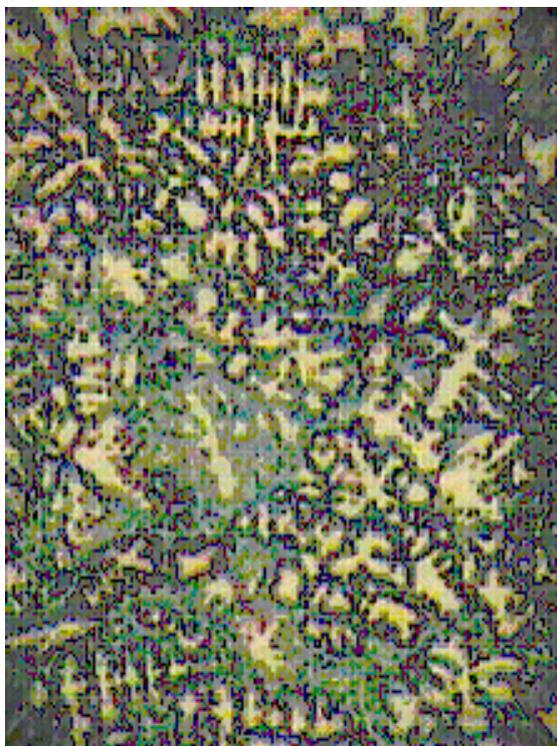


Fig. 2 5 3 3      100X   MICROGRAFÍA 3

Correspondiente a la aleación 5 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en estaño es de 6.14% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente.

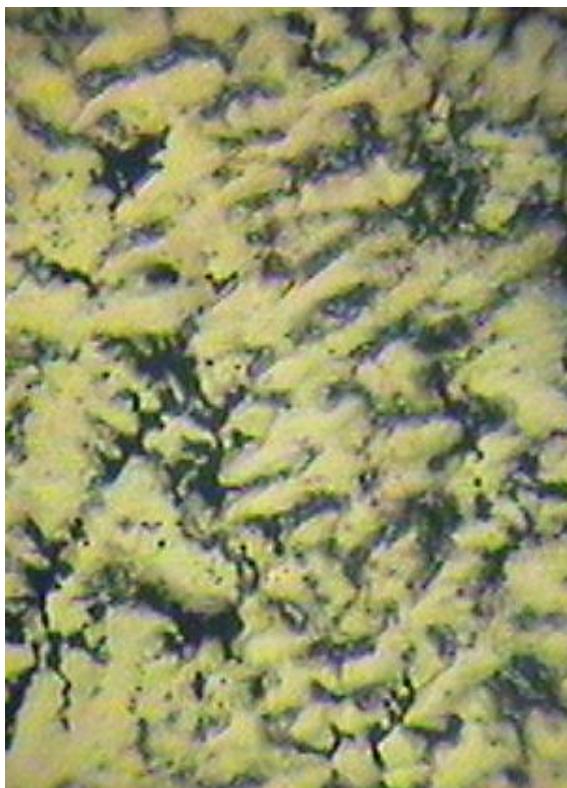


Fig. 2.5.3.4 100X MICROGRAFÍA 4

Correspondiente a la aleación 7 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en estaño es de 7.68 Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente.

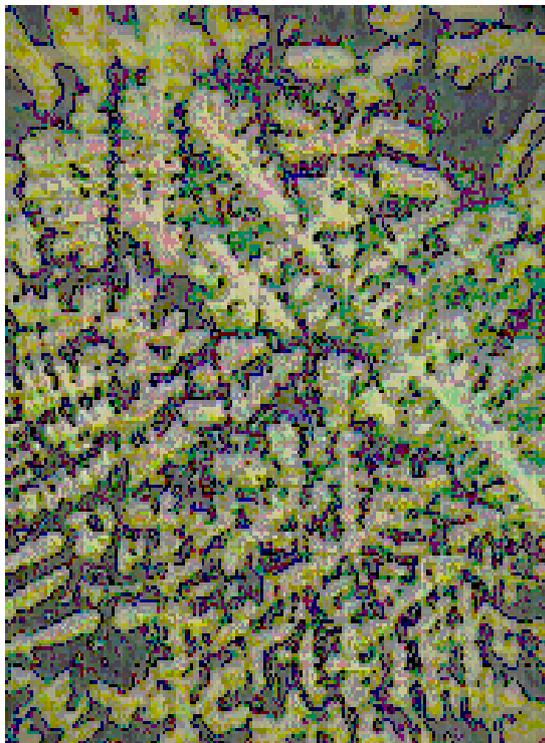


Fig. 2.5.3.5 100X MICROGRAFÍA 5

Correspondiente a la aleación 8 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en estaño es de 7.5%; Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente.

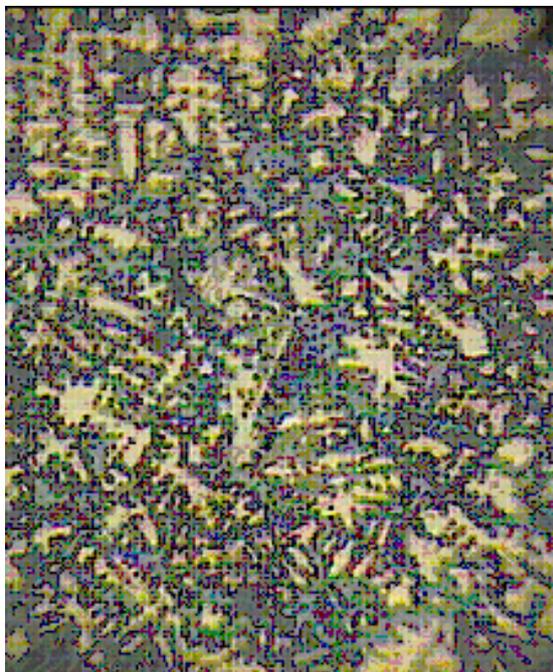


Fig. 2.5.3.6            100X    MICROGRAFÍA 6

Correspondiente a la aleación 9 de la tabla 2.5.1 cuyo contenido en estaño es de 11.55% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente

### **2.6.2 Análisis de dureza.- Método directo**

TABLA 14  
ANALISIS DE DUREZA.- METODO DIRECTO

ALEACION	MUESTRA (% Sn teórico/ % Sn experimental))	DIAMETRO DE LA IDENTACION (mm)	DUREZA BRINELL (BHN)
A	12 / 8.96	4.50	92
B	13 / 15	2.97	125
C	12.5 / 11.14	3.95	117

### 2.6.3 Metalografía.- Método directo

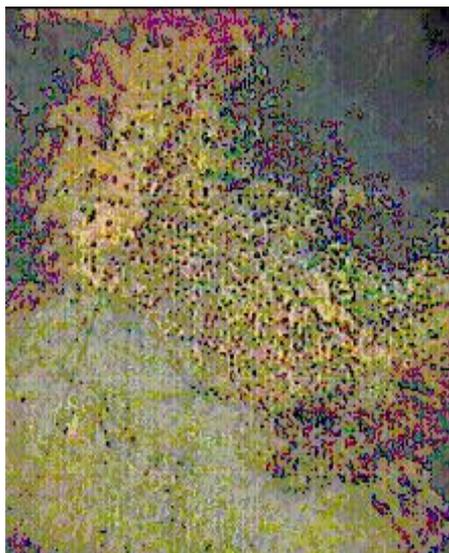


Fig. 2.6.3.1 100X MICROGRAFÍA 7

Correspondiente a la aleación A de la tabla 2.6.1 cuyo contenido en estaño es de 8.96% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente.



Fig. 2.6.3.2 100X MICROGRAFÍA 8

Correspondiente a la aleación B de la tabla 2.6.1 cuyo contenido en estaño es de 15% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$  alternadamente.

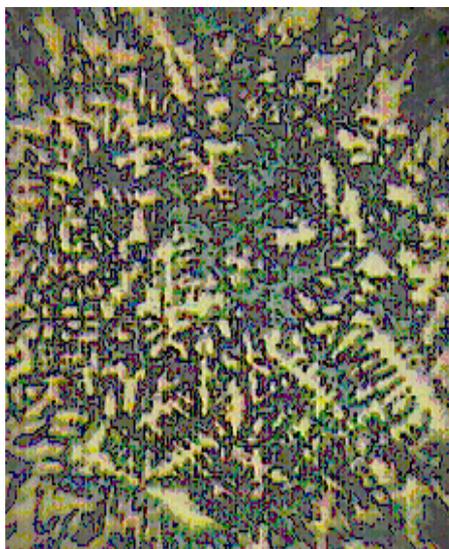


Fig. 2.6.3.3 100X MICROGRAFÍA 9

Correspondiente a la aleación Cde la tabla 2.6.1 cuyo contenido en estaño es de 11.14% Reactivo:  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{OHNH}_4$  alternadamente.

# CAPITULO 3

## 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1 Con relación al método de elaboración

- Se diseña un proceso de fabricación en base a una secuencia de operaciones establecidas por diagramas de flujo las mismas que se siguen para obtener una aleación certificada.

Para poder entrar a este sistema secuencial de operaciones hemos tenido que realizar unos ensayos preliminares, los cuales están basados en conocer las características del equipo y los materiales utilizados, tal es así que los primeros ensayos fueron de ajuste para conocer el porcentaje de pérdidas que se dan durante la fusión de los metales. En unos casos las pérdidas fueron mayores en el cobre, en otros casos en el estaño.

- El método de elaboración de la aleación que usa aleación madre para llegar a nuestro objetivo radica en que debemos tener una aleación en donde el estaño ya esté aleado junto con el cobre, procurando en lo posible que estén en partes iguales, luego deberemos fundir el cobre y añadiremos la aleación madre y los elementos faltantes, para ajustar una composición que llega casi a la

composición requerida, para luego con esta última ajustar a la composición deseada que en nuestro caso es la C 91700.

- La diferencia de porcentajes en composición química para el cobre está entre el 6 y 10 %.
- La diferencia de porcentajes en composición química para el Sn está entre 3 y 5 %.
- En el otro método que denominamos directo es aquel que conociendo las pérdidas de los elementos aleantes obtenidas nos sirven de base para el cálculo de nuestra aleación final, considerando siempre que estas aleaciones son hechas de chatarra pero debe estar seleccionada. Si la chatarra no cumple con la pureza necesaria previo a la fundición de la aleación se hará lingotes de la misma.
- La diferencia de porcentajes en composición química para el Cu está alrededor del 18%.
- La diferencia de porcentajes en composición química para el Sn varía alrededor de un 4%.

Así podemos ir enumerando cada uno de los experimentos, cómo fuimos ajustando la composición química hasta conocer en detalle preciso cuáles eran las deficiencias de nuestro equipo y también se elaboró un procedimiento para llegar a la meta de obtener aleaciones que caigan dentro del rango requerido por la aleación UNS C91700.

### 3.2 Con relación a la calidad de la aleación

Hemos tenido resultados precisos al realizar el control de calidad a las aleaciones obtenidas por ambos métodos, es decir que es posible hacer estas aleaciones certificadas:

1. Usando material de reciclaje y,
2. Con equipo artesanal .

Utilizando un método de control de planta visual que consiste en hacer una probeta y ensayarla bajo condiciones de un análisis sencillo de comparación con un patrón de calidad conocida, luego se realiza un ensayo de flexión pero aplicando una carga de impacto con un martillo. Con este método podemos hacer ajustes finos en relación al color de la aleación, tamaño de grano de la aleación y presencia de defectos como porosidades, con esto se certifica la calidad de la aleación en relación a su constitución física de tal manera que no tenga defectos internos es aquí que estamos analizando qué tan efectiva ha sido el ajuste de composición química y la desgacificación realizada a la aleación.

Luego aplicamos los ensayos normalizados de análisis químico, tracción, dureza y metalografía para con esto concluir el control de calidad de nuestras aleaciones, ratificando con esto que nuestros postulados están correctos ya que llegamos a condiciones de

resistencia mecánica aproximada de 61ksi, siendo el valor de la norma de 60ksi.

TABLA 15

**ENSAYO DE TRACCIÓN REALIZADO A PROBETAS ELABORADAS POR AMBOS METODOS**

METODO ALEACION MADRE		METODO DIRECTO	
ALEACION	ESFUERZO DE TENSION ( ksi )	ALEACION	ESFUERZO DE TENSION ( ksi )
1	59.3	A	54.3
2	57.6	B	67.8
3	55.4	C	61.2
4	52.1		
5	49.8		
6	54.3		
7	51.7		
8	47.9		
9	61.5		

En cuanto al ensayo de dureza, el resultado de la misma no es imprescindible que sea el valor exacto que se expresa en la norma porque esto varía de acuerdo al rango de porcentaje del elemento aleante principal, y este es considerado en un rango de composición, sin embargo este valor debe estar muy cercano al de la norma.

Así, el valor de la norma es de 106 Brinell y nuestro resultado está entre 100 y 120 Brinell.

Pero la composición química es imprescindible que caiga dentro del rango ya que es muy estrecho porque la aleación bajo la norma debe

estar para el cobre entre 85% y 87%; y para el estaño debe estar entre 11.3% y 12.5%; valor que nos da 11.14% y 11.55%.

Todos los parámetros están analizados, certificados y ratificados que caen dentro de la norma UNS C 91700.

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- A mayor contenido de Sn; mayor dureza (92-125 HBN) de la aleación.
- A mayor contenido de estaño; aumento de color grisáceo en la fractura.
- Mayor contenido de Sn; tamaño de grano más fino.
- Mayor contenido de Sn; mayor resistencia a la tracción.
- No existe variaciones considerables en cuanto a los elementos aleantes.
- Los métodos sugeridos para obtener aleaciones certificadas a través de reciclaje en hornos artesanales es correcto.
- Las secuencias de operaciones establecidas en los diagramas de flujo aseguran la calidad de las aleaciones aquí producidas.
- Los equipos y materiales usados, sirven para el propósito que se fijó, es decir el reciclaje de chatarra genera aleaciones que cumplen con la calidad de una norma.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que los métodos aquí ensayados sean utilizados para producir aleaciones certificadas.
- Se recomienda también que cada artesano tenga su propio método de asegurar su calidad.
- El método de análisis rápido en planta le asegura una calidad constante lo cual es beneficioso para su producción.
- Se recomienda seguir con el estudio microscópico de las aleaciones de cobre, a fin de establecer una tabla comparativa que sirva a los fundidores como referencia calificadora.
- Si no se tiene microscopía por lo menos se debería tener diferentes composiciones de estaño y una cartilla con patrones de calificación de fractura de las aleaciones, color y tamaño de grano de las mismas.

### **METODOLOGÍA RECOMENDADA PARA FUNDIR LA ALEACIÓN CON CALIDAD CERTIFICADA**

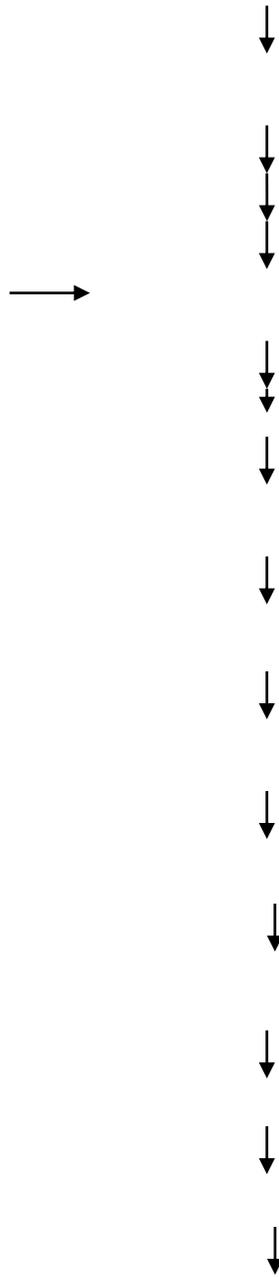
SELECCIÓN DE MATERIALES A FUNDIR CON ANÁLISIS QUÍMICO

CALCULAR CARGA DE ELEMENTOS DE LA ALEACIÓN

PESAR CARGA DE ELEMENTOS DE LA ALEACIÓN

AÑADIR:  
VIDRIO,  
BORAX

FUSIÓN DE COBRE



## BIBLIOGRAFIA

1. SAYRA ELIZABETH ORELLANA, Fabricación de la Aleación Bronce a Silicio bajo Norma Americana UNS C87200 (SAE J462).
2. RICHARD A. FLINN, Copper, Brass and Bronze Castings.
3. AMERICAN FOUNDRYMEN`S SOCIETY, Casting Copper-Base Alloys.
4. SIDNEY H. AVNER, Introducción a la Metalurgia Física.
5. A. BIEDERMANN Y L. M. HASSEKIEFF, Tratado Moderno de Fundición de Metales no Férricos, Hornos Eléctricos y Ensayo de los Metales.
6. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals.

7. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE,  
Volume 15, 9<sup>th</sup> Edition, Casting.
  
8. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE,  
Volume 7, 8<sup>th</sup> Edition, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
  
9. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE,  
Volume 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams.