



00 30 2
Coke
C.2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**"FABRICACION DE BRONCES AL NIQUEL
(NICKEL SILVER)"**

TESIS DE GRADO

Previa A la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

JOSE I. CORONEL VARAS



CUAYAQUIL

ECUADOR

AÑO

1994

DEDICATORIA

" A mis padres y hermano quienes siempre estuvieron allí, a mi lado, cuando más los necesitaba; y en especial a mi madre, a quien, al fin, pude responderle la pregunta de cada día: "¿Cuándo terminas tu tesis? ".

AGRADECIMIENTO.

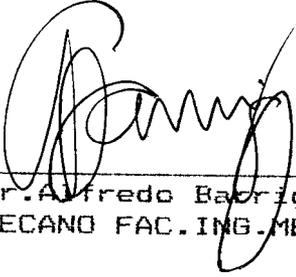
" A mi maestro el Ingeniero Ignacio Wiesner, sin cuyos oportunos consejos y conocimientos hubiese sido posible la realización de esta Tesis. Gracias ".

DECLARACION EXPRESA.

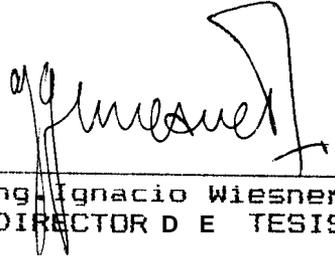
La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Titulos profesionales de la ESPOL).

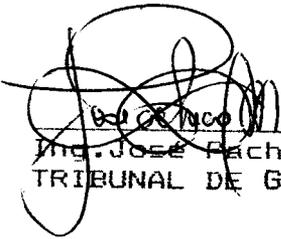
José Coronel Varas.



Dr. Alfredo Baeriga
DECANO FAC. ING. MEC.



Ing. Ignacio Wiesner
DIRECTOR D E TESIS



Ing. José Pacheco
TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Omar Serrano
TRIBUNAL DE GRADO



INDICE

RESUMEN	1
OBJETIVO	2
INTRODUCCION	3
CAPITULO 1	
FUNDAMENTOS TEOR I C05	8
1.1 Estructura de las Aleaciones de base Cobre	8
1.2 Propiedades de los Bronces al Niquel	18
1.3 Metalurgia de los Bronces al Niquel	31
1.4 Fundamentos del Proceso de Fusión	40
1.5 Control de Calidad	48
CAPITULO 2	
DESARROLLO EXPERIMENTAL	55
2.1 Método Experimental	55
2.2 Materiales y Equipos	60
2.3 Obtención de Coladas para Homologación de aleaciones	62
2.4 Resultados de las coladas	64
2.4.1 Análisis Químicos	64
2.4.2 Microestructura	66
2.4.3 Ensayos Mecánicos	70

CAPITULO 3

DISCUSION DE LOS RESULTADOS	73
3.1 Método Experimental	73
3.2 Propiedades Mecánicas Obtenidas	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones	75
Recomendaciones	76
BIBLIOGRAFIA	78

RESUMEN

Pat-a la elaboración de la aleación de Cobre ASTM C 97600 cuya composición química es la siguiente: 64% Cobre, 4% Estaño, 4% Plomo, 8% Zinc y 20% de Niquel se siguió el mismo método de control visual desarrollado en las clases de fundición y luego aplicado en las tesis de Victor Neira y José Jara.

Se partió de la elaboración de dos aleaciones madre iniciales. Una de Cobre-Niquel cuya composición fue de 75-25 respectivamente y la segunda de Plomo-Estaño-Zinc con una composición de 25-25-50. Todos los controles de composición química se realizaron vía absorción atómica y las propiedades mecánicas de las aleaciones para homologación con las normas ASTM fueron obtenidas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

OBJETIVO

Establecer una metodología para la elaboración de la aleación homologada C 97600 (bronce al níquel) aplicada a talleres artesanales o de pequeña industria y el proveer el análisis de 3 proceso.

INTRODUCCION

Hacia el año 2500 antes de Cristo ya se habían empezado las minas de Chipre en busca de Cobre. La invención del bronce ocurrió casi inmediatamente, por lo que el empleo y la busca del cobre se habían propagaado a Creta y Grecia, para extenderse luego a Sicilia, Cerdeña y sur de Italia, y al sureste de España, en la actual provincia de Almería. Esta oleada prosiguió por la costa de Portugal, gran foco entonces, también de arquitectura megalítica en BUS formas evolucionadas.

El verdadero punto de partida de la civilización del bronce fue la región montañosa del norte del Cáucaso, donde aquella aleación se había descubierto hacia el año 2500 antes de nuestra Era. Cuando hacia el 2100 A.C. de allí descendieron, al Sur, las tribus que estaban dedicadas a aquella metalurgia, esa difusión coincidió con el esparcimiento migratorio, por el sureste de Europa, de pueblos indoeuropeos.

En tonces se produjo una precipitación de la evolución histórica gracias a una serie de influencias sucesivas. Algunos de aquellos pueblos, pronto capacitados de los conocimientos de la metalurgia del bronce, ocuparon un lugar

muy destacado en la propagación histórica de esa nueva faceta del progreso humano. Eran grupos étnicos que, a diferencia de los agricultores, sedentarios, se veían obligados periódicamente a cambiar de suelo, ya porque se agotaran los recursos que eran esenciales para su tipo de vida, o ya porque los impulsase a recorrer el mundo e l deseo de incrementar el comercio de sus productos metálicos. Ejemplo de ello fueron, alrededor del año 2000 A.C., en territorio griego, 305 aqueos (portadores de bronce), como tiempo más tarde los serían, alrededor del 1200 A.C., los dorios (portadores de hierro).

Hacia el 1800 A.C., en España (Almería) floreció la cultura de El Argar, relacionada con la civilización cretense, que hizo escala en ella durante sus navegaciones en busca de estaño. Mas también por las costas del Adriático, a través del Paso del Brenner, habiase efectuado la penetración de una corriente innovadora hasta la ruta del Danubio, en Bohemia, en una región excepcionalmente rica en metales, donde florecía otra civilización importante, la llamada Unetice (del nombre de una población cercana a Praga). Cuando más tarde, durante la segunda mitad del II milenio antes de nuestra era, los celtas, en uno de sus desplazamientos, expulsaron del actual territorio de Bohemia a los poseedores de aquella

civilización, individuos de al 1 i emigrados contribuyeron a desarrollar en Hungría, cerca de los Montes Metálicos, una actividad metalúrgica de gran trascendencia, a la que se ha atribuido la invención de la espada de la hoja pesada, concebida ya para herir de tajo. A esta época corresponde también la aparición en Italia de la cultura de los terramares.

El Cobre debe ser aleado con otros elementos debido a que éste, en estado puro, es difícil de fundir así como también es propenso a sufrir agrietación superficial, problemas de porosidad y a la formación de cavidades internas. Las posibilidades de alear al Cobre son tan numerosas que su clasificación necesita separación de los metales en mayores grupos, diferenciándose ampliamente unos de otros en composición. Por esta razón la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM en inglés) ha adoptado una clasificación estándar de los grupos de aleaciones de base Cobre (ASTM Specification B119-45).

Las características de fundición del Cobre pueden ser mejoradas mediante la adición de pequeñas cantidades de elementos como berilio, silicio, níquel, estaño, zinc, cromo y plata. Los cobres aleados, por ejemplo, han demostrado

tener propiedades de resistencia mejoradas en comparación al cobre de alta pureza, al mismo tiempo que mantienen un mínimo de 85% de conductividad.

Al fundir cobre y sus aleaciones, la menor temperatura posible de colado necesaria para satisfacer el tamaño y forma del metal sólido debe adoptarse para generar un tamaño de grano tan pequeño como sea posible así como también para crear un mínimo de turbulencia del metal durante el proceso del colado.

Tipos de Aleaciones de Cobre.

La familia de aleaciones de base cobre puede ser subdividida en 3 grupos de acuerdo al rango de solidificación (freezing range). A diferencia de los metales puros, aleaciones solidifican de acuerdo a un rango de temperaturas. La solidificación empieza cuando la temperatura cae por debajo de la línea liquidus y se completa cuando la temperatura alcanza el solidus. El liquidus es la temperatura a la cual el metal comienza a enfriarse, y el solidus, la temperatura a la cual el metal está completamente frío. Los tres grupos son los siguientes:

Grupo I. Estas aleaciones son las que poseen un rango de enfriamiento estrecho, esto es, un rango de 50 °C entre el liquidus y el solidus.

Grupo II. Estas aleaciones tienen un rango de enfriamiento intermedio, esto es, un rango de enfriamiento entre 50 y 110 °C entre el liquidus y el solidus.

Grupo III. Estas aleaciones poseen un amplio rango de enfriamiento. Este rango varía desde 110 hasta 170°C.

Las aleaciones bronce al níquel pertenecen al grupo I. Estas aleaciones, también conocidas como níquel silver, son difíciles de fundir. La presencia del níquel incrementa la solubilidad del hidrógeno y las temperaturas elevadas de colado, mostradas en la tabla 3 del capítulo I, agravan la toma de hidrógeno. Estas aleaciones deben ser fundidas bajo una atmósfera oxidante y rápidamente sobrecalentadas a la apropiada temperatura de hot-no para compensar la inevitable pérdida de temperatura durante el manejo y vaciado.

C A P I T U L O I

FUNDAMENTOS TEORICOS.

1.1 Estructura de las Aleaciones de base Cobre.

En aplicaciones donde resistencia a la tracción, dureza y resistencia al desgaste son más importantes que la conductividad, aleaciones de cobre como el latón y el bronce son usadas en lugar del cobre puro. Los elementos con que el cobre es aleado con mayor frecuencia son: el zinc, el níquel, el estaño, aluminio, silicio y manganeso.

Supongamos que tenemos cobre en estado líquido a una temperatura por encima de su punto de fusión (1069 °C). Si un uno por ciento de estos elementos, mencionados anteriormente, es añadido se disolverá inmediatamente en el cobre. Tendremos así una solución líquida. En el enfriamiento, sin embargo, en la mayoría de los casos, el metal que añadimos no se separa como un elemento puro como los cristales de níquel sino que formará una solución sólida con el cobre. Por una solución sólida entendemos que la aleación se cristaliza con la

estructura **cúbica** de **cara** centrada del **cobre**, pero **átomos**, realmente **iones**, del elemento **aleante** sustituyen alguno de los **iones** de **cobre** con el consecuente cambio en las **fuerzas** de **unión**.

Cuando **cantidades** **mayores** de algunos **elementos** **son** **añadidas** o cuando **átomos** del **elemento** incorporado no "**calzan bien**" en la estructura de **cobre**. **éste** forma una estructura independiente. En **el caso** del **plomo** **sólo** una **pequeña** cantidad **está** presente en **105 cristales** de **cobre** y **el** resto **se precipita como cristales separados** de **plomo** con una forma **aproximadamente esférica**. En **el caso** del **latón**, después de que un **38%** de **zinc** **es** **añadido**, la fase **heta** **es** **obtenida** además de la estructura **cúbica** centrada en la **cat-a**.

Estas dos posibilidades, (1) **formación** de una **solución** **sólida** y (2) **formación** de un **precipitado** en **adición**, proveen un **método simple** de **clasificación** para todas las **aleaciones** de base **cobre**. Como **grupo**, las **aleaciones** de una **fase** **en las cuales** una **solución** **sólida** se encuentra presente. se comportan de un modo **similar** al **cobre** en **cuanto** a que se **deforman** bajo **carga**, usando los mismos **sistemas**. Consecuentemente **poseen** una gran **ductilidad**.

Por otro lado, las aleaciones con más de una fase (polifásicas) poseen, generalmente una mayor resistencia y dureza debido a la presencia de la fase precipitada (excepto, claro, cuando un material suave como el plomo se precipita). También es posible el variar las propiedades de una aleación dada cambiando el tamaño y la distribución del precipitado.

Procederemos a discutir las propiedades de los tipos de aleaciones y como pueden ser éstas variadas para satisfacer las necesidades del diseñador.

Aleaciones de solución sólida de una fase.

En este grupo de materiales consideraremos primero el mecanismo mediante el cual el elemento en solución sólida cambia las propiedades del cobre. La figura 1.1 muestra que hasta un 50% de níquel, cuando es añadido al cobre, varia las propiedades de éste en estado puro de la siguiente manera:

Resistencia y Dureza se incrementan.

Ductilidad y conductividad decrecen.

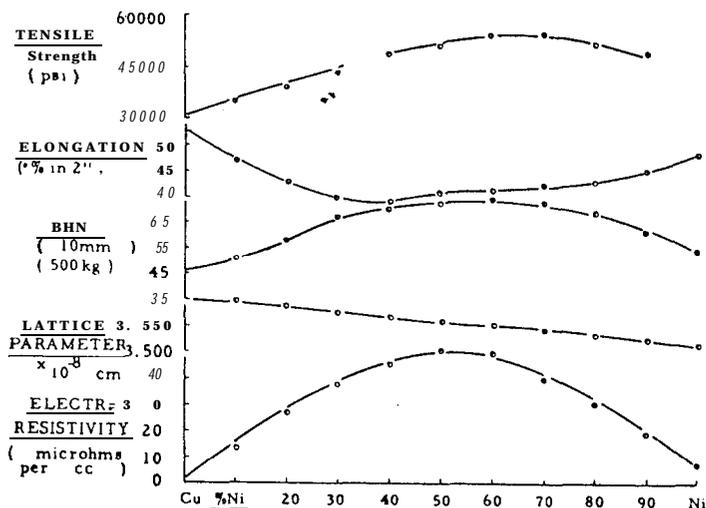


Figura 1.1

Variación de propiedades de la aleación con respecto a la variación en el porcentaje de níquel.

Hay varios mecanismos mediante los cuales los átomos disueltos pueden aumentar la resistencia. Antes de explicar uno de estos mecanismos es necesario contestar la siguiente pregunta: ¿Por qué deslizamientos se generan en lugares específicos de un cristal cualquiera? Puede demostrarse que estas regiones contienen imperfecciones llamadas dislocaciones las cuales son producidas durante la cristalización o debido al trabajado mecánico.

Ahora, retornando a la solución sólida, encontramos que algunos de los átomos de la solución en su movimiento migratorio prefieren localizarse en las dislocaciones. Estos encuentran que es más fácil caber en estas regiones imperfectas que en las porciones regulares del cristal.

La concentración de estos átomos en la dislocación tienden a prevenir su movimiento. De esta manera, ya que el deslizamiento es más difícil, la resistencia total del cristal se eleva. Invariablemente, la adición de otro elemento en solución sólida le dará mayor resistencia a un metal puro. Esto se mantiene aún en el caso de que la estructura cristalina del elemento aleante sea más débil que el cobre.

Rango de las Soluciones Sólidas.

La forma más concisa de describir la cantidad de un elemento aleante dado que puede ser mantenida en solución sólida es mediante el uso de diagramas de fases. Un tipo simple de diagrama de fase es el de las aleaciones cobre-níquel (figura 1.2). Esto se debe a que hay muy poco cambio en la estructura cristalina del sólido. La estructura del níquel es también de cúbica centrada en la cara y a medida que el níquel es añadido el único efecto que se produce es el reemplazo de los átomos de cobre por átomos de níquel.

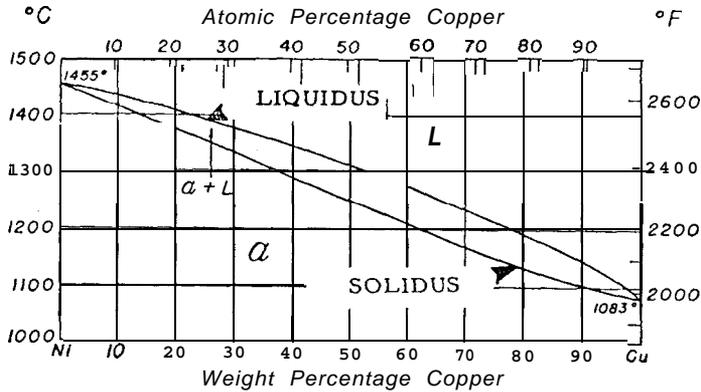


Figura 1.2

En contraste al níquel, la mayoría de los elementos poseen solo una limitada solubilidad sólida en cobre. El aluminio, por ejemplo, a pesar de poseer una estructura cúbica centrada en la cara, tiene una solubilidad sólida máxima del 9.4% en el cobre. Cuando cantidades mayores son añadidas, el exceso se combina con algo de cobre para formar fases diferentes, por ejemplo diferentes estructuras cristalinas llamadas alpha o beta, dependiendo de la composición y la temperatura.

El Plomo es un caso extremo con prácticamente ninguna solubilidad sólida en cobre. ¿ Por qué el níquel se disuelve en toda su proporción en el cobre, el aluminio

el 9.4% y nada del plomo ? Esta es una pregunta importante en el desarrollo de las aleaciones. La consideración más importante que hay que tomar es si el radio atómico del elemento aleante combina con el del cobre y por lo tanto cause un mínimo de perturbación de la estructura del cobre cuando éste entre. El radio atómico se calcula fácilmente si conocemos las dimensiones de la celda unitaria. Por ejemplo, en el caso del cobre, el borde de la celda es de 3.60 angstroms. En el modelo del cobre (figura 1.3) tres átomos se encuentran en contacto a lo largo de la diagonal en el centro de la cara. La longitud de la diagonal de la cara es de:

$$3.60 (2)^{1/2} / 4 = 1.26 \text{ angstroms}$$

Comparemos ahora la relación de este valor con otros radios. El níquel tiene un radio atómico de 1.24 angstroms, el aluminio tiene 1.43 y el plomo 1.75. En general, una solución sólida puede darse con otro metal si el radio del elemento aleante posee una relación máxima del 14% con el radio del cobre.

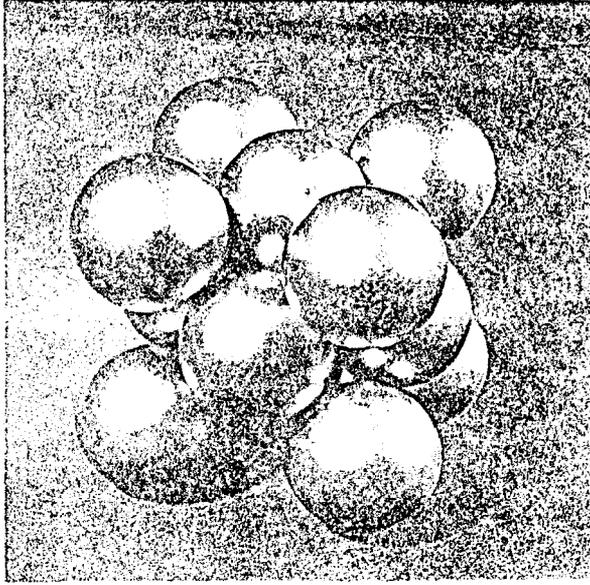


Figura 1 .3

Aleaciones Polifásicas.

Cuando la solubilidad de un elemento en la fase alpha es excedida una nueva fase se forma. Las propiedades de la aleación son profundamente afectadas por la naturaleza, tamaño, forma y distribución de la estructura adicional. Los dos tipos principales de precipitaciones son: (1) a partir de líquido y (2) por reacciones del estado sólido.

(1) Precipitación a partir del Líquido.

A pesar de que encasillamos a las aleaciones que

contienen plomo en el tipo monofásico desde el punto de vista de resistencia, la dispersión de la fase de plomo es un ejemplo bueno para discutirse. Al examinar el diagrama de fase cobre-plomo, (figura 1.4) notamos que por encima de la temperatura de 1900 °F, una fase, líquido homogéneo existe durante toda la composición. Sin embargo, a medida que una aleación conteniendo 50% de plomo es enfriada, entramos en una región marcada como líquido 1 + líquido 2.

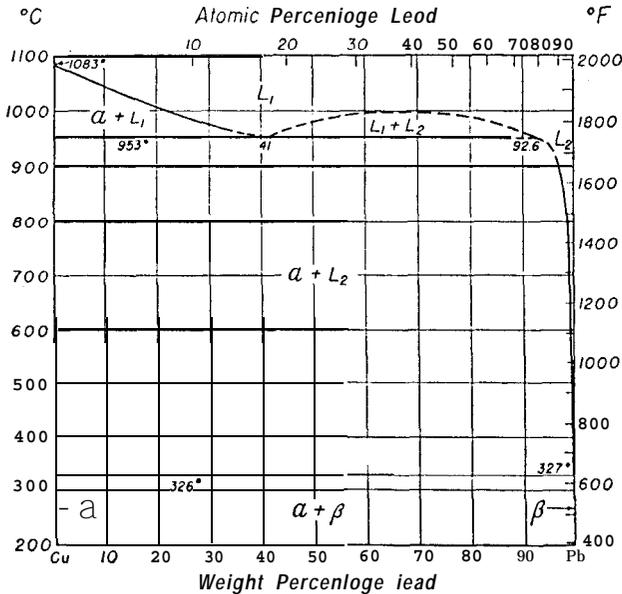


Figura 1.4

Esto significa que dos capas de líquido se desarrollan en la fundición, una, que eventualmente contendrá 93% de plomo, y la otra 41% antes de la solidificación final.

Esta sería una estructura muy débil y para evitar que esto ocurra el contenido de plomo es elevado por encima de un 25%. En los pocos casos en donde contenidos mayores de plomo son empleados, la fundición es enfriada para prevenir este tipo de segregación.

Otro ejemplo de una segunda fase formada desde el líquido es el latón con silicio (Zn 14, Si 3). La segunda fase es dúctil y, por consiguiente, la ductilidad de la aleación total es buena. En el caso de la aleación con el plomo, sin embargo, la resistencia de la fase de plomo es tan baja que la resistencia y la ductilidad son menores que las presentes en las aleaciones sin plomo.

(2) Precipitaciones a partir de Reacciones en Estado Sólido.

Existen cuatro cambios estructurales importantes que pueden darse en el estado sólido de las aleaciones de base cobre:

(a) **Precipitación monofásica.** Una fase es estable altas temperaturas y una segunda fase se precipita en el enfriamiento. Ejemplo: Cobre-Berilio (Bronce al Berilio).

(b) **Reacción Eutectoidea.** Dos nuevas fases son formadas en una dispersión controlada desde una fase original. **Ejemplo: Cobre-Aluminio** (bronce a l aluminio).

(c) **Reacción Martensítica.** Una segunda fase se forma en la fase original simplemente durante el enfriamiento. **Ejemplo: Cobre-Aluminio.**

(d) **Ordenamiento.** Una dispersión a l azar de diferentes átomos cambia hacia una condición ordenada en donde un elemento es encontrado, por ejemplo, en las esquinas del cubo y el otro en los centros del cubo en la estructura de la celda unitaria. **Ejemplo: Cobre-Zinc (Latón B).**

1.2 Propiedades de los Bronces al Niquel.

Estas aleaciones, a diferencia de las demás de base cobre, poseen un color plata o blanco. Por esta razón ellas pueden ser llamadas "nickel silver". Esta característica hace que estas aleaciones sean usadas en artículos ornamentales en combinación con aceros inoxidable, aluminio y otros metales con brillo plateado. Dos clases de "nickel silver" se encuentran en la clasificación de la ASTM. Latones al niquel,

los cuales poseen sólo la cantidad necesaria de zinc sustituida por níquel para dar a la aleación el color blanco. Y, los bronce al níquel, los cuales contienen más níquel que zinc (más del 10%) y algo de estaño. Las aleaciones con plomo contienen de 1.0 a 11.0% de este elemento para mejorar el proceso de fundición y la maquinabilidad.

Los latones al níquel que contienen más del 60% de cobre, son aleaciones de una fase que muestran solo regulares propiedades de trabajado en caliente, pero son dúctiles y se trabajan facilmente a temperatura ambiente. Los latones al níquel que contienen entre 50 y 60% de cobre, son aleaciones bifásicas $\alpha+\beta$; tienen un módulo de elasticidad relativamente alto y se trabajan facilmente en caliente. Entre sus aplicaciones más comunes encontramos los resortes y contactos en equipo para teléfonos, alambres para resistencias, ferreteria y equipo quirúrgico y dental.

Las aleaciones al cobre-níquel tienen alta resistencia a la corrosión por fatiga y a la acción corrosiva y erosiva del rápido movimiento del agua de mar. Se emplean mucho en tubos de condensadores, destilerías, evaporadores e intercambiadores de calor para

recipientes navales y plantas de energía costeras.

Para el caso específico de la aleación en estudio, bronce al níquel C97600, sus aplicaciones más importantes se encuentran en el Área de las fundiciones marinas. La selección de materiales para aplicaciones marinas, tales como la construcción de harcos y plantas desalinizadoras, se encuentra regida por las atmósferas corrosivas que la rodea. Estas pueden incluir agua salada, agua dulce, aceites, químicos, etc. Las aleaciones de cobre dan el mayor tiempo de vida útil por dólar debido a su excelente resistencia a la corrosión en agua dulce, salada, soluciones alcalinas y muchos químicos orgánicos.

Otra aplicación que se le da es en la fabricación de válvulas, propulsores y bombas, accesorios sanitarios y por su color es también empleada en la fabricación de instrumentos musicales y artículos ornamentales.

La tabla, presentada a continuación, muestra la composición nominal de los Nickel silver (bronces al níquel).

TABLA # 1

COMPOSICION NOMINAL			
ELEMENTOS	C97300	C97600	C97800
COBRE	56	64	66.5
NIQUEL	12	20	25
ZINC	20	8	2
PLOMO	10	4	1.5
ESTAÑO	2	4	5

Las propiedades de las aleaciones varían según las cantidades de los elementos aleantes involucrados. Antes de describir la forma en que cada uno de estos elementos influye sobre la aleación total es necesario describir un fenómeno que se presenta en el enfriamiento: La segregación dendrítica.

En la práctica es sumamente difícil enfriar bajo condiciones de equilibrio. Como la difusión en el estado sólido se lleva a cabo a una rapidez muy baja, cabe esperar que con las velocidades de enfriamiento ordinarias habrá alguna diferencia respecto a las condiciones que se indican en los diagramas de equilibrio. Tomaremos como ejemplo demostrativo una aleación cualquiera 30B (figura 1.5), la

solidificación empieza en T_1 , formando una solución sólida de composición α_1 . En T_2 , el líquido está en L_2 y la solución sólida que se forma ahora es de composición α_2 (figura 1.6). Como la difusión es demasiado lenta para conservar el mismo ritmo que el crecimiento cristalino, no se tendrá suficiente tiempo para lograr uniformidad en el sólido, y la composición promedio estará entre α_1 y α_2 (por ejemplo $\alpha_1'2$).

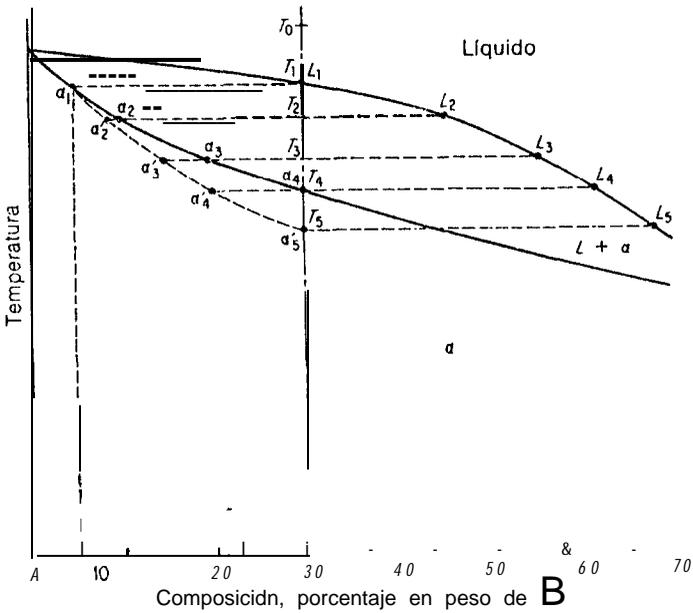


Figura 1.5 Enfriamiento fuera de equilibrio.

Conforme la temperatura descende, la composición promedio de la solución sólida se alejará, aún más, de las condiciones de equilibrio. Parece que la composición de la solución sólida sigue una línea

solidus "fuera de equilibrio" α_1 hasta α_1 ' 5, que se muestra punteada en la figura.

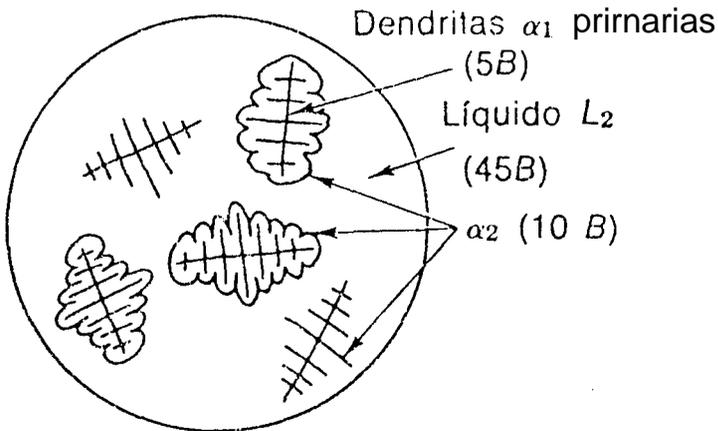


Figura 1.6

Esquema de aleación 30 B a T_2 antes de la difusión.

Por otra parte, el líquido tiene esencialmente la composición dada por la línea *liquidus*, y a que la difusión es relativamente rápida en el líquido. En T_3 , la solución sólida promedio será de composición α_1 ' 3 en vez de α_1 3. Bajo un enfriamiento en equilibrio, la solidificación debe completarse en T_4 ; sin embargo, como la composición promedio de la solución sólida α_1 ' 4 no ha alcanzado la composición de la aleación, se tendrá un remanente del líquido. Al aplicar la regla de la palanca en T_4 se tiene:

$$\alpha_1 \text{ ' } 4 (\%) = \frac{T_4 \cdot L_4}{\alpha_1 \text{ ' } 4 L_4} \times 100 = 75\%$$

$$L_4 (\%) = \frac{\text{al } '4 \cdot T_4}{\text{al } '4 \cdot L_4} \times 100 = 25\%$$

La solidificación continuará hasta que se alcance T_5 . A esta temperatura, la composición de la solución sólida α '5 coincide con la composición de la aleación, y la solidificación es completa. El último líquido que se solidifica, L_5 , es más rico en B que el último líquido que se hubiera solidificado bajo condiciones de equilibrio. Al estudiar la figura 1.5, se observa que cuanto más rápidamente se enfríe la aleación, más grande será el intervalo de distintas composiciones en la aleación solidificada. Como la rapidez de ataque químico varía con la composición, un ataque químico adecuado revelará la estructura dendrítica microscópicamente (figura 1.7). El sólido final consta de una estructura "segregada químicamente" con una porción central formada por aquella parte de la aleación que se fundió a temperaturas más elevadas, rodeada por la que se fundió a temperaturas menores, que es la última capa en solidificarse.

En resumen, el enfriamiento fuera de equilibrio resulta en un intervalo mayor de temperatura en el

cuale el líquido y el sólido están presentes al mismo tiempo. La última solidificación ocurre a una temperatura más baja que la predicha por el diagrama de fase; el último líquido en solidificarse tendrá una concentración mayor del metal que tenga el menor punto de fusión, y como la difusión no ha conservado el mismo ritmo que el crecimiento cristalino, habrá una diferencia en la composición química del centro hacia afuera de los granos. Cuanto mayor sea la rapidez de enfriamiento, más grandes serán los efectos mencionados.



Figura 1.7

Las estructuras de segregación dendrítica son más comunes en los metales colados que no se han tratado

termicamente. De lo visto anteriormente, es obvio que el último sólido formado a lo largo de las fronteras de grano y en los espacios interdendriticos es muy rico en metal, o metales, con el menor punto de fusión. Dependiendo de las propiedades de este metal con punto más bajo de fusión, las fronteras de grano pueden actuar como un plano de debilidad. También causará una seria falta de uniformidad en lo que se refiere a las propiedades físicas y mecánicas y, en algunos casos, un aumento en la susceptibilidad en la corrosión intergranular debido al ataque preferencial que ejercería un medio corrosivo.

Existen dos métodos para resolver el problema de segregación dendrítica: Uno es impedir su formación a través de un lento congelamiento del líquido, pero esto origina granos de gran tamaño y requiere de un tiempo muy largo; y el otro, preferido por la industria, es igualar la composición u homogeneización, de la estructura dendrítica segregada mediante difusión en el estado sólido.

A temperatura ambiente, para la mayoría de los metales, la rapidez de difusión es muy baja; pero si la aleación se recalienta a una temperatura abajo de la línea *solidus*, la difusión será más rápida y la

homogeneización ocurrirá en un tiempo relativamente menor.

Deberá tenerse mucho cuidado en este tratamiento para no cruzar la línea *solidus*, de otra manera habrá derretimiento de las fronteras de grano, dañando la forma y propiedades físicas de la pieza de fundición.

Luego de haber aclarado lo anterior, se procederá a explicar la influencia que ejercen varios elementos aleantes en las propiedades de la aleación.

Como primer elemento a analizar se tomará el ZINC. Un cambio sustancial en la dureza y en la resistencia de la aleación ocurre a medida que el porcentaje de zinc es incrementado, desafortunadamente también reduce la ductilidad a tal punto de destruir la utilidad de las aleaciones si este porcentaje es demasiado alto. Es evidente que para estas aleaciones debe existir un máximo en el contenido de este elemento para producir una combinación deseable de dureza y resistencia sin una perjudicial pérdida de ductilidad. Este máximo es de alrededor de 36%. La figura 1.8 muestra la variación en las propiedades de una aleación con cobre con la variación de la cantidad de zinc presente en ésta.

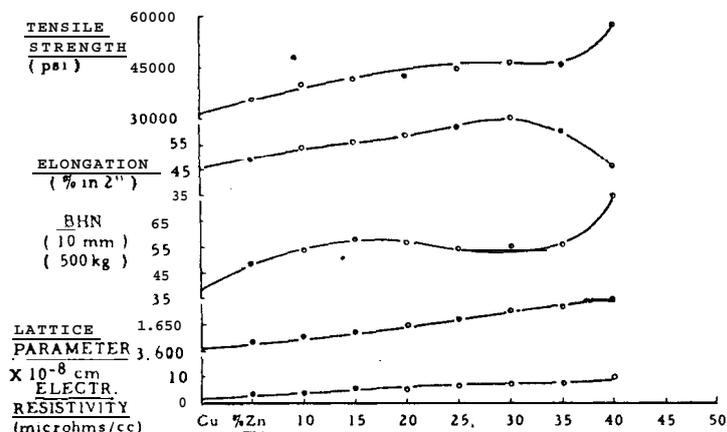


Figura 1 .8

Variación de propiedades con el porcentaje de zinc.

El siguiente elemento a considerar es el ESTAÑO. Este elemento es más efectivo en dar mayor resistencia al cobre que el zinc. Los bronce a l estaño poseen cualidades de resistencia y dureza que los hacen apropiados para la construcción de engranes y tornillos sin fin, y ya que poseen una buena resistencia a la corrosión, estas aplicaciones tienen un frecuente uso en construcciones marinas, embarcaciones, puentes, represas y plantas hidroeléctricas.

El PLOMO es utilizado para mejorar la maquinabilidad en las aleaciones de base cobre. También es usado para obtener propiedades de antifricción. Este elemento en

el cobre hace fácil el producir fundiciones a prueba de fugas para válvulas y accesorios. En combinación con los broncees al estaño es útil para la fabricación de cojinetes y rodamientos para locomotoras y para aplicaciones en la industria papelera, en donde buenas cualidades de resistencia al desgaste son necesarias.

A parte de dar el color blanco característico, el NIQUEL mejora las propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión en soluciones neutras de cloruros y en ácidos de baja capacidad oxidante. Las aleaciones de cobre y níquel son usadas, frecuentemente, en un medio corrosivo como el de aguas marinas donde existe corrosión por erosión. Esta es una combinación de desgaste más corrosión. Por ejemplo, todo equipo expuesto a fluidos en movimiento, tales como válvulas, bombas, impulsores, agitadores, accesorios para tuberías, etc., está afectado por la corrosión por erosión. Las aleaciones nickel silver son usadas como accesorios en equipos de pesca y de Yates.

Las aleaciones usadas para la fabricación de cables, partes de interruptores, inductores, etc., requieren de diversos grados de conductividad eléctrica del cobre. Estas aleaciones poseen, generalmente, un alto

contenido de cobre ya que otros elementos afectan de una manera adversa la conductividad. En la figura 1.9 se puede ver la manera en que varia la conductividad con el incremento en el porcentaje de los elementos aadiados.

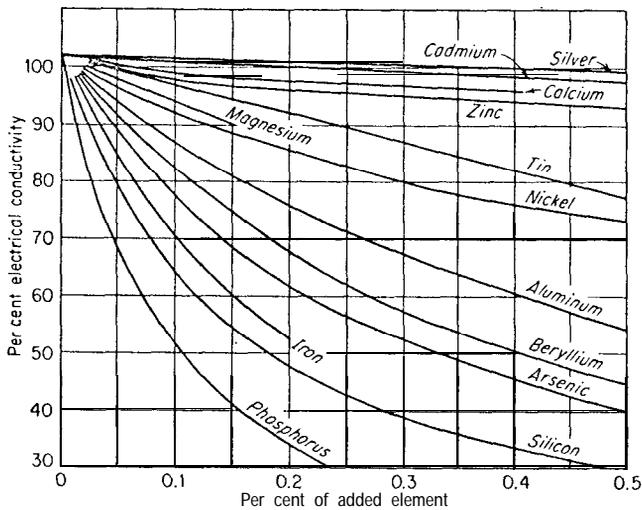


Figura 1.9

Variación de la conductividad con respecto al incremento de elementos aadiados.

Es importante recalcar que la conductividad térmica se comporta de una manera análoga a la eléctrica.

La tabla, presentada a continuación, muestra las propiedades mecánicas típicas de los bronce al níquel.

TABLA # 2

ALEACION	FLUENCIA		RES. TENSIL		ELONGACION
	MPa	ksi	MPa	ksi	%
c 97300	117	17	241	35	30
C 97600	165	24	310	45	20
C 97800	207	30	379	55	15

1.3 Metalurgia de los Bronces al Niquel.

El comportamiento aleante del ZINC en las aleaciones cobre-zinc es descrito en el diagrama de equilibrio de la figura 1.10. Este demuestra una solubilidad del zinc en el cobre de hasta un 32.5% a temperatura de *solidus* y hasta 35% a temperatura ambiente. La fase de solución sólida alpha es la mayor microestructura constituyente de la mayoría de los latones. Esta fase es una relativamente suave y dúctil. Esto es reflejado en la dureza de aleaciones fundidas con variación en el contenido de zinc. Un cambio sustancial en la dureza no ocurre sino hasta que el porcentaje de zinc en la aleación sea lo suficientemente alto como para causar la formación de una nueva fase beta'. La nueva fase es dura, y a pesar de que también ocasiona un aumento en la



resistencia de $\alpha + \beta'$ (busca figura), desafortunadamente también reduce la ductilidad de la aleación, como se vio en la sección anterior.

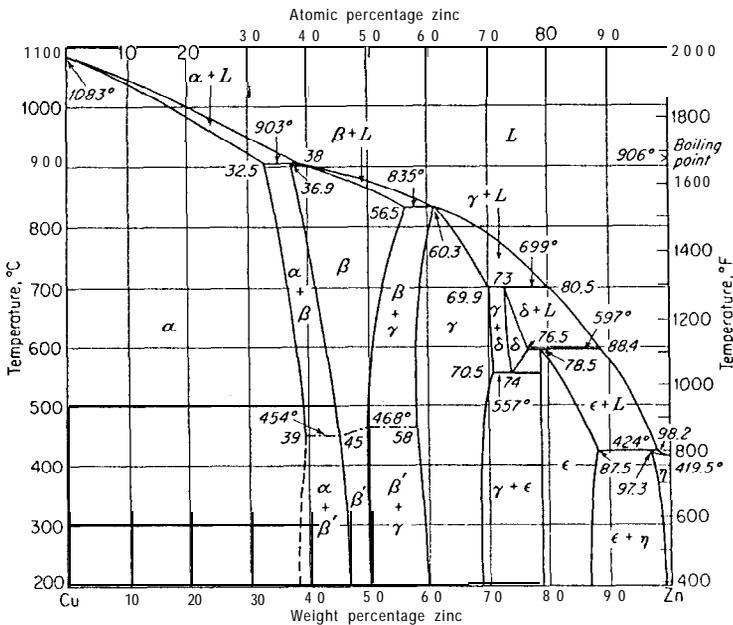


Figura 1.10

Diagrama de Equilibrio Cu-Zn

Como se ve en el diagrama, la línea *liquidus* disminuye y el rango de temperaturas de enfriamiento se incrementa a medida que el contenido de zinc se incrementa. También se puede ver variación en la densidad de la aleación Cu-Zn. Esta disminuye con el incremento de zinc y el decremento de cobre. Esto no depende de la presencia de otros elementos como el

plomo y el estaño.

El comportamiento aleante del ESTAAO en el cobre es similar al del zinc. La figura 1.11 muestra el diagrama de equilibrio cobre-zinc.

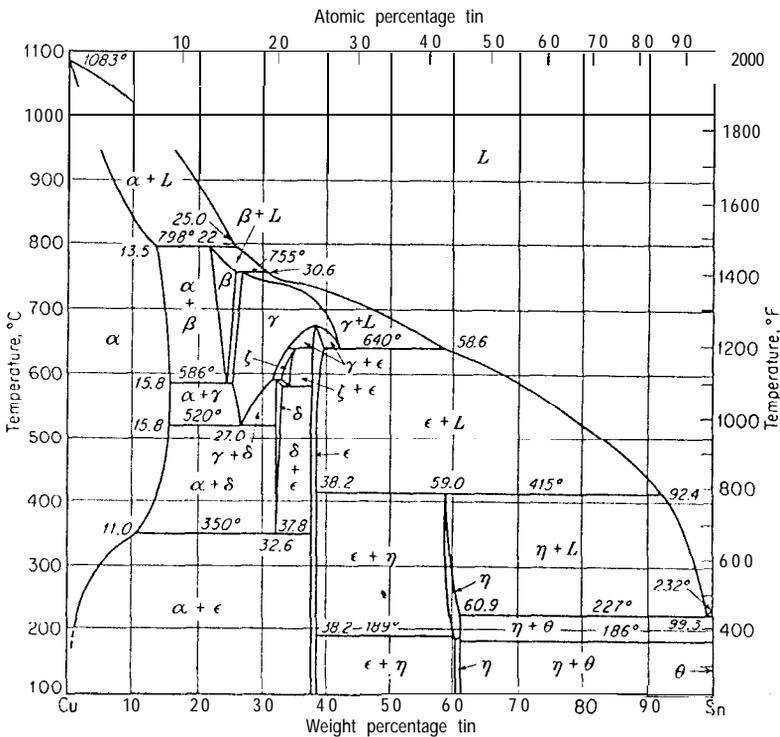


Figura 1.11.

Diagrama Cu-Sn.

El sistema muestra solubilidad, fase alpha, hasta un 13.5% durante la solidificación. Es evidente, al observar el diagrama que las aleaciones que contienen de 5 a 15% de estaño poseen un inusual rango de enfriamiento por encima de 400 grados F. Esto hace que

la fundición de estas aleaciones sea muy difícil ya que causa coring severo. La figura 1.12 ilustra la condición descrita.

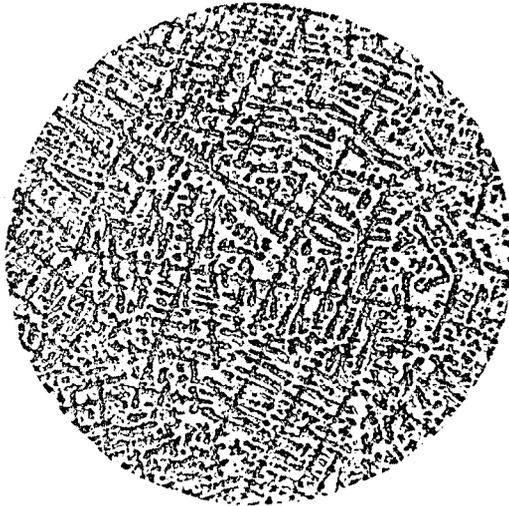


Figura 1.12

Segregación dendrítica en estructura de aleación

87% Cu, 10% Sn, 1% Pb, 2% Zn.

Debido a que demasiada segregación ocurre durante el enfriamiento, aleaciones con un 7% de estaño contienen la fase delta y muestra el eutectoide $\alpha + \delta$ a pesar de que el diagrama de equilibrio no lo haga. Solo la exposición a altas temperaturas, como se trató anteriormente, producirían estructuras de equilibrio.

La solubilidad del PLOMO en el cobre es de alrededor

de 0.002 hasta 0.005% a temperatura ambiente. El diagrama de equilibrio cobre - plomo se muestra en la figura 1.13. La presencia de otros elementos puede incrementar este limite levemente.

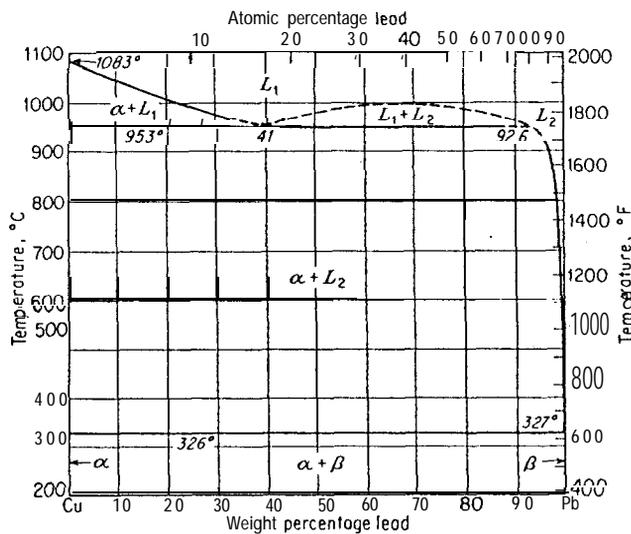


Figura 1.13

Diagrama de Equilibrio Cu-Pb.

Sin embargo, es conocido que aleaciones Cu - Pb poseen la mayoría de su plomo presente como islas distribuidas en toda la microestructura (figura 1.14). Debido a que el plomo se precipita tardíamente durante el enfriamiento del metal, éste se segrega en áreas que se enfrían al último. Al final del enfriamiento, el plomo puede llenar áreas que de otra manera se hubieran convertido en porosidades.

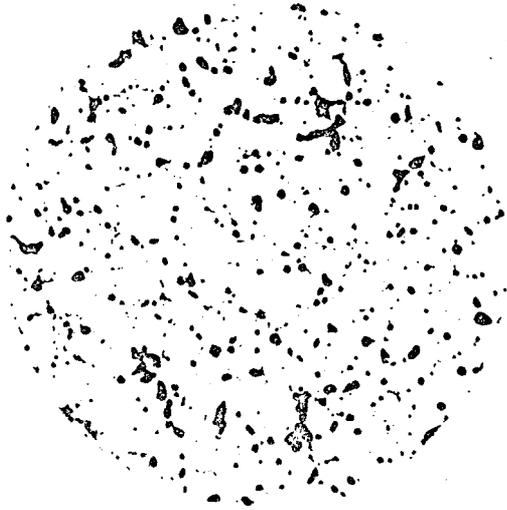


Figura 1 .14

**Areas de plomo en aleación 85% Cu, 5% Sn,
5% Pb y 5% Zn. (Aumento x100)**

Las débiles islas de plomo hacen que el maquinado sea fácil. El darle a las aleaciones rígidas de cobre un acabado fino es sencillo ya que el plomo hace que las virutas se rompan y fluyan mejor en las herramientas de corte. La distribución de las islas de plomo es determinada por el contenido de este, la solidificación de la fundición y la presencia de otros elementos, El plomo segregado en las fronteras o bordes de grano causa propiedades mecánicas pobres. Para evitar esto es muy frecuente el batir la colada para dispersar el plomo. La resistencia de latones y bronces se disminuye hasta un valor por debajo del

máximo debido a la presencia de un exceso de plomo, y por esto, puede ser considerado como una impureza en algunas de las aleaciones de alta resistencia, aunque es benéfico en otras.

El sistema cobre - NIQUEL no es el único que al solidificarse produce una sola fase de solución sólida. existen varios sistemas binarios capaces de demostrar un comportamiento similar por ejemplo, el sistema oro - plata involucra solo el enfriamiento de solución sólida. La mayor parte de las variaciones en propiedades en un sistema de solución sólida son causadas por la distorsión de la red cristalina del metal base (solvente) a consecuencia de las adiciones de metal soluto. Los esquemas de distribución atómica de la figura 1.15 proporcionan una imagen esquemática de esta distorsión reticular. La distorsión aumenta con la cantidad de metal soluto añadido y el efecto máximo se produce próximo al centro del diagrama, puesto que ambos metales pueden considerarse como solventes.

Esta figura también muestra las variaciones típicas de las propiedades de las aleaciones comerciales cobre-niquel según varía la composición química de la solución sólida de 100% de cobre a 100% de níquel .

Algunas propiedades de resistencia mecánica, como la dureza y el limite de fluencia, pasan también por un máximo, mientras la ductilidad alcanza un valor mínimo.

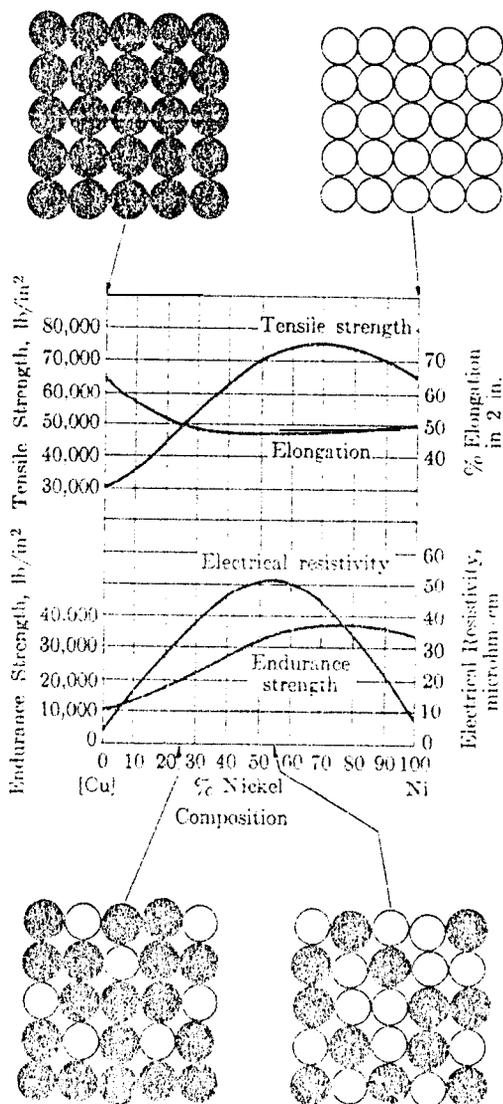


Figura 1 .15

Variación típica de propiedades con el cambio en la composición de aleaciones Cobre-Niquel.

Las propiedades que permanecen casi inalteradas a consecuencia de la interacción atómica varían de modo más lineal con la composición. Ejemplos de estas propiedades son: La constante reticular, la dilatación térmica, el calor específico y el volúmen específico.

La figura muestra las propiedades características de aleaciones en condiciones de equilibrio, pero las aleaciones que solidifican a las velocidades de enfriamiento utilizadas en los procesos industriales de colada no están en equilibrio y se produce lo que se vio en la sección anterior, la segregación dendrítica. La figura 1.16 muestra el diagrama de equilibrio Cobre-Níquel.

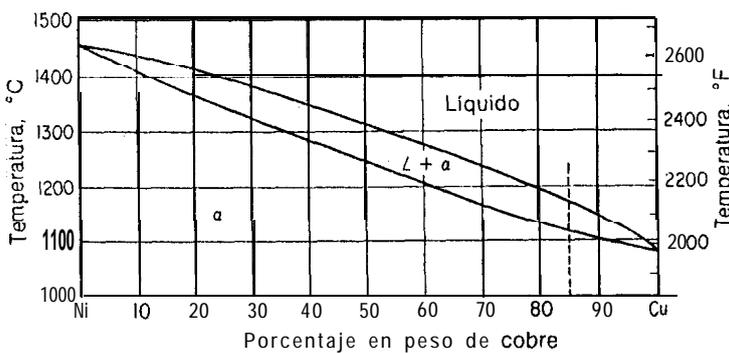


Figura 1.16

Diagrama de equilibrio Cu-Ni.

1.4 Fundamentos del Proceso de Fusión

Las aleaciones de base cobre son fundidas en hornos de crisol a gas o aceite y hornos de flama abierta. Los hornos de crisol, móviles o estacionarios, poseen una cubierta removible. El crisol en el interior, es transportado hacia el area de colado donde los moldes se encuentran.

Estos hornos funden la materia prima quemando gas con aire suficiente como para alcanzar la combustión completa. El quemador calienta el crisol por conducción y convección, la carga es fundida y luego es sobrecalentada hasta una temperatura determinada. Posteriormente el crisol es removido y transportado hacia el area de vaciado. Esta clase de horno es el usado en la elaboración de la aleación en estudio (figura 1.17).

El otro tipo de horno que funciona con combustible es el de flama abierta, el cual es, usualmente, un horno grande de tipo rotatorio con un cascarón de metal con revestimiento refractario conteniendo un quemador en un lado y el escape de los gases en el otro. El horno es rotado lentamente alrededor del eje horizontal y este movimiento rotacional ayuda a calentar y fundir

la carga. La fusión es conseguida por la acción directa de la flama sobre el metal y por la transferencia de calor conseguida a medida que el horno gira.



Figura 1 .17.

Horno de Crisol a gas.

Actualmente estos hornos no son usados y a que necesitan una bolsa que debe ser instalada para capturar el polvo en el escape. Este polvo es emitido durante la fusión y el supercalentamiento. Mientras estos hornos son capaces de fundir grandes cantidades de metal rápidamente, el operador debe ser extremadamente hábil para controlar la atmósfera de

fusión en el horno. Las paredes refractarias presentan también un problema ya que quedan impregnadas del metal que se funde, lo cual causa contaminación a l cambiar el proceso de fabricación de una aleación a otra.

Analizaremos ahora el proceso de fusión. Una porción del diagrama del sistema cobre - oxígeno se muestra en la figura 1.18.

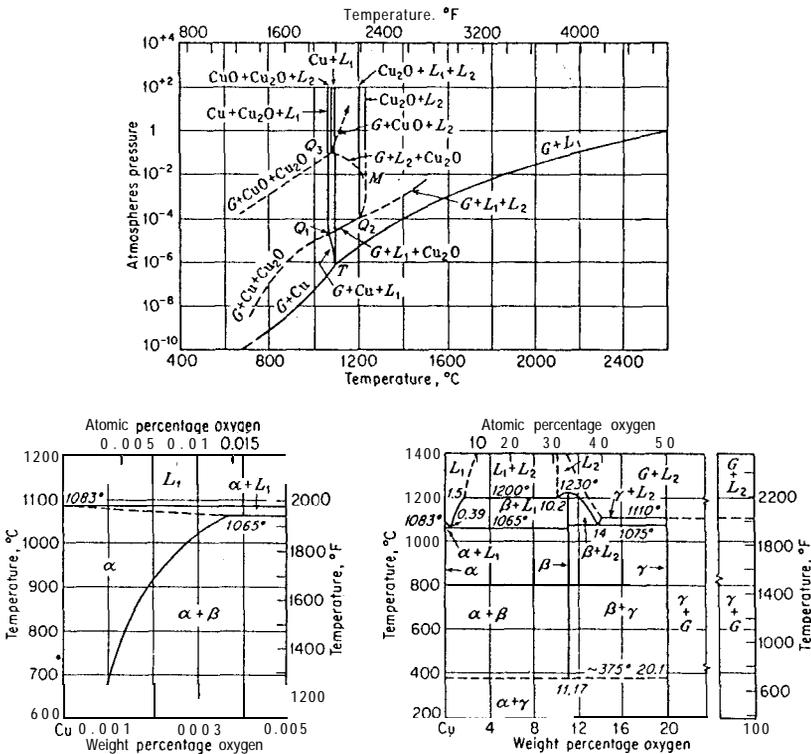


Figura 1 . 18

Diagrama de Equilibrio Cu-0.

El eutéctico muestra que el último en solidificar puede contener un 0.39% de oxígeno a pesar que la fundición inicial contiene 0.01% de oxígeno. Por consiguiente inclusiones de óxido de cobre (Cu_2O) pueden encontrarse de una manera predominante en la parte interna de la fundición y hasta en las fronteras de grano. La clave para controlar este fenómeno es añadir elementos que se combinen con el oxígeno disuelto para formar óxidos con menor energía libre que el óxido de cobre. Ejemplo de estos elementos son: Litio, boro, magnesio, y fósforo en donde el control del exceso se vuelve importante para la variación de la conductividad eléctrica en las aleaciones de alto cobre.

Varias aleaciones de cobre son susceptibles a la formación de escoria y las precauciones en el colado son absolutamente necesarias para minimizar las inclusiones. La escoria la conforman, usualmente, óxidos complejos de cobre, zinc, estaño, plomo o hasta aluminio en la familia de los bronce al aluminio.

Porosidad en las aleaciones de cobre resulta del hidrógeno y el desarrollo de agua. La evolución de una parte tan pequeña como 1 ppm de hidrógeno resulta en una evolución de gas del 44% del volumen del metal. Si

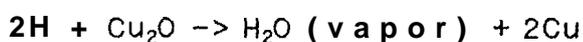
el contenido de sulfuros excede el 0.05%, la evolución de dióxido de azufre puede contribuir también a porosidad. Solo si el contenido de oxígeno excede el 0.01% el monóxido de carbono se considera como la causa de porosidad. Debido a que el fósforo desoxida el cobre significativamente, el contenido de oxígeno del cobre fosforizado es muy bajo y agua, monóxido de carbono y dióxido de azufre no contribuyen a la porosidad. Solo con el hidrógeno se debe tener especial cuidado.

Las aleaciones cobre - zinc rara vez presentan problemas asociados con porosidad gaseosa, debido, principalmente a que el zinc desoxida el metal. El zinc puede remover gases disueltos debido a su alta presión de vaporización. El vapor de zinc arrastra el hidrógeno fuera del material fundido. Sin embargo, el óxido de zinc puede reaccionar con materiales refractarios y moldes produciéndose inclusiones durante la colada. En las aleaciones cobre - estaño el hidrógeno es elemento a considerarse ya que el estaño incrementa, significativamente, la solubilidad del hidrógeno.

Los dos métodos principales para remover gases disueltos en aleaciones de cobre son: El de óxido -

reducción y el de arraste de gas inerte. A pesar que teóricamente es posible la degasificación por aspiración, es raramente usado ya que no es efectivo económicamente hablando.

El primer paso en el método de óxido - reducción es el remover el hidrógeno mediante la oxidación con el uso de cobre enriquecido con oxígeno. Luego, justamente antes del colado, el material es desoxidado con fósforo u otros agentes desoxidantes, tales como el litio y una cubierta de carbono. La reacción es como sigue:



Para las aleaciones de cobre que contienen desoxidante fuertes, tales como el fósforo, zinc y estaño, no es posible el remover el hidrógeno por oxidación debido a que estos elementos forman óxidos estables. Para estas aleaciones, el arrastre mediante gas inerte con nitrógeno es usado comúnmente. En la práctica, 150 a 250 litros de nitrógeno para 1000 Kg. de aleación de cobre es generalmente recomendada. El nitrógeno es inyectado al material fundido con un tubo de grafito. La acción del burbujeo recolecta el gas de hidrógeno y lo remueve a medida que las burbujas llegan a la

superficie.

Hierro es añadido como refinador de grano en bronce al aluminio y al manganeso. Sin embargo, hierro puede convertirse en una inclusión indeseable en las otras aleaciones de cobre. En algunos casos, las inclusiones intermetálicas son sólo ricas en hierro y complejos se forman, como en el caso de los latones amarillos de alta resistencia. El problema se vuelve más severo cuando una fundición es mantenida cerca a su línea liquidus por periodos extensos. En estos casos la solubilidad de los complejos intermetálicos es baja y su formación sucede.

A pesar que no es, estrictamente, una inclusión de acuerdo a las definiciones previas, el plomo, en muchas de las aleaciones de cobre, puede formar óxidos que reaccionaran con agentes aglutinantes de los moldes tales como la bentonita.

En general el refinamiento de grano de las aleaciones de cobre no es practicado de una manera específica ya que un cierto grado de refinamiento puede ser alcanzado por medio de los procesos normales de fundición. Como ocurre con las aleaciones de aluminio, refinamiento de grano en las aleaciones de cobre puede



ser alcanzado mediante un rápido enfriamiento, vibraciones mecánicas o por la adición de agentes restrirtores de crecimiento de grano.

Aleaciones de cobre - zinc de una fase pueden ser refinadas mediante la adición de hierro o zirconio y boro.

En general, las aleaciones α Cu-Zn (< 35%) exhiben reducción del tamaño de grano y una gran mejora en sus propiedades mientras que las aleaciones $\alpha - \beta$ no lo hacen.

Las aleaciones de cobre - aluminio han sido refinadas efectivamente con la adición de 0.02 a 0.05% de boro, mientras que las aleaciones bronce al estaño lo hacen con la adición de 0.02% de zirconio.

La tabla 3. a continuación presentada, indica las temperaturas de colado para los bronce al níquel (Nickel silver).

TABLA # 3

TIPO DE FUNDICION		TIPO DE ALEACION		
		c 97300	C 97600	C 97800
LIGERA	C	1205-1225	1260-1425	1315-1425
	F	2200-2240	2300-2600	2400-2600
PESADA	C	1095-1205	1205-1315	1260-1315
	F	2000-2200	2250-2400	2300-2400

1.5 Control de Calidad

Uno de los métodos para establecer un control es el de la prueba de tensión, la cual consiste en aplicar una carga, que se incrementa gradualmente, a un espécimen con un tamaño y forma específicos. La operación se cumple mediante el ajuste de los extremos de la pieza y tirando de éstos, lo cual resulta en una elongación del espécimen en una dirección paralela a la carga aplicada. Una de las principales ventajas de la prueba radica en que el estado de resistencia se establece. Otras ventajas son: El procedimiento ha sido cuidadosamente estandarizado y es relativamente barato y fácil de realizar.

Una descripción del material a probarse resulta de utilidad para entender las propiedades tensiles medidas y compararlas con las propiedades y microestructuras de otros materiales. Generalmente esta descripción incluye la composición química. El cómo se realizó el análisis químico se verá posteriormente.

Un factor importante es la locación de donde se tomó la muestra. Por ejemplo, en el caso de los materiales que han sido extraídos de una fundición, como es el caso del material en estudio, se ven influenciados por el rango de enfriamiento y cambios en la sección. Generalmente, especímenes obtenidos de regiones cercanas a la superficie de aceros fundidos, son más fuertes. Para estandarizar los resultados de las pruebas en base de la locación, ASTM A 370 recomienda que los especímenes, destinados a las pruebas de tensión, sean obtenidos de la sección media entre la superficie y el centro de barras de secciones circulares, cuadradas, hexagonales u octogonales.

La geometría del espécimen se encuentra, generalmente, influenciada por la forma del producto de donde se la obtuvo. Por ejemplo, sólo especímenes planos se obtienen de planchas. De placas gruesas se pueden

ohtener especies planas o redondas, De acuerdo a la norma ASTM E 8, el diámetro estandard de uno redondo debe ser de 12.5 mm (0.5 pulg). Por lo tanto, esta clase de especimenes no pueden ohtenerse de placas planas de grosor menores a los 12.5 mm.

Longitudes entre marcas (gage length) de 50 y 200 mm. (2 y 8 pulg) son comunes. Muchos métodos para pruebas de tensión de la ASTM también especifican especimenes más pequeños los cuales pueden tener hasta un valor de sólo 11 mm. (0.45 pulg). La figura 1.19 muestra las dimensiones más comunes de los especimenes estandards.

En cuanto a los extremos, estos pueden ser de diferentes formas, dependiendo de la clase de mordaza disponible en la máquina. Para el caso de nuestra muestra, los extremos poseen roscas de 13 hilos por pulgada. (Anexo 1).

Otra parte fundamental para el control de calidad es, como ya se dijo. el análisis de la composición química. Esta se la realizó mediante el uso del equipo de absorción atómica. Como pasos previos a la utilización del equipo tenemos primero que ohtener, aproximadamente, 50 gramos de viruta de la muestra. De aquí separamos, mediante una balanza digital

electrónica, 0.250 gramos, los cuales se disuelven en 3 ml de ácido nítrico con la ayuda de una hornilla para que el proceso sea más efectivo.

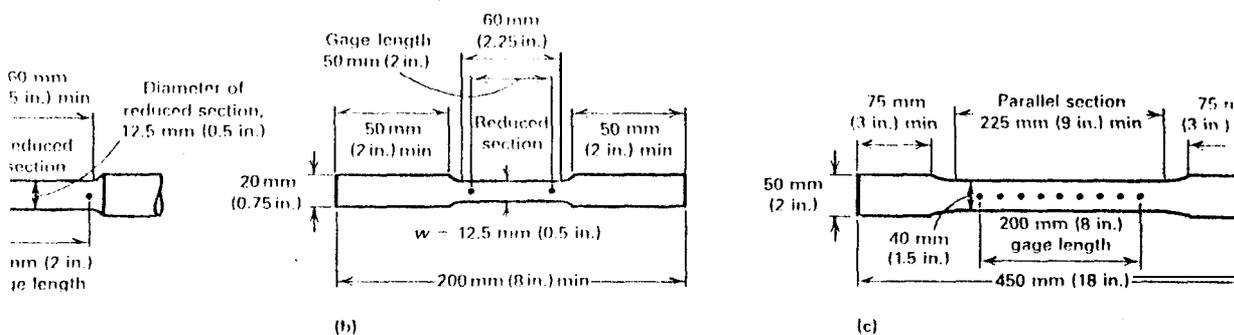


Figura 1 .19

(a) Especimen redondo: la razón entre la distancia entre marcas y el diámetro es mantenida en 4:1 para proveer de bases standards para la comparación de valores de elongación. (b) Especimen rectangular (plano) para pruebas de materiales en forma de planchas, placas, rectángulos y formas que caen en el rango de grosor nominal desde 0.13 a 16 mm. (c) Especimen rectangular para probar materiales de las mismas características del anterior pero con un rango de grosor nominal de 4.8 mm.

Después de diluirse con agua destilada, la muestra es llevada al equipo de absorción atómica donde, en forma pulverizada, entra a las cámaras de combustión del aparato. El calor intenso de una llama de acetileno

destruye los enlaces moleculares de los compuestos químicos en la solución y libera átomos metálicos hacia la llama.

Se hace pasar a través de ésta una luz con igual longitud de onda que la del metal que se analiza. Esta es originada por una fuente (lámpara de cátodo hueco) que puede ser reemplazada dependiendo del elemento a analizar. La luz incide sobre un sensor fotoeléctrico, primeramente sin pasar por la llama; luego pasando a través de ella, una cantidad será, literalmente absorbida por la llama debido a la concentración de átomos iguales en la muestra. Se comparan los valores de absorción y se registra el valor en porcentajes.

Otro paso, dado para controlar la calidad de la muestra final, es el del análisis de la microestructura. Para llevar a cabo esta experiencia, es necesario realizar varios pasos previos. En primer lugar tenemos la preparación de la superficie que consiste en la utilización de una herramienta de corte pesado para quitar los elementos rugosos producidos por el enfriamiento del metal. La superficie resultante es aún demasiado áspera, lo conveniente es pulir la muestra con lijas de distinto grado de

rugosidad. Luego de esto se obtiene una superficie lisa pero aún no es suficiente como para llevarla al microscopio y realizar el análisis. Por último se pule la muestra con un paño especial (lana o algodón) impregnado con pasta de diamante (3 - 9 micrometros). La velocidad recomendada para la maquina pulidora es de 200 rpm.

Debido a algunas dificultades presentes en el pulido mecanico (material suave), el pulido electrolitico constituye un método alternativo. A parte de ofrecer las ventajas usuales de ahorro de tiempo, minimizar la variable humana, este pulido ofrece otras ventajas para el cobre y sus aleaciones:

- Es excelente para revelar el tamaño y forma de grano en todos los lados de la muestra.
- Su uso se adapta especialmente bien para aleaciones de cobre monofásicas.
- Revela la verdadera microestructura con menor dificultad que con el pulido mecanico.

El montaje para el cobre y sus aleaciones es, en general, igual que para otros metales. Como esta clase

de aleaciones son extremadamente susceptibles a endurecimiento por trabajado, la cara de la muestra, sujeta a estudio, debe ser la que haya sido objeto de la menor cantidad de cortes.

La baquelita es el material de montaje más usado. Las alternativas para este material son, por ejemplo, el diallyl y fibra. El metacrilato metilico es más suave que la baquelita y por lo tanto no es bueno preservando los bordes, sin embargo su transparencia es algunas veces ventajosa.

La combinacdn de calor y presión necesaria para los montajes, puede, algunas veces, romper o afectar adversamente las muestras, especialmente si son delgadas. Bajo estas condiciones es recomendable usar resinas epoxicas para el montaje.

CAPITULO 2

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Método Experimental

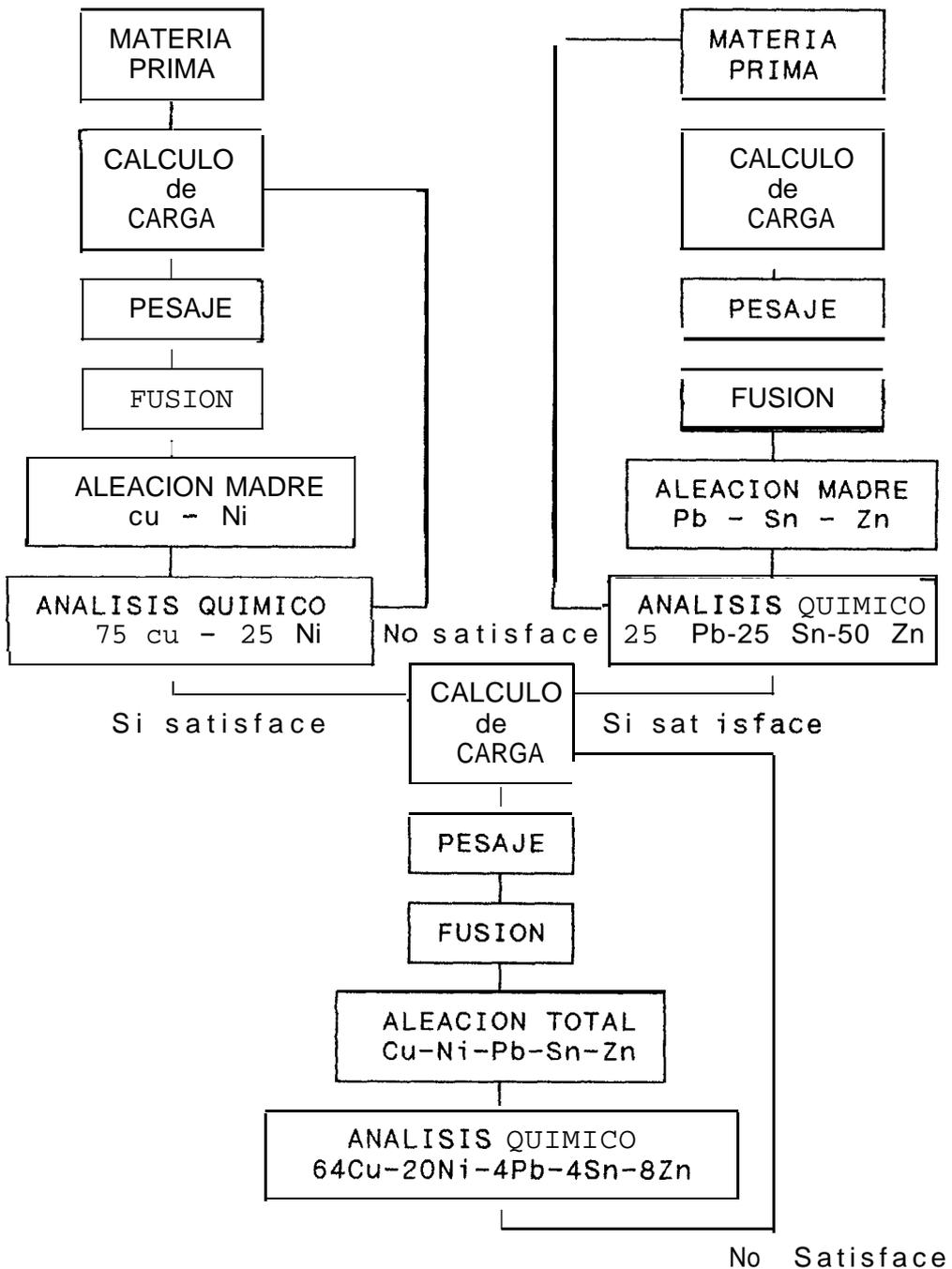
La primera etapa de trabajo consistió en la obtención de aleaciones madre. Como el níquel se disuelve en su totalidad en el cobre, por razones vistas en la sección 1.1, la primera aleación madre elaborada fue, precisamente, una aleación cupro - níquel 75 - 25 , la cual fue fundida en el horno basculante de diesel ya que para alcanzar las altas temperaturas de fusión de estos dos elementos hubiera sido necesario de mucho tiempo para hacerlo en el de crisol. Para comprobar esta composición se llevó una muestra de esta aleación al Instituto de Química, en donde, mediante el uso del equipo de absorción atómica (sección 1.5 y 2.2), se logró comprobar las porcentajes. Cabe indicar que los elementos aleantes usados (níquel, plomo, estaño y zinc) se encontraban en estado de pureza comercial.

Otro detalle que hay que señalar es el hecho de la disponibilidad de suficiente materia prima. Este detalle servirá posteriormente, para explicar la manera en que se procedió.

La segunda aleación madre obtenida la constituyeron los tres elementos restantes (Pb, Zn, Sn). Estos elementos necesitan menores temperaturas de fusión en comparación al cobre (1083 °C) y al níquel (1450 °C). Esta aleación fue fundida en el horno de crisol. Al igual que a la aleación anterior, se dispuso el análisis químico de ésta, dando como resultado 54% de Zn, 29% Pb y 17% Sn. Como los porcentajes obtenidos no eran los deseados, se procedió a tratar de ver el porqué de la disminución en el estaño. Estos resultados se debieron a que como variables como la temperatura en el horno de crisol y el tiempo de fusión no se pueden controlar, el estaño, el cual posee la menor temperatura de fusión de los tres (231.8 °C), alcanzó el estado líquido antes y cuando la aleación total llegó a ese estado, parte del mismo se perdió evaporándose.

Se compensó esta pérdida aumentando el peso del estaño en la carga (aprox. 5%) partiéndose desde el principio ya que había material suficiente. Una vez fundido y colado en coquillas, una muestra del material fue llevada, nuevamente, a análisis. En esta ocasión los resultados fueron aproximadamente, los esperados: 50% Zn, 25% Pb y 25% Sn. Los siguientes diagramas de

bloques presentan, en forma gráfica, el proceso.



Debido a lo caro del material empleado, coladas para el control visual no fueron obtenidas. Dejamos que el análisis de la composición química se encargue de verificar el desarrollo de la fundición.

Luego de realizar esto último a las dos aleaciones madre y comprobar que cumplieran con los porcentajes requeridos se procedió con el siguiente paso: el cálculo de carga para obtener, mediante la fusión de estas dos aleaciones, la aleación total C97600.

Para el cálculo se hizo lo siguiente: La cantidad de aleación total que se quiere obtener pesa, aproximadamente 10 Kg, entonces los valores en peso de cada uno de los elementos involucrados serían así:

Aleación C97600

	64 %	CU	6.4 Kg
	20 %	Ni	2.0 Kg
	8 %	Zn	0.8 Kg
	4 %	Sn	0.4 Kg
	4 %	Pb	0.4 Kg
TOTAL	100 %		10.0 Kg

Tomemos el níquel como el elemento base para los cálculos. Tomamos los 8.4 kilogramos, que suman el cobre y el níquel, de la aleación madre Cu-Ni (AM1) la cual posee 75% de cobre y 25% de níquel y procedemos a tantear con reglas de tres así:

$$\begin{array}{rcl} 100 \% \text{ AM1} & & 8.4 \text{ Kg AM1} \\ 25 \% \text{ Ni} & & X \text{ Kg Ni} \end{array}$$

$$X = 2.10 \text{ Kg}$$

Para mayor seguridad, y como el cobre durante el proceso se pierde un poco, decidimos a utilizar 8.8 Kg de AM1 dándonos un valor para el níquel de 2.20 Kg.

De la aleación madre de Zn-Pb-Sn (AM2) se tomó la cantidad aproximada (un poco más) de 1.6 Kg por cuanto esta cantidad guarda los porcentajes deseados. Como el proceso de fusión de la aleación total consta de dos pasos, el primero el de fundir AM1 y una vez que esté en estado líquido y sobrecalentado (^{2 1/2} 2-3 horas aprox.), se deposita, como Segundo paso, AM2. Se hace un batido del material fundido para asegurarnos de que éste se encuentre en estado líquido y para promover la salida de hidrógeno. Para evitar demasiadas pérdidas de material (zinc, cobre) se vierte la colada después de 10 a 15 minutos a partir del estado líquido.

2.2 Materiales y Equipos.

Como materia prima para el estudio se adquirió:

- Una plancha de Niquel de 17 Kg.
- Una plancha de Plomo de 16.5 Kg.
- Una plancha de Zinc de 21 Kg.
- 5 Kg. de Estaño en tiras.
- 50 Kg. de chatarra de cobre.

Para la preparación del material previo a la fusión:

- Cizalla hidraulica de ASTINAVE.
- Sierra mecanica alternativa.
- Sierra manual.
- Balanza.

Para la fusión del material se empleó:

- Crisol de grafito.
- Moldes metalicos (coquillas).
- Tenazas, guantes.
- Horno de crisol basculante a diesel.
- Horno de crisol con propano como combustible.
- Moldes de arena y bentonita.
- Soplador de 2 pulgadas de descarga.

- **Esmeril.**

Para el ensayo metalográfico se utilizó:

- **Mesas de pulido intermedio AB Buehler.**
- **Papeles de lija números 180, 220, 320, 400 y 500.**
- **Maquina pulidora de disco rotatorio.**
- **Pasta de diamante de 1/4 de micra.**
- **Mi croscopi o 01 ympus PME.**
- **Maquina de pulido electrolitico Electro Polishing St rouers.**
- **Reactivos: Acido Nitrico al 50%, Alcohol Metilico, Dicromato de Potasio.**

Para medir la dureza:

- **Durómetro Brine11 con carga de 500 Kg. y bola de acero de 10 mm, la misma que se hizo actuar por 10 (segdn recomendaciones de ASTM).**

Para realizar el análisis químico de las muestras:

- **Acido Nítrico.**
- **Maquina de absorción atómica.**
- **Agua destilada.**

2.3 Obtención de Coladas para Homologación de Aleaciones.

La sección 2.1 muestra cómo se debería proceder para la elaboración de esta clase de material. El horno de crisol a gas alcanzaba la temperatura adecuada para la fundición luego de 5 horas aproximadamente así que para tratar de obtener las coladas en un tiempo menor se adaptó una manguera a la salida del aire provisto por el soplador. Esta manguera conduciría oxígeno puro para mejorar la combustión y alcanzar temperaturas superiores. Esto fue logrado justamente cuando se acababa el oxígeno así que lo mejor que se pudo hacer para reemplazar este elemento fue el de conectar la manguera al compresor existente en el taller y funcionó.

Otro aspecto importante que debió de ser controlado fue el de las pérdidas de cobre. Para esto se emplearon pastillas de carbon aglomerado para así evitar la oxidación de este elemento.

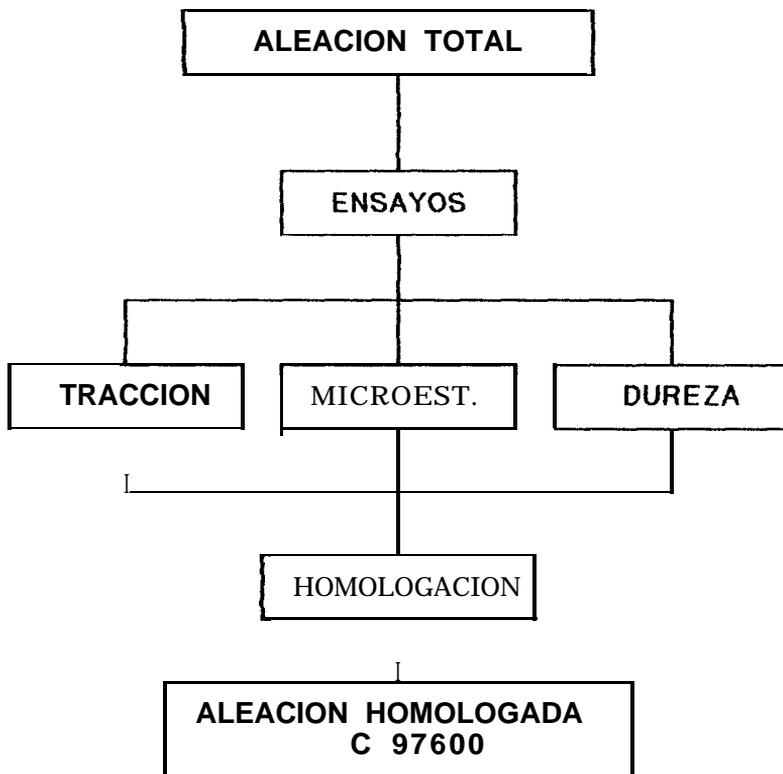
El proceso de fusión no terminaba ahí. Como el material tiene una fluidez baja el colado no era tarea fácil. Al vertir el contenido del crisol en el molde, a duras penas una barra pudo ser obtenida ya que el bronce se enfriaba demasiado rápido. El crisol era

introducido de nuevo al horno. Esta vez dejamos que éste permaneciera de 15 a 30 minutos más a partir del estado líquido para un sobrecalentamiento. Una barra de acero fue usada para constatar que el material no presentara ninguna clase de grumos.

Para evitar que el gas se congelara debido a la variación rápida de presión el tanque de gas era sumergido en un recipiente que contenía agua a temperatura ambiente, la cual era cambiada frecuentemente. El gas, al congelarse, fluía en menor cantidad, lo que producía una combustión deficiente.

Al sacar de los moldes metálicos las barras, se comprobó la composición química. Una vez que los resultados fueron los requeridos, tres barras fueron llevadas al torno para darles las dimensiones requeridas por las normas.

Mientras esto era hecho, una sección de otra barra fue llevada para hacersele la prueba de dureza. Otra sección fue usada para el análisis metalográfico.



2.4 Resultados de las Coladas.

2.4.1 Análisis Químicos.

El equipo nos da el valor de la concentración del elemento analizado. Este valor es reemplazado en la siguiente fórmula para hallar el valor en porcentaje:

$$El\ em\% = \frac{\text{concentración} \times \text{diluciones} \times 10^{-6}}{\text{peso muestra} \times \text{alícuotas}} \times 100$$

Donde, para todos los elementos analizados:

Peso de la muestra = 0.250 gr.

Diluciones = volúmenes totales

Alicuotas = cantidad de ml tomada para cada dilución

Análisis del Cobre:

Concentración = 1.10

Diluciones = 50.50.50.25 = 3'125.000

Alicuotas = 2.2.5 = 20

Porcentaje de Cobre = 66.27%

Análisis del Niquel:

Concentración = 1.5

Diluciones = 50.50.50 = 125.000

Alicuotas = 2.2 = 4

Porcentaje de Niquel = 16.75 %

Realizando los mismos cálculos para los elementos restantes tenemos:

Porcentaje de plomo = 4.06 %

Porcentaje de Zinc = 7.35%

Porcentaje de Estaño = 5.10%

2.4.2 Microestructura.



FOTO 1

Microestructura con segregación dendritica 113 x.
Pulido manual con ataque químico de dicromato de
Potasio.

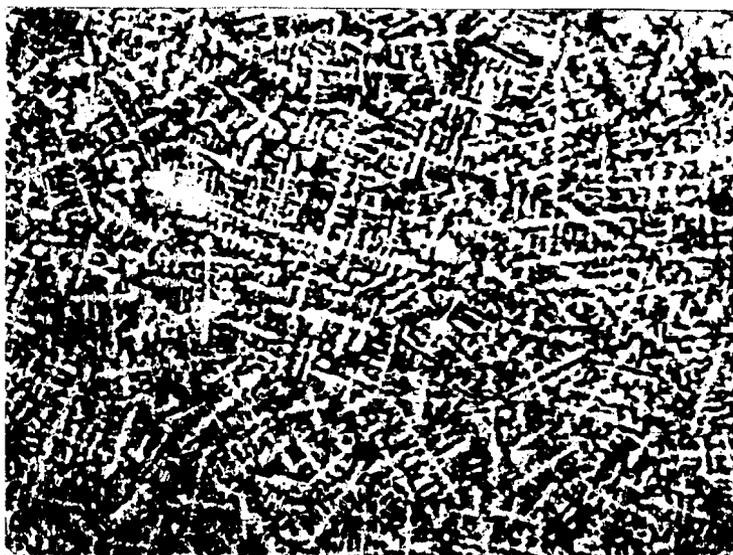


FOTO 2

Microestructura con segregación dendritica 113 X.
Pulido electrolitico con ataque electrolitico.

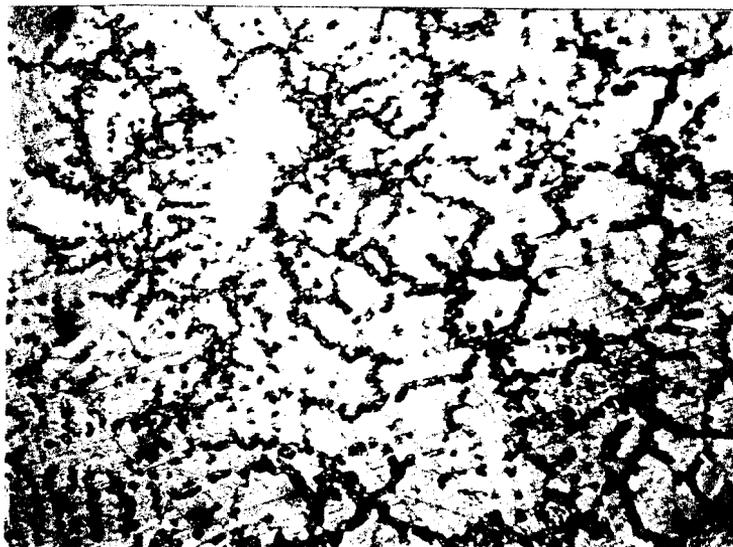


FOTO 3

Microestructura con ampliación 226 X. Pulido manual
con ataque quimico de dicromato de potasio.

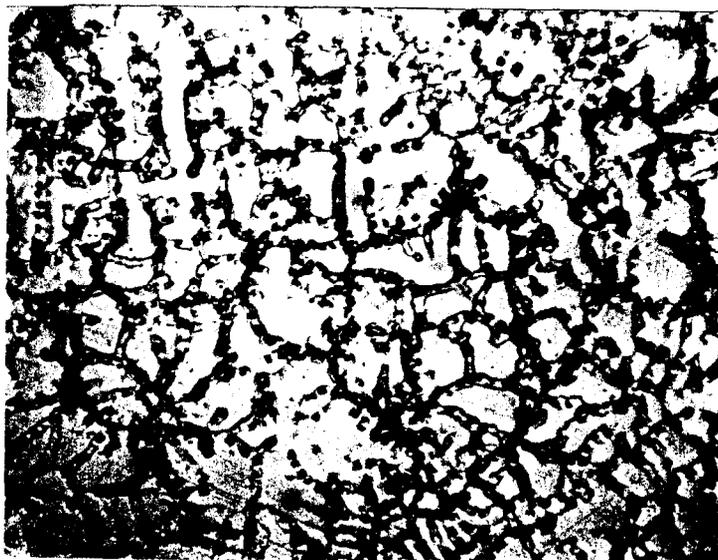


FOTO 4

Microestructura con ampliación 226 X. Pulido electrolítico con ataque electrolítico.

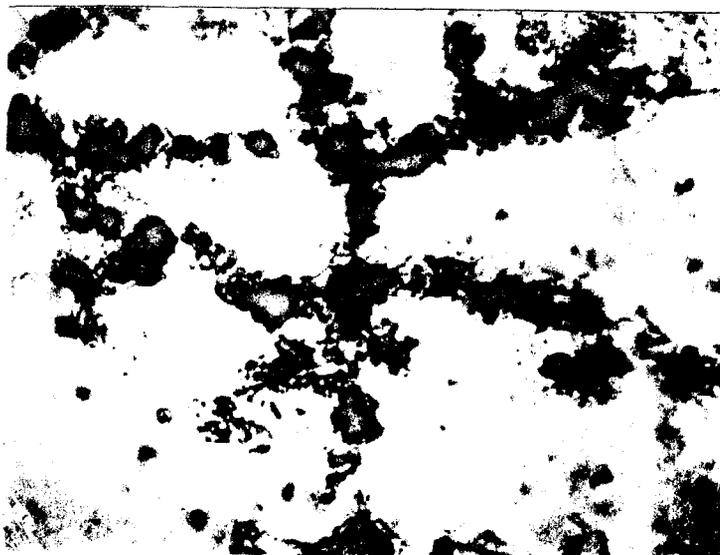


FOTO 5

Microestructura con ampliación 1130 X. Pulido manual con ataque químico de dicromato de potasio.

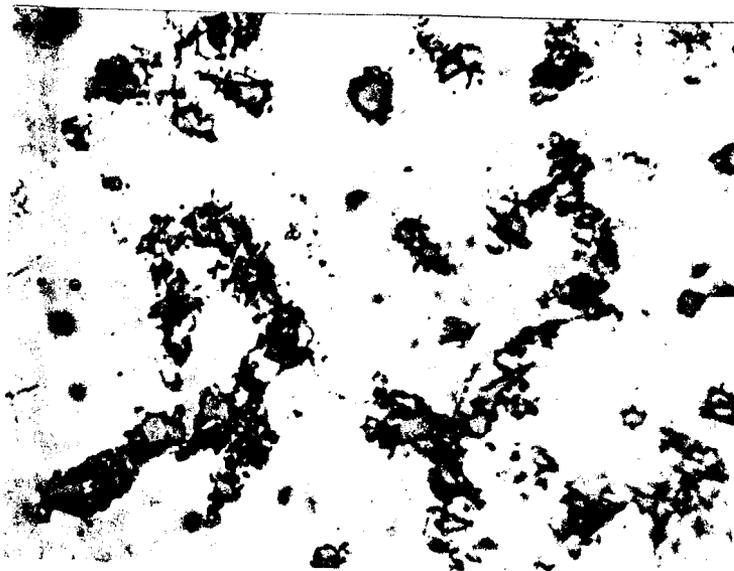


FOTO 6

Microestructura con ampliación 1130 X. Pulido electrolítico con ataque electrolítico.



FOTO 7

Microestructura homogeneizada con intervalo de 3 horas a 900 °C, ampliación 226 X. Pulido manual con ataque químico de dicromato de potasio.

2.4.3 Ensayos Mecánicos.

Las, muestras coladas en moldes para probetas de tracción fueron torneadas a la forma final según la norma ANSI /ASTM E-8-79. Las probetas corresponden a lasde tamaño reducido 35.6 mm de longitud de medición y 8.9 mm de diámetro de medición, sus extremos fueron roscados con 13 hilos/pulg. en un diámetro de 3/4". Figura 2.1.

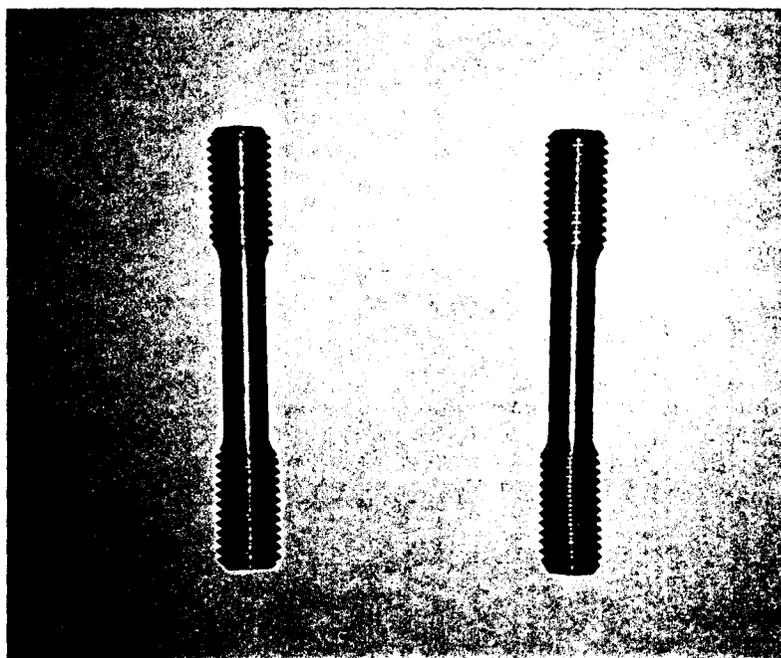


Figura 2.1.

Probetas para ensayo de tracción.

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Sólidos de la ESPOL. Se midió el diámetro inicial (D_i), la longitud inicial (L_i) y la final (L_f), y con los valores de carga máxima (W_m) y carga de fluencia (W_f), se determinó la resistencia mecánica (R_m), resistencia a la fluencia (R_f) y elongación (%E) con las siguientes fórmulas:

$$R_m = W_m / (D_i^2 / 4)$$

$$R_f = W_f / (D_i^2 / 4)$$

$$\%E = 100 \cdot [(L_f / L_i) - 1]$$

Para el ensayo de dureza Brine11 se extrajeron 4 probetas de 35 mm de altura y 25 mm de diámetro. En la tabla 4, presentada a continuación, se presentan los resultados obtenidos de los 5 ensayos de tracción y de dureza de las cuatro probetas analizadas.

TABLA # 4

PROBETA	RESIST TENSIL ksi	RESIST. E FLUENC. ksi	E %	DUREZA HB
1	50	24	18	100
2	52	27	20	100
3	47	26	22	92.6
4	45	25	20	92.6

CAPITULO 3

DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

3.1 Método Experimental.

Las pérdidas de material fueron mínimas. Mas bien el zinc se perdía en un monto aproximado del 5% el cual fue restituido. El riesgo de absorción de hidrogeno, con la consiguiente aparición de porosidades, fue disminuido por la presencia del zinc en la aleacion. Este elemento, al gasificarse, arrastra consigo al hidrógeno que se encuentra en el interior de la aleación hacia la superficie de material, expulsandose luego a la atmósfera.

3.2 Propiedades Mecánicas Obtenidas.

La semejanza de las propiedades mecanicas obtenidas con las de la norma ASTM C97600 se debe, en gran parte, al uso de materiales puros. La tabla 5 muestra las propiedades mínimas establecidas por la norma y los valores correspondientes a las muestras obtenidas.

TABLA # 5

	RESIST. TENSIL	RESIST. FLUENCIA	E	DUREZA
	ksi	ksi	%	HB
NORMA: C97600	45	24	20	80
PROBETA 1	50	24	18	100
PROBETA 2	52	27	20	100
PROBETA 3	47	26	22	92.6
PROBETA 4	45	25	22	92.6

Como se puede observar, las propiedades obtenidas superan o igualan a las dadas por la norma.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

A nivel artesanal, es decir, a nivel de pequeña industria, la fabricación de los broncees al níquel no es sencilla. Se requieren de equipos más desarrollados de los que se encuentran en la ESPOL. Hornos que alcancen temperaturas mayores en intervalos de tiempo menores facilitarían la labor.

La fabricación de esta aleación es cara, debido a los altos costos de la materia prima, especialmente el níquel, cuyo kilogramo en estado puro cuesta, aproximadamente 25.000 sucres. El cobre es el material menos caro ya que éste en estado de chatarra sirve para el propósito, ya que las propiedades mecánicas del cobre en estado puro no difieren mucho de las de la chatarra.

Aunque la vaporización del zinc es beneficiosa en nuestro caso, mayores porcentajes de este elemento presentes en la aleación haría que esta vaporización produjera acabados superficiales deficientes debido a las porosidades.

Recomendaciones.

La aleación madre Cobre-Niquel 75-25 posee una combinación de alta resistencia y ductilidad, lo que la hace muy difícil de cortar mediante métodos normales, como el uso de la sierra alternativa, especialmente si el espesor de la plancha fundida supera los 3 centímetros. Lo conveniente, para ahorrar valioso tiempo y no ocasionar daños en el equipo mencionado, es usar una cizalla hidráulica industrial.

Es conveniente precalentar los materiales usados en la fundición, tanto materia prima como instrumentos, moldes y herramientas. Esto se hace para evitar pérdidas de calor y accidentes durante la fundición y el colado, ya que el material podría explotar por la presencia de humedad, la cual al incrementarse rápidamente la temperatura sus moléculas (agua) adquieren gran energía.

Debido a la carestía del material, es apropiado realizar análisis químicos después de cada colada para verificar que las proporciones de los elementos constituyentes sea la adecuada.

El método de elaboración y control empleado en la fabricación de los bronce al níquel ha sido el mismo que

el usado por los ingenieros José Jara y Victor Neira a excepción del paso del control visual, el cual no fue realizado por ser, como ya se mencionó anteriormente, un material muy caro. A menos que exista una buena demanda en el mercado por este producto, no es recomendable su elaboración por parte de talleres pequeños.