



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE LA METODOLOGÍA QUE PERMITA  
OPTIMIZAR LAS PROPIEDADES DE CHAPA DE  
ALPACA Y LATÓN PARA EMBUTIDO PROFUNDO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N ,

VICTOR ALONSO LLANOS ESTRADA

FIDENCIO MENDOZA SOLARES

JAVIER RETANA MOLINA

RODOLFO SANDOVAL MURCIA

DIRECTOR DE TESIS

M. I. ARMANDO ORTIZ PRADO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DEDICO ESTE TRABAJO A :**

**A Dios, por hacer de este trabajo algo imperativo en mi vida.**

**A mi Madre Sra. Concepción Estrada Salazar, por su confianza y principalmente por que de alguna manera es cómplice de este trabajo.**

**A mi Padre Sr. Javier Llanos Ramírez., por su apoyo.**

**A mi Tía Sra. Concepción Llanos Ramírez, por la ayuda que me ha brindado durante toda mi vida.**

**A mis hermanos: Teresa, Javier, Benito, Con, Lorena, José C., Mauricio y Alberto.**

**A mis sobrinos y familiares.**

**A Xiomara por su inefable inspiración.**

**A mis amigos : Arturo Estrada, Raúl G Bazán y David Montes de Oca.**

**A la UNAM corazón cultural de México.**

**VICTOR ALONSO LLANOS ESTRADA.**

**DEDICO ESTE TRABAJO :**

**A DIOS SOBRE TODAS LAS COSAS**

**A MIS PADRES: ZOSIMO MENDOZA Y CECILIA SOLARES , POR SU AMOR Y CARIÑO**

**A MIS HERMANOS: JOSE MANUEL  
EMILIA  
JOSE LUIS  
OSCAR  
ANGELINA  
ZOSIMO Y  
JOSE JUAN**

**A MI ESPOSA LIDIA ANGELICA ORTIZ, POR SU AMOR Y COMPRENSION**

**A MIS HIJOS: CLAUDIA ELENA Y BEBE, POR SU INOCENCIA Y TERNURA Y PORQUE SON MI INSPIRACION**

**A MIS SUEGROS: MA. ELENA, POR SU AMOR DE ABUELA MELITON, EN SU MEMORIA, POR SU EJEMPLO DE HOMBRE Y UN AMIGO QUE EXTRAÑO**

**A: MARTHA Y ANDRES, POR SU APOYO INCONDICIONAL**

**A MIS AMIGOS: VICTOR HUGO JACOBO  
ROGELIO LUNA  
SALVADOR MUCIÑO  
MIGUEL GARDUÑO  
GUSTAVO CHAMORRO  
ADRIAN BARRETO, POR SU GRAN AMISTAD**

**A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO:  
GERMAN ALVAREZ  
HECTOR LARA  
SARA CERRUD  
MANUEL CORREA  
FRANCISCO JUAREZ**

**A M en I ARMANDO ORTIZ PRADO, POR SU APOYO Y EJEMPLO DE COMPARTIR LOS CONOCIMIENTOS**

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA ME BRINDAN SU AMISTAD. FIDENCIO**

## **DEDICO ESTE TRABAJO**

### **A MIS PADRES**

**Raymundo Retana Limas, Juana Molina Caldiño**  
**Por el apoyo y la confianza que me han brindado**  
**siempre, para poder realizar mis estudios y mis**  
**planes en la vida.**

### **A MIS HERMANOS, SOBRINOS Y FAMILIARES**

**Por el apoyo y la amistad que siempre me brindaron**  
**al estar a mi lado.**

**A TODOS LOS AMIGOS.**  
**Que de alguna manera han**  
**ayudado a mi superación,**

### **A LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**En especial a los maestros que con su saber me**  
**orientaron en el camino del conocimiento, para**  
**realizar una carrera profesional.**

**JAVIER RETANA MOLINA**

**DEDICO ESTE TRABAJO A.**

**Mis padres por darme el apoyo y consejos necesarios que me ayudaron a superar y lograr las metas que me he propuesto.**

**A mis hermanos y familiares por la confianza que me han dado.**

**A mi esposa e hijas por las cuales siento un deseo mayor de superación y darme un nuevo concepto de la vida.**

**A la Universidad por darme la oportunidad de lograr una carrera profesional así como a los profesores que transmitieron sus conocimientos para tener un mejor aprendizaje.**

**A todos los compañeros y amigos que me ayudaron y dieron su amistad durante los tiempos de estudiantes.**

**Rodolfo Sandoval Murcia.**

Los tesisetas expresan su agradecimiento por los conocimientos, equipo, laboratorios y material, a los siguientes catedráticos.

**M.I. ARMANDO ORTIZ PRADO**

**Ing. SARA CERRUD SANCHEZ**

**Ing. BRUNO JENSSENS**

**Biol. GERMAN ALVAREZ**

**Biol. HECTOR LARA**

**Ing. ADOLFO ALTAMIRANO**

**Ing. MAGDALENA TRUJILLO**

**Sin los cuales no hubiera sido posible éste trabajo.**

**ENERO 1986**

# INDICE

	Nº DE PAG.
1. INTRODUCCION	1
2. LATON Y ALPACA, PARA EMBUTIDO PROFUNDO	3
2.1. GENERALIDADES DEL COBRE Y SUS ALEACIONES	3
2.2. LATON	8
2.3. ALPACA	12
3. PROBLEMAS PROVENIENTES DE LA PRODUCCION DE CHAPA DE LATON Y ALPACA	28
3.1. GENERALIDADES	28
3.2. MATERIA PRIMA	28
3.3. FUNDICION	30
3.4. LAMINACION	38
4. METODOLOGIA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA CHAPA DE LATON Y ALPACA	41
4.1. INTRODUCCION	41
4.2. ELIMINACION DE ELEMENTOS NOCIVOS EN LA MATERIA PRIMA	42
4.3. ELIMINACION DE POROSIDADES	42
4.4. OBSERVACIONES	48
6. IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA PROPUESTA A ESCALA DE LABORATORIO	48
5.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL	48
5.2. PREPARACION DE LA ALEACION	49
5.3. PROCEDIMIENTO DE LA FUNDICION DE LA ALPACA	50
5.4. PROCEDIMIENTO DE LA FUNDICION DE LATON	51



<b>5.5. PROCEDIMIENTO DE LAMINACION EN CALIENTE</b>	<b>55</b>
<b>5.6. PROCEDIMIENTO DE LAMINACION EN FRIO</b>	<b>55</b>
<b>5.7. DECAPADO</b>	<b>58</b>
<b>5.8. PRUEBA DE EMBUTIDO</b>	<b>59</b>
<b>5.9. PRUEBA DE TRACCION</b>	<b>60</b>
<b>6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>64</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>66</b>

# **CAPITULO 1.**

## **INTRODUCCION**

La industria nacional se encuentra en un estado en el que es necesario reducir costos, mejorar los procesos de manufactura, optimizar recursos, así como mejorar la calidad de los bienes producidos, con el fin de ser competitivos en el mercado.

La problemática que se presenta es compleja por lo que hay que diseñar soluciones creativas que permitan alcanzar las metas trazadas, considerando para esto el bajo potencial económico del cual disponen las micro, pequeñas y medianas empresas.

Considerando lo anterior y el caso particular del presente trabajo, el objetivo es implementar una metodología que permita optimizar los procesos de fundición, laminación y recocido en la producción de latón y alpaca ((Cu70, Zn30), (Cu65, Zn23, Ni12), respectivamente), atacando principalmente los defectos de hoja y gas atrapado, con lo cual nos llevara a obtener el menor rechazo posible, por lo que es necesario trabajar en todas las líneas mencionadas. Es conveniente estructurar un plan a corto, mediano y largo plazo, siendo discutible el orden en que estos puntos deben ser tratados, cuando la mayoría de ellos están profundamente relacionados, es entonces que se propone un esquema estructurado de la siguiente forma:

En primera instancia se hace una revisión del estado del arte del cobre y sus aleaciones, haciendo hincapié en las aleaciones, que se mencionan en el párrafo anterior.

Como segunda etapa se hace un análisis de la forma como son llevadas a cabo las operaciones en cada uno de los procesos de fabricación empleados en la empresa.

Se realizó una recolección de muestras de materia prima, productos de fundición, así como muestras que presentaban los defectos que nos importan eliminar en el material (hoja y gas atrapado) y como soporte se realizaron análisis químico, observación por microscopía óptica y electrónica de secciones de las distintas muestras, entre otras actividades.

Continuando se determina una metodología a seguir para los procesos de fundición, laminación y recocido. El proceso de fundición se considera como parte medular del problema por lo que es importante implementar correcciones, como: control de materia prima, método para cargar el horno, control de tiempo y temperatura, forma de vaciado, control de desgasificantes, desoxidantes y combustible empleado en la fusión, precalentamiento de las lingoteras y herramientas de fundición, acabado superficial de las lingoteras, etc., después la laminación donde tenemos implícito el recocido y finalmente el decapado siendo este el proceso que no toma importancia en la problemática.

## **CAPITULO 2**

### **LATON Y ALPACA, PARA EMBUTIDO PROFUNDO.**

#### **2.1. GENERALIDADES DEL COBRE Y SUS ALEACIONES**

El cobre es conocido y utilizado por el ser humano desde la antigüedad, más o menos aleado fue utilizado por los antiguos romanos (escarpas para barcos, y objetos diversos). Todas las civilizaciones han utilizado el cobre y sus aleaciones a lo largo de su evolución, una de las razones evidentes de este empleo precoz es la existencia de cobre nativo, es decir en estado casi puro, a la facilidad de extracción del metal y gracias a su bajo calor de oxidación ha contribuido así mismo de una manera importante, a su desarrollo metalúrgico.

Por sus propiedades, el cobre se aproxima a los metales preciosos, a través de la historia se a considerado el segundo metal de mayor importancia, sobre él se han realizado numerosas investigaciones tanto por sus posibilidades técnicas como por la estabilidad que presentaba. Por citar un ejemplo, los pueblos de Africa han utilizado desde la antigüedad barras de cobre fundidas, por su primitiva industria, como medio monetario no acuñado.

Se puede decir que el cobre es el más barato y más común de los metales nobles, puesto que se sitúa inmediatamente detrás del platino, el oro y la plata. Este hecho basta para explicar la gran aplicación de elementos resistentes a la corrosión.

Como una segunda propiedad importante del cobre es su conductividad eléctrica. Desde el descubrimiento de la corriente eléctrica y el desarrollo industrial, el cobre encuentra su verdadero y primordial aplicación, además sus propiedades conductoras de calor le abren otra importante campo de aplicación, el de utilizarlo en

**intercambiadores de calor. Únicamente la plata le supera ligeramente. Así se explica el formidable aumento de consumo de cobre coincidiendo con la era de la electricidad. Actualmente, casi el 50% del consumo del cobre se debe a la industria eléctrica.**

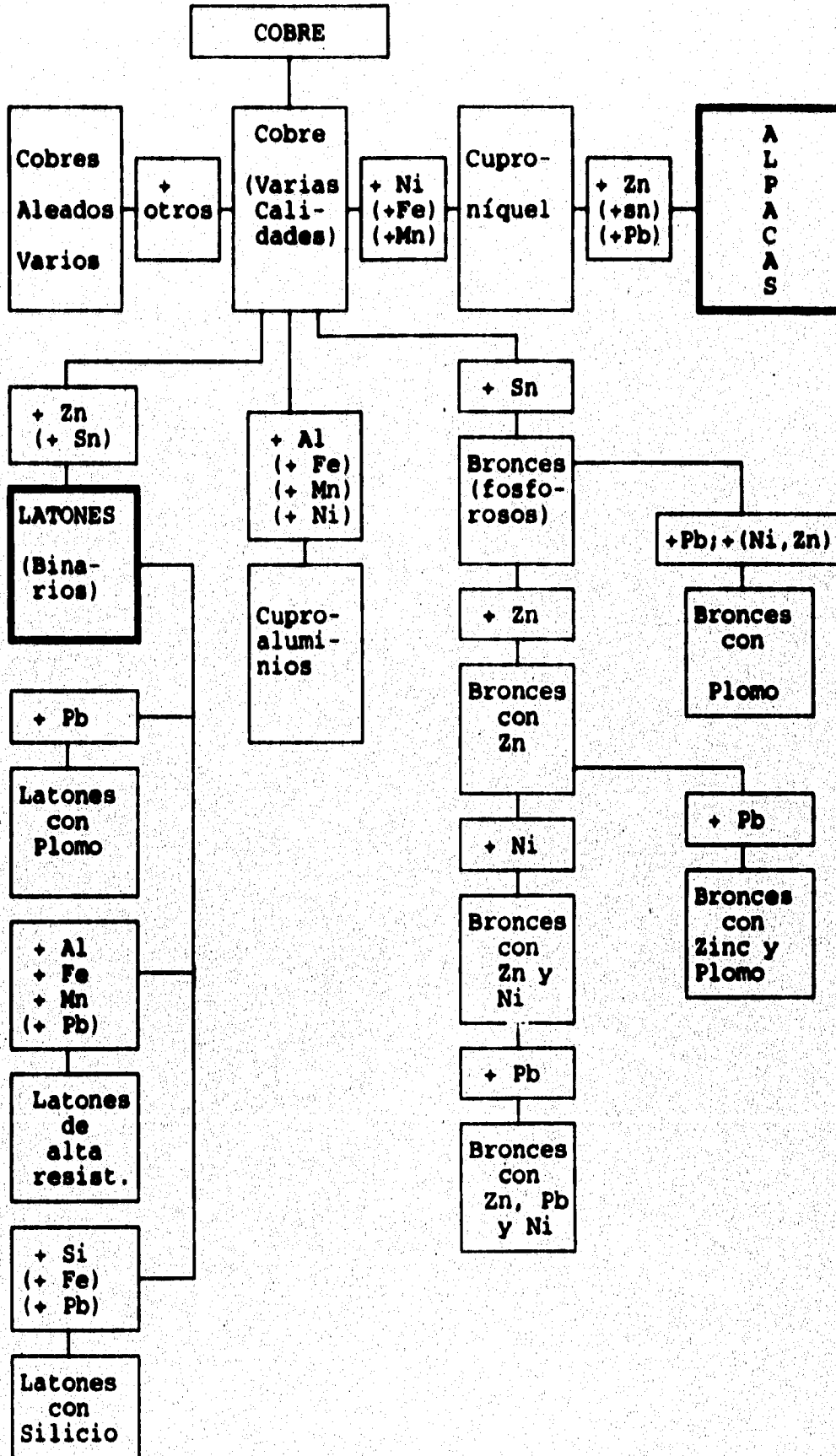
**El tercer factor influye a través de los siglos: el color cálido del cobre, sin equivalente entre los demás metales, exceptuado el oro. A él se deben todas las aplicaciones artísticas y decorativas del cobre.**

**Además, el cobre presenta una gran maleabilidad que facilita su trabajo. También la recuperación de chatarra es particularmente fácil y contribuye en una parte importante al abastecimiento del mercado. Sin embargo, el cobre no puede servir para todos los usos, sobre todo para los que requiere gran resistencia mecánica, buena maquinabilidad, gran resistencia a las temperaturas elevadas, al desgaste, etc.**

**En estos casos se puede recurrir a aleaciones del cobre con porcentajes variables de otros metales: zinc, aluminio, estaño, níquel, hierro, etc. El cobre y sus aleaciones se clasifican en la siguiente forma:**

- 1. Cobre**
- 2. Cobre débilmente aleados**
- 3. Cobre de alta aleación**
- 4. Aleaciones cobre-zinc (latones)**
- 5. Aleaciones cobre-zinc-plomo (latones con plomo)**
- 6. Aleaciones cobre-zinc especiales**
- 7. Aleaciones cobre-estaño (bronces)**
- 8. Aleaciones cobre-aluminio (cuproaluminios)**
- 9. Aleaciones cobre-níquel (cuproníqueles)**
- 10. Aleaciones cobre-zinc-níquel (alpacas)**
- 11. Aleaciones cobre-zinc-níquel-plomo (alpacas con plomo)**

# EL COBRE Y SUS ALEACIONES



Es conveniente citar, además, otras aleaciones que contienen menos del 50% de cobre, tales como el monel y las aleaciones para resistencias eléctricas. Finalmente, hay que decir también que el cobre no se utiliza siempre en estado metálico. Los compuestos de cobre (óxidos y sales) encuentran numerosas aplicaciones en la industria y en la agricultura.

El interés principal de esta propuesta está en los latones y alpacas, por lo que sólo éstas aleaciones de cobre serán las mencionadas.

### a) OBTENCION DEL COBRE

Originalmente el cobre era extraído de su variedad más simple es decir cobre nativo, por ser de la única forma que podría ser aprovechado. En la actualidad el cobre sigue siendo muy abundante en la naturaleza aunque ya no como cobre nativo, si en forma de minerales sulfurados y óxidos.

Más del 95% del cobre que se obtiene actualmente proviene de minerales que están como, sulfuro, óxido, carbonato, sulfato y silicato.

Los óxidos se caracterizan por encontrarse en depósitos cercanos a la superficie y por sus bajas leyes de cobre, frecuentemente el porcentaje de cobre es inferior al 0.90%, los principales son:

NOMBRE	FORMULA	% Cu
Malachita	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	57.3
Azurita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	55.1
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$	88.8
Crisocola	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	37.9

Los minerales sulfurados, principalmente la chalcopirita son la base para la extracción de cobre, se encuentra en yacimientos generalmente profundos, donde no llegan agentes del medio ambiente para alterarlos, con pocas excepciones son también minerales pobres, pues cuando tienen un 6% ya se pueden considerar ricos. Estos minerales por lo general son complejas mezclas de sulfuros de cobre y hierro, asociados con compuestos de Zn, Fe, As, Sb, Bi, Au, Ag, Te, Pt. Los más importantes, por las cantidades que se usan para la extracción del cobre son:

<b>NOMBRE</b>	<b>FORMULA</b>	<b>% Cu</b>
Chalcopirita	$\text{CuFeS}_2$	34.5
Chalcosita	$\text{Cu}_2\text{S}$	79.8
Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	55.5
Tetrahedrita	$\text{Cu}_3\text{SbS}_3$	32-45

De las aleaciones de cobre las no ferrosas son las más importantes, esto se debe a la abundancia de sus constituyentes, a la facilidad de fusión y deformación, lo mismo que a su facilidad de trabajo y a la gran variedad de aplicaciones para las que son aptas. Entre la enorme variedad existente hallamos binaria, ternarias, cuaternarias, etc.; de diferentes colores: Rojas, amarillas, blancas, principalmente. Entre las más importantes están, indiscutiblemente, dos aleaciones binarias: LATON (Cu-Zn), BRONCE (Cu-Sn), y una aleación ternaria: ALPACA (Cu-Zn-Ni).

Las anteriores aleaciones se fabrican normalmente puras, pero en ocasiones se les añaden algún otro metal, con el objeto de mejorar alguna propiedad en especial. Pero aun entre las aleaciones puras puede encontrarse una gran variedad de productos, que se obtienen variando las propiedades de los constituyentes.

El latón y la alpaca tienen mucha semejanza entre sí, aunque su color es diferente, con esto podemos decir que la alpaca es un latón por definición.





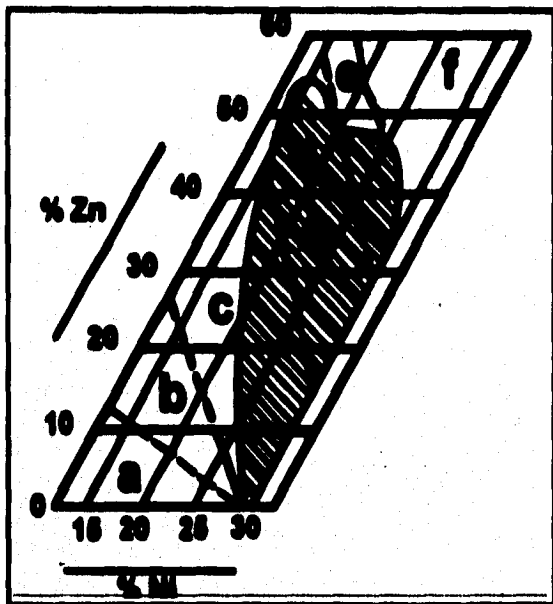
Aunque el cobre esta formado por cristales que pertenecen al sistema cúbico de caras centradas y el zinc por cristales del sistema hexagonal, la solución de ambos dará diversas formas cristalográficas, dependiendo de las proporciones en que se encuentren.

Los latones más usuales son los formados exclusivamente por la fase  $\alpha$  y se caracteriza por solidificar en una estructura cúbica de cara centrada, en forma semejante al cobre puro, pero siendo su parámetro de red mayor, ya que éste aumenta con la proporción del zinc. Así el latón 70/30 tiene una celdilla cuyo parámetro es de 3.688 Å. Al llegar al 38% de zinc aparece un nuevo tipo de cristal, la fase  $\beta$ , que solidifica en estructura cúbica de cuerpo centrado.(fig 1)

Así podemos ver en el diagrama que entre 38 y 46 % de Zn hay una zona donde los latones tienen fases  $\alpha$  y  $\beta$ . Las variedades  $\beta$ ,  $\beta'$ , y  $\beta''$  que se presenta a diferentes temperaturas, difieren únicamente en la magnitud del parámetro. Esta fase torna a los latones más duros y frágiles. Los latones  $\alpha$  pueden ser laminados en frío, siendo suaves y propios para embutido. Los  $\beta$  en cambio, son duros y frágiles, trabajándose generalmente en caliente; sin embargo, son más maquinables que los  $\alpha$ .

Al aumentar el contenido de Zn varía el color de los latones desde el rojo cobre hasta el amarillo. En la práctica se acostumbra llamar a los latones hasta con 20% de Zn latones rojos; en cambio, a los que tienen más del 20 % de Zn se les llama latones amarillos. (fig. 2a y fig. 2b).

En la práctica los más usuales son los amarillos, como el 70/30 y el 65/35, que aunque presenta cristales  $\beta$  aislados sigue comportándose como un latón  $\alpha$ . Aparte de que sus propiedades los hacen más aptos para el laminado, trefilado y embutido, es también un factor importante para que se fabriquen, su bajo costo por tener el mínimo



A.-Area ashurada, indica sensiblemente las aleaciones denominadas "blancas".

a) Aleación de tonalidad rosada.

b) Aleación de tonalidad Oamarilla.

c) Aleación de tonalidad verde.

d) Aleación de tonalidad blanca verdosa.

e) Aleación de tonalidad blanca azulosa.

f) Aleación de tonalidad azul.

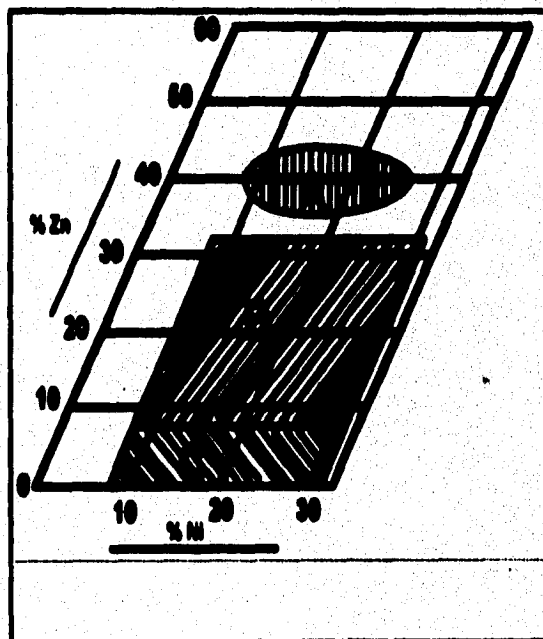
**FIGURA 2a.- COLORES DE LAS ALEACIONES**

**Cu-Ni-Zn.**

A.- Zona de trabajo en caliente

B.- Zona de trabajo en frío y fundición.

C.- Zona de trabajo en caliente y en frío.



**FIGURA 2b.- GAMAS DE COMPOSICION DE LAS ALPACAS RESPECTO A LOS TIPOS DE TRABAJO**

de cobre. Este tipo de latones se usan frecuentemente en lugar de acero, pues aunque su resistencia física es un poco menor, su resistencia a la corrosión es mucho mayor.

## **FIGURA 2A Y 2B**

En los latones, como en casi todas las aleaciones, tienen gran influencia los elementos extraños. Estos pueden haberse agregado intencionalmente o introducido por accidente. Los principales elementos que aparecen en los latones son: plomo, estaño, aluminio, hierro, níquel, manganeso, fósforo y silicio, que benefician o perjudican sus propiedades dependiendo de las características requeridas. El bismuto, antimonio, arsénico, oxígeno e hidrógeno, son en cambio elementos que dañan a los latones, mientras que los 3 primeros provocan problemas de segregación, oxígeno e hidrógeno quedan atrapados con el riesgo de formar burbujas o rechupes.

### **Propiedades mecánicas de los Latones.**

a) **DUREZA.**- Esta propiedad varía con la composición y con el trabajo mecánico a que ha sido sometido el material, es decir, según el tamaño del grano que presente.

### **Propiedades físicas de los Latones.**

a) Los latones como todas las aleaciones a base de cobre, son buenos conductores eléctricos, aun cuando el zinc los afecta marcadamente .

b) **Conductividad térmica.** Esta propiedad queda definida en los materiales por el valor de su coeficiente de conducción térmica.

## **Propiedades químicas de los Latones.**

Estas aleaciones son materiales a los que pueden considerárseles una buena resistencia química. En general, los más resistentes a la corrosión son los formados por una sola fase, siendo los mejores los que mayor proporción de cobre tienen y los peores los que presentan fases  $\alpha$  y  $\beta$ .

La corrosión atmosférica de los latones no es muy grave, debido a que se forma una pátina o capa superficial con los productos de la corrosión, que protege al resto del material. Por tal motivo sólo aparece un empañamiento que puede eliminarse por medios físicos (pulido) o químicos (inmersión en soluciones apropiadas). El latón depositado electrolíticamente (latonado) tiene similares propiedades químicas, aunque es ligeramente más resistente al empañamiento.

El latón constituye una excelente base para los depósitos electrolíticos de níquel y de cromo, siendo muy común dar dicho acabado a muchas piezas hechas de latón.

### **Usos de latones**

Se utiliza para artículos de artesanía, disipadores de energía calorífica, soldadura para piezas de cobre, autopartes, en algunas piezas electrónicas, chapas y perillas, cierres, piezas eléctricas, molduras para decoración, cartuchería, herrajes.

## **2.3. ALPACA**

Probablemente hacia 1500 a.C. en China se fabricaron ciertas aleaciones de aspecto diferente y notables propiedades, que se obtenían mezclando minerales de cobre y zinc con níquel, esta fue de las primeras aleaciones ternarias que el hombre

fabrico los chinos las utilizaban para fabricar "gongs" que resultaban tan sonoros como latón o bronce pero que eran más elegantes por su aspecto blanco semejante al de la plata. Durante el siglo XVIII fueron llevados a Europa, donde se les conoció con el nombre chino de "packtong" que significa cobre blanco. A mediados del siglo XIX se empezaron a fabricar en Alemania, de ahí su nombre de plata alemana.

Las alpacas son productos importantes dentro de la metalurgia y en la industria en general, desde hace más de un siglo. Aun así, actualmente es por pocos sabido que esta aleación no contiene plata, aunque lleva su nombre (plata alemana).

Están entre las pocas aleaciones de cobre color blanco, aunque en realidad no llega su color a ser nunca completamente blanco, sino que poseen tonalidades ligeramente amarillentas, rosadas, verdosas y hasta azulosas (fig. 2a).

Existe una gran variedad de alpacas, pues es posible realizar muchas combinaciones con los tres metales que las forman, las variedades comerciales tienen entre 60 y 65 % de cobre, 7 a 30 % de níquel, y el resto de zinc.

Las alpacas pueden ser consideradas metalúrgicamente como latones que tienen níquel disuelto, o cupro-níqueles con zinc en solución.

La aleación ternaria Cu-Zn-Ni, al igual que el sistema binario Cu-Zn forma esencialmente aleaciones de dos tipos:

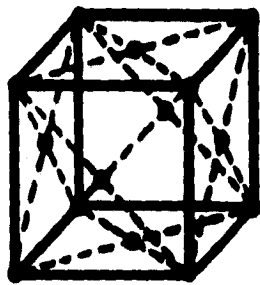
- 1) Aleaciones que contienen un mínimo de 65% Cu + Ni y que constan de una sola fase cristalina, la fase  $\alpha$ .
- 2) Aleaciones con 55-60 % de Cu + Ni y que constan de dos fases,  $\alpha$  y  $\beta$ . Las primeras son las más usadas y por lo tanto las que más se producen; esto es aún más marcado en las alpacas que en los latones.

La estructura cristalina de las alpacas con fase  $\alpha$ , es igual que la de los latones, estas son cúbicas de cara centrada (fig.3); la notación que se sigue para distinguir a las diferentes fases es la misma en ambas aleaciones. Macroscópicamente sólo difiere de los latones en el color, pero al microscopio ofrecen campos iguales bajo condiciones de ataque normales (las muestras de alpaca requieren ataques más fuertes debido a su mayor resistencia química).

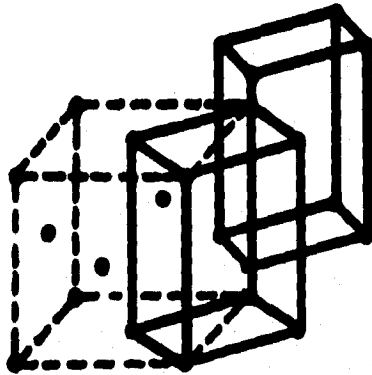
Cuando en una alpaca de fase  $\alpha$  aparece la fase  $\beta$ , sus propiedades y medios de trabajo varían (fig. 4). Si una alpaca se le añade plomo, al igual que en los latones su estructura aparece moteada al microscopio, ya que el plomo no se disuelve totalmente y permanece repartido uniformemente, dependiendo de la velocidad de difusión respectiva y de la agitación.(fig.4)

Las alpacas laminables en frío y la mayor parte de las destinadas a trabajos en caliente están formadas por la fase  $\alpha$ , pero hay algunas laminables en caliente o para ser vaciadas, que además contienen a la fase  $\beta$ .

Al estudiar a los metales componentes de la alpaca observamos que el cobre y el níquel tienen estructuras cristalinas cúbicas de cara centrada, mientras que el zinc tiene estructura hexagonal. La longitud de los parámetros es mayor en el cobre (3.6078 Å), en el níquel disminuye (3.5168 Å) mientras que en el zinc es (2.659 Å). La fase  $\alpha$  de la alpaca tiene estructura cristalina cúbica de cara centrada, como el cobre y el níquel, ya que son los elementos dominantes en esta fase y las dimensiones de los parámetros de las redes cristalinas de las aleaciones comprendidas en este campo, tienen valores que a su vez quedan comprendidos entre los del cobre y el níquel, siendo mayores mientras más Cu tiene la aleación. Al aumentar la proporción de este metal llega a 28-38 % (según la aleación), aparece la fase  $\beta$  o la  $\beta'$ , que presenta estructura cúbica de cuerpo centrado.



Posición de los átomos representados por puntos



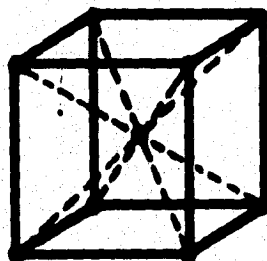
Fase "alfa"

ESTRUCTURA CRISTALINA DE LA ALPACA

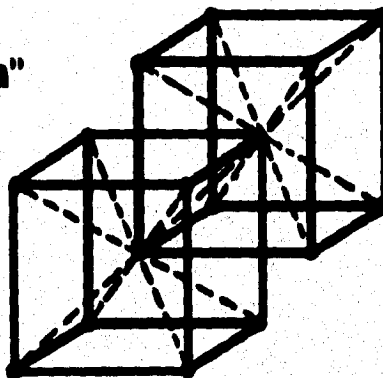


Átomos representados por esferas

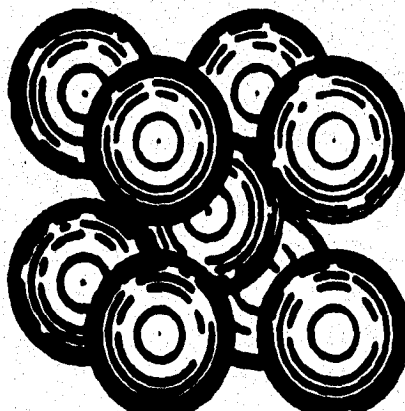
Fase "beta"



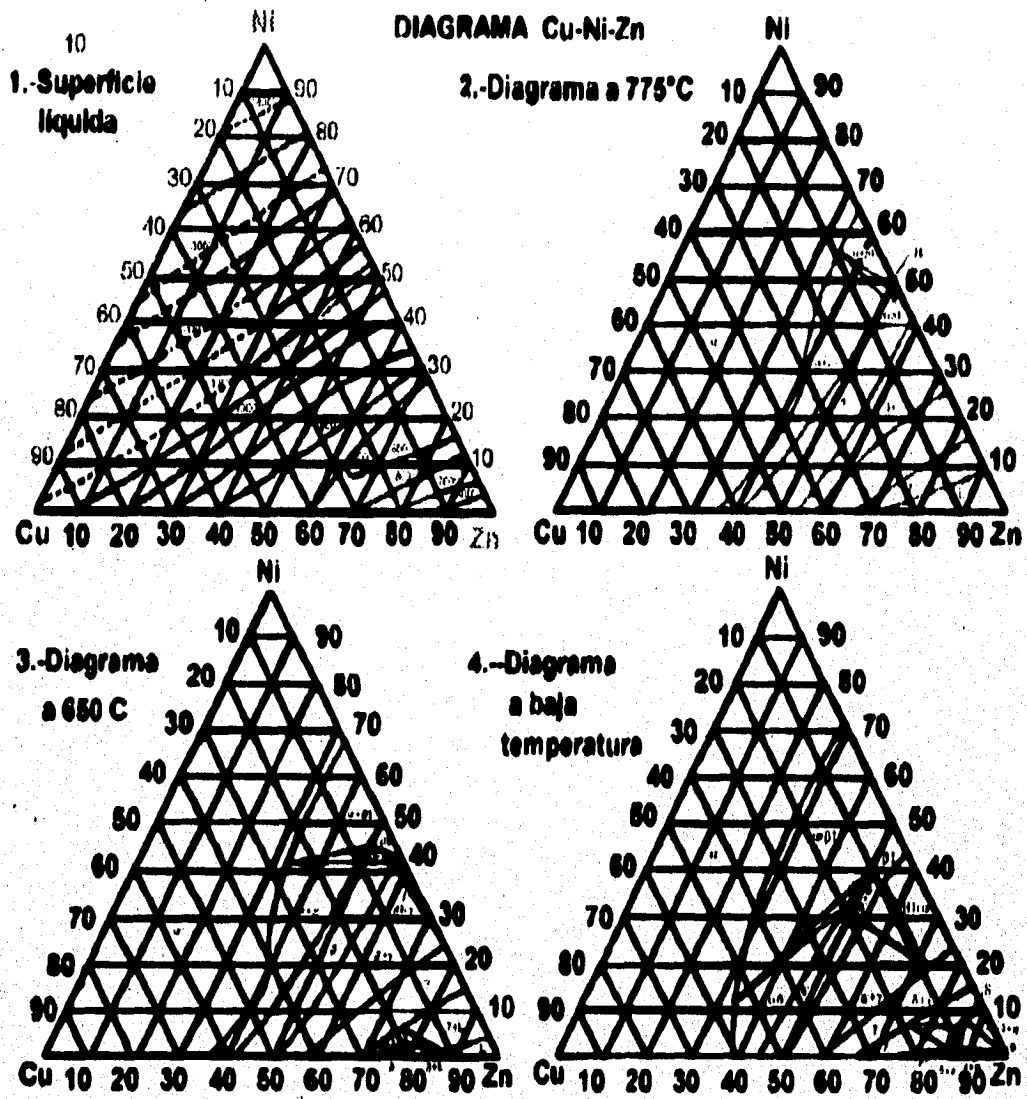
Posición de los átomos representada por puntos



Átomos representados por esferas







**FIGURA 4.-DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Cu-Ni-Zn.**

Las aleaciones más comunes para trabajarse en laminación en frío son aquellas que contienen pura fase  $\alpha$  y que tienen una proporción de cobre de 60 a 65 % y cuando menos 10 % de níquel . En la tabla siguiente se muestra la relación que hay entre la composición de la alpaca y el trabajo para la que es apta.

ALEACIONES Cu/Ni/Zn	Zn%	Ni%	Pb%	Sn%	Cu%
Para trabajarse en frío	5-30	10-30	1-3	---	resto
Para trabajarse en caliente y extrusión	28-45	8-18	---	---	resto
Para vaciado (piezas moldeadas)	5-40	12-30	1-10	6	resto

Nota: El plomo indicado en el primer renglón puede, o no estar presente. El estaño indicado en el tercer renglón es la cantidad mínima.

### Propiedades mecánicas.

Las principales características mecánicas de las alpacas son: buena resistencia a los esfuerzos, aceptable dureza, excelente actitud para el rechazado, el estirado y el embutido. Esto las hace materiales muy adaptables a una gran variedad de trabajos, sobre todo si se considera que también poseen un agradable color y una alta resistencia a la corrosión.

Son dos factores los que influyen en las propiedades mecánicas de estas aleaciones: la composición química y su microestructura, es decir, la que se logra de acuerdo con la intensidad del esfuerzo físico a que han sido sometidos.

La composición química influye en las propiedades mecánicas en forma perfectamente lógica, ya que cada componente tendrá efectos sobre la aleación en forma que se apeguen a sus propias características. Así por ejemplo, la resistencia a la tracción aumenta con el contenido del níquel más que con el cobre, pues el níquel tiene mayor resistencia a la tracción que el cobre; tanto el zinc como el níquel proporcionan mayor dureza, mientras que un alto contenido de cobre permite una mayor facilidad de estampado y embutido. Las alpacas más comunes son aquellas cuyo contenido de níquel varía entre el 12 y 20 %, el de zinc entre 15 y 30 %, complementando con cobre.

Mientras la alpaca se encuentra en la zona elástica sigue la ley de Hooke, las alpacas tienen un módulo de elasticidad promedio (E) de unos  $12650 \text{ kg/mm}^2$ .

Otro factor que influye en las propiedades mecánicas es la estructura cristalina. Así, puede decirse que la dureza y la resistencia a la tensión de las alpacas tienen valores inversamente proporcionales al contenido de cobre de la aleación y directamente al grado de deformación plástica realizada en el material. El Zn y Ni producen aumento en la dureza y resistencia pero especialmente el primero, pues una alta proporción de él forma material quebradizo y poco apto para el trabajo en frío. Todo esto se acentúa si aparece en la fase  $\beta$ . En el diagrama Cu-Ni-Zn puede verse que la presencia de la fase  $\beta$  depende en que gran parte de que la proporción de Zn sea alta, sobre todo si se está sustituyendo al cobre.

Con el trabajo en frío las alpacas van aumentando su dureza y resistencia a la tensión paulatinamente, al igual que disminuye su capacidad de elongación, llegando a un momento en que el material no puede trabajarse más pues se corre el peligro de que se rompa. Esto se debe a tensiones internas que van en aumento, para seguir trabajando en frío a ese material debe eliminarse o reducirse las tensiones internas, lo cual se logra con un tratamiento térmico: el recocido que es un calentamiento a

temperaturas medianas entre 500 a 800°C durante el tiempo necesario para que toda la masa tenga la misma temperatura.

Temperatura y tiempo son factores que dependen del estado de acritud del material, además de otros. El recocido da lugar a una recristalización cambiando notablemente las propiedades, suavizándose el metal, disminuyendo su resistencia y manteniendo su deformabilidad, sobre todo recuperando su elasticidad en frío. Las propiedades finales obtenidas después del recocido serán función del tamaño de grano desarrollado y ésta magnitud es a su vez función de la velocidad de enfriamiento después del recocido.

#### **Propiedades físicas.**

a) **Color.** Es una de las propiedades más importantes de alpaca, debido a que son las únicas aleaciones a base de cobre que tienen color blanco o casi blanco. Las más comunes varían su color desde el blanco amarillento hasta las blancas, esto depende del contenido del Ni.

b) **Propiedades Térmicas.** Es la alpaca tan sólo un regular conductor del calor a pesar de ser una aleación a base de cobre y de que éste y sus aleaciones sean buenos conductores térmicos. Es el Ni la principal causa de este descenso de conductividad térmica, pero el Zn también influye desfavorablemente.

#### **Propiedades Químicas.**

Una de las principales características de las alpacas es su resistencia a la corrosión en muy variados agentes. A ella debe mucho de sus usos, pues aunque en las aleaciones no ferrosas es frecuente la buena resistencia química, pocas reúnen

además una buena resistencia física, un agradable aspecto, y facilidad de trabajarse en frío.

Las alpaca deben su resistencia química al Ni, siendo proporcional al contenido de éste. No obstante, la alpaca se ataca fácilmente en la superficie, formándose una sal u óxido de cobre con zinc, que constituye una delgada capa, que impide que el ataque progrese, éstas pátinas no constituyen ningún inconveniente ya que pueden eliminarse fácilmente por medios físicos (pulido) o por medios químicos (soluciones ácidas).

Las alpaca pueden ser consideradas como aleaciones con buena resistencia a la corrosión atmosférica y en general a los agentes del medio ambiente como son la humedad, el oxígeno, salinidad, atmósfera industrial y urbana, etc.

Al igual que en los latones, son las alpaca, formadas por una sola fase las que son más resistentes a la corrosión, ya que la presencia de otra fase provoca fácilmente la formación de una pareja galvánica, por el diferente potencial eléctrico de ambas fases; en estas condiciones se ataca primero a la fase  $\beta$ , pues es menos pura electrolíticamente que la fase  $\alpha$ . Además, son siempre más resistentes las aleaciones con menos Zn.

#### **Influencia de elementos aleantes no deseados en la Alpaca.**

El efecto que producen los diversos elementos que en ocasiones (voluntaria o accidentalmente) aparecen en las alpaca, es más nocivo que benéfico, principalmente en aquellas aleaciones que han de ser laminadas o estiradas y posteriormente rechazadas, extruidas, estampadas, etc. Pero también en las aleaciones propias para fabricar piezas pulidas y a excepción hecha de unos cuantos elementos muy necesarios, esos elementos son indeseables.

a) **PLOMO.**- Al igual que en los latones, el plomo es añadido a las alpacas para mejorar su maquinabilidad. Pero como a cambio de este efecto benéfico las aleaciones se ven disminuidas y perjudicadas sus características de estampado, trefilado y troquelado.

La principal forma involuntaria en la que el plomo entra a formar parte de la aleación es al agregar zinc de baja calidad al baño fundido. Por tal razón debe usarse zinc de alta pureza o introducirlo en forma de latón sin plomo. Cuando se desea la presencia del plomo se introduce en forma de desperdicios de alpaca con plomo o de latón con plomo, previamente cuantificada.

b) **ESTAÑO.**- Las alpacas más comunes para la laminación y estirado, no llevan estaño en su composición, o no deben de llevar en cantidades que afecten sus propiedades. Esto se controla usando materias primas limpias de estaño. Cantidades menores de 0.05 % pueden considerarse inofensivas, mientras que cantidades mayores aumentan marcadamente la resistencia a la tensión y la dureza, siendo su influencia en este aspecto mucho mayor que la del zinc.

En el mismo grado que es indeseable el estaño en las aleaciones antes mencionadas lo es deseable en las fundiciones de alpaca, para moldeo de piezas, pues aumenta la fluidez del metal fundido permitiendo el vaciado de piezas de menor espesor; además provoca un refinamiento de grano y un mejor aspecto de la superficie de las piezas.

c) **MANGANESO.**- Este metal generalmente es añadido a las alpacas fundidas como desoxidante y desulfurante, tanto en las aleaciones para laminación como las aptas para vaciado. Un exceso no es perjudicial sino mas bien benéfico, ya que mejora la resistencia física y química de la aleación a cualquier temperatura.

d) **HIERRO.**- El principal efecto de este metal en las alpacas es el incremento que produce en su resistencia mecánica, siendo dicho efecto más marcado en estas aleaciones que en los latones. Esto se debe a la presencia del níquel que junto al hierro siempre da compuestos muy resistentes y duros.

La principal forma en que el hierro entra a formar parte de la alpaca es por disolución de las varillas empleadas para quitar la cargas de los hornos.

e) **ALUMINIO.**- El principal efecto que produce el aluminio en la alpaca es aumentar la dureza, pero desgraciadamente también aumenta la fragilidad hasta a tal grado que las hace intrabajables. Como la proporción aceptable es sumamente pequeña puede decirse que el aluminio es indeseable en las alpacas.

f) **SILICIO.**- Este elemento siempre debe ser evitado pues torna extremadamente frágiles a las alpacas, sobre todo a las laminables. Si bien se usa en pequeñas cantidades como desoxidante en otras aleaciones de cobre, nunca debe de ser empleada como tal en las alpacas.

g) **FOSFORO.**- Es todavía usado en algunas partes como desoxidante, empleándose en forma de fosfuro de cobre ( $Cu_2P$ ), pero debiéndose tener cuidado de que solo quede un pequeño exceso como elemento, ya que provoca un aumento de la dureza y una disminución en la elongación.

Otras impurezas que frecuentemente aparecen en las alpacas son el carbono, azufre, cobalto, oxígeno, etc.; seleccionando correctamente los materiales que van a añadirse al baño, empleando el equipo y combustible apropiado, y por supuesto siguiendo técnicas correctas, se evitan totalmente estas impurezas.

## **Usos de la alpaca**

Como todos los materiales existentes las alpacas tienen ciertos usos específicos, es decir, empleos para los cuales son lo más apropiado, por reunir una mayoría de factores a su favor. Para utilizar la alpaca es preciso formar primeramente semiproductos que permitan elaborar después artículos acabados; los semiproductos más usuales son: lámina, cinta, alambre, barras, placas, soleras y una gran variedad de formas vaciadas. Los productos que se terminan, normalmente se usan con la superficie pulida y abrigada, para mejorar el aspecto, o bien recubierta con algún otro metal depositado electrolíticamente, como la plata o el níquel.

Una gran cantidad de sus usos, quizá la mayor parte, se deben al gran parecido de la alpaca con la plata, sobre todo con alto contenido de níquel.

**Artículos de ornato.** Los hay de muy diversos tipos y acabados, desde los vaciados de una sola pieza, hasta los hechos con lámina; todos pueden llevar diferente tipo de acabado, como pulido, plateado electrolítico, etc. En la arquitectura han sido materiales muy valiosos debido a su agradable aspecto, su naturaleza metálica, la variedad de formas en que puede ser empleado, su alta densidad, sus altas resistencias física y química, siendo prácticamente inalterable durante mucho tiempo, pudiendo usarse en interiores y exteriores. Sus usos arquitectónicos podemos resumirlos en:

- a) formas laminadas como molduras, placas, tiras, etc.; que se usan en interiores y exteriores de edificios, en pisos, marcos de puertas etc.
- b) formas vaciadas: agarraderas, manijas, pedestales, diversas figuras en relieve, etc.



c) También artículos de ornato como los siguientes: Broches, cadenas, cierres, hebillas, partes de cámaras fotográficas, estuches, partes de automóviles, artículos de cocina, joyería de fantasía.

d) Artículos eléctricos. En forma de alambre y cinta son usadas las alpacas para hacer pequeños resortes y elementos eléctricos usados en teléfonos, aparatos reguladores y medidores, en contactos y diversos accesorios de instalaciones eléctricas.

e) Cubiertos de mesa. Este es uno de sus principales usos, ya que reúne un elevado número de requisitos para la fabricación de tales artículos. Los cubiertos de mesa se elaboran en los siguientes materiales: plata, alpaca recubierta de plata, alpaca pura, acero inoxidable, latón niquelado y otros en menor escala.

f) Otros artículos. Aunque en pequeñas cantidades, debido al pequeño tamaño de las piezas, la industria de joyería de fantasía emplea mucho a la alpaca; igualmente la industria óptica, para casi todas las partes metálicas de los anteojos. Es frecuente que en ambos casos vaya recubierta la alpaca de plata o de oro.

g) Con pequeñas adiciones de plomo, del orden del 1 al 1.5% y en aleaciones generalmente bajas en níquel ( 12%), las alpacas son muy usuales para fabricar llaves y partes de cerraduras, pues además de alta resistencia, presentan resistencia a la corrosión para conservar las figuras maquinadas, siendo por ello mejores que los latones que son muy suaves y poco resistentes, o que los aceros, que aunque tienen buena resistencia mecánica no la tienen química, ni son fácilmente maquinados.

h) Estas mismas aleaciones son también aptas para fabricar aditamentos finos para construcción, así como tornillos, válvulas, tuercas, llaves, pernos, etc. Además, instrumentos musicales, que tienen buena sonoridad y mejor aspecto que el latón;

accesorios en instalaciones de gas, partes de carburadores de coches y bombas de gasolina. Por su resistencia química también son empleadas frecuentemente en aparatos y maquinaria que tienen contacto con sustancias corrosivas.

## **CAPITULO 3**

### **PROBLEMAS PROVENIENTES DE LA PRODUCCION DE CHAPA DE LATON Y ALPACA.**

#### **3.1. GENERALIDADES**

Inicialmente se trabajo en conjunto con una empresa dedicada a la manufactura de chapa de latón y alpaca, a la cual se realizaron diversas visitas con la finalidad de observar y obtener la mayor información posible de los procesos, considerados como posibles fuentes de los defectos (hoja y gas atrapado principalmente), los cuales son: fundición, laminación, recocido, y decapado éste último no fue analizado a detalle en virtud de no tener relación con los defectos que provocan el rechazo del producto terminado.

#### **3.2. MATERIA PRIMA**

El material utilizado básicamente es chatarra de cobre y alpaca, de aspecto físico diverso y de diferentes lugares de procedencia como son: recortes provenientes de talleres artesanales, desperdicio de laminillas utilizadas en la industria telefónica (fotografía 1), colas, puntas y recortes de la propia empresa, etc. La empresa clasifica sus materias primas en función de su aspecto físico (selección visual), lo cual da como consecuencia variaciones en la composición química del producto. En base a lo anterior se opto por realizar un análisis químico por vía húmeda de una muestra de chatarra de alpaca (Tabla 1; chatarra 1) y otro de chatarra de cobre (Tabla 1; chatarra 2). De lo anterior se observa que en ambos análisis existe contenido de plomo y un alto porcentaje de aluminio.

## ANALISIS QUIMICO VIA HUMEDA

Elemento	chatarra 1	chatarra 2	lingote
%Al	6.178	5.484	6.066
%Sn	0.000	0.921	0.000
%Zn	20.541	0.025	17.958
%Pb	0.203	0.095	0.125
%Cd	0.002	0.001	0.001
%Ni	15.010	0.053	10.984
%Fe	0.293	0.224	0.203
%Cu	56.813	93.037	64.417
%Cr	0.012	0.004	0.008

Chatarra 1: considerada como alpaca

Chatarra 2: considerada como cobre

Lingote : considerado como alpaca

tabla 1 : resultados del análisis químico

**Chatarra 1:** Se refiere a la muestra obtenida en la planta con lo que se alimenta al horno y que corresponde al recorte de piezas de aparatos telefónicos (color gris brillante), fotografía 1.

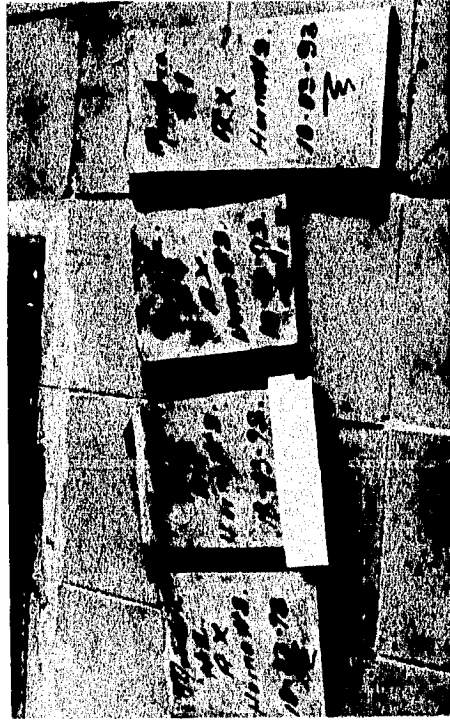
**Chatarra 2:** Son recortes de piezas de aparatos telefónicos, de tonalidad roja, considerado como cobre. Ver fotografía 1.

**Lingote:** Se refiere al promedio de las cuatro muestras que obtuvimos, fotografía 2. No se encontró mucha diferencia entre una composición y la otra.

Del estudio anterior se obtiene que los problemas que ocurren durante su proceso de laminación y recocido, que se muestran en la fotografía 3, son debido a:



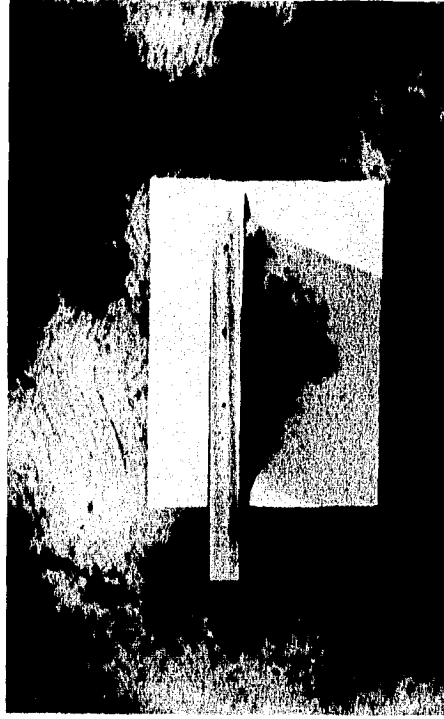
FOTOGRAFIA 1.- LA MATERIA PRIMA ( LAMINILLAS Y LINGOTE )



FOTOGRAFIA 2.- LAS MUESTRAS TOMADAS.



FOTOGRAFIA 3.- LOS DEFECTOS EN LA CHAPA DE ALPACA (HOJA Y DEFECTOS DE BORDE)



FOTOGRAFIA 4.- POROSIDADES DEL LINGOTE.

l) Elementos indeseables en la materia prima (chatarra) utilizada en el proceso de fundición, como:

**ALUMINIO:** Los lingotes contienen 6.088% de este elemento. El aluminio forma junto con otros elementos presentes en la aleación compuestos intermetálicos (p.e.  $\text{CuZn}_2\text{Al}_2$ ) que van a interferir durante el subsecuente proceso de laminación y recocido. También el aluminio forma partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que son distribuidas en la microestructura. Todas las partículas antes mencionadas disminuyen la ductilidad de la aleación ya que estas son duras y frágiles, y por lo tanto van a dificultar el proceso de laminación y también favorecen a la formación de los "rechupes" presentes en la microestructura.

**PLOMO:** Ya que no tiene afinidad con los otros elementos presentes en la aleación y junto con su bajo punto de fusión ( $327.5\text{ }^\circ\text{C}$ ) se manifestará entre los granos en forma globular por esta causa; el plomo presente en una cantidad mayor que 0.05% provocará problemas durante la deformación plástica del material.

Se debe tener cuidado de igual forma con otros elementos dañinos para la deformación plástica como el hierro, estaño, plata, fósforo, antimonio, arsénico, azufre, cromo, etc.

Consultando las normas internacionales no se ha encontrado una aleación como la que presenta el lingote en estudio. Por tal motivo se trabajará en base a la norma ASTM sobre la alpaca y el latón que se pretende producir, que es la aleación 65Cu-23Zn-12Ni y 70Cu-30Zn respectivamente, identificada en las normas como C75700 y C26000.

## ESPECIFICACIONES DE LA COMPOSICION QUIMICA:

### ALPACA: C76700

Cobre 63.5 a 66.5 (%)

Níquel 11.0 a 13.0 (%)

Plomo máx. 0.05 (%)

Hierro máx. 0.25 (%)

Manganeso máx. 0.5 (%)

Otros máx. 0.5 (%) (total)

Zn el resto

### LATON: C26000

Cobre 68.5 a 72.5 (%)

Plomo 0.07 (%)

Hierro 0.05 (%)

Zinc el resto

	ALPACA:	LATON:
Temperatura de fusión:	1040°C	980°C
Temperatura de recocido:	600 a 825°C	450-600°C

### 3.3. FUNDICION

Este proceso se realiza en forma empírica basándose en la experiencia sin consultar normas o técnicas. La fundición es hecha en un horno de crisol con una capacidad de 300 Kg, se utiliza gasóleo como combustible. El cálculo de la carga es efectuado en base a la chatarra disponible y ésta es agregada al crisol (precalentado) sin ser compactada comenzando por la más pesada y dejando al final la delgada, el zinc es agregado con un exceso del 1% para compensar las pérdidas, como fundente utilizan 1% de vidrio, el retiro de la escoria es hecha mediante una pequeña cuchara de hierro dulce. Para el vaciado se dispone de una cuchara de 60 Kg y una serie de lingoteras de hierro gris a las cuales se les hace un recubrimiento de aceite quemado y un precalentamiento que consideraban aproximado de 150 °C; la desgasificación la realizan con un trozo de madera agregando fosforo de cobre al mismo tiempo.

La temperatura durante el proceso fue tomada con un pirómetro, calibrado para tal fin. La temperatura máxima alcanzada en el horno fue 1100°C, ésta no es la temperatura adecuada en el caso de la aleaca 65Cu23Ni12Zn, pero el exceso de aluminio provoca una disminución en la temperatura de fusión de la aleación.

De una fundición de aleaca se tomo lingotes como muestras, fotografía 2, y se hizo un análisis químico por vía húmeda (Tabla 1, Lingote), en la cual se observa contenido de plomo y un alto porcentaje de aluminio. A estos mismos lingotes fueron seccionados observándose una gran cantidad de porosidades fotografía 4 y 5.

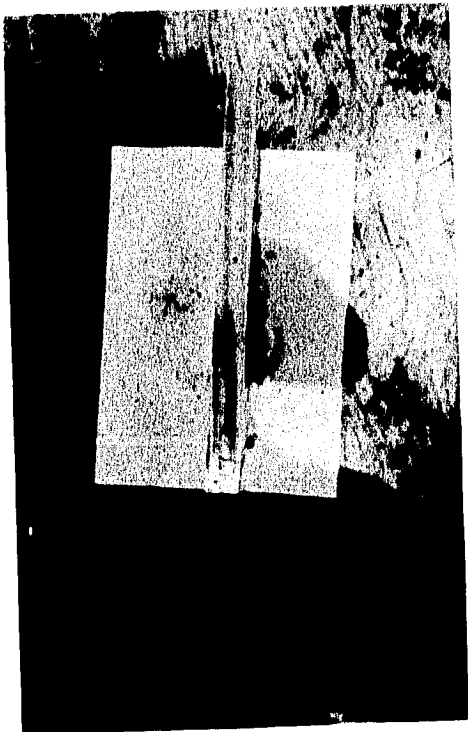
**Porosidades producidas por gas debidas a inconvenientes en el proceso de fundición.**

La aleaca tiene en su estado líquido una solubilidad muy grande para el hidrógeno, el níquel aumenta esa solubilidad. La solubilidad del hidrógeno en la aleaca disminuye al disminuir la temperatura de ésta, pero al momento de solidificar dicha solubilidad disminuye bruscamente y el hidrógeno sale en forma de gas ( $H_2$ ) que se queda atrapado en el material solidificado

**Las fuentes de hidrógeno durante su proceso son:**

1. Greases, residuos plásticos que presenta como suciedad la chatarra.
2. El contacto directo de la chatarra con la flama reductora (flama amarilla). Ver fotografía 25. Las paredes del horno presentan una capa de carbono (negra) en la zona donde pega la flama reductora.
3. Contacto del baño con una atmósfera reductora. Dicha atmósfera aparece debido a la combustión parcial (relación aire-gas insuficiente) y contiene vapor de agua,  $H_2$ , CO e hidrocarburos.





FOTOGRAFIA 5.- POROSIDADES DEL LINGOTE.



FOTOGRAFIA 7.- ESTRUCTURA DENDRITICA (320X).



FOTOGRAFIA 6.- ESTRUCTURA DENDRITICA (80X).



FOTOGRAFIA 8.- DEFECTOS EN LA MICROESTRUCTURA,  
POROSIDADES (80X).

4. Insuficiente protección del vidrio.
5. Durante el vaciado del horno hay un contacto permanente de la alpaca líquida con gases, productos de la combustión incompleta, que son reductores.
6. Contacto con el medio ambiente de la alpaca fundida cuando esta en el crisol.
7. El aceite con el que se recubre los moldes se quema al contacto con la alpaca fundida provocando que se produzca  $H_2$  entre otros.

## **METALOGRAFIA DE LOS LINGOTES MUESTRA**

El objetivo de el análisis metalográfico es poder observar la microestructura, defectos (límite de grano, macias, poros, rechupes, etc), microestructura dendrítica, tamaño de grano; y se tenga un mejor conocimiento del contenido y estructura de los materiales para poder discernir el comportamiento de cada uno de ellos.

Para éste estudio se aplico la siguiente metodología; primeramente se toma la muestra metalográfica preparandondose en forma convencional para posteriormente ser atacadas químicamente con un reactivo compuesto por: 5g de  $FeCl_3$ , 50ml de HCL y 100ml de  $H_2O$  en un tiempo de 15 segundos.

Las fotografías 6 muestran la estructura de los bordes del lingote en donde se observa dendritas orientada hacia el centro, esta estructura heterogénea es típica de la solidificación en lingoteras. En la fotografía 7, se observan defectos entre las dendritas.

Como se menciona el centro del lingote presenta una concentración más grande de defectos. En las fotografías 8 y 9 que son de baja magnificación (80X), se observa claramente una mezcla de porosidades grandes y pequeñas ya mencionadas anteriormente. La fotografía 10 muestra una porosidad esférica resultado de gas atrapado.



FOTOGRAFIA 9.- DEEFECTOS EN LA MICROESTRUCTURA (80X).



FOTOGRAFIA 10.- UNA POROSIDAD PRODUCIDA POR GAS (80X).



FOTOGRAFIA 11.- MICRORECHUPES (200X).



FOTOGRAFIA 12.- DETALLES DE LA FOTOGRAFIA 11, DONDE SE APRECIA LA SEGREGACION (320X).

Las siguientes fotografías muestran una amplificación mayor de las muestras para un estudio más detallado. La fotografía 11 muestra una zona representativa del centro del lingote en la cual se observan dos o tres porosidades grandes que siguen la forma de las dendritas por su geometría se concluye, que estas porosidades son las que hemos denominado "microrechupes", también se pueden ver una gran cantidad de defectos pequeños situados entre las dendritas, una amplificación de esta zona se presenta en la fotografía 12 en la cual se puede observar, más claramente, la segregación que se dirige hacia las fronteras de las dendritas, todo esto debido a elementos indeseables, por su capacidad de segregar, en la composición química del material.

La fotografía 13 tomada a 160 aumentos, muestra de forma clara la formación de una segunda fase que favorece una disminución en la ductilidad del material.

### **Microscopía electrónica**

Realizada también sobre la sección transversal de la muestra, permite observar los defectos con mayor detalle. Así las fotografías 14,15 y 16 muestran las porosidades con una mayor amplificación, en particular la fotografía 16 muestra discontinuidades de hasta 10 micras entre las dendritas y de igual forma del lado derecho se observa impurezas. Una ampliación de la foto anterior en la fotografía 17 nos muestra las discontinuidades con mayor claridad.

Hasta este momento sólo se había utilizado el detector de electrones secundarios que permite amplificar la topografía de la muestra; sin embargo el microscopio electrónico de barrido presenta la opción de utilizar un detector de electrones retrodispersados se tiene entonces la oportunidad de observar y corroborar la presencia de impurezas y de una segunda fase, como se puede observar en las fotografías 18 y 19. Utilizando este mismo detector se puede observar con mayor claridad la falta de continuidad entre los granos debido a la aparición de partículas en las fronteras, fotografías 20 , 21 y 22.



FOTOGRAFIA 13.- DEFECTOS DE TIPO MICROPOROS (160X).



FOTOGRAFIA 15.- UNA IMAGEN CON EL SEM (533X) DONDE SE



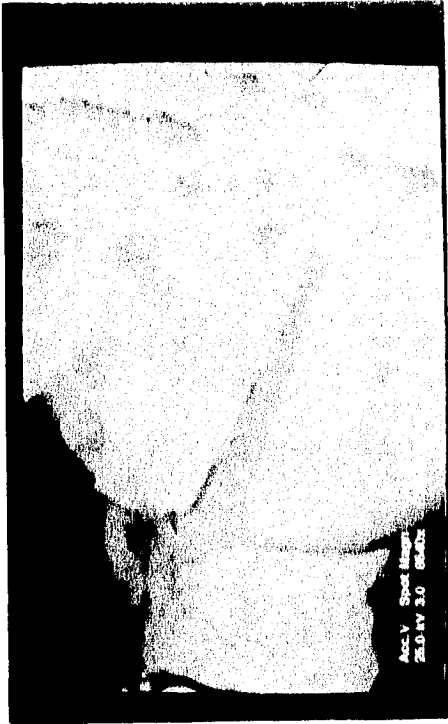
FOTOGRAFIA 16.- UNA IMAGEN CON EL SEM (2135X), DONDE SE PUEDE OBSERVAR IMPUREZAS Y SOLIDIFICACION HETEROGENEA.



FOTOGRAFIA 14.- UNA IMAGEN CON EL SEM, DONDE SE APRECIA MICRORECHUPES ((524X).



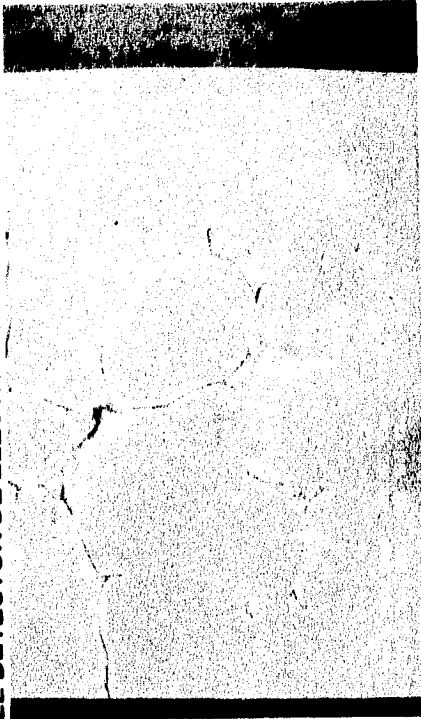
FOTOGRAFIA 17.- DETALLE DE LA FOTOGRAFIA 16 CON EL SEM (8540X).



FOTOGRAFIA 19.- UNA IMAGEN TOMADA CON EL SEM (8540X) CON EL DETECTOR DE ELECTRONES RETRODISPERSADOS.



FOTOGRAFIA 18.- UNA IMAGEN TOMADA CON EL SEM (2135X) CON EL DETECTOR DE ELECTRONES RETRODISPERSADOS.



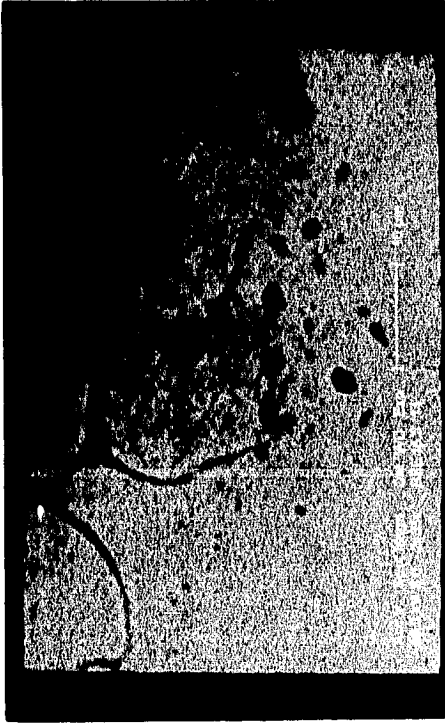
FOTOGRAFIA 20.- UNA IMAGEN TOMADA CON EL SEM (1067X)

La fotografía 23 nos muestra, a 8540 aumentos, impurezas en la microestructura del material. Por último la fotografía 24 muestra la segregación ya mencionada anteriormente.

### 3.4. LAMINACION

Los lingotes son llevados a un almacén donde son pesados, medidos y clasificados (alpaca o latón), para posteriormente laminarlos conforme a requerimiento de los clientes, generalmente son de un ancho de 20 a 40 cm, de espesores variados, etc.

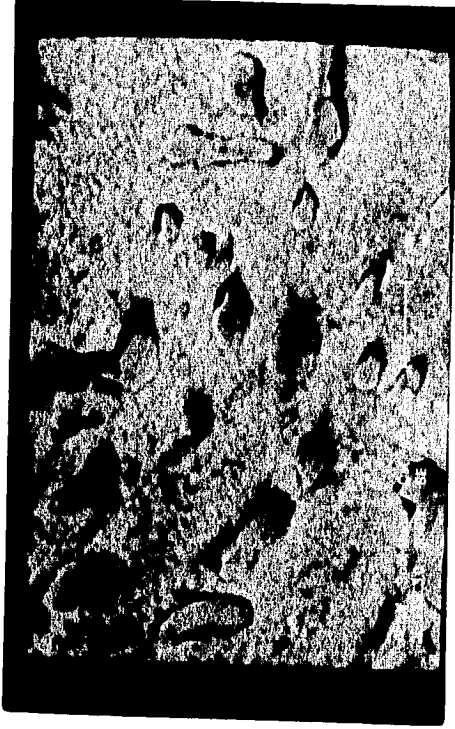
Se parte de un lingote de 21x30x2 cm, se le hace un desbaste en un laminador dúo, en caso de ser necesario darle un ancho especial, el lingote se gira 90° entre pasada y pasada; ya en un número considerado de pasadas (calibre 2), se le hace un recocido al material, en esta parte del procedimiento la lámina es colocada en hornos recocido donde el control de temperatura se efectuaba en base al color del material, retirándose este por la parte trasera del horno donde se encontraban tinajas con agua para tener un enfriamiento más rápido, las laminas eran regresadas al laminador inicial para seguir desbastando y obtener un calibre 12, e inmediatamente se hacía el mismo procedimiento para hacer un segundo recocido, que posteriormente se corta la cola y la punta de la lamina, siguiendo el procedimiento el material es pasado a otro laminador dúo acabadores para tener un espesor pequeño conforme a necesidades de clientes, por dar un ejemplo: en chapa de latón y alpaca se tienen pedidos de calibre 18 y en ocasiones de 32 (0.009"). En ocasiones los clientes piden que su material este con una apariencia limpia, brillante y con una cierta dureza, en este caso el operador debe dejar de 2 a 4 números de calibre antes de llegar al calibre requerido y darle un recocido, después cortar la cola y la punta, una vez realizado esto se hace un proceso de decapado donde se preparan tinajas con ácido sulfúrico diluido en agua, de la más alta concentración de ácido sulfúrico hasta tener únicamente agua, al tener libre de ácido el material se procede a pasarlo a un laminador dúo terminador y dejarlo exactamente al calibre solicitado. Como ultima operación del proceso de laminación



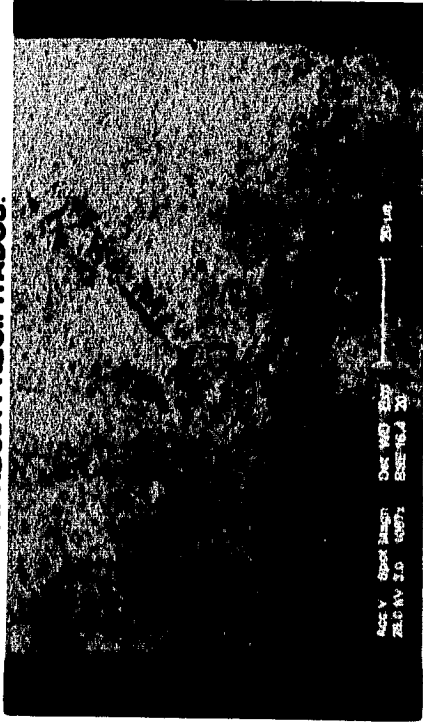
FOTOGRAFIA 21.- UNA IMAGEN CON EL SEM (2135X).



FOTOGRAFIA 22.- UNA IMAGEN CON EL SEM (2135X).



FOTOGRAFIA 23.- UNA IMAGEN CON EL SEM (8540X) DONDE SE APRECIA PRECIPITADOS.



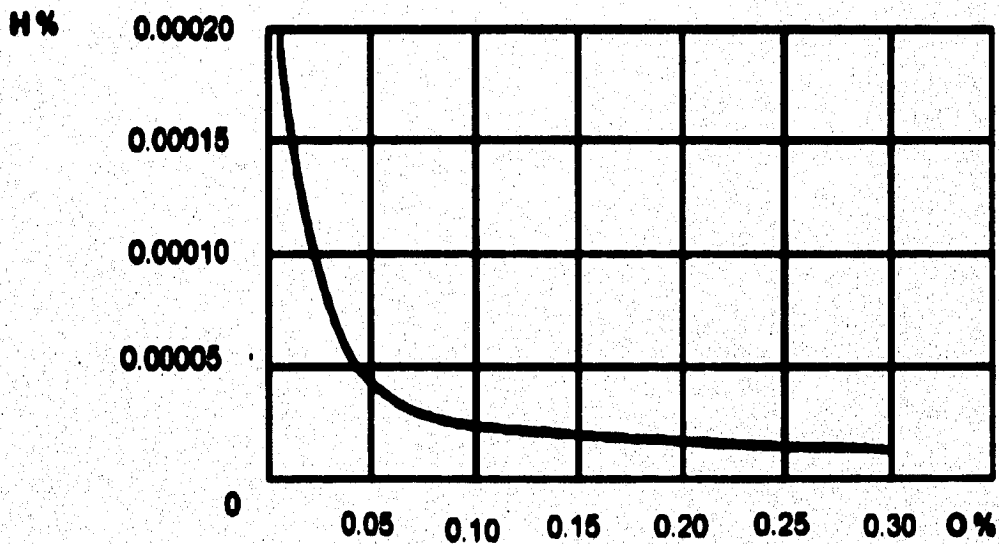
FOTOGRAFIA 24.- UNA IMAGEN TOMADA CON EL SEM (1067X) CON FISURAMIENTO.



es un control de calidad del producto terminado donde un operador inspecciona el material y rechaza todo aquel con defectos, donde los principales son la hoja (pellejo) y el gas atrapado (burbuja), este rechazo en ocasiones llegaba a un 40% considerado ya muy alto.

Los principales problemas que se presentan durante el proceso que se realiza en frío, son fisuramiento en las orillas, hoja en la superficie, estos son producidos por prácticas inadecuadas en el proceso de fundición, así como una mala técnica en la laminación, fotografía 3.

- 1) Burbujas y hojas (se muestra del lado derecho).
- 2) Fisuramiento al borde durante el proceso de laminación (se muestra del lado izquierdo).



**FIGURA 6.- MUTUA SOLUBILIDAD DEL OXIGENO-HIDROGENO EN ALEACIONES DE COBRE A 1160°C.**

## **CAPITULO 4**

### **METODOLOGIA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA CHAPA DE LATON Y ALPACA**

#### **4.1. INTRODUCCION**

Del diagnóstico efectuado se presentan dos causas primordiales que dan lugar a la baja calidad e inconvenientes en el material:

- a) Elementos nocivos en la materia prima utilizada (chatarra).
- b) Porosidades debidas a gas atrapado.

Para obtener un lingote con propiedades satisfactorias debemos eliminar simultáneamente ambos.

El primer defecto se puede eliminar con un control adecuado de la chatarra utilizada, rechazando aquella que contenga elementos nocivos, por lo que se debe realizar un análisis químico o contar con un reporte que certifique los porcentajes de los elementos que componen la chatarra., así como, agregando un cierto porcentaje de materia virgen, en la fundición, para "renovar" la aleación.

Las porosidades por gas atrapado se pueden eliminar utilizando un proceso de fundición más técnico, controlando todas las variables que intervienen: Temperatura, tiempo, forma de agregar los aleantes, desoxidantes, precalentamientos y vaciado.

## **4.2. ELIMINACION DE ELEMENTOS NOCIVOS EN LA MATERIA PRIMA.**

Es necesario empezar por una buena selección de chatarra, eliminando todo aquello que contenga impurezas que perjudican a la aleación, ya que de otra manera es imposible reducir los altos contenidos de aluminio y plomo que tanto perjudican, a un material que va a ser laminado.

Lo expresado en el párrafo anterior es indispensable de realizarlo, como se a mencionado, se tiene un círculo vicioso donde se arrastran las impurezas del material. Hacer cambios graduales de chatarra no sería la solución por que el grado de impurezas es muy elevado, sobre todo en lo que respecta al aluminio donde se tiene un contenido del 6.066% cuando no es permisible tener éste elemento en la alpaca. Siendo, además, imposible eliminar contenidos de aluminio mayores del 0.5% en un baño líquido.

A esto se debe aunar el uso de materia prima virgen en un porcentaje aproximado de 50% chatarra y 50% materia virgen en la producción de lingotes.

## **4.3. ELIMINACION DE POROSIDADES**

En esta parte se hará una descripción del proceso de fundición tal y como debe ser llevado a cabo, para eliminar las posibles fuentes de hidrógeno y oxígeno con la finalidad de disminuir el porcentaje de estos en el metal líquido.

El proceso que se describirá, de igual forma disminuirá el tiempo de fundición con un consecuente ahorro de combustible y una reducción en la emisión de contaminantes.

## PROCESO DE FUNDICION

El material con el que se va a cargar el horno debe estar libre de impurezas (grasas, basuras, plásticos, etc.) y seco, para evitar que gases (hidrógeno principalmente) entren al metal líquido. Además en caso de contar con chatarra fina, ésta debe ser compactada para disminuir los tiempos de fundición así como para tener un mayor rendimiento del material.

Las cargas se calcularán en función de la aleación que se quiera obtener, agregando 5% de Zn de alto grado de pureza para compensar la pérdida de éste elemento.

Se debe precalentar el horno, para evitar choques térmicos bruscos en el crisol, y para disminuir los tiempos de fundición.

Cargar el material como se observa en la figura 7.



**FIGURA 7.-FORMA DE CARGAR EL HORNO.**

Nunca se debe cargar el crisol a su máxima capacidad, para evitar el contacto directo de la flama con el material, ya que aleaciones a base de cobre pueden absorber gases en el

estado sólido (a temperatura mayor de 650°C), debiendo cargarse hasta un límite determinado (80%).

También con la primera etapa de llenado del crisol, se agrega un fundente actuando como oxidante y como absorbedor de impurezas.

Ya con el horno cargado parcialmente, se procede a obtener una flama ligeramente oxidante (color verde) la que se deberá mantener durante todo el proceso.

**Nota:** Para saber si tenemos una atmósfera oxidante o reductora, basta pasar a través de las flamas una pieza de zinc, si este se pone negro significa que la atmósfera es reductora y en consecuencia, se debe aumentar la entrada de aire.

Se debe ahora esperar a que el material cargado en la primera etapa se funda y se obtenga una capa de fundente protector, entonces se deposita poco a poco material que se desea fundir, teniendo cuidado que el material arrojado se este fundiendo, antes de poner más y que siempre esté por debajo de la capa de fundente.

Una vez que el horno se cargo a su límite y que todo el material está fundido, se deja que el horno alcance una temperatura entre 1160 y 1200°C., teniendo cuidado que no se rebase. De tal manera que alcanzada la temperatura señalada, se procede a apagar el horno, se quita el fundente oxidante.

Antes de proceder al vaciado se debe desoxidar el baño: considerando las reacciones químicas envueltas en el proceso de desoxidación del baño, el desoxidante ideal tiene que funcionar como sigue:

- 1) Combinarse con todo el oxígeno presente y reducir o combinarse con cualquier óxido para formar una escoria fluida.

2) Los residuos de los desoxidantes no debe afectar las propiedades físicas o de deformación del material y debe evitar la oxidación durante el vaciado.

El fosforo de cobre (CuP) aparentemente satisface las tres condiciones arriba señaladas, es necesario agregar un 0.025% más de fosforo de cobre para asegurar una desoxidación adecuada. Con fósforo en este nivel o sobre éste, se pueden presentar dificultades, por fragilización en el proceso de laminación.

Las aleaciones a base de Cu, Ni, y Zn necesitan una desoxidación en tres etapas (aproximadamente 3 minutos antes del vaciado):

- 300g CuMn 70/30 por cada 100kg
- 60g Mg por cada 100kg
- 180g CuP por cada 100kg

Los productos para la desoxidación se deben introducir hasta el fondo del baño y se debe esperar unos cuantos segundos.

Para éste momento los moldes (lingoteras) ya deben haber sido precalentadas y contar con algún recubrimiento, no se debe utilizar el aceite quemado ya que es una fuente excesiva de gases.

El vaciado debe ser realizado inmediatamente después de haber cumplido con las condiciones anteriores directamente en las lingoteras para mantener la temperatura del material, disminuir el tiempo de vaciado y evitar la absorción de gases. Es necesario impedir que la escoria caiga en las lingoteras, pero ésta no debe ser retirada ya que actúa como capa protectora.

Una vez que haya solidificado el material, el lingote debe ser retirado lo más rápido posible de la lingotera, ya que esto ayudará en el proceso de laminación.

#### **4.4. OBSERVACIONES**

Con respecto al uso de carbón vegetal para proteger el baño de la atmósfera, debemos aclarar que no es conveniente su uso en alpaca, debido a que el níquel fundido (por ende aleaciones con níquel) absorben carbono y en los lingotes van a aparecer porosidades de gas debido a la reacción del carbono con óxidos formando CO.

Por su parte el vidrio no limpia químicamente la aleación fundida, ni protege la alpaca durante todo el proceso.

Si la materia prima que se cargo en el horno tiene hasta un 0.5% de aluminio se puede hacer un tratamiento con un agente que al reaccionar con el aluminio se transforme en escoria antes de la desoxidación, para eliminarlo completamente.

Todas las herramientas que van a entrar al baño deben ser precalentadas, para que estén completamente secos y evitar los choques térmico.

En caso de utilizar chatarra con superficies muy sucias, es casi imposible de eliminar la absorción de gases. Se puede, entonces, incorporar en el proceso un tratamiento de desgasificación por separado, el tratamiento debe ser realizado antes de la desoxidación.

Una vez obtenido el lingote es necesario realizar un maquinado para eliminar las imperfecciones sobre la superficie, esto se realiza con el propósito de reducir la tendencia de fisuramiento en los bordes al realizar la laminación.

Con todo lo anterior se puede conseguir una presencia mínima de defectos, implementándose dichos procedimientos a nivel laboratorio, no existiendo inconveniente técnico para trasladar dicho procedimiento a nivel industrial con excepción del fresado de los costados del lingote que representan un sensible incremento en el costo. Por lo que se recomienda que las lingoteras tengan un mínimo de rugosidad.

Para homogeneizar la microestructura del lingote es conveniente recocerlo antes de la primera etapa del proceso de laminación, a una temperatura de 700°C durante 30 minutos para la alpa y 550°C durante 30 minutos para el latón.

Es conveniente tener un controlador de temperatura en el horno de recocido, para obtener las propiedades deseadas en el producto que son función de la temperatura del horno y del tiempo de estancia del material en éste. Con esto se garantizará al cliente un producto final con la calidad deseada.



## **CAPITULO 8**

### **IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA PROPUESTA A ESCALA DE LABORATORIO**

#### **8.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL.**

El actual desarrollo y mejoramiento de la industria requiere de técnicas más elaboradas y mejor planeadas, equipo de mayor calidad y óptima habilidad en el personal, para lograr la alta calidad que los productos necesitan para entrar al mercado. La calidad es un punto fundamental en la producción y todos los pasos del proceso están encaminados a obtener la máxima, en la actualidad no es valido comprar cualquier chatarra, se debe tener plena seguridad de su composición química. Para conseguirla es necesario un riguroso control de los materiales y las técnicas empleadas. Los productos finales son siempre cuidadosamente checados, sobre todo para evitar que salgan al mercado materiales defectuosos.

El control de calidad se realiza por medio de operaciones que podríamos agrupar en:

#### **1) Materia prima.**

- a) selección por su aspecto físico, tonalidad, tamaño, limpieza, aspecto, etc.
- b) análisis químico

#### **2) Producto terminado.**

- a) análisis químico
- b) metalografía
- c) pruebas mecánicas, dureza, tracción, embutido.

Para llevar a cabo todas las pruebas y ensayos debe contarse con un laboratorio el que podemos calificar "mixto", por realizar pruebas de diferentes tipos. Se hace la observación de que el análisis químico puede efectuarse en alguna empresa a tal fin, ya que se considera una parte costosa.

## 6.2. PREPARACION DE LA ALEACION.

Debido a los resultados obtenidos en el capítulo 3, donde la materia prima utilizada 100% chatarra, se optó por implementar un proceso de fundición en laboratorio utilizando materiales puros, para tener un marco de referencia.

ZINC            99.90% electrolítico.  
 NIQUEL        99.99% electrolítico.  
 COBRE         99.90% electrolítico.

Se estableció que se obtendría una colada de 4 kg de alpaca y 3 Kg de latón, por lo tanto el cálculo de cargas es el siguiente:

LATON	ALPACA
70% Cu	65% Cu
30% Zn	23% Zn
	12% Ni
3kg latón x70/100=2100 g Cu	4kg alpacax65/100=2600g Cu
3kg latón x30/100=900 g Zn	4kg alpacax23/100=920g Zn
	4kg alpacax12/100=480g Ni
<b>TOTAL        3 kg</b>	<b>TOTAL 4 kg</b>

**Nota** Se agrego un 5% de Zinc debido a las perdidas por evaporación en el proceso de fundición.

Se realizo un calentamiento al rojo naranja del crisol para disminuir tiempo de fundición y minimizar gases contaminantes en la atmósfera. Al mismo tiempo se realizo un precalentamiento de la carga para tener mayor eficiencia en la oxidación, evitar choques térmicos y en consecuencia un ahorro de combustible, el precalentamiento de la carga se realizo sobre la tapa del horno. Una vez con las condiciones anteriores se procede a cargar el crisol, en primer instancia se agrega el vidrio molido en 0.1%, el cual formara la capa protectora del baño, después se agrega un porcentaje de cobre, el cual en el caso de la alpaca nos ayudara a fundir con mayor rapidez el Ni. (El tipo de atmósfera utilizada para todo el proceso de fundición fue oxidante).

### **8.3 PROCEDIMIENTO DE FUNDICION DE LA ALPACA.**

Una vez que el crisol esta al rojo naranja con una temperatura de 1100°C ( la temperatura medida tomada con el termopar fue de 1100, y 1050°C con pirómetro), realizándose los siguientes pasos:

- a) Se carga el vidrio molido y un poco de cobre, hasta lograr fundirlo totalmente para formar un caldo el cual nos permitirá fundir el níquel en menor tiempo y con más facilidad.
- b) A los 60 minutos se observó el metal fundido y la temperatura en esos momentos fue: con el termopar 1220°C y pirómetro 1110°C, por lo que se cargo poco a poco el níquel previamente precalentado (300°C), y las temperaturas tomadas son: termopar 1070°C y pirómetro 1080°C.
- c) Después de 1 h y 25 min , la temperatura tomada es: termopar 1200°C y pirómetro 1150°C.

d) 15 minutos después los metales están completamente en estado líquido (cobre-níquel), se procede a cargar el zinc previamente precalentado (300°C) y envuelto en láminas de cobre para que la oxidación sea mínima, la temperatura tomada es, (termopar 1176°C y pirómetro 1100°C). La adición del Zn se debe hacer con mucha precaución, además mover el baño al mismo tiempo.

e) A los 5 minutos se alcanza una temperatura de 1240°C, que es la indicada para realizar el vaciado; al realizarlo las lingoteras y herramientas de fundición están precalentadas (300°C), se saca el crisol y se agrega 30 g de desoxidante (fosforo de cobre), se agita, se retira la escoria y se procede a realizar el vaciado en forma constante.

f) El lingote obtenido fue de las siguientes dimensiones: largo 12.7 cm, ancho 5.85 cm, y espesor 1.3 cm, con un peso de 3.6 kg.

NOTA: Observamos una diferencia del 10% (0.4 Kg) de alpaca, la cual se describe de la siguiente manera: 0.1 Kg se pierde en el vaciado, 0.1 Kg se pierde en la fundición y el resto queda como chatarra para otra fundición. Al realizar un corte transversal al lingote, observamos que comparativamente con los lingotes anteriores (utilizando chatarra) el porcentaje de porosidad se había reducido considerablemente a tal grado que se podía considerar una porosidad nula.

#### **5.4 PROCEDIMIENTO DE FUNDICION DEL LATON.**

Una vez teniendo el crisol a una temperatura de aproximadamente ( 1150°C medida con el termopar, y 1150°C con pirómetro), realizándose los siguientes pasos:

a) Se carga el vidrio en un 0.1% del total de la carga, enseguida el cobre.

b) A los 60 minutos se observa el metal fundido y la temperaturas tomadas son, termopar 1200°C y pirómetro 1100°C. Se carga el zinc previamente precalentado (300°C), y las temperaturas tomadas son (termopar 1170°C y pirómetro 1200°C).

c) A los 10 minutos se alcanza una temperatura de 1100°C, que es la indicada para realizar el vaciado; las lingoteras y herramientas están precalentadas (300°C), se seco el crisol y se agrego 10 g de desoxidante (fosforo de cobre) , se agito, se retira la escoria y se procede a realizar el vaciado en forma constante.

d) El lingote obtenido fue de las siguientes dimensiones: largo 10.6 cm, ancho 5.7 cm, y espesor 1.24 cm, con un peso de 2.8 Kg

NOTA: Haciendo el conteo de la diferencia de la carga original que fue de 3 Kg a 2.8 Kg, un total de 0.1 Kg se perdieron por efectos de vaciado y en el proceso de fundición el 0.1 Kg quedo como chatarra. Al realizar un corte transversal al lingote, comparativamente con los lingotes anteriores (utilizando chatarra) observamos que no existía porosidad.

#### Resultado del análisis químico.

Este se realizo en la división de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería.

	LATON	ALPACA
Elemento	%	%
Plomo	00.009	00.009
Fierro	00.046	00.015
Aluminio	---	00.388
Estaño	---	---
Zinc	27.424	21.240
Níquel	00.398	10.440
Cobre	72.012	68.031

Se realizo un análisis por microonda en la Facultad de Ingeniería y los resultados se muestran en la figura 5.1 y 5.2.

Unltd

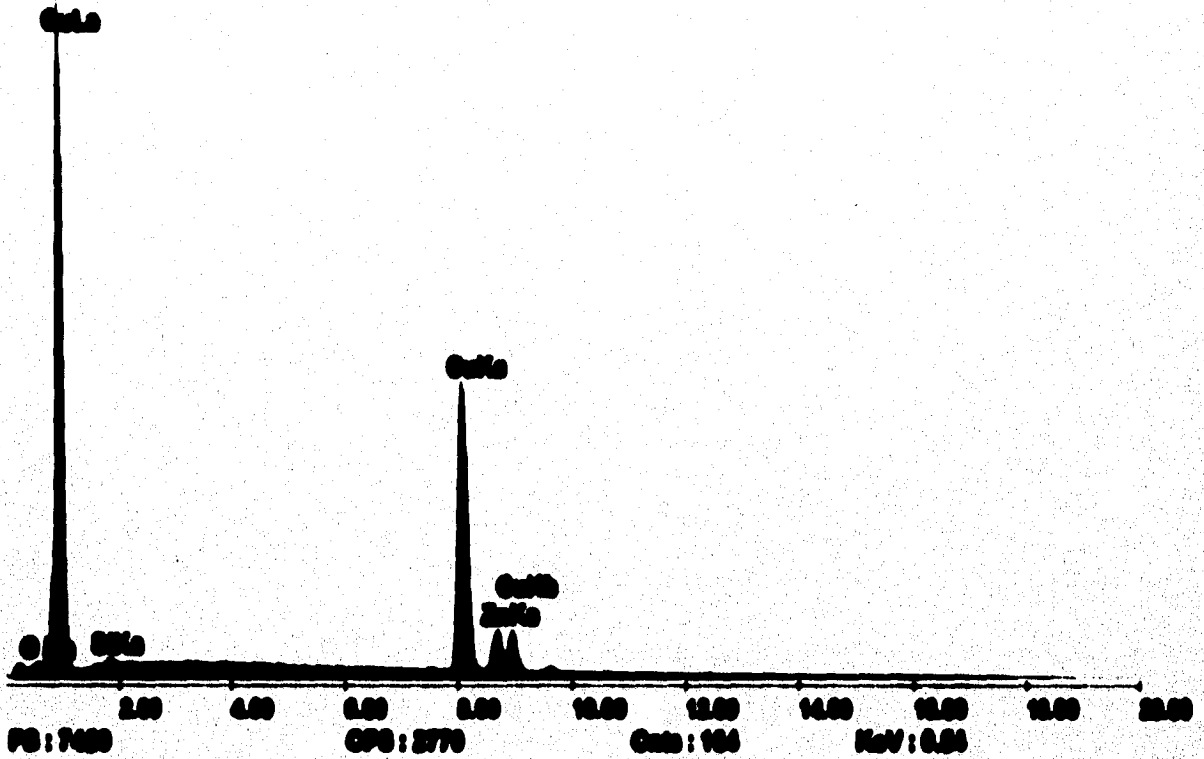
Label: LAYON

Problems

Loss: 100

20:22:00

10-11-00



RAF Quantification Method, Standardless

PFI User Set : 1, Elements

Element	K Ratio	Weight %	Atomic %
CuK	0.7551	75.507	76.100
ZnK	0.2449	24.413	23.992
Total		100.000	100.000

Element Net Inten Backgrd Inten Error P/B

Element	S	A	F
CuK	0.9994	0.9994	1.0000
ZnK	1.0016	1.0014	1.0000

Untitled

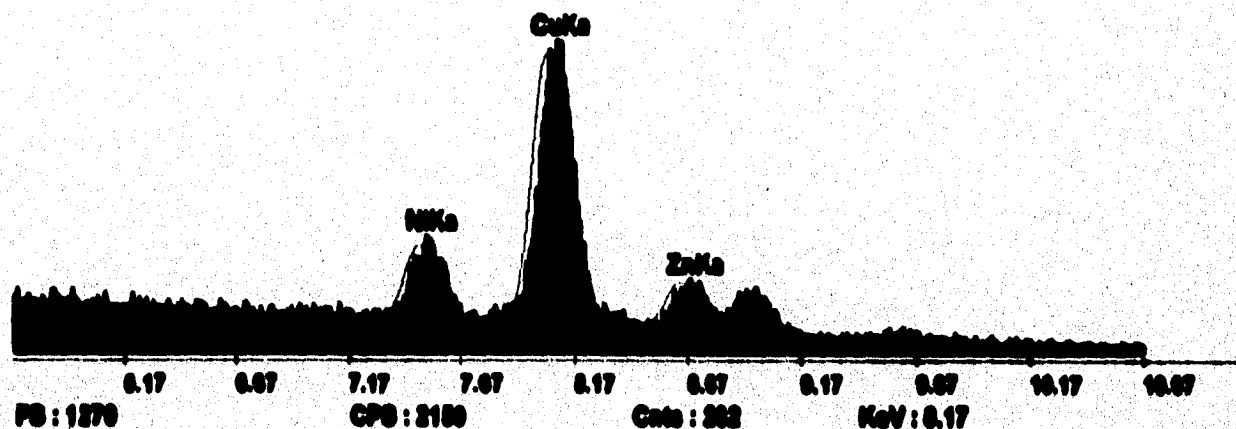
Label:0043 TO INTERNAL FeALS1

Problems

Loss:132

17:36:42

11-18-04



EDS Quantification Method, Standardless

FEI User Set : 1, Elements

Element	K Ratio	Weight %	Atomic %
NiK	0.1044	9.473	10.266
CuK	0.5741	57.980	58.056
SnK	0.3215	32.548	31.678
Total		100.000	100.000

Element	Net Inten	Backgrd	Inten Error	P/B
NiK	13.98	6.89	2.84	2.03
CuK	49.86	5.61	1.30	8.89
SnK	9.80	4.65	3.38	2.11

Element	Z	A	F
NiK	1.0456	0.9988	1.0594
CuK	0.9950	0.9999	1.0000
SnK	0.9944	0.9980	1.0000

## **5.5. PROCEDIMIENTO DE LAMINACION EN CALIENTE.**

Los lingotes obtenidos fueron sometidos a una limpieza superficial mediante freado y cepillado, con la finalidad de retirar las imperfecciones producto de la fundición; fue un trabajo de limpieza sin mucho desprendimiento de material; además se cortaron las colas, se introdujo al horno por espacio de 1 hora a 700°C en el caso de la alpaca y para el latón fue una temperatura de 650°C, para que el material se homogeneice, y cada vez que se le daba una pasada en la laminadora se regresó al horno por un tiempo de 10 minutos. El espesor alcanzado fue: para la alpaca de 0.1 cm y para el latón de 0.2 cm.

En las tablas 5.1 y 5.2 se muestran los pasos de la laminación en caliente del latón y la alpaca.

## **5.6. PROCEDIMIENTO DE LA LAMINACION EN FRIO.**

Una vez efectuada la limpieza superficial, se les dio un recocido por una hora para homogeneizar la estructura, a 700°C para la alpaca y al latón de 650°C.

Una vez que la alpaca se encontraba a temperatura ambiente se le dieron 4 pasadas con un desbaste de 30 % con respecto al espesor original, continuando con el proceso se le hizo otro recocido para eliminar esfuerzos en el material a la misma temperatura, en un tiempo de una hora, ya estando a temperatura ambiente se le dieron las pasadas suficientes para llevarlo a un espesor de 0.1 cm.

En cuanto al latón primero se le dieron 4 pasadas, luego un recocido para eliminar esfuerzos, a una temperatura de 650°C durante una hora, una vez a temperatura ambiente se le aplicaron las pasadas suficientes hasta alcanzar un espesor de 0.05 cm.

En las tablas 5.3 y 5.4 se especifican los pasos en la laminación en frío del latón y la alpaca.



**Tabla 5.1. Alpacá, laminado en caliente**

RECOCIDO	TIEMPO	LAMINACION	DIMENSIONES INICIALE		DIMENSIONES FINALES		OBSERVACIONES
			LARGO cm.	ESPESOR cm.	LARGO cm.	ESPESOR cm.	
700°C	min.	mil. plg.					
0	60	75	17.8	0.68	23.5	0.78	
1	60	120	23.5	0.78	32.7	0.48	
2	60	70	32.7	0.48	53	0.3	
3	60	45	53	0.3	81	0.2	CORTE EN 3
4	60	45	27	0.2	48	0.1	TROZO 1
5	60	17	48	0.1	87	0.08	TROZO 1
6	60	40	27	0.2	48	0.1	TROZO 2
7	60	17.5	48	0.1	84	0.08	TROZO 2

**Tabla 5.2. Latón, laminado en caliente**

RECOCIDO	TIEMPO	LAMINACION	DIMENSIONES INICIALE		DIMENSIONES FINALES		OBSERVACIONES
			LARGO cm.	ESPESOR cm.	LARGO cm.	ESPESOR cm.	
650°C	min.	mil. plg.					
0	60	150	17.7	0.78	33.5	0.4	
1	60	80	33.5	0.4	60	0.22	CORTE EN 3
2	60	45	20	0.22	33.5	0.13	
3	60	45	33.5	0.13	78.3	0.45	
4	60	50	20	0.22	34	0.12	TROZO 2 Lam. Frio
5	60	60	34	0.2	78.5	0.05	

Tabla 5.3. Alpaca laminado en frío

RECOCIDO	DIMENSIONES INICIALES			DIMENSIONES FINALES			OBSERVACIONES
	LARGO cm.	ANCHO cm.	ESPESOR cm.	LARGO cm.	ANCHO cm.	ESPESOR cm.	
700°C, 20min							
0	12.7	5.85	1.3				
1	12.7	5.85	1.3	17.8	6.08	0.9	
2	17.8	6.08	0.9	35.5	6.25	0.44	
3	35.5	6.25	0.44	55.5	6.29	0.28	
4	28	6.3	0.28	75.5	6.38	0.1	Corte en 2 Tr.1
	27.7	6.3	0.28	72.5	6.38	0.1	Trozo 2
5	75.5	6.38	0.1	104	6.4	0.06	Trozo 1
	72.5	6.38	0.1				Embutido Tr.2

Tabla 5.4. Latón, laminado en frío

RECOCIDO	DIMENSIONES INICIALES			DIMENSIONES FINALES			OBSERVACIONES
	LARGO cm.	ANCHO cm.	ESPESOR cm.	LARGO cm.	ANCHO cm.	ESPESOR cm.	
550°C-20min							
0	10.6	5.7	1.24				
1	10.6	5.7	1.24	14.5	6.04	0.9	
2	14.5	6.04	0.9	29.5	6.195	0.44	
3	29.5	6.195	0.44	61.5	6.27	0.2	
4	31.5	6.2	0.2	61	6.3	0.1	Corte en 2 Tr.1
	30.5	6.2	0.2	58	6.3	0.1	Trozo 2
5	61	6.3	0.1				Embutido
	58	6.3	0.1	107	6.34	0.05	Corte en 3
6	43	6.34	0.05	64	6.87	0.035	Sin recocido
	42	6.34	0.05	67	6.9	0.035	
	24	6.34	0.05				Embutido

## Medidas de los lingotes

Para realizar el proceso de laminación en caliente y en frío se utilizaron lingotes, con un espesor de 1.25 cm, una longitud de 14.0 cm por 5.8 cm de ancho.

## 6.7. DECAPADO

Este proceso tiene por objetivo eliminar la cascarilla de la superficie de los metales, herrumbre y películas de óxido. El tratamiento utilizado fue químico a base de ácido sulfúrico y agua en diferentes porcentajes:

ACIDO (%)	AGUA (%)
100	0
80	20
60	40
40	60
20	80
0	100

Una vez preparadas las soluciones con sus respectivos porcentajes, se sumergieron las muestras en orden decreciente con respecto al porcentaje de ácido sulfúrico. Las muestras permanecieron 10 segundos dentro de cada solución, aproximadamente con este proceso se eliminó un 90 % de óxido.

### 6.8. PRUEBA DE EMBUTIDO.

Esta prueba se realizo en laminas de alpaca y latón con los espesores 1.4 mm y 1 mm respectivamente, utilizando el ensayo del vaso (Indice Erichsen).

Latón con un espesor de 1 mm, de tablas se obtiene un valor de  $T=12.5$  mm, el valor real obtenido en el ensayo es  $R=12.6$  mm.

Para la alpaca con un espesor de 1.4 mm, el dato real del ensayo es  $R=12.8$  mm, y el valor de tablas,  $T=12.75$  mm.

$$(R - T) / T * 100$$

$$(12.6 - 12.5) / 12.5 = 0.8 \% \quad \text{para el latón}$$

$$(12.8 - 12.75) / 12.75 = 0.4 \% \quad \text{para la alpaca}$$

El valor obtenido nos representa un % negativo o positivo, de que tan alejado está del valor teórico con respecto a la calidad deseada. En las figuras 8 y 9 se muestra la carga contra la deformación

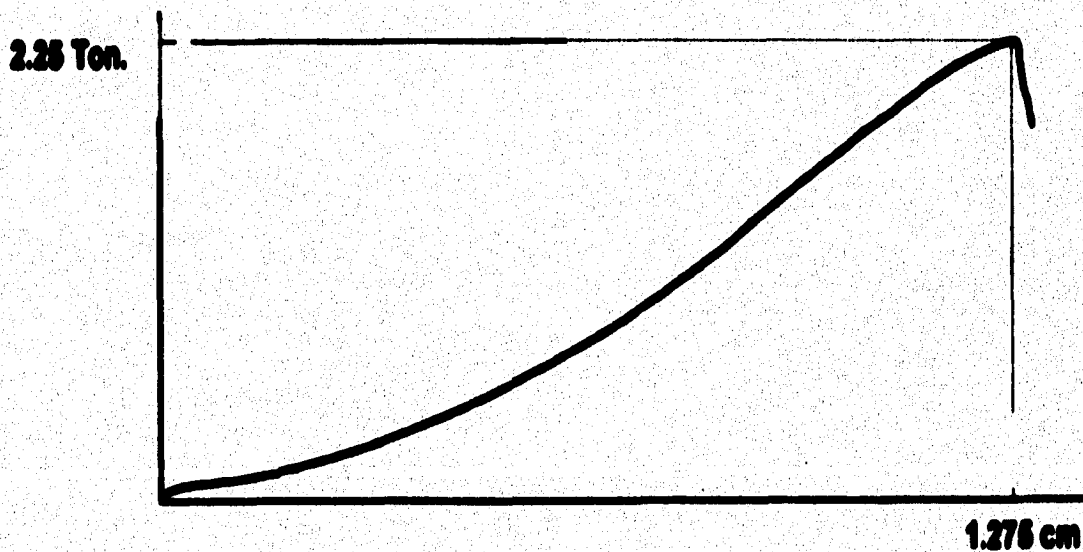
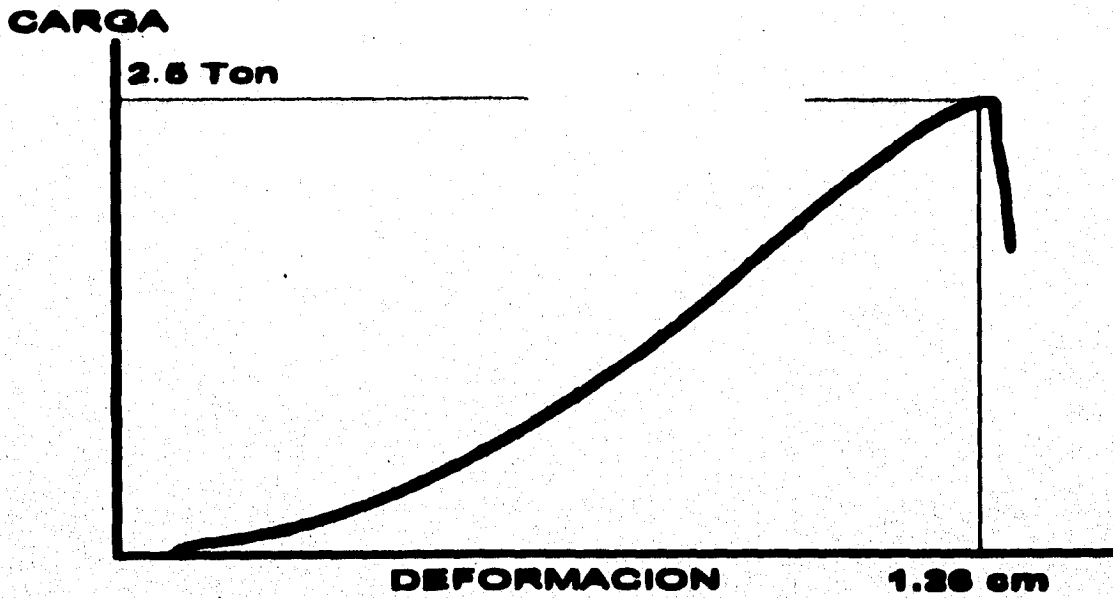


FIGURA 8.-ENSAYO DE EMBUTIDO DE ALPACA



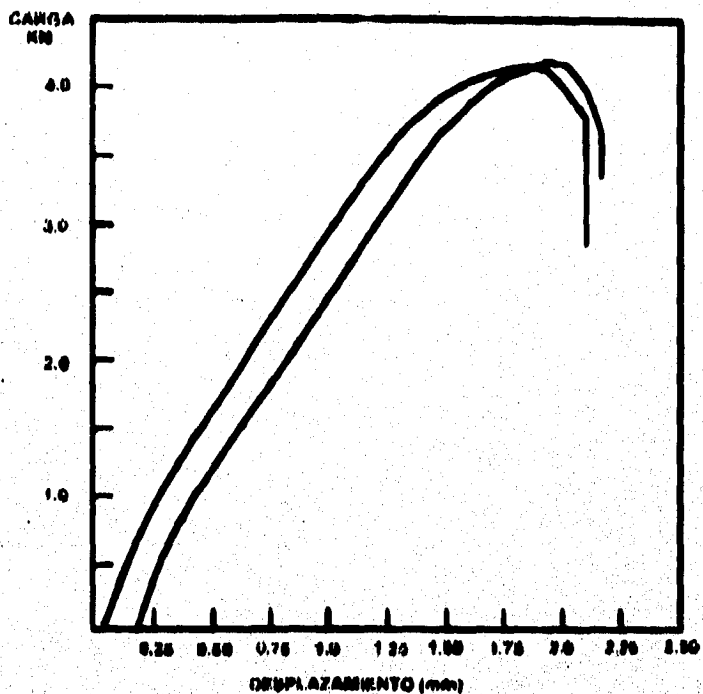
**FIGURA 9.- ENSAYO DE EMBUTIDO DE LATON.**

### **5.0 - PRUEBA DE TRACCION.**

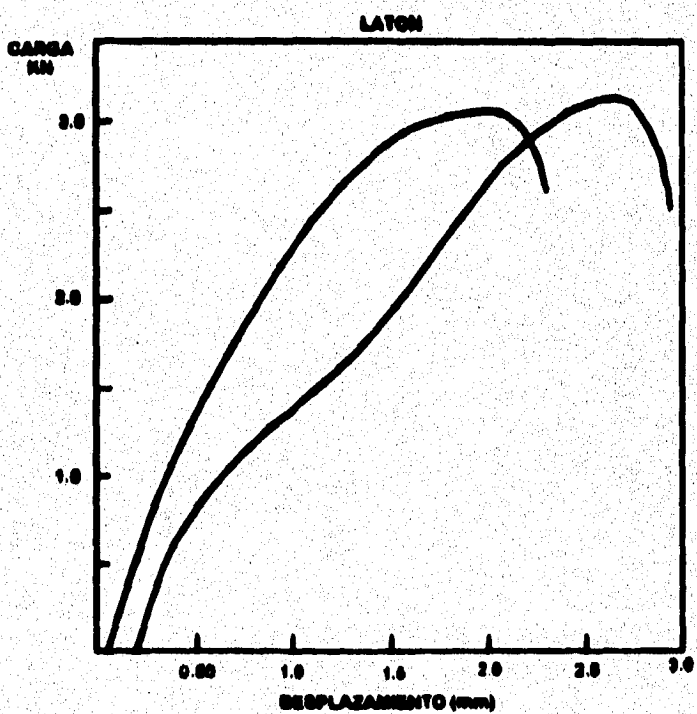
Se realizó en el laboratorio de pruebas mecánicas en la máquina INSTRON, utilizando la norma ASTM para lámina de latón, cuyas medidas son las siguientes.

Ancho	14 mm
Espesor	0.6 mm
Distancia entre agarraderas	110 mm
Distancia entre terminación de radios	80 mm

Los resultados se muestran en las siguientes gráficas, para alpaca y latón.



**FIGURA 10.- ENSAYO DE TRACCION DE ALPACA**



**FIGURA 11.- ENSAYO DE TRACCION DE LATON.**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE PRUEBAS MECÁNICAS

METODO DE TENSION PARA LAMINAS DE LATON Y ALPACA

Test type: Tensile

Instron Corporation

Operator name: Adolfo Altamirano M.

Series IX Autocated Materials Testing System 1.00

Test Date: 13 Mar 1995

Sample Identification: LATON-A

Sample Type: ASTM

Interface Type: 4200 Series

Machine Parameters of test:

Sample Rate (pts/sec): 5.00

Humidity (%): 30

Crosshead Speed (mm/min): 5.000

Temperature (deg. C): 23

Dimensions:

Spec. 1 Spec. 2

Width (mm)	14.000	14.000
Thickness (mm)	.60000	.60000
Spec gauge len (mm)	80.000	80.000
Grip distance (mm)	110.00	110.00

Out of 2 specimens, 0 excluded.

Specimen Number	Displacement at Peak (mm)	% Strain at Peak (%)	Load at Peak (kN)	Stress at Peak (MPa)	Displacement at Break (mm)	% Strain at Break (%)	Load at Break (kN)	Stress at Break (MPa)	Displacement at 0.2% Yield (mm)
1	2.010	2.512	3.088	367.7	2.300	2.875	2.633	313.5	.6634
2	2.990	3.237	3.161	376.4	2.810	3.512	2.609	310.7	.6317
Mean:	2.500	2.875	3.125	372.1	2.955	3.194	2.621	312.1	.7486
Standard Deviations:	.410	.513	.052	6.1	.361	.451	.017	2.0	.1683

Specimen Number	% Strain at 0.2% Yield (%)	Load at 0.2% Yield (kN)	Stress at 0.2% Yield (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Energy at Yield (N/mm)	Energy at Break (N/mm)
1	1.0820	2.078	247.4	30720.	.9875	5.011
2	.7896	1.168	139.1	29770.	.4059	3.501
Mean:	.9357	1.623	193.2	30250.	.6967	5.256
Standard Deviations:	.2066	.443	76.6	445.	.4112	.347

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE PRUEBAS MECANICAS

METODO DE TENSION PARA LAMINAS DE LATON Y ALPACA

Test type: Tensile

Instron Corporation

Operator name: Adolfo Altamirano M.

Series II Automated Materials Testing System 1.04

Test Date: 13 Mar 1975

Sample Identification: ALPACA-A

Sample Type: ASTM

Interface Type: 4200 Series

Machine Parameters of test:

Sample Rate (in/sec): 5.00

Humidity (%): 30

Crosshead Speed (in/min): 5.000

Temperature (deg. C): 23

Dimensions:

Sec. 1    Sec. 2

Width (mm)	14.000	14.000
Thickness (mm)	.60000	.60000
Sec. gauge len (mm)	80.000	80.000
Gage distance (mm)	110.00	110.00

Out of 2 specimens, 0 excluded.

Specimen Number	Displacement at Peak (mm)	% Strain at Peak (%)	Load at Peak (KN)	Stress at Peak (MPa)	Displacement at Break (mm)	% Strain at Break (%)	Load at Break (KN)	Stress at Break (MPa)	Displacement at 0.2% Yield (mm)
1	1.970	2.337	4.164	495.8	2.120	2.630	3.590	426.3	.6644
2	1.870	2.337	4.192	499.2	2.060	2.575	3.419	407.1	.7333
Mean:	1.870	2.337	4.178	497.5	2.090	2.612	3.500	416.7	.6988
Standard Deviations:	.004	.000	.020	2.4	.042	.053	.114	13.6	.0407

Specimen Number	% Strain at 0.2% Yield (%)	Load at 0.2% Yield (KN)	Stress at 0.2% Yield (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Energy at Yield (N/mm)	Energy at Break (N/mm)
1	.8305	2.086	248.4	41640.	.7492	5.838
2	.9166	2.025	241.2	37380.	.7616	5.374
Mean:	.8736	2.056	244.8	40610.	.7554	5.606
Standard Deviations:	.0609	.043	5.1	1663.	.0088	.328



## **CAPITULO 6**

### **RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

Para tener un producto de mayor calidad en el mercado de acuerdo a las necesidades requeridas y especificaciones, basándonos en los resultados obtenidos en el capítulo anterior se establecen las siguientes conclusiones:

En primer lugar se tomará en cuenta la materia prima utilizada en la fundición, que puede ser chatarra y/o material puro; al utilizar 100% chatarra se deberá contar con un estricto control de calidad en la selección, tomando en cuenta el porcentaje de los elementos aleantes, esto para evitar la adición de elementos perjudiciales a la aleación y así mismo calcular la carga correcta de acuerdo a la aleación requerida, (Normas ASTM) para de esta forma evitar una segunda fase, la cual afecta negativamente en la deformación en frío por ser frágil, el elemento que produce esta condición es el aluminio. Por otra parte debido a que la chatarra utilizada son laminillas y recortes muy pequeños, esta deberá ser compactada para evitar evaporación de la misma y un alto consumo de combustible. Al contactar al proveedor de chatarra se deberá realizar un análisis químico del material para determinar si es factible utilizarlo. Por otro lado, el proceso de fundición es donde se derivan la gran mayoría de los problemas en los procesos posteriores, porque es aquí donde se contamina el material, donde se puede adicionar la carga correctamente o no, donde los lingotes se deben vaciar cuidadosamente para ser llenados homogéneamente. La chatarra, material puro, crisol herramientas y lingoteras deben de estar libres de grasas, pinturas, aceite, barnices, para evitar contaminación en el proceso de fundición y vaciado.

Cuando se utiliza material puro (100%) se obtendrá un material de excelente calidad, pero incrementará substancialmente su costo, por este motivo se recomienda utilizar 50% material puro y 50% material de chatarra.

En segundo término será el cálculo de la carga la cual puede ser chatarra en un 100%, material puro y chatarra o 100% material puro, siendo la más factible de chatarra y material puro debido a los costos y compensación de elementos por pérdidas durante la fusión.

Otro aspecto importante que se debe considerar es el tipo de atmósfera utilizada durante la fundición (reductora u oxidante) para después saber que compuesto utilizar para degasificar o desoxidar según el caso, lo más recomendable es utilizar atmósfera oxidante debido a las ventajas mencionadas en el capítulo 3.

Se observó que al concluir la fundición y al realizar el vaciado, el cual se realizó en lingoteras de hierro precalentadas y otras a temperatura ambiente, en las primeras el terminado superficial resultó homogéneo y en las de temperatura ambiente el acabado superficial fue heterogéneo en color y con un mayor número de porosidades.

Así mismo se puede concluir que al hacer la laminación se deberá realizar una limpieza, maquinando los lingotes para eliminar porosidades superficiales e irregularidades como los rechupes o coles dando como resultado un mejor acabado en el proceso de laminación y un recocido previo a la laminación al igual que los recocidos intermedios se deberá tener cuidado de controlar el tiempo y la temperatura en los hornos de recocido y no introducirlos inmediatamente a las tinas de agua o algún otro método de enfriamiento rápido, el material se le debe de dar su tiempo para que el recocido cumpla con su objetivo de eliminar esfuerzos. A nivel laboratorio el recocido se realizó en muflas, controlando el tiempo y la temperatura así como la velocidad de enfriamiento, normalmente se dejaba enfriar el material en la mufla, esto a nivel industrial no se puede hacer por el incremento de costo, por lo que a este nivel se debe colocar una banda a la salida de los hornos de recocido dando un tiempo y después si enfriar totalmente con agua.

## **BIBLIOGRAFIA**

**CIDEC**

**El cobre y sus aleaciones en la tecnología**

**Helios, S:A**

**Madrid, España 1974.**

**ASM- AMERICAN SOCIETY FOR METALS**

**Source Book on Copper and Copper Alloys**

**Section VI "Melting and Casting".**

**U.S.A 1968**

**Henden Hall**

**Understanding copper and copper alloys.**

**Editorial Krieger.**

**U.S.A 1980**

**Herenguel Jean**

**El cobre y sus aleaciones**

**Editorial Urmo**

**Bilbao, España; 1964**

**W. J. Ellis**

**Ingeniería de Materiales**

**Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A.**

**México 1981.**

**Avner, Sydney H.**  
**Introducción a la Metalurgia Física**  
**McGraw-Hill**  
**México, 1992**

**B. Linchevski, A. Sobolevski, A. Kalmener**  
**Metallurgia de metales no ferrosos.**  
**Ed. Mir.**  
**Moscú 1983.**

**Richard A. Flinn, Paul K. Trajon.**  
**Metales de Ingeniería y sus aplicaciones.**  
**Mc. Graw Hill.**  
**México 1982.**

**Metals Handbook**  
**volumen 9**  
**Metallography and Microstructures**  
**American Society for Metals**  
**USA OHIO, 1985**

**Houbaert Irmen Yvan**  
**Comportamiento Mecánico de los Materiales Metálicos**  
**Facultad de Ingeniería UNAM**  
**México, 1983**

**Metals Handbook**

**Tenth Edition**

**Properties and Selection Non Ferrous Alloys and Special-Purpose Materials, V 2**

**USA, 1990**

**Apraiz José**

**Tratamientos Térmicos de los Aceros, V I**

**Ed. DOSSAT**

**Madrid, España, 1974**