



D-14714



T
669.95
A163

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**"FABRICACION DE LA ALEACION COBRE AL
CROMO PARA ALTA CONDUCTIVIDAD
ELECTRICA"**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO



Presentado por:
GUSTAVO ABRIL CLAVJO



GUAYAQUIL

ECUADOR

AÑO
1994

AGRADECIMIENTO

Al Ing. IGNACIO WLESNER FALCONI,
director de tesis, por su ayuda
y colaboración para la
realización y culminación de
este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

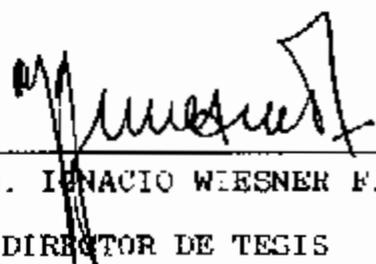
A MIS HERMANAS.

TRIBUNAL DE GRADO



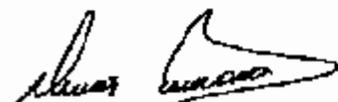
ING. BARRIGA

DECANO DE LA
FAC. DE ING. MECANICA



ING. IGNACIO WIESNER F.

DIRECTOR DE TESIS



ING. OMAR SERRANO

TRIBUNAL DE GRADO



ING. VLADIMIR BERMUDEZ

TRIBUNAL DE GRADO

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".

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

GUSTAVO A. ABRIL CLAVIJO

R E S U M E N

En esta Tesis de Grado se han estudiado las aleaciones 99%Cu-1%Cr que sirven para construir electrodos para máquinas soldadoras que trabajan en el sistema de soldadura por resistencia.

Los rangos de composición de Cr van desde 0.4 hasta 1.0%, verificados a través de análisis químicos via absorción atómica.

Se han realizado ensayos mecánicos y se han obtenido resistencias mecánicas compatibles con la norma ASTM F9-59T. Los ensayos de conductividad eléctrica también se ajustan a los valores requeridos de más de 80 IACS.

I N D I C E G E N E R A L

	Pag.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE TABLAS	XI
INTRODUCCION	12
OBJETIVO	14
CAPITULO I FUNDAMENTO TEORICO	15
1.1 Breve Historia de las Aleaciones de Cobre para Aplicaciones de Alta Conductividad	15
1.2 Elementos Aleantes Usados en estas. Aleaciones.	17
1.3 Especificaciones de las Aleaciones de cobre al Cromo y al Berilio	24
1.4 Metalurgia de la Aleación Cobre-Cromo	26
1.5 Aplicaciones en Soldadura por Resistencia.	30
CAPITULO II TRABAJO EXPERIMENTAL	32
2.1 Método Experimental	32
2.2 Ensayos Preliminares	43
2.3 Pruebas con Variación de Composición Química	44
2.4 Control de Calidad de la Fusión	46



2.5 Resultados Obtenidos	47
CAPITULO III DISCUSION DE LOS RESULTADOS	57
3.1 Proceso de Fusión	57
3.2 Caracterización de la Aleación	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFIA	71

I N D I C E D E F I G U R A S

FIG. N°	PAG.
1. Influencia de diversos elementos a la conductividad eléctrica del cobre	16
2. Diagrama de bloque para la obtención de cromo metálico.	20
3. Diagrama para la obtención del cobre. . .	23
4. Microestructura aleación C81500	27
5. Microestructura aleación C81500 solubi- lizada y templada	28
6. Microestructura aleación C81500 Solubi- lizada y envejecida.	28
7. Diagrama de equilibrio cobre-cromo. . .	29
8. Diagrama para la elaboración de la aleación	34
9. Proceso iterativo de pruebas para ob- tencción de la aleación final	35
10. Esquematiza el proceso iterativo de pruebas para la elaboración de la alea- ción	37
11. Esquema del Tratamiento térmico que se realiza a la aleación cobre-cromo . . .	38
12. Horno de fusión, soplador, tanque de gas.	42
13. Fotomicrografía de la muestra M21 . . .	48
14. Fotomicrografía de la muestra M25 . . .	48

15.	Fotomicrografía de la muestra M25	
	Tratada Térmicamente	49
16.	Influencia del cromo en la dureza . . .	60
17.	Influencia del cromo en la resistencia a la tracción	61
18.	Influencia del cromo en la conductividad eléctrica	63
19.	Solubilidad del hidrógeno a presión atmo- sférica en cobre puro	64
20.	Carga aplicada en el ensayo a la tracción.	72

INDICE DE TABLAS

N°		PAG.
I.	Tipos de aleaciones	26
II.	Resultados de los ensayos de planta . .	44
III.	Homologación de las aleaciones fabricadas con la norma	45
IV.	Porcentajes de elementos aleantes primera colada	50
V.	Porcentaje de elemento aleante segunda colada	50
VI.	Propiedades mecánicas, esfuerzo a la tracción	53
VII.	Resultados de dureza antes del tratamiento térmico	54
VIII.	Dureza de la aleación con diferente contenido de cromo y tratado térmicamente	55
IX.	Resultados de conductividad térmica . .	56

I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo tiene como objetivo obtener materiales con alta resistencia a la tracción y alta conductividad eléctrica, variando el porcentaje del elemento aleante que en este caso es el cromo en una base de cobre puro.

Este proyecto se justifica por razones técnicas y económicas. No existe producción nacional de estas aleaciones y existen fábricas importantes que tienen como proceso de manufactura principal la soldadura por resistencia tal como las industrias de fabricación de envases y las ensambladoras de automotores donde se requieren piezas de desgaste que constituyen los electrodos de las máquinas soldadoras.

La aleación de cobre de alta resistencia a la tracción y alta conductividad eléctrica pueden ser satisfechos por aleaciones que tienen como elemento aleante el cromo de hasta 1% y el berilio de hasta 2%.

Siendo estas una de las aleaciones más utilizadas en

el sector industrial para las "soldaduras por punto", sin embargo no se los fabrica en el país a pesar del notorio crecimiento que se ha venido dando en el sector industrial. De allí la imperiosa necesidad de desarrollar una técnica para la fabricación de estas aleaciones.

El motivo que nos ha llevado a realizar este trabajo es el aporte que se va a dar para el sector de la fundición, en relación a una metodología de trabajo para producir una aleación de cobre al aluminio con propiedades estándares con normas americanas.

El método que se emplea en este trabajo es de fácil aplicación y se ha probado que tiene suficiente confiabilidad gracias a las técnicas aplicadas en los ensayos realizados en los talleres de fundición de la FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA.

OBJETIVO

En la presente investigación se busca la técnica para la producción de aleaciones de cobre UNS C81500 que tienen importancia industrial en el área de metal mecánica, en trabajos relacionados con soldaduras por resistencia, también conocida en nuestro medio como soldadura por punto.

El caso específico está dado por las fábricas ensambladoras de automotores que utilizan este proceso para la producción de chasis y carrocerías. En estas empresas el consumo de este material es elevado mismo que es parte constitutivo de los electrodos de las máquinas soldadoras. Otra de las empresas que tienen el mismo problema son las que se dedican a la fabricación de envases de hojalata y tubos para conducción eléctrica y agua.

CAPITULO I

1.1 BREVE HISTORIA DE LAS ALEACIONES DE COBRE PARA APLICACIONES DE ALTA CONDUCTIVIDAD.

Por muchos años el cobre puro ha sido utilizado por su alta conductividad eléctrica y alta conductividad térmica, empleándose específicamente en electrodos de soldadura por resistencia, en placas de enfriamiento y en resistencias eléctricas para hornos.

Sin embargo, con el advenimiento de los años de la conservación de la energía, han incrementado la demanda de componentes de alta conductividad eléctrica y alta conductividad térmica para satisfacer tales necesidades. Hoy en día se debe tener fundidoras de materiales no ferrosas, suficientemente capacitados técnicamente para enfrentar otros retos de fabricación de partes de alto contenido tecnológico.

La mayor de las dificultades en obtener una aleación de cobre fundido de alta conductividad eléctrica y mecánica se deben a los elementos aleantes que en forma general disminuyen la conductividad eléctrica, tal como se aprecia en la figura # 1.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL COBRE

(% IACS)

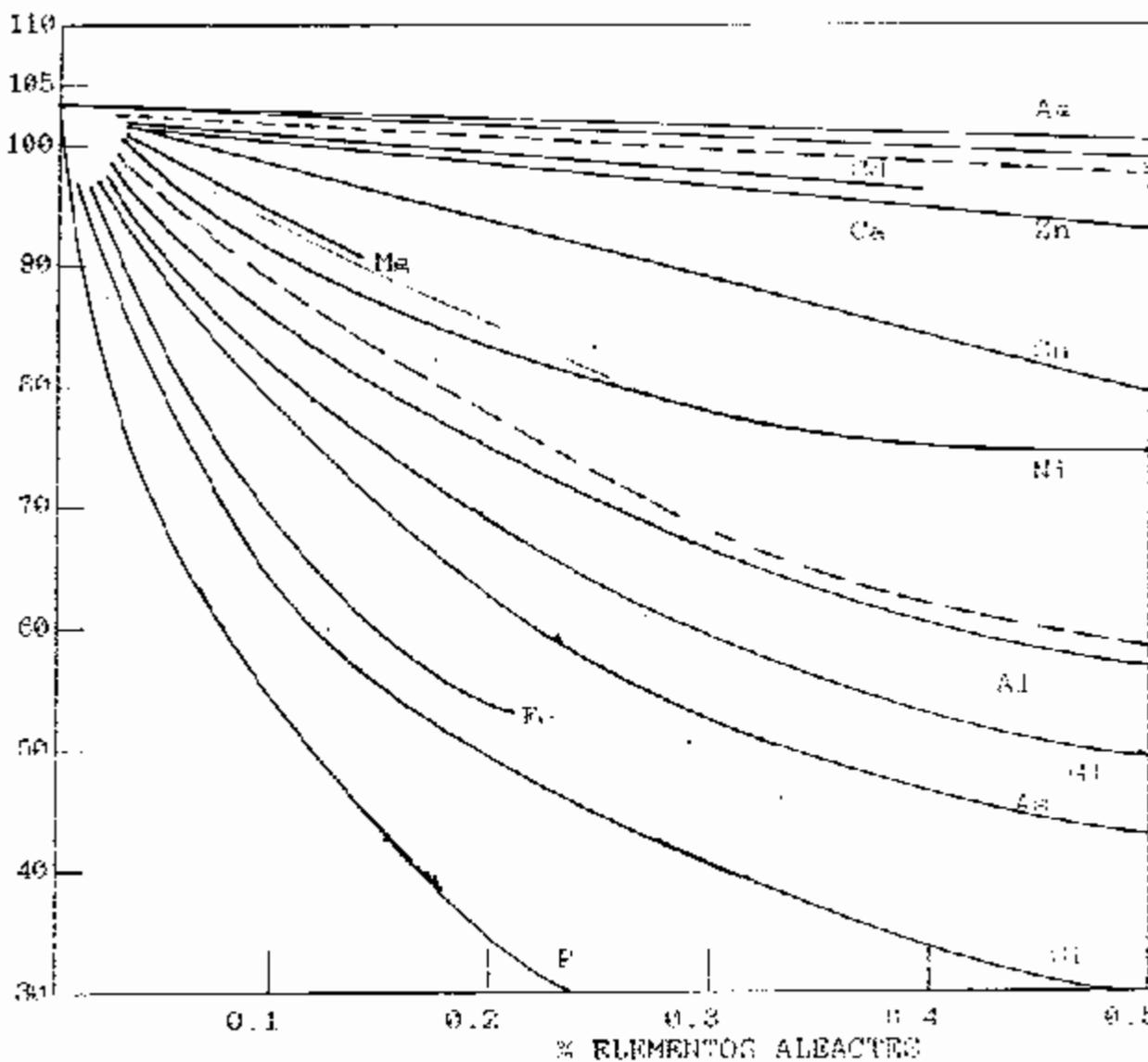


FIGURA No 1 Influencia de diversos elementos aleantes en el cobre

Particularmente las aleaciones que contienen BERILIO y CROMO están disponibles para ser aplicadas donde se requiere alta resistencia mecánica y alta conductividad eléctrica y altas temperaturas, en la que estas propiedades son consideradas. Sin embargo, adicionando estos constituyentes al cobre reducirán la conductividad eléctrica y mejoran las propiedades mecánicas.

1.2 ELEMENTOS ALEANTES USADOS EN ESTAS ALEACIONES.

Los elementos que constituyen para la aleación cobre cromo son: el cobre y el cromo, en base cobre que es el elemento cuyas propiedades eléctricas son reconocidos desde tiempo a través pero tiene la desventaja de ser demasiado suave, es por ello que se usa cromo para dar resistencia mecánica sin alterar las propiedades eléctricas ver figura No 1.

EL CROMO.

Es uno de los elementos más importantes para las aleaciones cobre-cromo, que sirve para mejorar las propiedades mecánicas y mantiene las propiedades eléctricas de altos niveles de conductividad del

cobre.

El CROMO es también conocido como cromo metálico o electrolítico que es un agente aleante usado en aceros y variedad de aleaciones en base níquel, en base cobalto, y también en aleaciones de aluminio.

El cromo metálico se lo obtiene por procesos electrolítico o por procesos pirometalúrgicos, tienen un contenido de cromo en el rango de 95% a 99%, y acompañado de carbono hasta un 0.050% como máximo. En procesos sólidos el cromo está disponible con una típica pureza de 99.99%.

Su estructura cristalina a temperatura ambiente es cúbica de cuerpo centrado y alrededor de los 1840 °C cambia su estructura cristalina a cúbica de cara centrada.

Su peso atómico 51.996 y tiene una densidad de 7.19 Mg/m³.

Las propiedades térmicas: Punto de colado es de 1875 °C

Las propiedades eléctricas: La conductividad

eléctrica es de 13 % IACS a 20 °C y cuya resistividad de 130 n .m.

Para la obtención del cromo metálico por el método de baño electrolítico se debe seguir los siguientes pasos.

- 1.- Las láminas a cromar se deben limpiar bien esto es libre de grasa para lo cual tenemos que introducir las placas en detergente o ácido débil.
- 2.- Hay que enjuagar bien las placas para librar del detergente con abundante agua.
- 3.- Luego las placas que han pasado por el ciclo de lavado y enjuague se lo somete a un baño electrolítico en sales de níquel por 5 minutos. esto se debe a que las sales en ácido crómico corroen rápidamente al cromo.
- 4.- Luego pasa al baño electrolítico en las sales de ácido crómico durante dos horas para tener suficiente espesor en las láminas cromadas y a esto se lo denomina cromado duro.

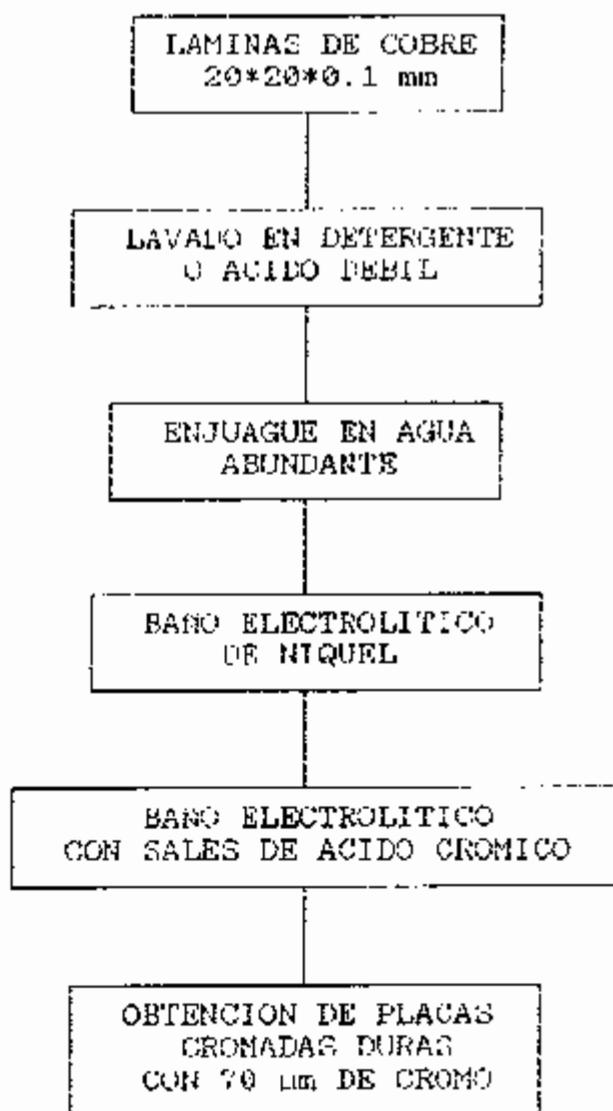


Figura No 2 Diagrama de bloque para la obtencion de Cromo Metálico

describiremos los pasos en un diagrama de bloques en la figura No 2.

EL COBRE.

El cobre siendo el elemento base y el más importante para las aleaciones de alta conductividad eléctrica y alta conductividad térmica, tiene una buena resistencia a la corrosión, la maquinabilidad es de 30%, resistencia y facilidad de fabricación y tiene un buen precio.

Además, el cobre no es magnético tiene un color atractivo, puede ser soldado, algunas de estas características básicas pueden mejorarse mediante una aleación adecuada. En la mayoría de las veces el cobre puede utilizarse para conductores eléctricos en los que el porcentaje de cobre es de 99.9%, y se identifica ya sea como cobre electrolítico resistente al depósito de grasa (ETP) o como cobre libre de oxígeno de alta conductividad (OFHC).

El cobre electrolítico también se utiliza en materiales:

- Para techos
- Tuberías
- radiadores, etc.

El cobre electrolítico contiene de 0,02 a 0,05% de oxígeno el cual se combina con el cobre en forma de compuesto óxido cuproso (Cu_2O) en la condición de fundido.

Para la recuperación del cobre en forma de chatarra se necesita refundirlo y desgasificarlo para que podamos utilizarlo como cobre puro para lo cual hacemos lo siguiente:

- 1.- Pesamos la chatarra.
- 2.- Recalentamos el crisol en el horno de fundir hasta que de una coloración rojo cereza en ese momento cargamos con la chatarra.
- 3.- Luego dejamos hasta que se funda hasta $1250^{\circ}C$. añadimos un poco de carbon vegetal antes de sacar del horno, luego sacamos del horno y lingoteamos. de esa manera se nos hace facil para cuando vayamos a pesarla y trozarla.

En la que describiremos estos pasos en un diagrama de bloque de la figura No 3.

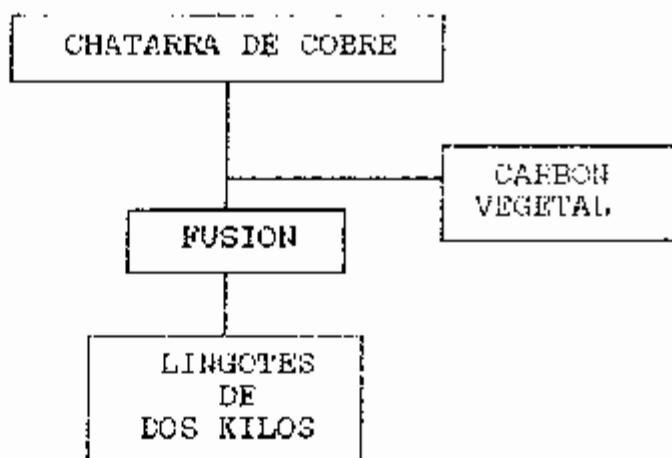


FIGURA No 3 Diagrama para la obtención del Cobre.

1.3 ESPECIFICACIONES DE LAS ALEACIONES AL CROMO Y AL BERILIO

Tanto como la aleación cobre al berilio y cobre al cromo son típicamente fabricados para usarlos como alambres, conectores eléctricos, válvulas, partes de bombas y equipos de soldar.

Excepto para los broncees ó cobre al berilio, el proceso de soldadura por arco ó gas para desoxidar el cobre, entonces es un buen punto de partida para desarrollar procesos de soldaduras por aleaciones ricas en cobre, el proceso GTAW es recomendado para cobre al berilio y para las aleaciones de cobre al cromo con algún espesor específico, siendo utilizado los rodillos rellenos con secciones delgadas los cuales no deben ser usadas en secciones demasiado delgadas que sean inferiores a 0.040 pulgadas de espesor. Excelentes soldaduras se han obtenido sin adición de material de aporte.

En aleaciones de alto contenido de berilio, se han detectado problemas de rajamientos en las soldaduras ya que el berilio es susceptible a las altas temperaturas.

Para la fabricación de las aleaciones cobre al berilio se debe tomar muy en cuenta las siguientes precauciones.

- a. No deben ser inhalados los humos ya que son extremadamente tóxicos.
- b. Las aleaciones ricas en cobre deben ser fabricadas bajo atmósfera de protección para prevenir preferentemente la oxidación de los elementos aleantes.

Las aleaciones cobre al cromo y cobre al berilio tienen que ser tratadas térmicamente para poder demostrar sus cualidades tanto mecánicas como eléctricas para ser utilizadas en soldaduras, ya que son aleaciones endurecidas por precipitación.

Algunas aleaciones tanto el cobre cromo como el cobre berilio pueden tener otros componentes como cobalto, plata, fósforo para mejorar sus condiciones mecánicas como veremos en el siguiente cuadro.

TABLA I Tipos de aleaciones

ALEACION	ELEMENTO	RESISTENCIA A LA TRACCION	ELONGACION	DUREZA
Cu-Be-Cr	0.8 Cr 0.06 Be 99 Cu	39 Ksi	35 %	62HRK
Cu-Ag-P	99.7 Co 0.3 Ag 0.01 P	25 Ksi	40 %	44 HB
Cu-Co-Ag Be	97 Cu 1.5 Co 1 Ag 0.4 Be	15 Ksi	45 %	32 HB

1.4 METALURGIA DE LAS ALEACIONES COBRE AL CROMO

En la figura # 7 se muestra la porción rica en cobre del sistema de aleación cobre-cromo. La solubilidad del cromo en la solución hace que disminuya la temperatura de fusión de cobre hasta 1010 °C con un porcentaje máximo de 2% de cromo.

También nos presenta el diagrama de fase simplificado



Cu-Cr que muestra en la figura No 7 disminuyendo la solubilidad del cromo en el cobre de hasta 1% de cromo como se puede observar en la figura # 4 consta de una matriz de cobre rodeada por la mezcla eutéctica a temperatura ambiente. Este cambio en solubilidad indica posibilidades mecánicas óptimas que se obtienen en una aleación que contienen hasta 1% de cromo la figura No 4 indica la microestructura de una aleación con un contenido de 1% de cromo por su parte la figura No 5 nos indica una microestructura solubilizada y templada en agua la cual dará como resultado una microestructura de una sola fase, y el envejecimiento subsecuente permitirá precipitar la fase γ como partículas muy finas por toda la matriz de cobre como se muestra la figura No 6.

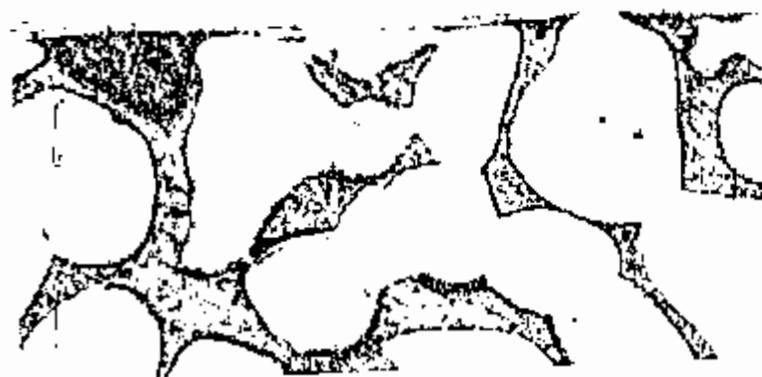


FIGURA No 4 Microestructura de la aleación Cu81Cr19

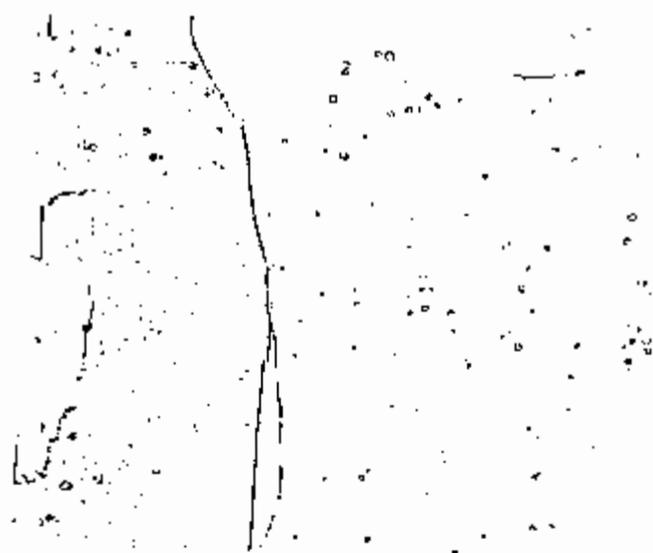


FIGURA No 5 Microestructura de la aleación C81500 solubilizada a 1000 °C y enfriada en agua



FIGURA No 6 Microestructura de la aleación C81500 solubilizada y envejecida a 500 °C por tres horas.

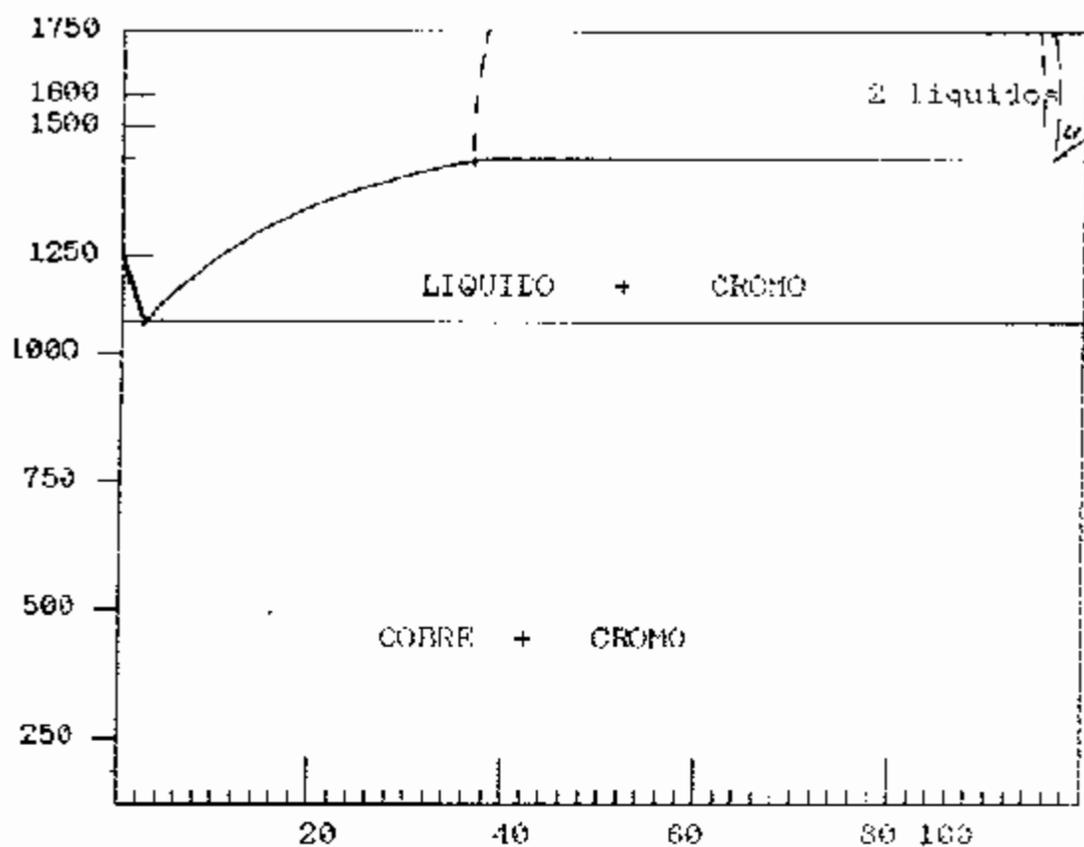


FIGURA # 7 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO COBRE-CROMO

1.5 APLICACIONES EN SOLDADURA POR RESISTENCIA

La soldadura por resistencia es un proceso en el cual las superficies de empalme son unidas por una o más puntos de soldaduras las mismas que se efectúan mediante una unión térmica producida por la resistencia del flujo de corriente eléctrica que atraviesan a través de las piezas que son unidas al mismo tiempo con electrodos de aleación de cobre-cromo.

La máquina de soldar de punto, es usado mucho para juntas de planchas de acero de hasta 1/8 de pulgada de espesor, resultando más económico cuando son unidas mas rápidas cuando se utilizan suelda de punto que por métodos mecánicos convencionales.

Frecuentemente se pueden utilizar la soldadura por punto en industrias tanto automotriz como en electrodomésticos y accesorios para oficinas. En las que se pueden hacer sujeta papeles, pegado de brazos en el caso de muebleria, soportes, cubiertas, bases en el caso automotriz, bandejas

Los mayores avances de la soldadura por punto son

rápidas y cómodas para la automatización e inclusive para las grandes producciones en líneas de ensamble con otras operaciones de fabricación. Con controles automáticos de corriente, puesta a tiempo, y la fuerza del electrodo, producen niveles bajos de ruido, son fáciles de manipular en los diversos tipos de operación, y bajos costos .

Sin embargo, una resistencia de soldadura por punto en aceros con la que la tracción típica de corriente es de 5000 a 20000 Amperios con voltajes de 5 a 20 Voltios, La demanda de KV.A es siempre elevado para la resistencia de la soldadura por punto tanto sea para los electrodos de aluminio como para las aleaciones de cobre.

Siempre la duración del flujo de corriente para una simple suelda es solo por unos pocos ciclos, correspondiendo a la demanda de potencia puede ser una demanca considerable, los costos iniciales de los equipos es generalmente alto para la suelda por punto, que para las sueldas por arco.

Aunque las aplicaciones más comunes de resistencia de suelda por punto es la unión de dos placas de acero que tiene la misma composición.

CAPITULO 11

- TRABAJO EXPERIMENTAL.

2.1 METODO EXPERIMENTAL

El método experimental ha sido concebido a partir de las experiencias del director de tesis y la información consultada y el mismo busca desarrollar un método de fabricación efectivo de las aleaciones Cobre-cromo con las limitaciones que poseen los fundidores artesanos y pequeños artesanos de cualquier lugar del mundo para lo cual se han proyectado pruebas rápidas que se puedan llevar a cabo en el momento mismo de la fabricación dentro de la planta.

Con este objetivo se ha experimentado un proceso de pruebas repetidas de fusión y colado, asistido de mediciones y análisis con equipos de laboratorio que aseguren la eficiencia del resultado.

METODOLOGIA.

Se podría dividir la metodología en tres etapas:

1.- Pruebas de adición de cromo en cobre.

- 2.- Determinación del método más efectivo de fabricación de la aleación cobre-cromo.
- 3.- Tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas y eléctricas de la aleación.

ELABORACION DE LA ALEACION.

La elaboración de la aleación cobre-cromo (99.0%Cu-1%Cr) Se realiza de acuerdo con el esquema de actividades de la figura No 8. El cual empieza desde el lingoteado del cobre a partir de alambre y desperdicios de cobre, el troceado de los lingotes de cobre y de las láminas cromadas duras.

Luego se calcularon las cargas de cada metal de acuerdo a la composición de la aleación.

- 1ra aleación 99.6% Cu - 0.4% Cr
- 2da aleación 99.3% Cu - 0.7% Cr
- 3ra aleación 99.0% Cu - 1.0% Cr

Una vez calculadas las cargas se pesaron y se procedió a la fundida de cada aleación y su posterior colado en lingoteras de acero. La cantidad final de cada aleación fue pesada también, y de cada una se extrajo una muestra de 5 gr. aproximadamente de

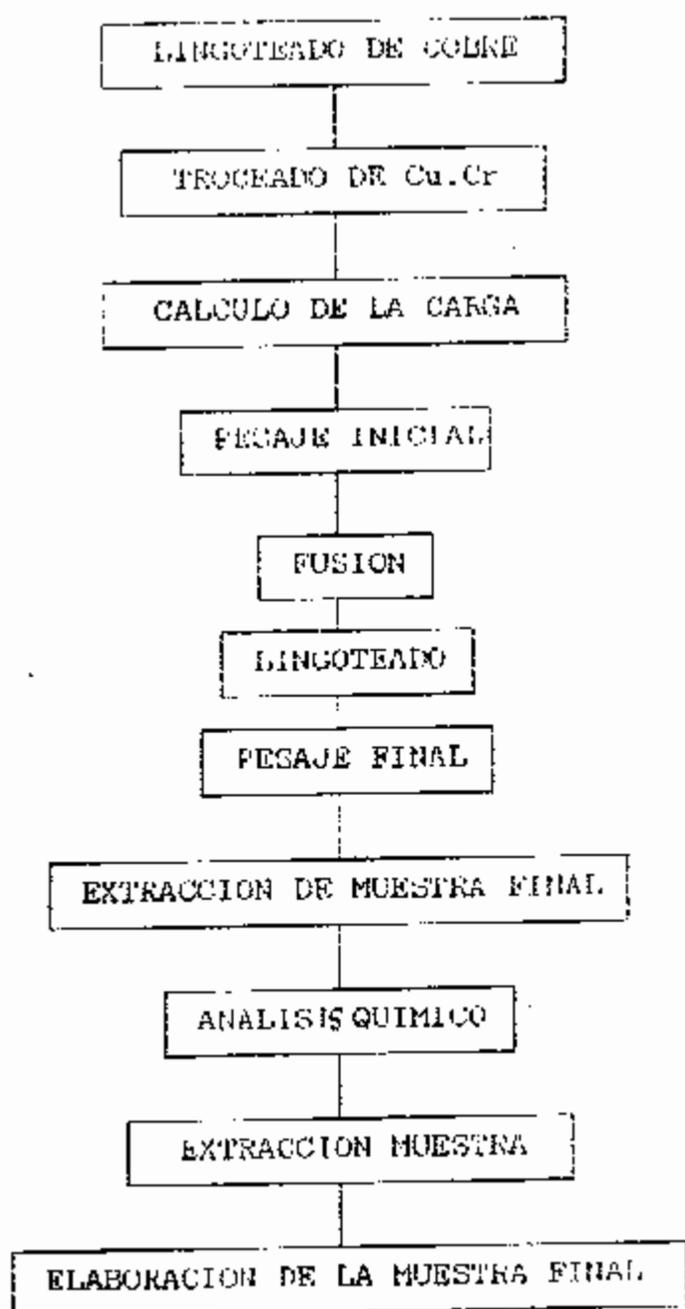


FIGURA No 8 Diagrama para la elaboración de la aleación.

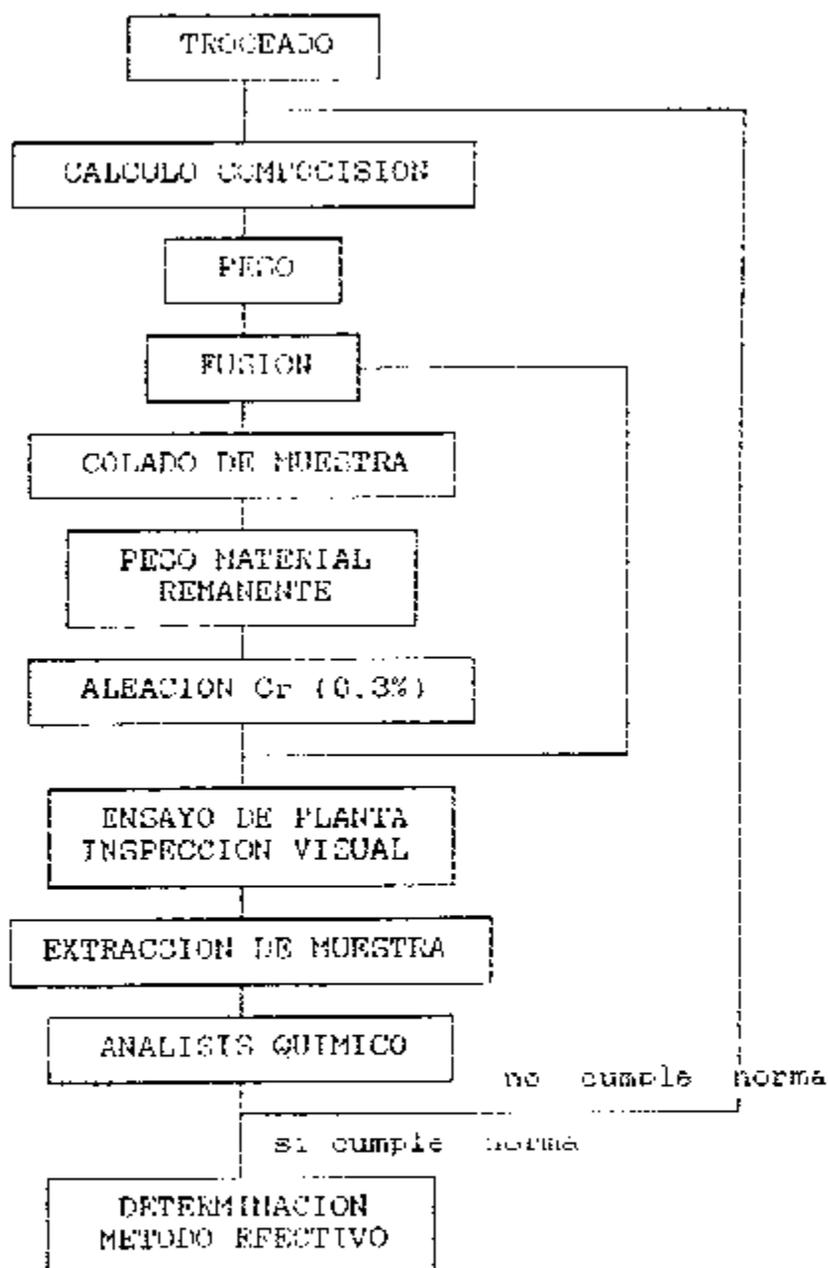


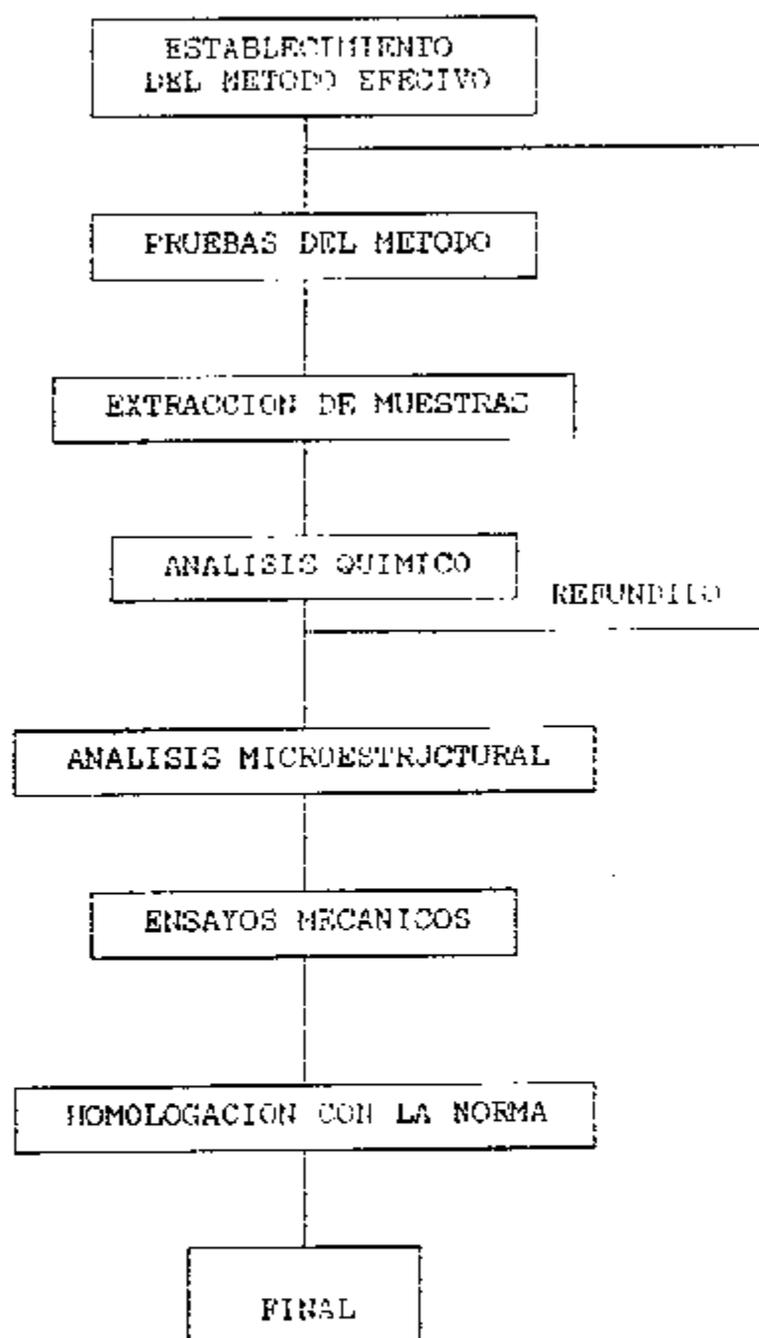
Figura No 9 Proceso iterativo de pruebas para la obtención de la aleación final.

viruta fina. La muestra se extrajo con una broca de 1/4".

Las respectivas muestras fueron identificadas y llevadas a practicar el análisis químico en el instituto de ciencias químicas de la ESPOL y para determinar su composición real obtenida tras la fusión.

En la elaboración de la aleación final se siguió un proceso doblemente iterativo y más largo. La experimentación se realizó en la fabricación de la aleación cobre-cromo C81500 (99.0%Cu-1.0%Cr)

El proceso parte del troceado de la aleación y de los metales sin alear, cobre y cromo, para facilitar el posterior pesaje. luego se calculó la cantidad necesaria de cada aleación y metal, para obtener la composición requerida. Una vez pesados los materiales se fundieron con el debido cuidado. Se colocaron tres probetas: una para laminar, una para tracción y una para dureza. se pesó el remanente y se volvió a fundir agregando aproximadamente 0.30% de cromo a la colada luego se coló nuevamente tres probetas y se pesó el remanente y se volvió a fundir agregando más cobre... Esto se repitió por cuatro veces para



La figura No 10 Esquematiza el proceso iterativo de pruebas para la Elaboración de la Aleación Final.

obtener cuatro muestras con diferente contenido de cromo.

De los resultados del análisis químico dependía si ya se podía establecer un método efectivo de fabricación de las aleaciones cobre-cromo o si era necesario volver a calcular la composición y fundir nuevamente; en cuyo caso se reutilizaría el material rechazado en fundición anterior como se observa en la figura 10.

Ahora que hemos establecido un proceso para la fabricación de esta aleación debemos proseguir con un adecuado tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas y eléctricas de la aleación la cual consiste en la solubilización del cromo en el cobre a 1000 °C por una hora con un enfriamiento rápido en agua, luego consiste en llevar la aleación a 500 °C durante 3 horas para el envejecimiento de la misma como veremos en el gráfico No 11.

MATERIALES Y EQUIPO EXPERIMENTAL.

Para el proceso de fusión de la aleación cobre cromo se utilizó los siguientes equipos en el taller de producción de la ESFOL:

- Lingotera de hierro, tenazas y equipo de seguridad.

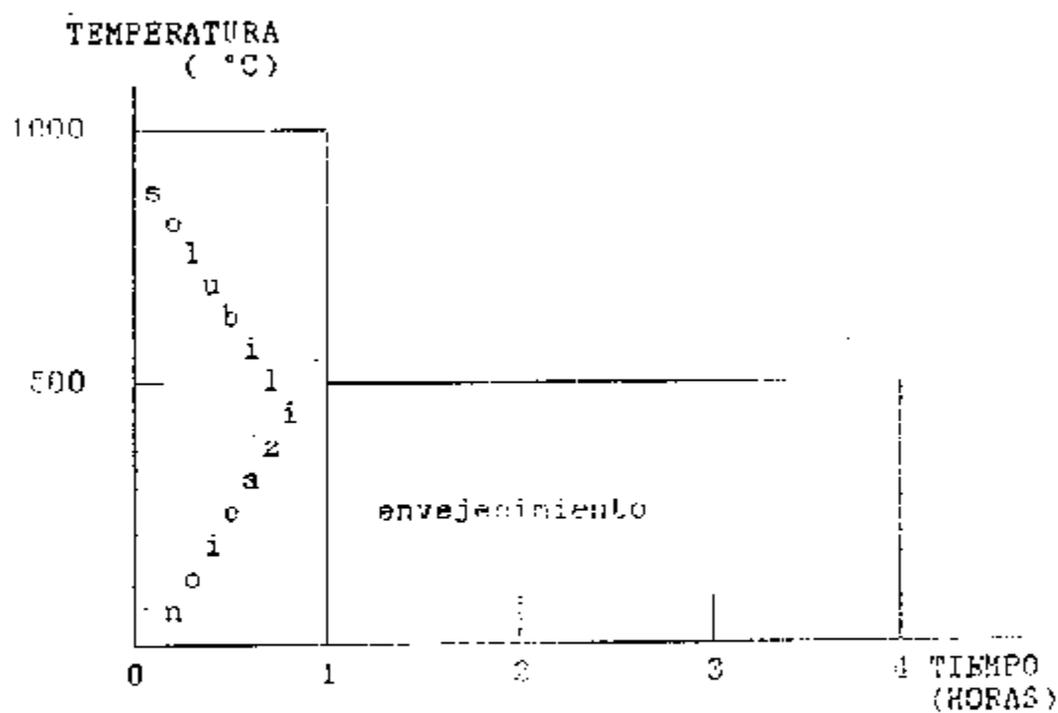


Figura No 11 Esquema del tratamiento térmico que se realiza a la aleación cobre-erlenio.

- Lingotera de hierro, tenazas y equipo de seguridad.
- Crisol de grafito.
- Horno de fusión que utiliza propano como combustible.
- termómetro de 2500 °F de capacidad de lectura.
- Un soplador blower de 2 pulgadas de descarga.
- Moldes metálicos para sacar las probetas de ensayo.
- balanza de 2 Kg de capacidad.
- balanza de 20 kg. de capacidad.

Para el proceso de tratamiento térmico se utilizó

- un horno de tratamiento térmico hasta 1100 °C y precisión de +/- 1°C LINGBERG.

Las pruebas de laboratorio se realizaron con la ayuda de los siguientes equipos:

- una máquina pulidora de plato rotatorio hasta 600 rpm. velocidad variable.
- pasta de diamante para metalografía de 1/4 de micra para el pulido fino.
- mesa para el pulido intermedio AB BUEHLER.
- un juego de papel lija numero 180, 220, 320, 400 y 500
- Microscópio metalográfico OLIMPUS PME.

- Durómetro ROCKWELL escala B con carga de 100 kilos y un indentador de bola de 1/16.
- Máquina de ensayo a la tracción Instron.

Para las pruebas de conductividad eléctrica se utilizó:

- Puntas de prueba.
- Fuente de corriente controlada hasta 600 amp.
- Amperímetro
- Voltímetro.

Los materiales utilizados para cromar son:

- Una fuente de 12 voltios y 300 amperios
- Una tina con sales de níquel.
- una tina con sales de ácido crómico.
- detergente o ácido débil.

Los materiales empleados para la fusión son:

- Cobre de conductor de conductor eléctrico C1100.
- Placas de cromado duro C1200.

Para la fusión se emplea el siguiente fundente:

- boruro de calcio.
- Grafito en polvo.



Figura No 12 horno de fusión, soplador, tenazas de acero.

2.2 ENSAYOS PRELIMINARES.

Nuestros ensayos preliminares los realizaremos en la planta.

El ensayo de planta consiste básicamente en extraer una muestra de la colada y moldearla en forma de barra de 12 mm de diámetro y 127 mm de largo. Después de enfriarla se le somete a flexión, en un tornillo de banco, hasta su fractura. De este ensayo se obtiene la siguiente información cualitativa:

- Angulo de fractura.
- Apariencia de grano.
- Resistencia a la fractura.
- defectos interiores, como porosidades o inclusiones extrañas.

La resistencia a la fractura se mide a pulso y es comparada con la resistencia a la flexión que ofrece una barra de acero de medio carbono. Si es inferior se considera como baja, y si es superior se identifica como alta resistencia.

los resultados de los ensayos de fractura se muestra

en la siguiente tabla.

TABLA II Resultados de los ensayos de planta

MUESTRA No	ANGULO DE FRACTURA	FORMA DE FRACTURA	TAMANO DE GRANO	CONTE- DE Cr	RES. TRAC.
1	< 10	RECTA	FINO	0.11%	BAJA
2	60	RECTA	FINO	0.35%	BAJA
3	75	RECTA	MEDIO	0.50%	MEDIA
4	80	RECTA	GRUESO	1.00%	ALTA

2.3 PRUEBAS CON VARIACION DE COMPOSICION QUIMICA.

Las aleaciones de cobre-cromo conseguidas con diferentes porcentajes de cromo observaremos como influyen en las diferentes propiedades mecánicas y eléctricas.

Las propiedades mecánicas obtenidas pasan las normas

establecidas para estos materiales en relación a la dureza de colada. Aun aquellas que no tienen la composición química requerida, en la tabla III se presentan las propiedades mecánicas de las pruebas realizadas.

TABLA III Homologación de las aleaciones fabricadas con la norma.

	Rt. KSI	%Cr	DUREZA HB
NORMA COLADA		1	105
F9-57T TRAT. TERM.	51	1	205
MUESTRA			
M21 colada en bruto	-----	0.15	106
con trat. térmico	34.078	0.15	121
M22 colada en bruto	-----	0.35	119
con trat. térmico	39.79	0.35	130
M23 colada en bruto	----	0.50	125
con trat. térmico	44.87	0.50	150
M24 colada en bruto	-----	1.00	130
con trat. térmico	48.914	1.00	185

2.4 CONTROL DE CALIDAD DE LA FUSION

Este control se realiza via absorción atómica y para cada una de las coladas hechas y que requería conocer la concentración de cromo en la aleación.

Este análisis se lo realiza en el laboratorio de ciencias químicas de la KSPOL. El cual consiste en obtener 5 gramos de cada muestra y ser sometidas a análisis de absorción atómica para determinar su composición real.

En el análisis las muestras se disolvieron en ácido nítrico. Luego fueron disueltas en agua destilada hasta concentraciones de 4×10^{-6} gr/ml las sales así elaboradas fueron introducidas en una flama de acetileno a manera de rocío. La llama, a la vez, era atravezada por una luz del tipo de onda característica del material que se iba a analizar.

Debido a la presencia de átomos del metal en la llama una mayor o menor cantidad de luz de la lámpara era absorbida. Luego por comparación con una luz estandar se determinaba el porcentaje del metal presente.

2.5 RESULTADOS OBTENIDOS.

ANÁLISIS QUÍMICO.

EL Análisis químico se realizó en los laboratorios de ciencias químicas de la ESPOL. Cinco gramos de cada muestra fueron sometidos a análisis de absorción Atómica para determinar su composición real. En el análisis las muestras se disolvieron en ácido nítrico. Luego fueron disueltas en agua destilada hasta concentraciones de 4×10^{-6} gr/ml. las sales así elaborados fueron introducidas en una flama de acetileno a manera de rocío. La flama, a la vez, era atravezada por una luz del tipo de onda característica del material que se iba a analizar. Debido a la presencia de átomos del metal en la flama, una mayor o menor cantidad de luz de la lámpara era absorbida. luego por comparación con una luz estandar se determinaba el porcentaje del metal presente.

Los resultados de los análisis químico se presenta en las siguientes tablas.



FIGURA No 13 Microestructura de la muestra M21
(0.15Cr 99.85 Cu) 750X. Dieromato de
Potasio



FIGURA No 14 Microestructura de la muestra M25 (1%Cr
99%Cu) 750X. Dieromato de Potasio



FIGURA No 15 Microestructura de la muestra H25 (130g 99201) tratado térmicamente. Solubilizado a 1000°C durante una hora luego enfriado en agua y envejecido a 500°C durante tres horas luego enfriado en agua. 350X. Dicromato de potasio

TABLA IV Porcentaje de elementos aleantes primera colada.

ALEACION	%Cr	%Cu	%Ni
1	0	99.73	0.27
2	0	99.69	0.31
3	0	99.63	0.37
4	0	99.60	0.40

Tabla V Porcentaje de elemento aleante segunda colada.

ALEACION	%Cr	%Cu
1	0.15	99.85
2	0.35	99.65
3	0.50	99.50
4	1.00	99.00

ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL.

EL análisis microestructural se realizó en el laboratorio de metalografía de la ESPOL.

De las muestras del segundo lote se extrajeron muestras para micrografía. estas muestras fueron preparadas de la siguiente manera:

- pulido grueso: con lijas No 180, 280, 380, 500 y 600.
- Pulido fino: En la mesa pulidora con pasta abrasiva de diamante de 1/4 μ pulg.
- ataque químico: Con dicromato de potasio

Luego fueron analizados al microscopio con aumento 750X y sus imágenes fueron reproducidas en las figuras No 13, 14 y 15 que corresponden a la aleación C81500 del lote 2 su composición química está anotada en la tabla V, y la microestructura de las tres muestras revela la presencia de la fase alfa en granos grandes y claros y fase eutectica es la zona mas oscura que esta en el límite de grano.

La figura 15 corresponde a la muestra despues del



tratamiento térmico realizado en la cual se nota claramente la refinación del tamaño de grano.

ENSAYOS MECANICOS.

Resistencia a la tracción.

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 las de tamaño reducido con 35.8 mm de longitud de medición y 8.3 mm de diámetro de medición sus extremos fueron roscados a 10 hilos /pulgada en un diámetro de 3/4".

El ensayo a la tracción se realizó en el laboratorio de sólidos de la ESPOL. Los resultados gráficos del ensayo, el mismo que fue base para determinar la resistencia mecánica y resistencia a la fluencia de cada muestra , y por consiguiente las resistencia a la fluencia fueron determinadas por el método de fluencia aparente al 0.02%.

Se midió el diámetro inicial (D_i) y la longitud inicial (L_i) y la final (L_f) y con los valores de carga máxima (W_m) se determinó la resistencia

mecánica (R_m), y elongación (%E) con las siguientes fórmulas.

$$R_m = W_m / (\pi * D_i^2 / 4)$$

$$\%E = 100 * (L_f / L_i - 1)$$

Datos y resultados muestran en las tabla VI

TABLA VI Propiedades mecánicas , en base a esfuerzo a la tracción.

MUESTRA	LONG. INICIAL	DIAM. INICIAL	LONG. FINAL	% ELONG.	RESIST. TRACCION KSI .
1	50.26	8.35	65.20	29.72	34.078
2	49.26	8.35	53.90	28.16	39.79
3	49.82	8.35	66.77	24.56	44.67
4	49.29	8.35	57.04	15.72	48.914

ENSAYO DE DUREZA.

Para el ensayo de dureza Brinell se extrajo 5 probetas de 15 mm de espesor y 20 mm de diámetro.

Para luego en el durómetro determinar cual era la dureza de dicha aleación como podemos observar en la TABLA No VII estos resultados fueron tomados antes del tratamiento térmico. y en la tabla VIII observamos los resultados obtenidos durante el tratamiento térmico.

TABLA VII Resultados de dureza antes del
tratamiento térmico

muestra	%Cr	dureza HB
1	0.15	106
2	0.35	119
3	0.60	125
4	1.00	130

Luego se sometió a un tratamiento térmico que lo describiremos a continuación.

1.- solubilización a 1000 °C por una hora y templada en inmersión en agua.

2.- envejecimiento a 500 °C durante tres horas y enfriado en agua. Los resultados se muestra en la siguiente tabla.

TABLA VIII dureza de la aleacion con diferente contenido de cromo y tratado térmicamente.

MUESTRA	DUREZA BRINELL			
	SOLUBILIZADO 1 HORA	ENVEJECIDO 1 H	2 H	3 H
1	70			121
2	75			130
3	116	127	135	150
4	135	141	147	185

ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

Para esta prueba primero tenemos que laminar las probetas para tener una nueva muestra con una longitud de 130 mm y un espesor de 1 mm para que con la ayuda de los laboratorios de tecnología eléctrica de la ESPOL los cuales nos indican cual es la conductividad eléctrica de nuestra aleación cobre cromo y los resultados obtenidos presentaremos en la siguiente tabla.

TABLA IX Resultados de conductividad eléctrica.

MUESTRA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA IACC
M21 A	22
M21 B	91
M22 A	25
M22 B	95
M24 B	86
M25 B	83

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

3.1 PROCESO DE FUSION.

Como en todo proceso existen diversos factores que alteran las propiedades mecánicas de una aleación, en las cuales citaremos algunos de los parámetros más importantes como són:

La composición química, el proceso de fusión en sí, la calidad de la materia prima y el proceso de colado.

Composición Química

Nuestro objetivo es llegar a obtener una aleación 99% de cobre y 1% de cromo para la cual se realizaron varias fusiones con el fin de encontrar una metodología de trabajo para poder fabricar elementos normalizados como podemos observar en la figura numero 9. En un primer intento que realizamos para la fabricación de la aleación Cobre-Cromo, la composición química no era muy favorable puesto que no encontramos ningún porcentaje de cromo así podemos

ver en la tabla IV. Entonces tuvimos que cambiar la metodología de fabricación, primero añadiendo al cobre puro un elemento desgasificante, a continuación vamos añadiendo una cierta cantidad de cromo, luego en el laboratorio de química observamos que cantidad de cromo en porcentaje se obtuvo en la aleación. Observándose una pérdida de alrededor de un 30% de cromo.

Entonces, una nueva aleación tuvimos que preparar añadiendo un exceso de cromo, que va desde un 20% hasta aproximadamente un 30%, para que nuestra aleación tenga los porcentajes en el rango requerido, como se puede observar en la tabla V.

Propiedades Mecánicas.

En cuanto a sus propiedades mecánicas diremos que al aumentar el cromo en su composición química mejoran sus propiedades mecánicas después de un tratamiento térmico tales como:

- Microestructura.
- Dureza.
- Resistencia a la tracción.

tal como se puede apreciar en la figura 16, figura 17, figura 18, la tendencia de la propiedad con relación al contenido del elemento aleante.

Microestructura.

En cuanto a su microestructura diremos que el tamaño de grano difiere del contenido de cromo, mientras mayor es el porcentaje de cromo en la aleación menor es el tamaño de grano como se vio en las figuras numero 13 y 14, del capítulo anterior, y a sí mismo si queremos reafinar el tamaño del grano debemos hacer un tratamiento térmico y el resultado se ve en la figura numero 15.

Dureza.

Analizando la dureza diremos que cuanto mayor es la cantidad de cromo añadido la dureza aumenta proporcionalmente como se pudo observar en la tabla VII, pero estos resultados no son ideales para trabajar así que tenemos que aumentar su dureza para la cual procedemos hacer un tratamiento térmico y de esa manera obtenemos las durezas requeridas por la norma ANSI/ASTM F9-59T como se vio en la tabla VIII del capítulo anterior, para tener una mejor idea

DUREZA VS % CROMO

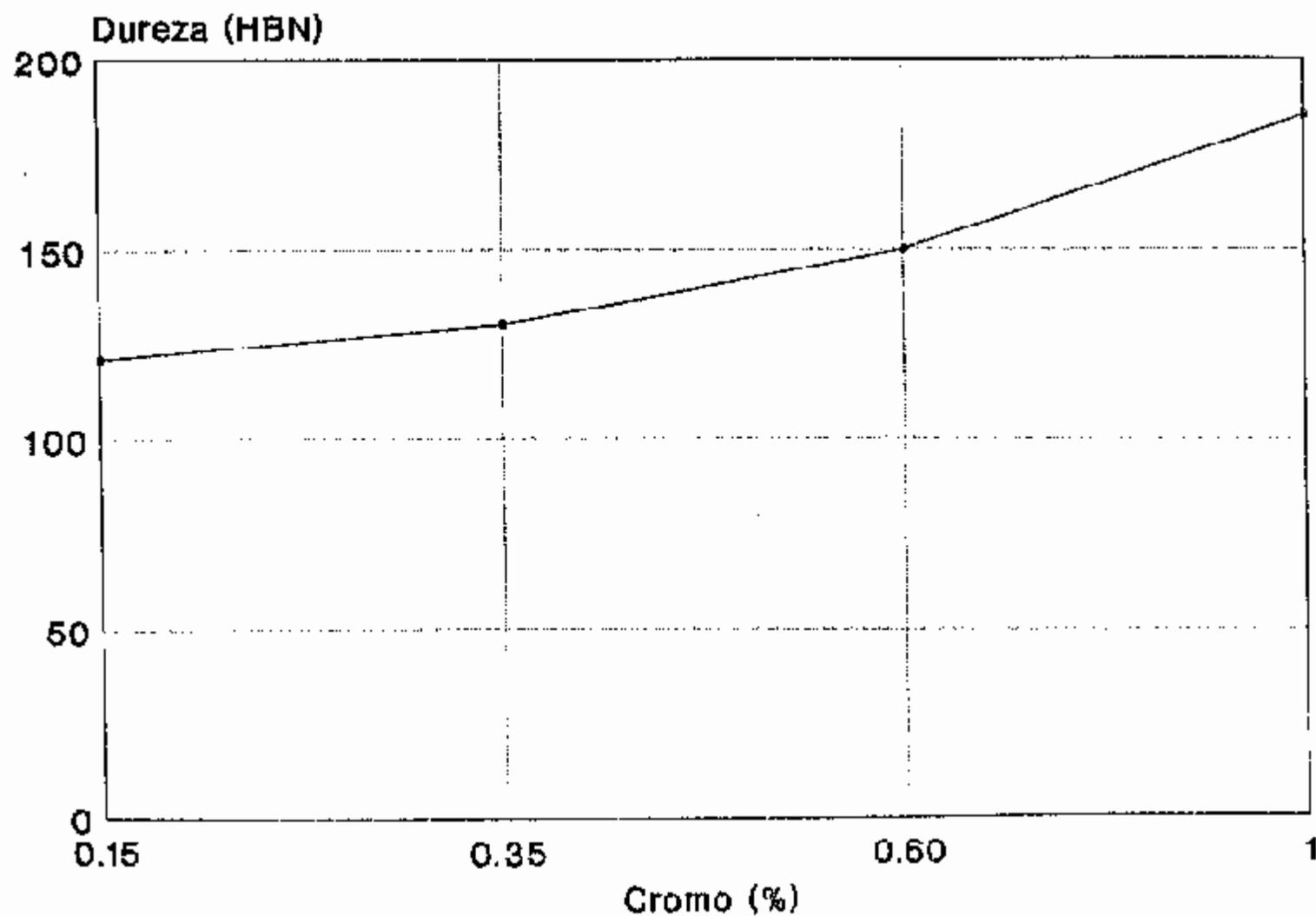


Fig. N 16: Influencia del cromo en la dureza

RESISTENCIA A LA TRACCION VS % CROMO

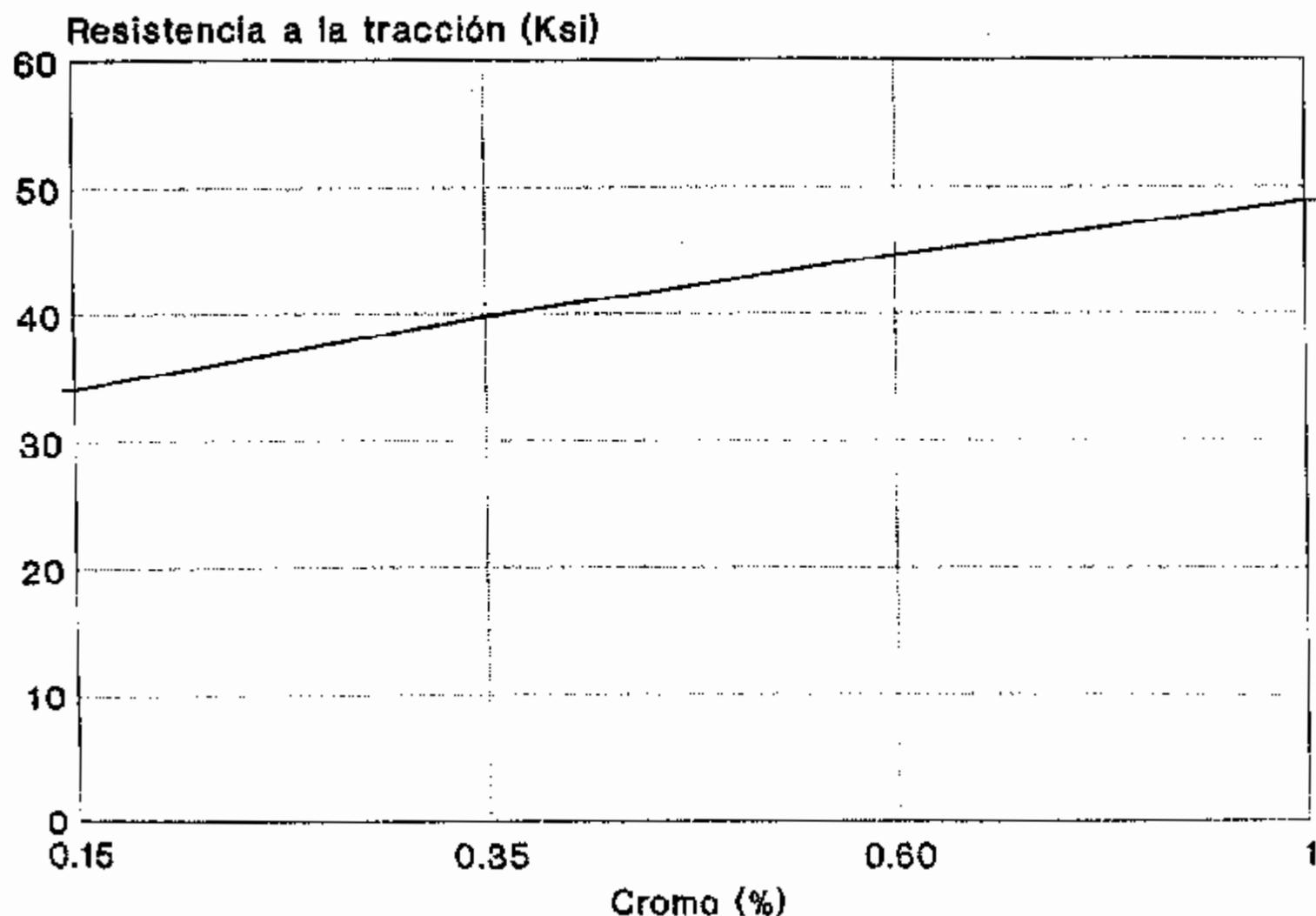


Fig. N 17: Influencia del cromo en la resistencia a la tracción

podemos observar la figura No 16 la cual nos indica como es el comportamiento de la dureza con el contenido de cromo.

Uno de los factores que también se debe analizar es la resistencia a la tracción diremos también que aumenta con el contenido de cromo como se vio en la tabla VI.

También se puede analizar por medio del grafico No 17 en la cual nos indica como varía la resistencia con el cromo.

Propiedades Eléctricas.

En cuanto a las propiedades eléctricas diremos de la misma forma que con el incremento de cromo existente en la aleación hay una disminución en la conductividad eléctrica como se pudo observar en la tabla IX, sin que estos resultados obtenidos sean menores a la de la norma establecida por la ASTM.

Comparando la conductividad eléctrica con el porcentaje de cromo podemos ver en la figura No 18

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA VS % CROMO

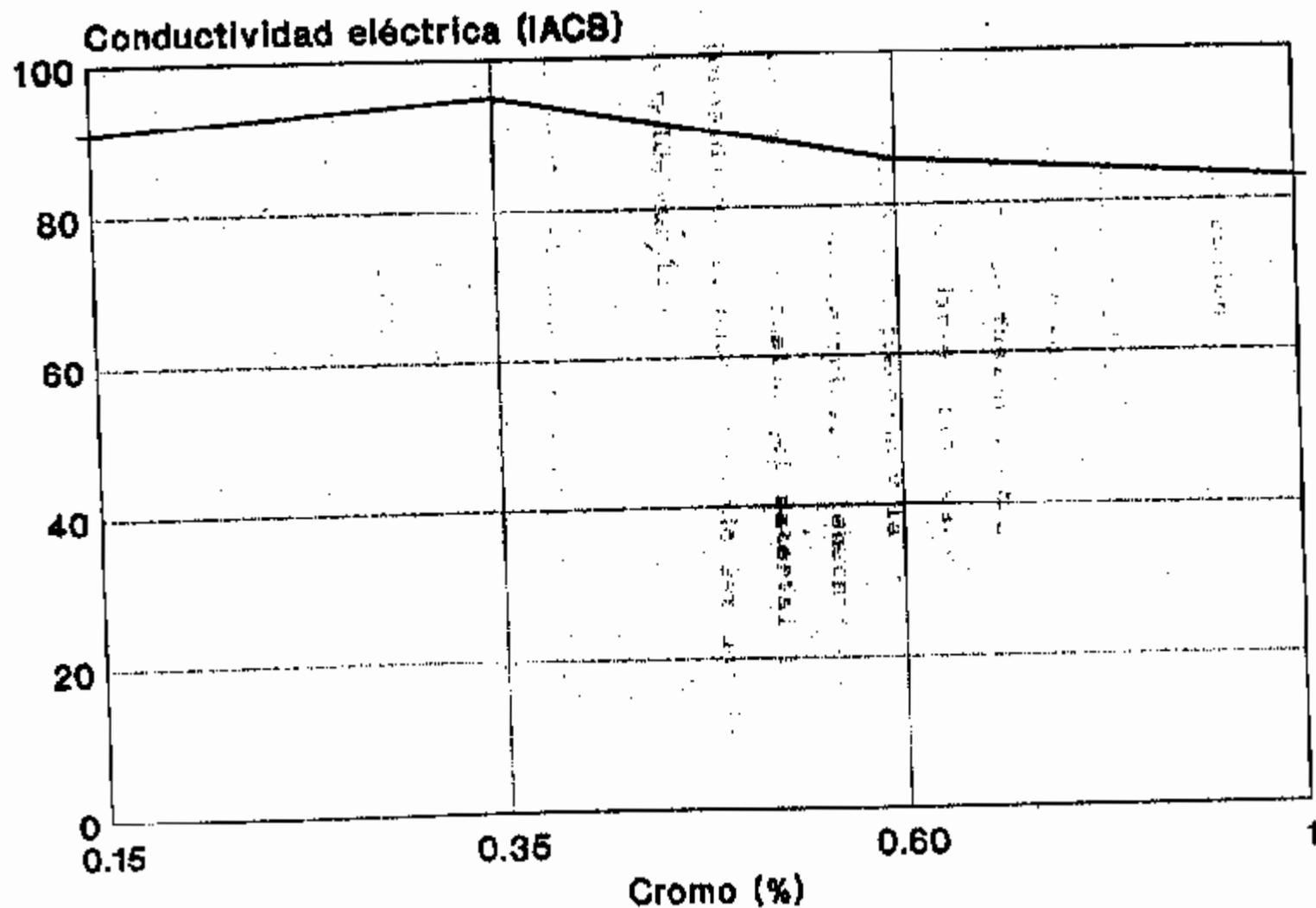


Fig. N° 18: Influencia del cromo en la conductividad eléctrica

como disminuye la conductividad eléctrica.

Proceso de Fusión.

En lo que se refiere al objetivo de este trabajo, llegamos a establecer dos etapas de trabajo una que es netamente de fusión y otra que es de tratamiento térmico para darle las características de alta resistencia a la tracción y la otra que es darle alta conductividad eléctrica, encontrándose algunos defectos en la fusión del material los cuales eran: Porosidades, rechupe, pudiendo ser una de las causas el molde muy frío.

En cuanto al tipo de horno que utilizamos debemos decir que era el ideal para realizar nuestras fusiones, de modo que pudimos alcanzar la temperatura adecuada de trabajo la misma que era de 1130 °C. de la misma manera debemos decir del combustible que utilizamos, a pesar de que este tipo combustible ocasionan disolución de hidrogeno (H₂) por lo que se optó por trabajar a la mínima temperatura con liana levemente oxidante, si trabajamos con liana reductora tenemos y alta temperatura la cual no se podría controlar la formación de hidrógeno como se puede observar en la figura No 19.

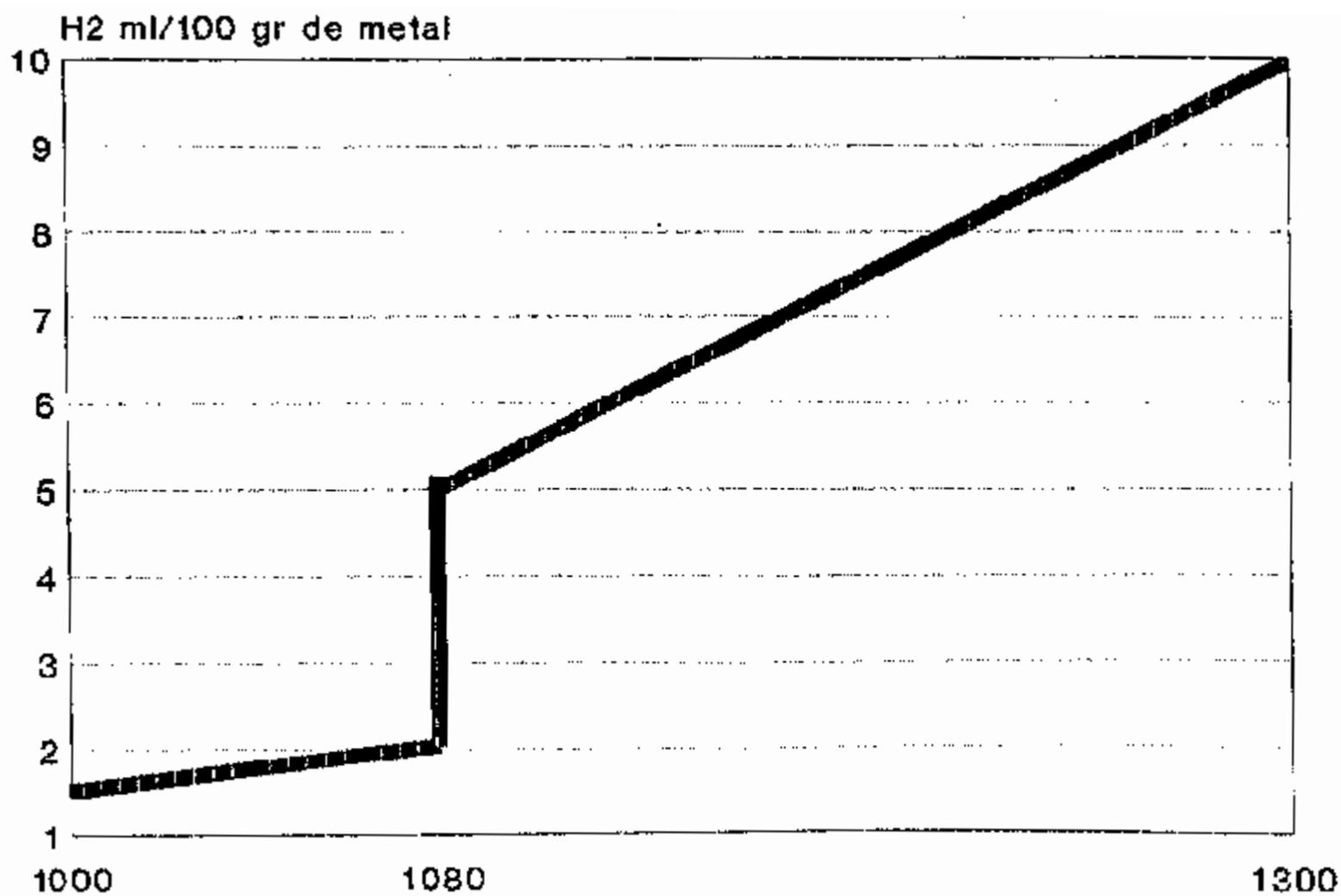


Fig. N° 19: Solubilidad del hidrógeno en presión atmosférica en cobre puro

Calidad de Materia Prima.

En lo que se refiere a la materia prima en si, esta constituida por alambre de conductores eléctricos calidad ASM C11000 tuvimos que fundirlo para hacer lingotes y poder pesar las cantidades necesarias, sin tener que considerar grandes pérdidas de metal en la fusión.

En este proceso podríamos decir que se purifica el cobre con la adición de carbon vegetal para impedir la absorción de oxígeno y trabajar posteriormente con cobre oxidado.

Proceso de Colados de Probetas.

Es muy importante tener en cuenta que el molde debe estar siempre caliente antes de colar ya que existirá imperfecciones y porosidades en la muestras, debiendo estar muy bien ubicado, y con una ligera inclinación, debiendose vertir lo más rápido posible en flujo laminar, durante el colado debemos hacer notar una cosa importante es la de no remover la escoria, la cual permite aislar el caldo del medio ambiente. Se debe tener una técnica para vertir el caldo en las

lingoteras para que no exista escoria en la aleación, por último se debe colar a temperaturas altas para no tener problemas de enfriamiento rápido.

Todos estos pasos que hemos seguido han sido para tener éxito en nuestra fundición y obtener la aleación deseada.

3.2 CARACTERIZACION DE LAS ALEACIONES.

En base a todos estos análisis realizados mediante el proceso de fusión se debe hacer notar los requisitos indispensables para una fabricación de aleación estandar.

Para establecer la normalización de la aleación debe seguirse todos los pasos que obliga la norma y que generalmente son análisis químicos y ensayos mecánicos. El proceso de la norma ASTM F9-59T se ha seguido en el presente trabajo a fin de calificar el material ya que es una forma de garantizar la regularidad del producto y su eficiencia en el trabajo, la cual es calificado en planta por horas de funcionamiento como electrodo de máquinas de soldar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.-

- Se ha conseguido establecer una metodología para la fabricación de la aleación 99%Cu-1%Cr.
- Según los gráficos de los resultados hemos podido constatar como se han mejorado las aleaciones reduciendo los tamaños de grano el cual favorece el aumento de la resistencia a la tracción.
- No se pueden hacer fusiones madre preliminares, porque no es posible refundir este tipo de aleación, debido a la pérdida del material aleante con la combinación con el oxígeno que reacciona con el cromo.
- Al realizar las aleaciones es necesario añadir un tipo de fundente para dicho material, en nuestro caso se ha utilizado como fundente el boruro de calcio.
- La dureza está en relación directa con la cantidad de cromo presente en la aleación, pues al existir más cromo hace que el tamaño de grano aumente o

que existan más granos por superficie.

- En cuanto al grado de conductividad eléctrica depende exclusivamente del control del cromo en la aleación es por esto que se debe evitar la evaporación del cromo.
- Finalmente podremos decir que el cobre al cromo hasta el 1% según la norma se mejora en relación a todas sus propiedades mecánicas del cobre después de un tratamiento térmico, y le reducen su conductividad eléctrica hasta el 83%.

RECOMENDACIONES.-

- se recomienda utilizar esta metodología para realizar este tipo de aleaciones ya que se ha comprobado en la práctica que es efectivo.
- También se recomienda que se utilice las pruebas de taller y de vez en cuando se constate estas aleaciones con análisis de laboratorio.
- Se recomienda trabajar con las aleaciones en base cobre con berilio como elemento aleante ya que es

otra alternativa para la misma aplicación.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Metal Handbook Ninth edition volume 2, Properties and Selection: Nonferrous alloys and pure metals. American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073, 1979.
- 2.- Metal Handbook 9 edition volume 15, Casting, American Society for Metal, Metals Park, Ohio 44073, 1979.
- 3.- Casting Copper-Base alloys; American foundry men's Society, Des Plaines, Illinois.
- 4.- Heat Treatment Structure Properties of Nonferrous Alloys, Charlie R Brooks, American of Society Engenering for metals park Ohio 44073, 1982.
- 5.- Alliages Mere et Dioxidants eltiesses en fonderie D'Alliage Cuivreux Center Technique des Industries de la Fonderie
- 6.- Annual Book of ASTM Standards, part 10, "Tension Testing of metallic materials". 1979 USA.

- 7.- Annual Book of ASTM Standards, part 2, "copper and copper alloy". P 115. 1959 USA.
- 8.- Centre Technique des Industries de la Fonderie.
"Méthode générale pour l'Elaboration des cupro
chromium", Metalurgie des Alliages Cuiveux, Notice
Ce 9 1959.
- 9.- American Foundrymen's Society, Inc., "Casting
copper base Alloys" des plaines, Illinois. USA
1964
- 10.- ASM International Metals Handbook, Volumen 3.
Edition 8, USA. 1972.