



T
669.73
J37

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica

"FABRICACION DE CUPROALUMINIOS COMPLEJOS"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

José A. Jara Espinoza

Guayaquil - Ecuador

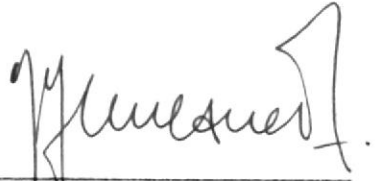
1.994





Dr. Alfredo Barriga R.

Decano de la Facultad de
Ingeniería en Mecánica



Ing. Ignacio Wiesner F.

Director de Tesis



Ing. Julián Peña E.

Miembro del Tribunal



Ing. Omar Serrano

Miembro del Tribunal



A mis Padres:

Manuel V. Jara Apolo, y

Rosa Elena Espinoza de Jara,

de quienes he recibido el apoyo constante

e incondicional en toda mi vida.

**Agradezco
a la Escuela Superior
Politécnica del Litoral por la
instrucción profesional recibida y
muy en especial al Ingeniero Wiesner,
merecedor de mi respeto y admiración, por
su total entrega a la investigación.**

La Responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

José Antonio Jara Espinoza

RESUMEN.

Se presenta un método de fabricación para producir aleaciones normalizadas UNS C95400 y UNS C95500, a partir de chatarras que contienen elementos que participan en la aleación.

El proceso usa aleaciones madres de composición química definida: 50% Cu - 50% Al; 70% Cu - 30% Ni; 60% Cu - 20% Al - 20%Fe, que se combinan de acuerdo al cálculo de las cargas para las aleaciones que se han citado.

La práctica de fusión lleva control de colada en planta por medio de inspección visual y ensayos de laboratorio, para tener elementos de homologación, como: análisis químico via absorción atómica, ensayos mecánicos para medir resistencia a la fluencia, resistencia máxima y dureza. También se ha verificado microestructura en bruto de colada y en condición de tratamientos térmicos.

Los resultados que se presentan establecen que la forma de hacer estas aleaciones tiene gran confiabilidad, puesto que los valores de resistencia son mas altos que los mínimos establecidos por las normas ANSI / ASTM.

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	6
INDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	12
INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO I. FUNDAMENTO TEORICO.	15
1.1 Generalidades	15
1.2 Propiedades de los Cuproaluminios Complejos.	16
1.3 Metalurgia de los Cuproaluminios Complejos.	35
1.4 Tecnología de Fusión	51
1.5 Normas de Fabricación	67
1.6 Control de Calidad	70
CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL.	75
2.1 Metodología	75
2.2 Equipo Experimental y Materiales.	81
2.3 Obtención de Muestras	86
2.4 Ensayos de Planta	118
2.5 Análisis Químico	122
2.6 Análisis Microestructural	124
2.7 Ensayos Mecánicos	130

CAPITULO III. DISCUSION DE RESULTADOS.	135
3.1 Método Experimental	135
3.2 Propiedades Mecanicas Obtenidas	142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
ANEXOS	146
BIBLIOGRAFIA	162

INDICE DE FIGURAS

No.		Pag
1	Relación del níquel con respecto al aluminio para obtener resistencia a la desaluminización en los cuproaluminios.	25
2	Velocidades típicas de corrosión de los cuproaluminios en atmósferas marinas.	26
3	Influencia del revenido sobre las propiedades mecánicas.	33
4	Diagrama de equilibrio de los cuproaluminios	36
5	Diagrama de fases del sistema Cu-Al dentro de la región rica en cobre.	37
6	Diagrama de equilibrio de algunos cuproaluminios.	40
7	Esquema para designar las diferentes morfologías de la fase kappa en las aleaciones Cu-Al-Fe-Ni.	42
8	Diagrama de transformación de una aleación binaria de cobre con 12%Al.	45
9	Diagrama de transformación de la aleación de cobre con 12% de aluminio y 3% de níquel.	46
10	Esquema de la transformación bainítica en aleaciones Cu-Al	47
11	Esquema de la formación de bainita y martensita en las aleaciones Cu-Al.	48
12	Diagrama de transformación de una aleación Cu-11%Al.	50
13	Solubilidad del hidrógeno a presión atmosférica en el cobre.	52
14	Entrada en forma de cometa.	64
15	Corte de un molde de arena con pozo de vertido.	64
16	Alimentador de embudo, pozo del alimentador y estranguladores para reducir turbulencias.	65
17	Sistema de entrada a cavidades múltiples	65

18	Ilustracion de la solidificación progresiva.	66
19	Inclinacion sucesiva del molde durante el vaciado.	67
20	Operaciones llevadas a cabo en la elaboracion de cada aleacion madre.	77
21	Proceso iterativo de pruebas para la obtencion de la aleacion final del cuproaluminio complejo.	79
22	Determinacion y prueba del metodo efectivo para la fabricacion de cuproaluminios complejos.	81
23	Horno de fusion, soplador y tanque de gas.	82
24	Crisol de grafito	83
25	Lingotera de acero.	83
26	Moldes de acero para las probetas de dureza, traccion y flexion.	84
27	Flujo de materiales en la fusion de la aleacion C95400	87
28	Flujo de materiales en la fusion de la aleacion C95500.	88
29	Colado con molde en posicion vertical	94
30	Colado con molde en posicion inclinada.	101
31	Diagrama de bloques del metodo de fabricacion de cuproaluminios complejos.	110
32	Fotografía de la fractura por flexión de las muestras 21 y 22	120
33	Fotografía de la fractura por flexión de las muestras 41 y 42	120
34	Fotografía de la fractura por flexión de las muestras 43 y 44	121
35	Fotografía de la fractura por flexión de las muestras 31 y 32	121
36	Fotografía de la fractura por flexión de las muestras 33 y 34.	122
37	Microestructura de la muestra 31	125
38	Microestructura de la muestra 32	125
39	Microestructura de la muestra 33	126
40	Microestructura de la muestra 34	126

41	Microestructura de la muestra 41	127
42	Microestructura de la muestra 42	128
43	Microestructura de la muestra 43	128
44	Microestructura de la muestra 44	129
45	Microestructura de la muestra 42 templada.	130
46	Probetas para ensayo de tracción.	131
47	Perdidas de metal en la fusión de aleaciones madres	136
48	Diferencias entre el porcentaje de cobre cargado y el obtenido.	139
49	Diferencias entre el porcentaje de aluminio cargado y el obtenido.	139
50	Diferencias entre el porcentaje de hierro cargado y el obtenido.	140
51	Variación en la proporción de elementos.	140

INDICE DE TABLAS.

Número.		Página
I	Composiciones Nominales de los Cuproaluminios.	15
II	Analogías y Diferencias entre las Aleaciones Cu-Al y el Acero.	17
III	Resistencia, Elongación y Dureza de los Cuproaluminios Complejos	19
IV	Resistencia a la Fatiga y Tenacidad de los Cuproaluminios Complejos	20
V	Aplicación de los Cuproaluminios por su Contenido de Aluminio	21
VI	Geometría de la Herramienta para Tornear Cuproaluminios Complejos.	23
VII	Condiciones de Maquinado de los Cuproaluminios Complejos.	23
VIII	Resistencia a la Corrosión de los Cuproaluminios en Diferentes Medios.	27
IX	Propiedades Tecnológicas de Fusión de las Principales Aleaciones de Cobre.	30
X	Influencia del Tratamiento Térmico sobre los Diversos Cuproaluminios Complejos	32
XI	Tratamientos Térmicos de los Cuproaluminios Complejos.	32
XII	Solubilidad del Fe en Fases Cu-Al en Función de la Temperatura.	38
XIII	Composición Química de las Fases en el Sistema Cu-Al-Ni.	39
XIV	Fases de las Aleaciones Cu-Al	43
XV	Temperatura de Vaciado de los Cuproaluminios Complejos.	61
XVI	Requerimientos Químicos.	68
XVII	Requerimientos Mecánicos.	69

XXVIII	Composicion de Cargas en la Fusión de Aleaciones Madre.	91
XXIX	Composicion de Cargas en la Cuarta Fusión: Cuproaluminio C95400, Lote 1	96
XX	Calculo de Cargas en la Quinta Fusión: Aleación Madre Cu-Al-Fe.	97
XXI	Composicion Mezclada del Lote 1 para Refundido.	98
XXII	Composicion de Cargas en la Sexta Fusión: Cuproaluminio C95400, Lote 2.	102
XXIII	Composicion Mezclada del Lote 2 para Refundido	104
XXIV	Composicion de Cargas en la Séptima Fusión: Cuproaluminio C95500, Lote 3	108
XXV	Composicion de Cargas en la Octava Fusión: Aleaciones Madre.	116
XXVI	Composicion de Cargas en la Octava Fusión: Cuproaluminio C95400, Lote 4.	117
XXVII	Resultados de los Ensayos de Planta.	119
XXVIII	Resultados del Analisis Quimico.	123
XXIX	Ensayo de Traccion.	132
XXX	Resultados de la Prueba de Dureza.	133
XXXI	Composicion y Propiedades Mecánicas de los Cuproaluminios Complejos Fabricados	134
XXXII	Comparación de las Propiedades Mecánicas Obtenidas con la Norma.	143

INTRODUCCION.

Entre los materiales de ingeniería destacan los cuproaluminios complejos por sus excelentes propiedades mecánicas y su alta resistencia a la corrosión. De hecho, los cuproaluminios complejos muchas veces reemplazan a los aceros en aplicaciones de alta corrosividad.

Sin embargo, la dificultad que presentan estos materiales para obtener su composición típica ha resultado un obstáculo para su mayor fabricación, y se ha optado por otras aleaciones más costosas y con propiedades menores. De aquí surge la inquietud de buscar una solución ingenieril a la incertidumbre que representa fabricar cuproaluminios complejos.

El objetivo de esta tesis es determinar un método apropiado, que sea de fácil aplicación, y efectivo, para fabricar las aleaciones UNS C95400 y UNS C95500, aprovechando las chatarras en procesos de reciclaje que optimicen el uso de los materiales de ingeniería.

La metodología adoptada se basa en la fusión iterativa de diferentes coladas, a las que se determina su composición química y sus propiedades mecánicas en ensayos de laboratorio y ensayos de planta, hasta determinar la relación que permite, en base únicamente de los ensayos de planta, la obtención de la aleación correcta y sus propiedades óptimas.

CAPITULO I. FUNDAMENTO TEORICO.

1.1. GENERALIDADES.

Los cuproaluminios complejos son básicamente aleaciones de 80 a 90% de cobre y 9.5 a 16% de aluminio, a las que se les agrega hierro, níquel o manganeso en cantidades entre el 2 y el 5%. Estos elementos pueden estar presentes individualmente o a la vez con un contenido máximo de entre 12 y 15 % sumados entre sí. Algunas composiciones típicas de los cuproaluminios complejos más usados se presentan en la Tabla I.

TABLA I. Composiciones Nominales de los Cuproaluminios Complejos

Numero UNS	Designación ASTM previa	Composición					
		Cu	Al	Fe	Ni	Mn	Si
C95300	B148-9B	89	10	1	...	...	...
C95400	B148-9C	86	10	4	...	...	...
C95410	...	84	10	4	2	...	...
C95500	...	81	11	4	4	...	...

Metals Handbook Vol.15.

El efecto principal del hierro es el de afinar el grano y mejorar la resistencia del material. El níquel mejora la resistencia a la corrosión y previene la formación excesiva de la fase gamma 2 que es perjudicial para la ductilidad y resistencia del material, y el manganeso para mejorar las propiedades tecnológicas de fusión.

La importancia de los cuproaluminios se basa en las excelentes propiedades que posee: dureza, resistencia a la tracción, resistencia a la corrosión en la mayoría de medios oxidantes, ductilidad, conductividad térmica, tenacidad, maquinabilidad, conformabilidad, soldabilidad, resistencia a altas temperaturas sin perder sus propiedades, y muchas otras más que se relacionan con la infinidad de procesos y aplicaciones industriales y de todo tipo.

Además, aquellos cuproaluminios que teniendo un contenido de aluminio superior al 9.4% presentan una estructura compleja, tienen la capacidad de modificar sus estructura mediante procesos de tratamiento térmico similares a los que se aplican a los aceros al carbono. Y más aun, como producto de estos procesos térmicos, el cuproaluminio complejo genera nuevas fases, como la martensita y la bainita, muy similares a las del acero al carbono y adquiere diferentes propiedades a las de material sin tratamiento.

La sorprendente similitud de los cuproaluminios complejos con el acero al carbono en su microestructura se puede ver en la Tabla II donde se hace una comparación entre los dos materiales.

1.2. PROPIEDADES DE LOS CUPROALUMINIOS COMPLEJOS.

Los cuproaluminios son utilizados en aplicaciones donde se requiere resistencia mecánica, dureza, regular ductilidad, resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica, soldabilidad, estética, resistencia a altas temperaturas; en aplicaciones en que no se deba generar chispas. Tiene propiedades antifricción y resistencia a la abrasión, por lo que se lo emplea para

TABLA II. Analogías y Diferencias entre los Cuproaluminios Complejos y el Acero al Carbono

Analogías		Diferencias
Microestructura Cu-Al	Microestructura Acero	con referencia a la microest. del Cu-Al
Alfa	Ferrita	- FCC amplio rango de solubilidad
Gamma 2	Fe ₃ C	- Estructura cristalina. menor dureza.
Alfa + Gamma 2	Perlita	- Generalmente globular, frágil.
Beta	Austenita	- BCC
$\alpha + \beta + \beta'_{1} (\beta^*)$	Bainita	- Matriz martensítica
$\beta' \text{ o } \beta'_{1} \text{ o } \gamma'_{1} (\beta^*)$	Martensita	- Estructura cristalina menor dureza.
$\beta_{1} (\beta^*)$	.....	- .....
$\beta \text{ o } \beta_{1} (\beta^*)$	Austenita residual	-
κ	Carburos especiales	- Menor dureza. amplio rango de solubilidad.
$\alpha + \kappa_{III}$	.....	- .....

P. Brezina, Heat Treatment of Complex Aluminium Bronzes.

fabricar engranajes, bocines, chapas, correderas, guías, levas, moldes y matriceria. Otras aplicaciones incluyen componentes de máquinas que trabajan a altas temperaturas (300° a 400°C), válvulas, herramientas antichispa, rodillos y zapatas empleados en la conformación de metales, etc.

Los cuproaluminios tienen la propiedad de presentar una combinación poco usual de propiedades mecánicas: dureza, resistencia y ductilidad. Además por tener un eutéctico a 570°C con 11.9% de Al. pueden cambiar su estructura y con ella sus propiedades. Los cuproaluminios complejos son sometidos a temple en agua o aceite, a revenido, y a recocido, dependiendo de las propiedades que se desee obtener; pues el temple le da dureza, el revenido resistencia y tenacidad y el recocido mejora su ductilidad.

PROPIEDADES MECANICAS

Los cuproaluminios complejos tienen muy buenas propiedades mecánicas y pueden reemplazar al acero al carbono en aplicaciones donde se requiera una mejor resistencia a la corrosión. Son tratables térmicamente con lo que se puede mejorar no sólo sus propiedades mecánicas, sino también su resistencia a la corrosión.

Un cuproaluminio complejo puede tener diferentes propiedades dependiendo de su composición química, del método de colado y del tratamiento térmico al que se lo haya sometido. La resistencia tensil puede variar entre 49 a 87 Kg_m/mm² (70 a 124 Ksi.), la elongación de 5 a 35% y la dureza de 110 a 260 HB.

Un aspecto muy importante de estas aleaciones es que pueden presentar combinaciones poco comunes de resistencia a la tensión, elongación y dureza. Por ejemplo, aleaciones con más de 70 Kg/mm² (100 Ksi) pueden presentar elongación de hasta 20%, o aleaciones de 49 Kg/mm² (70 Ksi) pueden presentar durezas de entre 110 a 160 HB.

Además los cuproaluminios complejos tienen la ventaja de mantener sus propiedades mecánicas a altas temperaturas, esto es 300° a 400°C. En este aspecto supera a otros bronce de alta resistencia como el bronce al manganeso.

La Tabla III muestra las propiedades mecánicas de algunos cuproaluminios complejos con tratamiento térmico y sin él.

TABLA III. Resistencia, Elongación y Dureza de los Cuproaluminios Complejos

Numero UNS	Resistencia Tensfl	Resistencia a la Fluencia	Elongación	Dureza (a)
	Ksi	Ksi	%	HB
C95300(b)	70 - 85	30 - 35	20 - 35	110 - 160
C95300(c)	80 - 95	40 - 55	12 - 16	160 - 225
C95400(b)	75 - 95	30 - 41	12 - 20	150 - 185
C95400(c)	90 - 100	45 - 52	6 - 15	190 - 235
C95500(b)	90 - 105	40 - 50	7 - 20	175 - 210
C95500(c)	110 - 124	60 - 80	5 - 12	215 - 260

(a) 3000 Kg de carga; (b) Colado en arena; (c) Templado.



Los cuproaluminios complejos tienen un alto límite de fatiga, superior al de cualquier otra aleación de cobre, y muy buena tenacidad, aunque en esto es superado por el bronce al manganeso.

Tabla IV. Resistencia a la Fatiga y Tenacidad de los Cuproaluminios Complejos.

Número UNS	Resistencia a la Fatiga	Resistencia al Impacto
	Ksi	Pie - lb
C95300	...	28(a) , 27(t)
C95400	36	16(a), 11(t)
C95500	31	13
C95500	38(t)	...

(a)Sin tratamiento; (t)Con tratamiento

Metals Handbook, Vol.2,1988

Los bronce al aluminio, al igual que los bronce al manganeso no disminuyen demasiado sus propiedades con el aumento de las secciones fundidas. Esto se debe a su corto rango de solidificación, lo que resulta en una estructura más densa.

RESISTENCIA AL DESGASTE.

Los cuproaluminios complejos tienen muy buena resistencia al desgaste, por tal razón se los emplea para fabricar engranajes, levas, guías, etc. Además de la resistencia al desgaste por acción directa, estas aleaciones tienen buena resistencia

a la erosión por cavitación, consecuentemente se utilizan para fabricar impulsores y carcazas de bombas y hélices impulsoras para embarcaciones marinas.

A medida que el contenido de aluminio sobrepasa el 11% el cuproaluminio se vuelve más duro y disminuye la ductilidad, resultando muy apropiados para trabajo pesado donde el desgaste es excesivo. Con un contenido de aluminio superior al 13% el material puede presentar una dureza mayor a 300HB pero es bastante frágil. Estas aleaciones son adecuadas para construir hileras, matrices de estampado, y otras piezas que no estén sujetas a impacto. Un resumen de las aplicaciones de los cuproaluminios por su contenido de aluminio lo presenta la Tabla V.

Tabla V. Aplicación de los Cuproaluminios por su Contenido de Aluminio

8 a 9% de Al	- Trabajo suave : bocines, chapas, etc
9 a 11% de Al	- Trabajo pesado: Guías de válvulas, tuercas de ajuste y ampuestas para rodillos laminadores y maquinarias de precisión, impellers, carcazas de bomba, hélices de embarcaciones etc.
11 a 14% de Al	- Trabajo extra pesado, sin impactos: hileras y matrices para estampadoras.

MAQUINABILIDAD.

De acuerdo a la maquinabilidad de las aleaciones de base cobre se suelen dividir en tres grupos:

Primero: Aquellos que se maquinan libremente debido a su composición con alto contenido de plomo, azufre y telurio; elementos que permiten que la viruta se rompa fácilmente.

Segundo: Aquellos que son moderadamente maquinables y que no contienen plomo, con alrededor de 60 a 85% de cobre, y las aleaciones conocidas como plata de níquel con contenido de plomo.

Tercero: Son aquellas aleaciones en base cobre que son muy difíciles de maquinar. A este grupo corresponden aleaciones sin plomo, latones de bajo contenido de zinc, platas de níquel, bronce fosfóricos, cuproaluminios, cuproníqueles y bronce al berilio.

Los cuproaluminios están en el grupo de las aleaciones de cobre más difícil de maquinar, y comparándolos con aquel que es más fácil, su maquinabilidad es de 50 a 60 %. En todo caso es conveniente el correcto afilado de la herramienta, como se indica en la Tabla VI y mantener las condiciones que indica la Tabla VII para el torneado.

TABLA VI. Geometría de la Herramienta para Tornear Cuproaluminios Complejos

Angulo*	Acero Rápido	Carburo
BR	10 - 20°	4 - 8°
SR	20 - 30°	15 - 25°
ER	10 - 15°	7 - 10°
SR	10 - 20°	7 - 10°
ECEA	8 - 15°	10 - 15°
SCEA	15°	10 - 15°

* Nomenclatura Estandar. Anexo I.

Metals Hand book, Vol.3,1972.

TABLA VII. Condiciones para el Torneado de Cuproaluminios Complejos

Número UNS	Maquinabilidad*	Velocidad, sfm**	Avance, ipr**
			Desbaste
C95300	55%	300	0.009
C95400	60%	300	0.011
C95500	50%	250	0.011
			Acabado
C95300		950	0.004
C95400		950	0.004
C95500		950	0.004

* Aleación C36000 100% de maquinabilidad (61.5%Cu, 35.5%Zn, 30% Pb).

** sfm = pie superficial por minuto; ipr = pulgadas por vuelta.

Metals Handbook, Vol.3, 1972

RESISTENCIA A LA CORROSION

Los cuproaluminios con un contenido de aluminio entre el 5 al 12% tienen excelentes propiedades anticorrosivas y resistencia a la oxidación incluso a altas temperaturas. Soportan muy bien la abrasión mecánica y la erosión por cavitación y el ataque químico.

La resistencia a la corrosión de los cuproaluminios difiere dependiendo de las fases de su estructura, por lo tanto se la relaciona con el contenido de aluminio. Aquellas aleaciones con contenido de aluminio de hasta 8% presentan en su constitución solo la fase alfa, la misma que tiene muy buena resistencia a la corrosión. Pero, aleaciones con más contenido de aluminio y que por lo tanto presentan en su estructura otra fase además de la alfa, como la beta o el eutectoide alfa + gamma 2, son más susceptibles a la corrosión. La fase beta es menos resistente que la fase alfa, y el eutectoide alfa + gamma 2 es más susceptible aun. De modo que es necesario, para desarrollar las propiedades anticorrosivas de los cuproaluminios complejos evitar la descomposición de la fase beta en el eutectoide alfa + gamma 2. Esta transformación se produce por un enfriamiento lento entre 565° y 320°C. Con procesos térmicos de temple y revenido puede obtenerse una estructura martensítica β' (beta prima). Esta presenta precipitaciones de granos alfa en forma acicular lograndose resistencias a la corrosión superiores a las que presenta una estructura recocida.

El níquel altera las características de corrosividad de la aleación, dándole mas resistencia a la desaluminización y a la erosión por cavitación en la mayoría de líquidos. Sin embargo, ensayos realizados (ref.12) han evidenciado casos de

desaluminización en aleaciones con más de 4% de níquel, mientras que otras aleaciones con 1 a 2% de Ni presentan excelente resistencia a la corrosión. Estas observaciones concluyen que la cantidad de níquel está ligada al contenido de aluminio por la siguiente relación:

$$Al \leq 8.5 + Ni/2$$

Dicha relación se ve representada en el gráfico No. 1.

El efecto del hierro sobre las propiedades de resistencia a la corrosión de los cuproaluminios no es significativo.

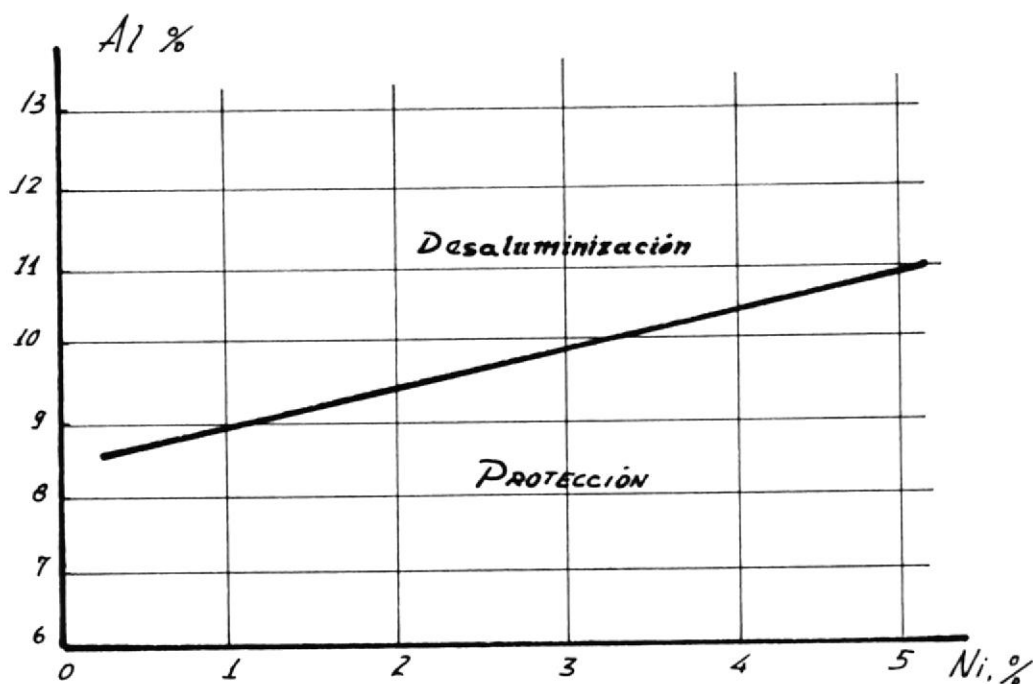


Figura No. 1. Relación del níquel con el aluminio para obtener resistencia a la desaluminización. (ref. 12).

Entre las aleaciones de cobre los cuproaluminios se consideran en la categoría de menos velocidad de corrosión en atmósferas marinas. La pérdida de metal por corrosión se puede expresar por medio de la siguiente expresión (ref. 17):

$$d = (0,1) t^{1/3}$$

donde : d = pérdida de metal en micras

t = tiempo de exposición en años.

La relación se ve ilustrada en la Figura No. 2.

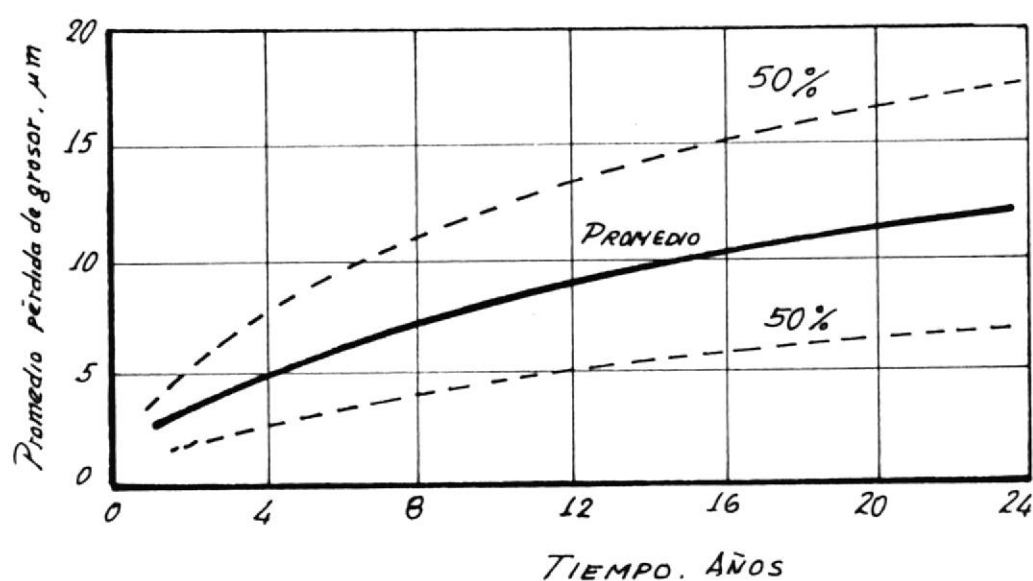


Figura No. 2. Velocidades típicas de corrosión de los cuproaluminios en atmósferas marinas. (Ref.17)

El comportamiento de los cuproaluminios complejos en varios medios de corrosión se ha clasificado en tres categorías:

Tabla VIII. Resistencia a la Corrosión de los Cuproaluminios en Diferentes Medios

Medio Corrosivo	Calificación*	Medio Corrosivo	Calificación
Acido acetico	A	Acetona	A
Acetileno	C	Alcohol	A
Amoniaco, gas humedo	C	Amoniaco sin humedad	A
Gelatina	A	Glicerina	A
Anilina	B	Cerveza	A
Agua potable	A	Whisky	A
Bebidas carbonatadas	A	Dióxido de carbono	A
Cloro humedo	C	Cloruro de Sodio	A
Acido sulfurico al 78%	A	Aceite combustible	A
Freon	A	Glucosa	C
Acido muriatico	B	Asfalto	A
Benzina	A	Vinagre	A
Jarabe caña de azucar	A	Cloro seco	A
Acido citrico	A	Gas propano	A
Eters	A	Aceite de Algodon	A
Gasolina	A	Acido sulfurico al 95%	B

* A = recomendable; B = aceptable; C = no recomendado

SOLDABILIDAD.

En general todas las aleaciones de cobre presentan una combinación de propiedades adecuadas para el proceso de soldadura como son: Conductividad, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.

En la industria metalmeccánica el cobre y sus aleaciones son muy a menudo unidos con soldadura. Para soldadura de arco se pueden utilizar los siguientes procesos:

- Soldadura de Arco con Electrodo Revestido (SMAW).
- Soldadura de Arco con Gas de Tungsteno (GTAW).
- Soldadura de Arco con Metal y Gas Inerte (GMAW).
- Soldadura de Arco por Plasma (PAW), y
- Soldadura con Arco Sumergido.

Tambien se puede utilizar soldadura de punto o de costura por resistencia eléctrica con grosor de hasta 1.5 mm. Las aleaciones de cobre con baja conductividad son fácilmente soldadas por este método.



Aunque también pueden los cuproaluminios soldarse por Brazing, resulta un poco difícil para aquellos que contienen más de 8% de aluminio, pues este forma una capa de óxido de aluminio que complica el flujo del material de relleno.

PROPIEDADES TECNOLOGICAS DE FUSION.

Los cuproaluminios complejos son considerados como una aleación difícil de fundir: Tiene un rango de solidificación de apenas 15°C, lo cual requiere que el vaciado se haga rápidamente, por otro lado en el vaciado se requiere que se haga con mucho cuidado, pues este material produce fácilmente capas de óxido y escoria si al vacear produce turbulencias. Además, los cuproaluminios complejos tienen la característica de formar profundo rechupe. Por esta razón se hace necesario el diseño de moldes especiales con entradas que aseguren un flujo suave y grandes mazarotas que contrarresten el efecto del rechupe o enfriadores colocados de modo que produzcan una solidificación dirigida y reduzcan la profundidad del rechupe. La necesidad de de las mazarotas grandes y sistemas de conducción especiales para este material casi duplica el peso del material necesario para obtener una pieza.

Para una comparación con las demás aleaciones de cobre, en la Tabla IX se presenta algunas propiedades concernientes con la fusión de estos materiales.

A pesar de todo, los cuproaluminios se pueden fabricar con casi todos los procesos de fusión y moldeo, obteniéndose muy buenos resultados. El estrecho rango de solidificación de estas aleaciones permite que sean coladas en moldes

permanentes, ya sea por gravedad o por baja presión, incluso se pueden fabricar piezas en producción continua.

TABLA IX. Propiedades de Fusión de las Principales Aleaciones de Cobre

Número UNS	Nombre Común	Rechupe %	Temp. Liquidus °C	Dificultad de Fusión (a)	Fluidez (a)
C83600	Latón rojo con plomo	5.7	1010°	2	6
C84400	Latón semirrojo Pb	2.0	980	2	6
C84800	Latón semirrojo Pb	1.4	955	2	6
C85400	Latón amarillo con Pb	1.5-1.8	940	4	4
C85800	Latón amarillo	2.0	925	4	4
C86300	Bronce al manganeso	2.3	920	6	2
C86500	Bronce al manganeso	1.9	980	6	2
C87200	Bronce al silicio	1.8-2.0		8	3
C87500	Latón al silicio	1.9	915	7	1
C90300	Bronce al Estaño	1.5-1.8	980	3	6
C92200	Bronce al Sn con Pb	1.5	990	3	6
C93700	Bronce al Sn alto Pb	2.0	930	1	6
C94300	Bronce al Sn alto Pb	1.5	925	1	6
C95300	Bronce al aluminio	1.6	1045	8	5
C95800	Bronce al aluminio	1.6	1060	8	5
C97600	Plata de níquel	2.0	1145	5	7
C97800	Plata de Níquel	1.6	1180	5	7

(a) Para el colado en arena, la fluidez y dificultad de fusión se califican en un rango de 1 a 8, donde 1 es la mejor calificación

TRATAMIENTOS TERMICOS.

Aunque todos los cuproaluminios responden a algun tratamiento térmico (incluso las aleaciones puramente alfa, que con un crecimiento de grano se suavizan considerablemente), aquellas que realmente se consideran tratables térmicamente son las que tienen más de 9.4% de aluminio en su composición., o que teniendo menos, tuvieren otros elementos como el níquel o el manganeso. Estas pueden modificar notablemente su estructura y sus propiedades, consiguiendose combinaciones muy convenientes de resistencia, ductilidad y dureza. Al igual que a los aceros, a los cuproaluminios se los lleva a una temperatura en que se disuelve la fase alfa y ganma 2 en fase beta, se los mantiene un corto tiempo y luego se los tiempla en agua o en aceite. De esto se obtiene una estructura martensitica con propiedades superiores a las originales. Posterior al temple se practica el revenido para mejorar la tenacidad a costa de perder un poco de dureza.

La Tabla X muestra unos ejemplos del efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas de algunos cuproaluminios complejos.

Las condiciones de los procesos de tratamiento térmico a los que se puede someter los cuproaluminios complejos se muestran en la Tabla XI.

Con media hora de calentamiento a la temperatura de temple es suficiente para conseguir una estructura beta sin producir un crecimiento excesivo del grano. En el proceso de revenido es indiferente la velocidad de enfriamiento (ref.15) porque

TABLA X. Influencia del Tratamiento Térmico en las Propiedades de algunos Cuproaluminios Complejos

Propiedades	Cu 86%	85.3%	80.3%	79%	81%
	Al 10%	10.7%	9.7%	11%	11%
	Fe 4%	4%	5%	5%	4%
	Ni -	-	5%	5%	4%

	CA	TT	CA	TT	CA	TT	CA	TT	CA	TT
Resistencia mecánica, Ksi.	74	99	79	104	94	105	94	115	89	109
Resistencia a la fluencia, Ksi.	34	40	37	44	35	55	45	71	43	67
Elongación, %	18	15	10	10	23	14	7	5	7	5
Dureza, HB.	155	190	170	200	170	229	192	235	195	235

CA = Colado en arena

TT = Temple a 885°C, revenido a 620°C, salvo el tercer caso, temple a 900°C, revenido a 600°C

Dominique Arnaud, Tratamiento Térmico de los Cuproaluminios

TABLA XI. Tratamiento Térmico de los Cuproaluminios Complejos

Aleación	Solución	Revenido	Recocido
C95300	900°C 2H	540-595 °C 1H	595-650°C 1H
C95400	900°C 2H	565-620°C 1H	620°C 1H
C95500	900° 2H	565-620°C 1H	620-705°C 1H

Metals Handbook, Vol. 2 y Vol. 15. 1989.

no altera las propiedades del metal, sin embargo es preferible no enfriarlo bruscamente para evitar generar tensiones internas. La influencia de la temperatura del revenido sobre las propiedades mecánicas puede observarse en la Figura No.3. Al aumentar la temperatura de revenido se pierde en resistencia pero se gana en ductilidad. En todo caso, la temperatura más conveniente sin sacrificar las propiedades está entre 600 y 650°C (Ref. 9).

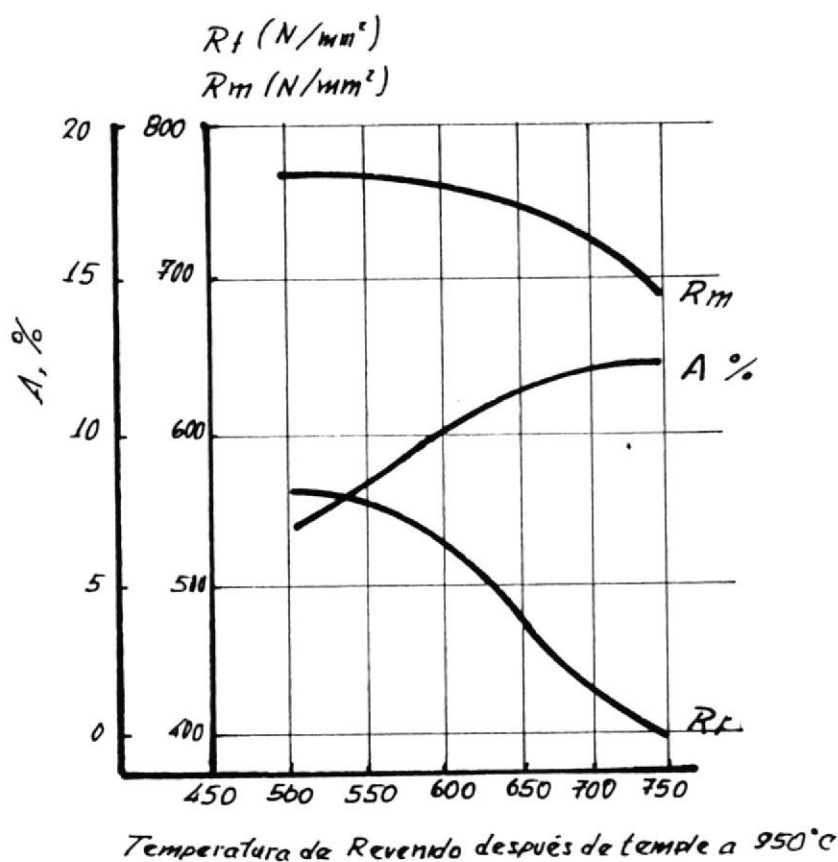


Figura No. 3. Influencia del Recocido sobre las Propiedades Mecánicas. (Ref. 9)

Material: 79.9% Cu, 9.3% Al, 4.5% Fe, 4.9% Ni, 1.4% Mn.

Temple: 959°C, 30 min.

Revenido: 3 Hrs.

APLICACIONES

Las aplicaciones típicas de los cuproaluminios complejos se esquematizan en el siguiente cuadro:

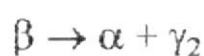
ALEACION C95300	<ul style="list-style-type: none">- Canastas para remojo en salmuera.- Tuercas.- Engranajes.- Equipos marinos.- Pinzas o lagartos de sueldas.- Herramientas antichispa.
ALEACION C95400	<ul style="list-style-type: none">- Impulsores de bomba.- Bocines, Piñones, Sinfín.- Asientos y guías de válvula.- Ampuestas para rodillos laminadores.- Herramientas antichispa- Placas deslizadoras.
ALEACION C95500	<ul style="list-style-type: none">- Propulsores marinos.- Guías y asientos de válvula en motores de aviación- Piezas resistentes a la corrosión .- Bocines, Piñones, Sinfín.- Ganchos y canastas para remojo.- Agitadores para la industria del papel.

* Las aleaciones C95300 y C95400 no son adecuados para exposición en ácidos oxidantes. Además su uso prolongado a temperaturas entre 320 y 565°C puede reducirle ductilidad y perder tenacidad. (Ref. 3).

* La aleación C95500 no es apropiada para uso en ácidos fuertemente oxidantes.

1.3. METALURGIA DE LOS CUPROALUMINIOS COMPLEJOS.

Los cuproaluminios complejos presentan en su microestructura, básicamente, dos fases, la fase α (alfa) y la fase β^* . La fase alfa es estable a temperatura ambiente y es suave y blanda. La fase β^* es realmente un grupo de fases metaestables que se producen como consecuencia de un enfriamiento rápido de la fase β (beta). Beta es una fase similar a la austenita en los aceros; no es estable a temperatura ambiente y en condiciones de equilibrio tiene una reacción eutéctode y se transforma en alfa + gamma 2.



Gamma 2 es otra fase constituyente de los cuproaluminios complejos, es estable a temperatura ambiente y es muy frágil y dura; todo lo contrario de la fase alfa.

En el diagrama de equilibrio de las aleaciones cobre - aluminio, Figuras No. 4 y 5 se presenta las fases que componen estas aleaciones. A 565°C y con una composición de 11.8% de aluminio se produce la reacción eutéctode: a medida que decrece la temperatura, en condiciones de equilibrio, la fase sólida beta se transforma en otras dos fases sólidas alfa y gamma 2. Al bajar más la temperatura,

a 563°C con una composición de 11.2% de aluminio, se encuentra un punto peritectoide, donde dos fases sólidas, alfa y gamma 2, se transforman en otra. α_2 (Alfa 2), también estable a temperatura ambiente. Esta transformación se produce solo en condiciones de equilibrio, es decir, con un enfriamiento muy lento, hasta de semanas. Este enfriamiento no se presenta normalmente en la práctica, el enfriamiento normal de las fundiciones es más rápido que el requerido por las condiciones de equilibrio. Por lo tanto la reacción peritectoidea es difícil que se produzca normalmente. En forma similar la reacción eutectoidea no se produce completamente a no ser que el enfriamiento sea del orden de 1°C por minuto (Ref.9); es más probable que el enfriamiento sea más rápido, con lo que da lugar a que la fase beta se transforma más bien en β^* que es una fase similar a la martensita.

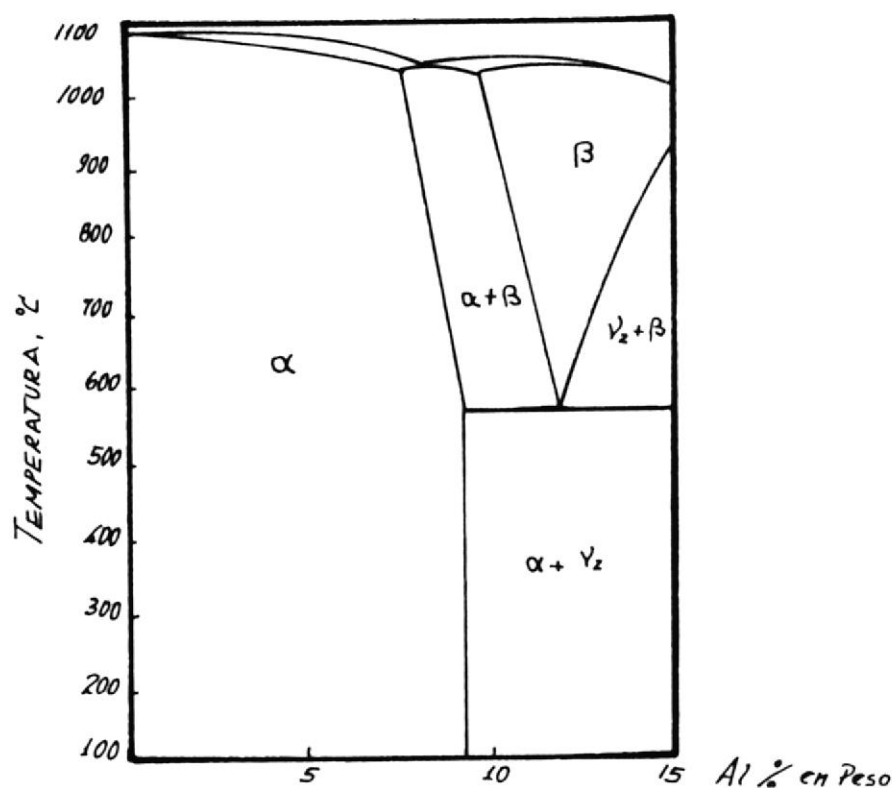


Figura No. 4. Diagrama de Equilibrio de los Cuproaluminios. (Ref. 9)

Un cuproaluminio complejo puede presentar muchas fases en su microestructura, entre ellas: α (alfa), α_2 (alfa 2), β (beta), β' (beta prima), β_1 (beta prima sub-uno), γ_2 (gamma 2), γ' (gamma prima), $\alpha + \gamma_2$ (alfa + gamma 2), $\alpha + \alpha_2$ (alfa + alfa 2) y $\alpha_2 + \gamma_2$ (alfa 2 + gamma 2). En la Figura No. 5 se puede apreciar como aparecen estas fases; algunas en condiciones de equilibrio y otras en condiciones de no equilibrio. Las líneas punteadas presentan las fases que se presentan en condiciones de no equilibrio.

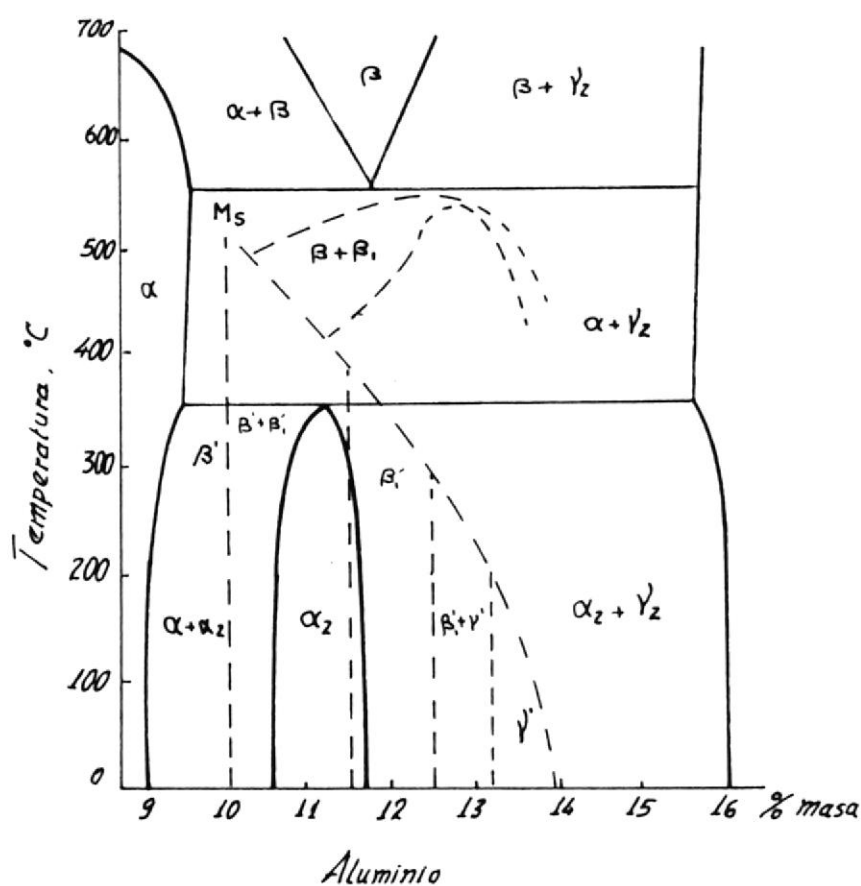


Figura No. 5. Diagrama de Fases del Sistema Cobre - Aluminio Dentro de la Fase Rica en Cobre. (Ref. 7)

Es la variedad de fases que se pueden presentar en las aleaciones de cuproaluminio, mas alla del 9.4% de Al., la que les da el caracter de complejas. Y se complica mas cuando estas aleaciones tienen otros elementos aleantes como el hierro, nikel o manganeso que introducen nuevas fases al material.

El hierro afina el grano y retarda el crecimiento del mismo en el tratamiento de solución previo al temple. Su solubilidad en las fases de los cuproaluminios complejos aumenta con la temperatura, pero a temperatura ambiente no llega al 1% . La Tabla XII muestra la dependencia de la solubilidad del hierro con la temperatura en las fases del cuproaluminio.

TABLA XII. Solubilidad del Hierro en las Fases del Cuproaluminio en Función de la Temperatura.

Temperatura, °C	Hierro (% en peso) soluble en:		
	α (7.5% Al)	β (12.5% Al)	γ (17.5% Al)
500	0.6	---	0.9
600	0.9	1.1	1.3
800	1.5	2.6	---
1000	2.6	6.0	---

P. Brezina, Heat Treatment of Complex Aluminium Bronzes.

El resto de hierro que no se disuelve en las fases cobre - aluminio se precipita en forma de una nueva fase llamada delta hierro δ_{Fe} . Los precipitados ricos en hierro tienen una composición de entre 7.12 a 16.8 % de aluminio, y de entre 1.6 a 10.6 % de cobre (Ref. 1), con el remanente de hierro.



El mayor contenido de aluminio en los cuproaluminios mejora la resistencia del material a la vez facilita la formación de la fase gamma 2 en la solidificación perdiéndose en ductilidad y tenacidad mucho más de lo que se gana en resistencia. Los precipitados de hierro absorben parte del aluminio de la aleación y desplaza el punto eutectoide hacia un mayor contenido de aluminio, como lo muestra la Figura No. 6. De modo que se puede obtener aleaciones de cobre con mas contenido de aluminio sin detrimento de su tenacidad y con notable mejoría de su resistencia.

El níquel mejora la resistencia a la corrosión del cuproaluminio mientras mantenga la relación $\%Al \leq 8.5 + Ni/2$. También tiene un efecto similar al del hierro al absorber parte del aluminio de la aleación desplazando la composición eutectoidea a un mayor contenido de aluminio. Al igual que el hierro, el níquel es soluble en las fases alfa y gamma 2 en hasta el 2.5% en el primero y hasta el 9.2% en el segundo. Cuando el contenido de níquel excede estas proporciones se precipita en forma de NiAl que podría tener hasta el 29% de aluminio. La Tabla XIII muestra la composición química de las fases de equilibrio en el sistema Cu-Al-Ni.

TABLA XIII. Composición Química de las Fases en el Sistema Cu-Al-Ni.

Fase	% peso Cu	% peso Al	% peso Ni
ALFA	88 - 90	8 - 10	1.5 - 2.5
GAMMA 2	72 - 79	14.5 - 18.8	3.5 - 9.2
NiAl	18 - 25	27 - 29	46 - 55

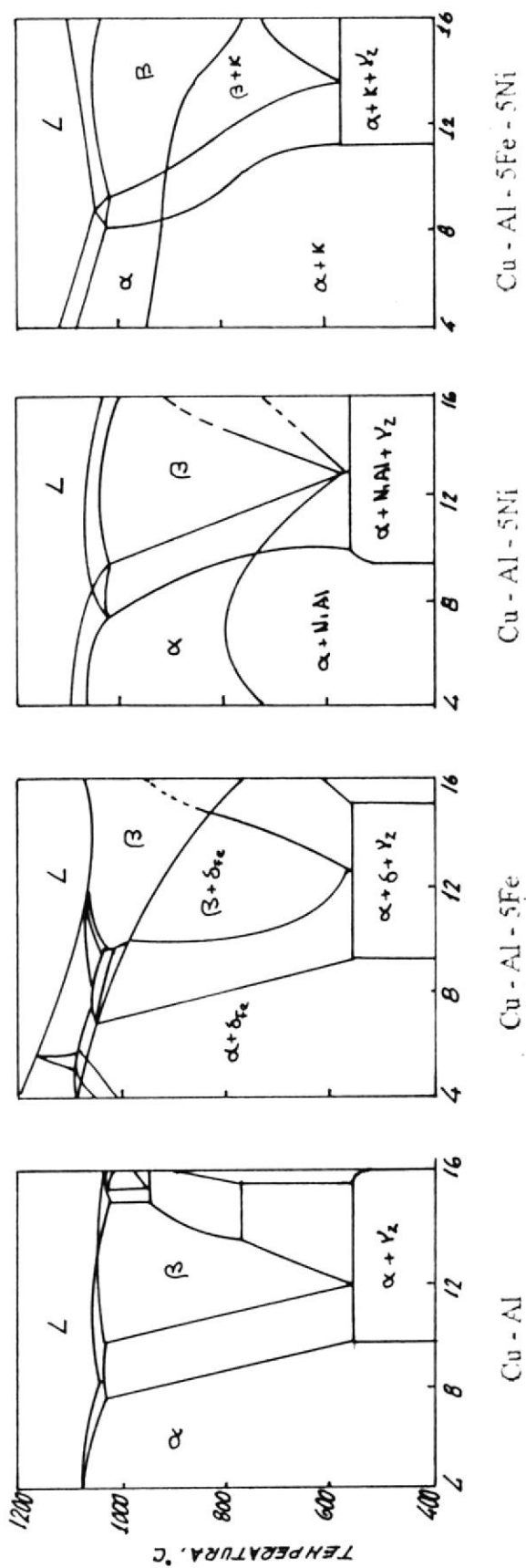


Figura No. 6. Diagrama de Equilibrio de Algeos Cuprealuminios (Ref. 1).

Los cuproaluminios complejos al enfriarse lentamente, como en el caso de piezas muy gruesas, o en los casos de revenido al pasar por los rangos de temperatura entre 565° y 480°C, precipitan un constituyente muy duro que reduce la ductilidad o elongación del material. Con la adición de entre 2 al 5% de níquel se reduce enormemente este problema (Ref. 3). El níquel, además, favorece la transformación martensítica.

La adición de manganeso a los cuproaluminios busca facilitar las labores de fusión, puesto que rebaja la temperatura de colado, al contrario del níquel que la sube.

Aquellos cuproaluminios que tienen en su composición hierro y níquel en contenidos superiores a su solubilidad precipitan una sola fase compuesta de cobre, aluminio, hierro y níquel que se denomina kappa κ . Sin embargo se conocen hasta cinco formas de fase kappa:

κ_1 : Precipitado de la colada, rica en hierro.

κ_n : Precipitado de beta, rica en hierro.

κ_m : Componente eutectoide de $\beta \rightarrow \alpha + \kappa_m$, rica en níquel

κ_o : Precipitado globular de alfa, rica en hierro.

κ_p : Precipitado en paquete de alfa, rica en hierro.

La forma reconocida de cada una de ellas es mas o menos como lo muestra la Figura No. 7.

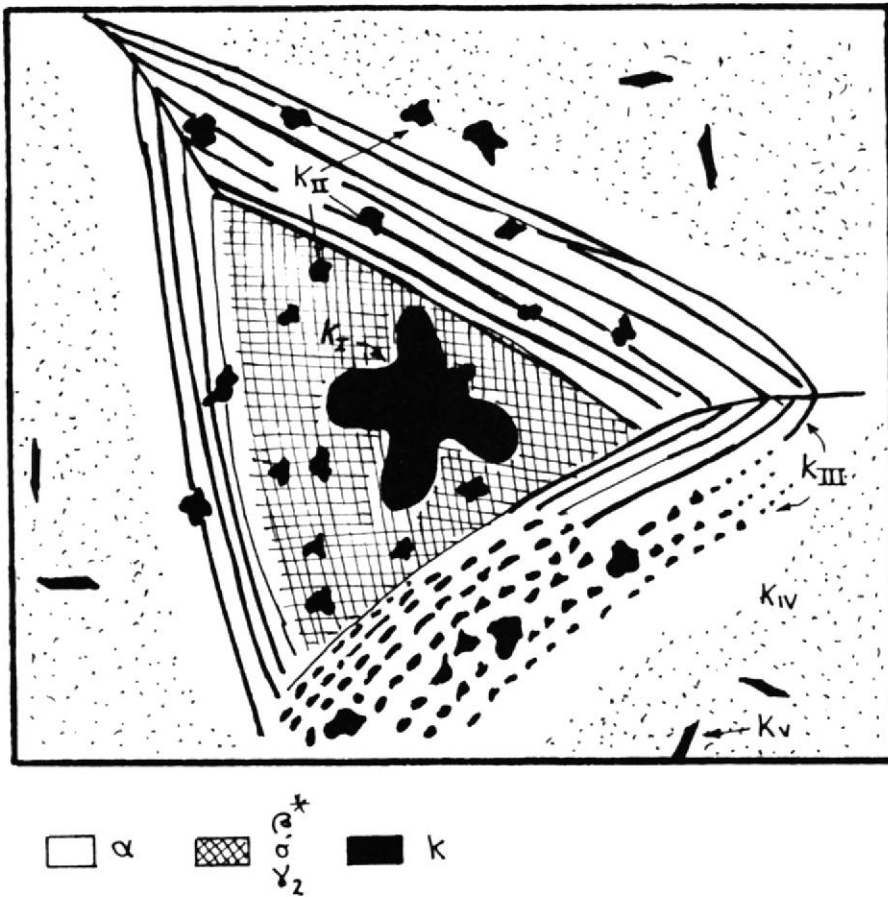


Figura No. 7 Representación Aproximada de las Diferentes Morfologías de las Fases Kappa en las Aleaciones Cu - AL - Fe - Ni. (Ref. 1).

Las fases que se pueden presentar en los diferentes cuproaluminios complejos se enlistan en la Tabla XIV.

TABLA XIV. Fases de las Aleaciones Cobre - Aluminio.

Denominación	Descripción	Aleación
Fases de Equilibrio		
α	Solución sólida rica en Cu	Cu-Al-X
β	Solución sólida de alta temperatura	Cu-Al-X
γ_2	Compuesto intermetálico con amplio rango de solubilidad	Cu-Al Cu-Al-Fe Cu-Al-Ni
α_2	Fase alfa peritectoidea	Cu-Al Cu-Al-X
δFe	Hierro delta	Cu-Al-Fe
Fe_3Al	Compuesto intermetálico	Cu-Al-Fe
$\text{FeAl} (\kappa)$	Compuesto intermetálico	Cu-Al-Fe
$\text{NiAl} (\kappa)$	Compuesto intermetálico con amplio rango de solubilidad	Cu-Al-Ni
κ	Compuesto intermetálico con amplio rango de solubilidad (Fe,Cu,Ni)Al	Cu-Al-Fe-Ni Cu-Al-Mn-Fe-Ni Cu - Al - Co - Ni y otros
(Continua...)		

TABLA XIV. Fases de las Aleaciones Cobre - Aluminio. (cont.)

Fases Metaestables		
α	Fase bainitica alfa sobre- saturada	Cu-Al
		Cu-Al-Fe
		Cu-Al-Ni
β_1	Compuesto intermetalico Cu ₃ Al	Cu-Al
		Cu-Al-Fe
		Cu-Al-Ni
		Cu-Al-Mn
	Martensita masiva	Cu-Al
α_1	...	Cu-Al
β'	Martensita no ordenada	Cu-Al
		Cu-Al-Fe
		Ca-Al-Ni
		Cu-Al-Fe-Ni
β''	...	Cu-Al
γ_1	Martensita ordenada rica en aluminio	Cu-Al
		Cu-Al-Fe
		Cu-Al-Ni
		Cu-Al-Fe-Ni
β^*	Todas las transformaciones de la fase beta	
κ	Compuesto intermetalico	Cu-Al-Fe-Ni

TRANSFORMACION MARTENSITICA.

Se obtiene una estructura martensitica en un cuproaluminio complejo calentandolo hasta el campo de la fase beta, permitiendo que se disuelva completamente las fases alfa y alfa+gamma 2, lo que se consigue en aproximadamente 30 minutos, y luego enfriandolo bruscamente; como tratando de congelar la fase beta. El resultado será, probablemente, dependiendo de la composición una estructura martensitica β^* con algo de Alfa. La estructura β^* comprende una serie de fases que se pueden presentar de acuerdo a la composición del cuproaluminio y a la velocidad con que se enfria. La Figura No. 5 muestra las fases metaestables obtenibles por enfriamientos más rapidos que en condiciones de equilibrio. las fases β' , $\beta'1$, $\beta 1$ y γ' se representan como β^* y se obtienen a partir de beta.

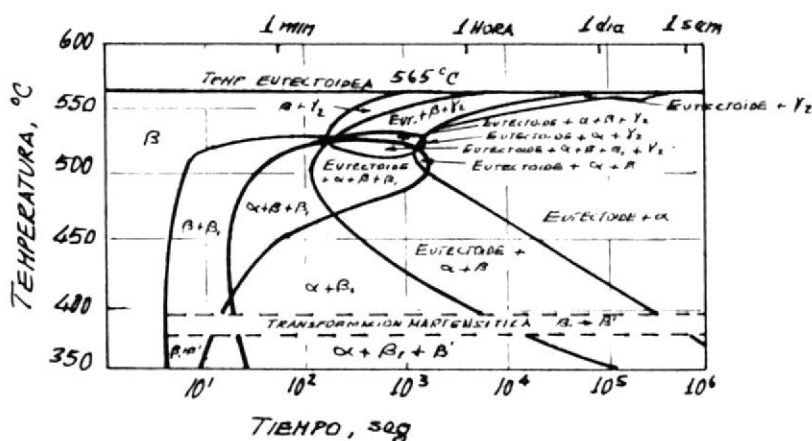


Figura No. 8. Diagrama de Transformación. Aleación Cu-12%Al. (Ref. 8)

El diagrama de transformación de la Figura No. 8 muestra las fases que se pueden obtener, con las velocidades de enfriamiento requeridas en una aleación binaria al 12 % de aluminio. Igual la Figura No.9 pero para una aleación ternaria con 3 % de níquel.

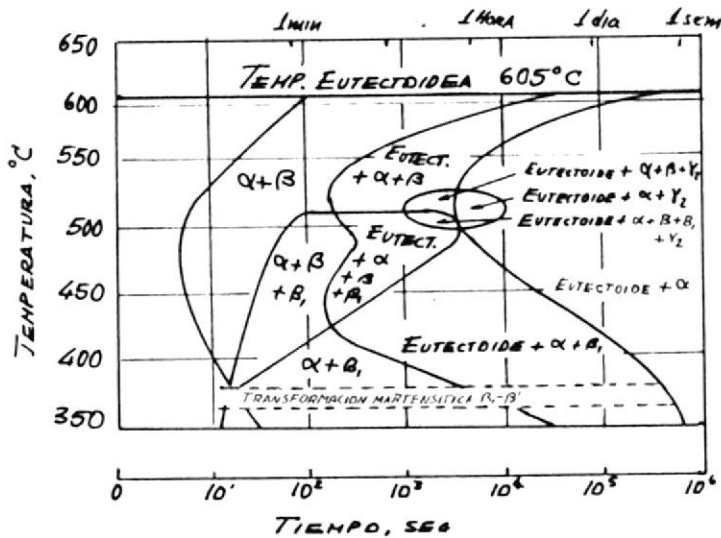


Figura No. 9. Diagrama de Transformación. Aleación Cu-12%Al-3%Ni. (Ref.8)

El níquel actúa como estabilizador de la fase beta, favoreciendo la transformación martensítica. El hierro, en cambio, actúa como estabilizador de la fase alfa favoreciendo la transformación bainítica. por lo tanto, aquellas aleaciones que contienen 10.5%Al y 5% de hierro, y aún las que tienen 5% de hierro y 5% de níquel no se pueden transformar totalmente en martensita, lo que si sucede con aquellas aleaciones que sólo contienen 5% de níquel, pero no hierro.

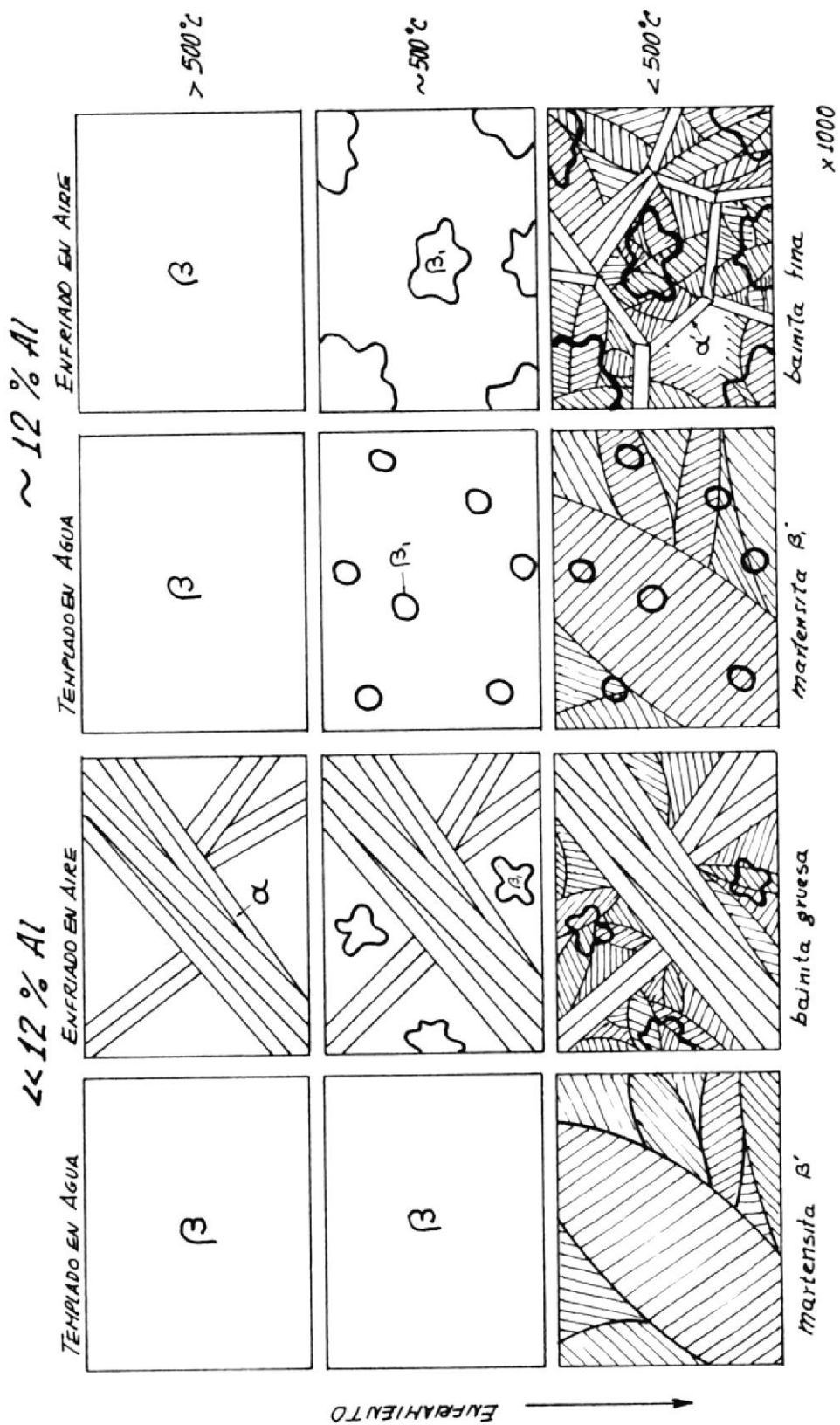


Figura No. 11. Esquema de la formación de bainita y martensita en las aleaciones Cu-Al. (Ref. 1)

TRANSFORMACION PROEUTECTOIDE Y EUTECTOIDE.

En aquellas aleaciones que tienen, en estado de equilibrio, más del 50% la fase alfa proeutectoide es prácticamente imposible evitar la precipitación de este durante el temple. Tanto esta fase alfa como el eutectoide laminar alfa + kappa III a menudo tienen estructura Widmanstätten y es frecuentemente interpretada como martensita.

El eutectoide binario alfa + gamma 2 se forma por un enfriamiento muy lento y es mayormente globular o sin forma específica. Con una velocidad de enfriamiento superior a 50°C por minuto la transformación eutectoidea es bloqueada totalmente (Ref. 12). No es conveniente su presencia en la estructura de la aleación por reducir las propiedades mecánicas de la aleación y ser más susceptible a la corrosión.

En la Figura No. 12 se presenta un diagrama de transformación por enfriamiento de una aleación Cu-10.5Al-4.8Fe. En el se puede predecir la estructura resultante en una placa enfriada en diferentes medios de enfriamiento. Puede notarse que cuanto más gruesa la placa es más lento el enfriamiento y por lo tanto más probable la formación del eutectoide alfa + gamma 2.

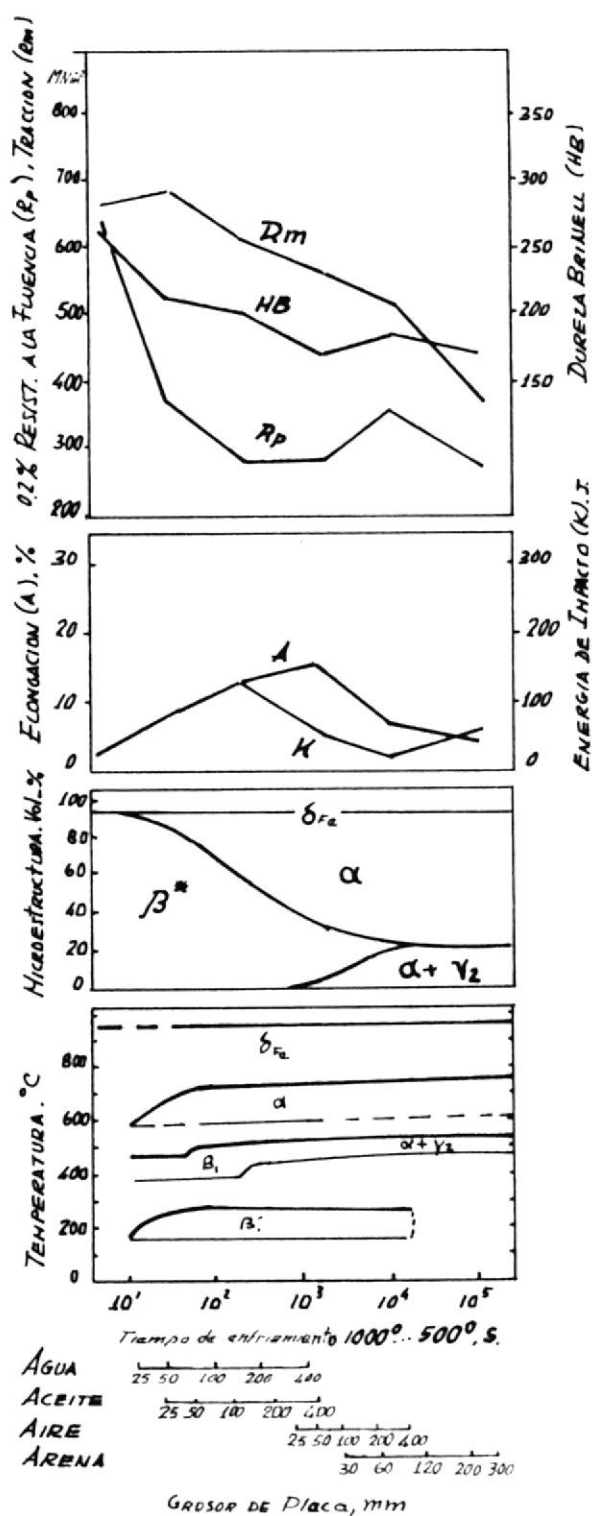


Figura No. 12. Diagrama de transformación por enfriamiento de una aleación Cu-10.5%Al-4.8%Fe. con tratamiento de solución por una hora a 1000°C. (Ref. 1).

1.4. TECNOLOGIA DE FUSION.

Los cuproaluminios complejos pueden ser fundidos en hornos calentados por energía eléctrica, a gas, a diesel o por cualquier otro medio, siempre y cuando el horno tenga capacidad de calentamiento rápido y control de la atmósfera. El material debe permanecer el menor tiempo posible en el horno para evitar absorción de hidrogeno, oxidación y vaporización del metal. Debe preferirse aquellos hornos donde la menor proporción de la superficie del metal sea expuesto a la atmósfera del horno.

En todo caso resultan más convenientes los hornos de inducción eléctrica, luego los hornos de crisol calentados a gas natural, y finalmente los calentados con diesel. No son convenientes los hornos de llama abierta porque exponen demasiada superficie del material a la atmósfera del horno. Sin embargo, con la correcta utilización de fundentes y desgasificantes su uso es factible.

ATMOSFERA DEL HORNO.

Determinar que tipo de atmósfera debe mantener el horno en la fusión del cuproaluminio no es algo definido. La presencia de llama oxidante da lugar a que el material se oxide, sobre todo el aluminio, con la consiguiente incertidumbre en la composición final. Por otro lado la llama reductora contiene vapor de agua del cual el hidrogeno es absorbido por el metal fundido. La solubilidad del hidrogeno en el cobre crece con la temperatura de 1.5 a 10 ml/100 gr de metal entre 1000 y 1300°C. (Figura No. 13). Al solidificar el metal, este lo hace con más rapidéz que

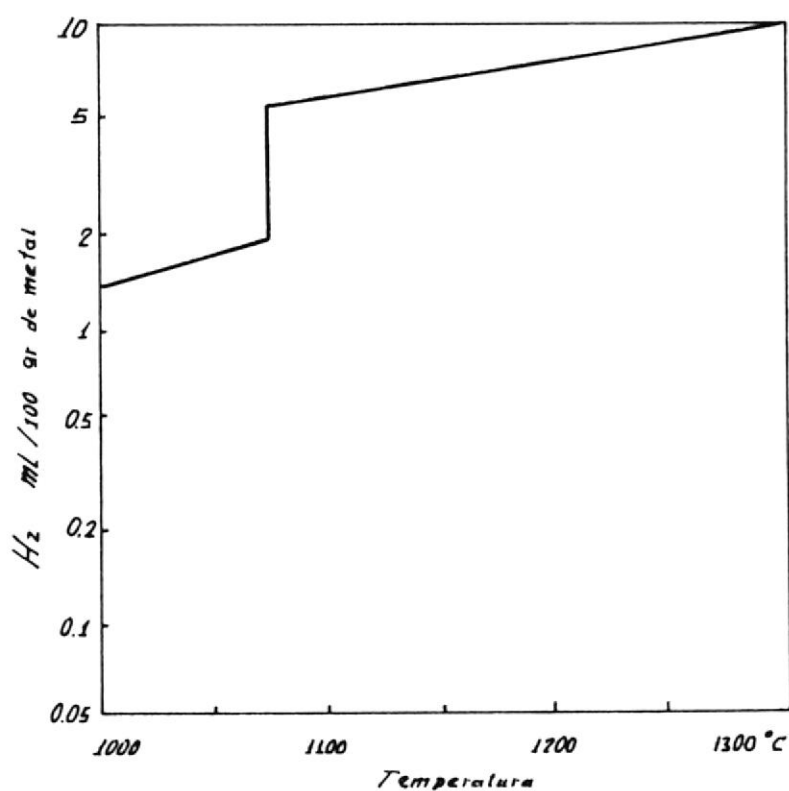


Figura No. 13. Solubilidad del Hidrogeno a Presión Atmosférica en el Cobre.

(Ref. 16).

el hidrogeno para salir, quedando atrapado en forma de burbujas o poros dentro del metal.

Para evitar la absorción de gases durante el fundido del cuproaluminio se recomienda mantener una llama oxidante en aquellos hornos calentados a gas o diesel, aunque la presencia constante del exceso de aire signifique grandes pérdidas por la oxidación del aluminio. En este caso es recomendable no romper la fina película de óxido de aluminio que se forma en la superficie de la colada. Esta película cubre el metal e impide continuar la oxidación.



En todo caso, el cuidado que se tenga con la atmósfera del horno mucho depende del equipo con que se cuente. En los hornos de llama abierta o calentamiento directo, donde es mayor la proporción de superficie del metal con relación a su volumen, es necesario tener todo el cuidado necesario para evitar la absorción de hidrógeno y también la oxidación.

Hay dos maneras de proceder con respecto a la atmósfera que debe prevalecer en el horno para fundir cuproaluminios: La una requiere que la fusión se realice con atmósfera reductora, esto es, con exceso de combustible sobre el aire. De esta manera se previene la pérdida del aluminio por oxidación. Pero antes de retirar la colada, esta debe ser gaseada con nitrógeno, o ser sometida a una atmósfera fuertemente oxidante del horno, o desgasificada de alguna otra forma.

La otra forma de proceder, es por el contrario, manteniendo una llama levemente oxidante, esto es, con exceso de aire sobre el combustible. Una llama oxidante tiene coloración verdosa con bordes amarillos. Las pérdidas por oxidación deben considerarse cargando más aluminio del requerido y mezclando material de reciclaje con material nuevo. Con este tipo de llama se minimiza la posibilidad de absorción de gases por el metal.

En los hornos de llama abierta es recomendable practicar siempre algún proceso de desgasificado. En los hornos de crisol se recomienda mantener siempre la llama ligeramente oxidante porque la superficie expuesta es pequeña y la pérdida por oxidación es baja.

Las pérdidas de aluminio durante la fusión no son fácilmente predecibles y mucho depende de la temperatura de la colada como del tiempo que permanezca el aluminio en ella. En prácticas de fusión de aleaciones de aluminio se consideran pérdidas de 3% por oxidación (Ref. 20). En prácticas de fusión de bronce se consideran pérdidas de 0.3% de aluminio. Pero cuando las prácticas no son realizadas con el debido cuidado estas pérdidas pueden ser muy altas.

CARGA DEL HORNO.

La correcta carga de los materiales en el horno no solo influye en las pérdidas de metal en la aleación, sino que puede evitar daños físicos a los equipos y operarios, pues el cobre en estado líquido es un serio riesgo de explosión si este entra en contacto con agua.

Los constituyentes del cuproaluminio complejo tienen puntos de fusión diferentes, y reaccionan en forma diferente con la atmósfera del horno. El exceso de temperatura y tiempo de permanencia en el horno trae como consecuencia pérdidas de aluminio y cobre por oxidación y evaporación. Esto resulta catastrófico en la aleación final puesto que las propiedades de los cuproaluminios complejos varían mucho con la composición química.

La introducción de metal frío en la colada puede llevar consigo humedad. La humedad dentro de la colada reacciona con el cobre e inmediatamente explota, arrojando el metal líquido por los aires.

Para reducir pérdidas la carga inicial debe consistir de material con la menor proporción de superficie a volumen, es decir, preferiblemente en lingotes, jamas, virutas, alambres, láminas o piezas pequeñas. Si es necesario usar piezas pequeñas, como viruta, estas deberán introducirse en la colada ya líquida.

Para evitar riesgos de explosión por causa de la humedad en las cargas, todo material o equipo (como agitadores o termómetro) que se vaya a introducir a la colada debe ser precalentado y eliminar cualquier posibilidad de introducir humedad. Esta práctica además reduce el tiempo de permanencia del metal en el horno.

Si se funde material viejo para reciclar, no se debe cargar más del 50% de este, para poder tener un control razonable de la composición. Es preferible siempre trabajar con materiales bien dosificados y con composición conocida para evitar las impurezas. Entre las impurezas nocivas se conocen:

- El estaño y el zinc, en proporciones de más de 0.2% y 1% respectivamente, que alteran la resistencia a la corrosión.
- El plomo, preferiblemente debe mantenerse bajo el 0.1%.
- El magnesio, que hasta en proporciones de 0.01% tiene efectos perjudiciales contra la ductilidad.
- El fósforo que en proporciones de hasta 0.01% puede traer problemas de fragilización en caliente.

Materias Primas.

Se debe usar cobre refinado, del que se usa para fabricar conductores electricos, en barras o lingotes preferentemente. El aluminio es preferible introducirlo en forma de aleación madre con cobre, en proporción 50%-50%. De igual forma el hierro debe agregarse en forma de aleación madre con cobre y aluminio, en proporción 20% Fe, 20% Al y 60% Cu. O con manganeso, si se requiere de este, en proporción 60% Cu, 30% Mn y 10% Fe. El níquel debe añadirse en estado de cuproníquel en pequeños pedazos y exactamente dosificados. Se puede utilizar desperdicios de fabricación, como los tubos de condensadores de 70Cu-30Ni. Si no se debe usar un cuproníquel de 50 ó 30% de níquel, triturado en pedazos del grosor de un cubo de 3 cm. de lado.

De manera general es preferible no tener que elaborar las aleaciones madre, pero si es necesario se debe preparar de la siguiente forma: (Ref. 13)

Aleacion Madre Cobre-Aluminio.

De preferencia se prepara en proporción 50%-50%. Se debe fundir simultaneamente el cobre y el aluminio en un crisol de plumbagina. El crisol debe ser precalentado al rojo cereza antes de cargar el material. Se pone primero el cobre, despues, por encima, la cantidad correspondiente de aluminio y se recubre todo con carbon de leña seca.

La fusión debe ser vigilada de cerca para batirla en cuanto se licua la carga; el agitador debe ser de plumbagina. Finalmente se agrega el resto del cobre en el crisol. Cuando todos los metales están líquidos, se bate nuevamente, se retira la escoria y se cuela en forma de plaquetas en lingoteras de fundición.

Aleación Madre Cobre-Aluminio-Hierro.

De preferencia se prepara en proporción 60% Cu-20% Al-20%Fe. El crisol debe estar precalentado al rojo cereza. El hierro se lo debe poner lo más fino posible y con bastante superficie para facilitar su fusión. Puede ser fleje de hierro dulce cortado en pedazos de 50 a 90 mm. de lado. Se pone el hierro en el fondo del crisol, luego el aluminio y después el cobre. Se recubre todo con carbón de leña seca. Se debe avivar fuertemente el fuego, la fusión es larga.

Cuando la primera carga desciende se agrega el resto del cobre. Cuando se han fundido todos los metales se bate energicamente la colada con agitador de plumbagina y sin sobrecalentar la aleación se cuela en lingoteras en placas de manera que la solidificación sea rápida y se evite la segregación.

Aleación Madre Cobre-Níquel.

Preferentemente se prepara en composición de 30 a 50% de níquel y el resto de cobre. Esta preparación debe quedar excepcional. Debe utilizarse un horno de calentamiento rápido.

La fusión se hace en un crisol de plumbagina. El cobre en lingotes, y el níquel en cubos o bolitas, se cargan simultáneamente al crisol. Siempre el crisol debe estar precalentado al rojo cereza. La fusión debe efectuarse en llama ligeramente oxidante con el siguiente fundente:

- Bióxido de Manganeso.....50%
- Carbonato de Sodio.....20%
- Arena Silicea30%

A medida que la carga descende, el resto del níquel y del cobre se añaden al horno. Y cuando se ha fundido todo, se introduce 0.1% de magnesio (Ref.16) en barra, a manera de desoxidante, hasta el fondo del crisol. Con el mismo propósito se puede utilizar 0.2% de manganeso (Ref. 13), o algún desgasificante de marca para este propósito. Luego se bate enérgicamente y después de retirar la escoria se cuela en plaquetas en las lingoteras o como granalla dentro del agua.

Aleación Final

Para obtener la aleación final la carga del crisol debe ser calculada con exactitud. De ser posible constituir las cargas con 50 a 70% de desechos de la misma composición, cortadas suficientemente menudas y bien limpias, provenientes preferentemente de una fabricación idéntica o análoga, pero de composición bien definida.



Al menos el 30% de la carga deberá ser de metales nuevos, de los cuales alrededor del 1% será de aluminio a fin de añadir esta proporción al final de la fusión.

Se debe precalentar el crisol al rojo cereza, luego se carga el crisol metiendo los metales sin rebasar el borde en el siguiente orden:

Primero un poco de cobre en el fondo del crisol, después la cantidad necesaria de aleación para incorporar toda la cantidad de hierro calculada. Después los desperdicios, el cobre y al final la aleación aluminio-cobre. Se debe mantener llama ligeramente oxidante, esto es, verde con bordes amarillos. Cualquier otro material que sea agregado después de la primera carga deberá ser precalentado sea con los gases de escape del horno o sobre su tapa.

El cuproníquel y el manganeso, de ser requeridos por la aleación, se deben cargar después del resto de los otros constituyentes, salvo la pequeña cantidad de aluminio reservada para el final cuando la carga esté completa y enteramente líquida.

Antes de colar debe determinarse si es necesario desgasificar. Esto puede hacerse colando una barra en molde de enfriamiento rápido y observando el rechupe que se forma. En condiciones normales de temperatura y composición el cuproaluminio complejo forma un profundo agujero de rechupe. Cuanto más profundo es este agujero significa que hay menos presencia de porosidad gaseosa.

Temperatura de la Colada

La temperatura de la colada, independientemente del método de fusión que se use, no debe sobrepasar demasiado de la temperatura de vaciado. Aunque la temperatura de vaciado varía con el espesor de la pieza a colar, no se recomienda pasar más allá de entre 28 a 55° C de recalentamiento sobre la temperatura de colado.

Una vez alcanzada la temperatura de vaciado la colada no debe permanecer más tiempo en el horno. Es necesario asegurarse que todos los moldes estén listos antes de empezar a fundir el metal para que no exista pérdida de tiempo en el momento de verter.

El exceso de temperatura y demasiada retención de la colada en el horno significan pérdidas de metal y mayor posibilidad de absorción de gases. Lo que da como consecuencia la incertidumbre en la composición final del material y porosidades que aparecen en el momento de maquinar las piezas.

La Tabla XV muestra las temperaturas de vaciado recomendadas para los cuproaluminios complejos.

TABLA XV. Temperatura de Vaciado de los Cuproaluminios Complejos.

Aleación	Número UNS	Fundiciones delgadas	Fundiciones gruesas
89Cu-1Fe-10Al	C95300	1120 - 1205	1095 - 1150
86Cu-4Fe-10Al	C95400	1150 - 1230	1095 - 1175
81Cu-11Al-4Ni-4Fe	C95500	1230 - 1290	1175 - 1230

Metal Handbook, Vol.15, 1989

Fundentes y Desgasificado

En la fusión de todos los cuproaluminios en general el fundente se agrega con el propósito de evitar la oxidación y pérdida de sus constituyentes, y la absorción de hidrógeno que luego genera porosidades gaseosas en el interior del material. Los fundentes utilizados para tal objetivo pueden ser de dos tipos: aquellos como el vidrio, que forman una capa impermeable sobre la superficie del metal líquido, e impiden la reacción de éste con la atmósfera. Y aquellos como el carbón de leña seca que crea una atmósfera que no perjudica al metal y lo protege.

Sin embargo la capa impermeable que forma el vidrio no permite la extracción del hidrógeno del metal por oxidación. Se usa también sal ordinaria mezclada con un poco de criolita o fluoruro aluminio de sodio, aunque se corre el riesgo de formar una nata líquida en vez de una seca fácil de retirar. También se suele usar cobre al manganeso como desoxidante. Otros recomiendan usar sencillamente sal.

Esta se debe esparcir sobre la superficie antes de retirar la colada del horno. (Ref.10).

Existen además fundentes comerciales para cuproaluminio que permiten obtener muy buenos resultados. Sin embargo el abuso en el uso de fundentes crea costras en las paredes del crisol que pueden ser difíciles de sacar.

Una vez que el metal alcanzó la temperatura de vertido, antes de vaciarlo, es necesario verificar si existe porosidad gaseosa. La porosidad gaseosa se puede determinar con la prueba de la barra de rechupe. Si es necesario el desgaseado éste debe realizarse justo antes del vertido de la colada. La temperatura de sobrecalentamiento para el desgaseado es de alrededor de 28-55% sobre la temperatura de vertido. El desgaseado puede realizarse en una cámara de vacío, con anhídrido carbónico, nitrógeno gaseoso o con pastillas desgaseificantes. Los tres últimos métodos resultan más prácticos y económicos.

Para el desgaseado con nitrógeno se debe introducir mediante una lanza el nitrógeno dentro de la colada, formando burbujas pequeñas y lentamente. El tiempo depende del volumen de la colada.

La desgaseificación con anhídrido carbónico consiste en introducir en la colada, mediante el uso de una campana mármol en trozos pequeños. El mármol se descompone creando CO_2 . La campana debe estar bien protegida y el mármol bien seco (Ref. 13).

Colado

Al momento de colar se lo debe realizar sin pérdida de tiempo. Los moldes, los instrumentos para colar, para desgasificar y desescoriar deben estar listos. Al vertir el metal es importante evitar cualquier turbulencia o salpicadura en el chorro. Se debe vertir suavemente y con flujo homogéneo. Debe mantenerse el borde del crisol lo más cerca posible del molde. Es de mucha utilidad inclinar el molde mientras se vierte el metal.

La turbulencia provoca fácilmente la formación de escoria y queda atrapada dentro de la pieza. La consecuencia es una pieza con defectos interiores y propiedades mecánicas no homogéneas. También el encuentro de dos flujos lentos y fríos puede dar lugar a la formación de escoria entre ellos.

Se utilizan técnicas especiales para la elaboración de los ductos de entrada del metal en los moldes para evitar turbulencias. Se recomienda colocar entradas donde sea posible en el nivel más bajo de la pieza. Tanto las entradas como los ductos distribuidores deben ser preferentemente rectangulares con el lado ancho horizontal.(Fig.No.17). También los sistemas con pozo del alimentador y alimentadores de embudo reducen la turbulencias y ayudan a mantener el flujo continuo.(Figs.No.15 y 16). Otro método es con entrada tipo corneta, como el de la Fig. No 15, que conducen suavemente el flujo.

La característica de los cuproaluminos complejos de formar bastante rechupe requiere que se diseñen los moldes con mazarotas en las secciones más gruesas para asegurar permanente alimentación del metal durante la

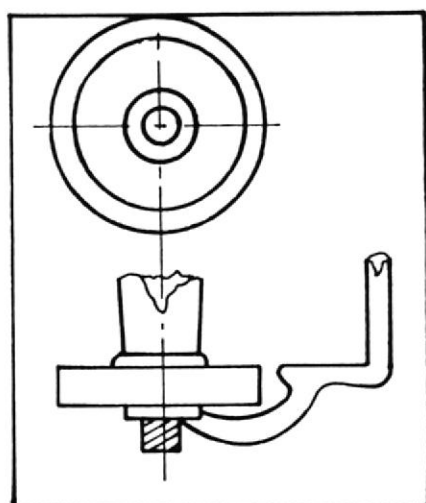


Figura No. 14. Molde con entrada en forma de corneta. (Ref. 10).

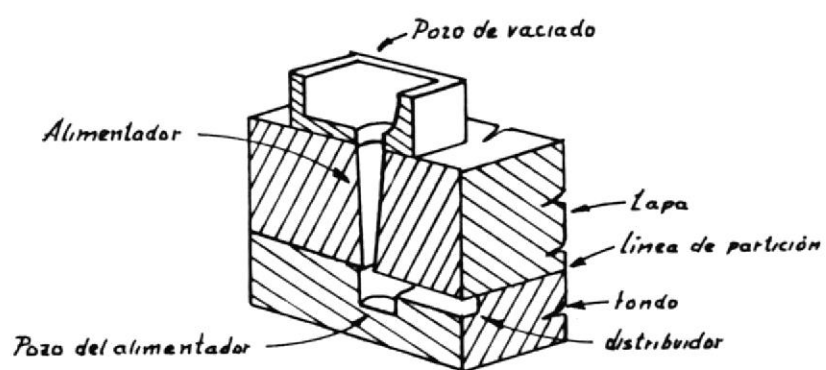


Figura No. 15. Corte de un molde de arena con pozo bajo el alimentador. (Ref. 2)

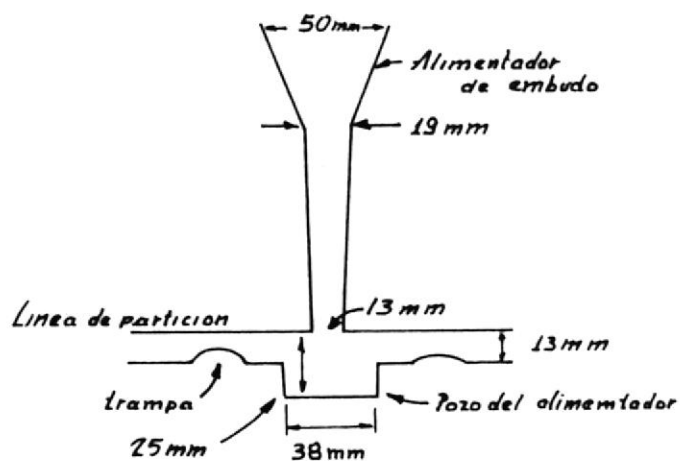


Figura No. 16. Alimentador de embudo, pozo del alimentador y extranguladores para reducir turbulencias. (Ref. 2)

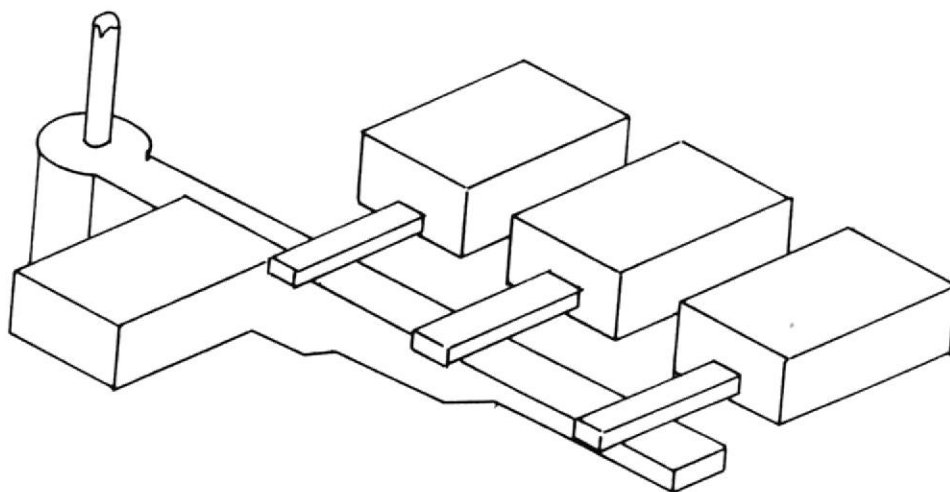


Figura No. 17. Sistema de entrada a cavidades múltiples con distribuidor escalonado. (Ref. 2)

solidificación.(Fig.No.18). Además puesto que las entradas están abajo del molde el metal más caliente estará abajo y el más frío arriba, cuando se requiere que sea todo lo contrario. Para conseguir esto se utilizan enfriadores en las zonas bajas y recubrimientos aislantes en las mazarotas. Además es una buena práctica poner más metal caliente en las mazarotas una vez que éstas se han llenado con el vertido desde abajo.

La necesidad de estas técnicas especiales de entrada y alimentadores da como consecuencia el desperdicio de aproximadamente el 50% de material en las mazarotas, alimentadores, entradas y distribuidores.

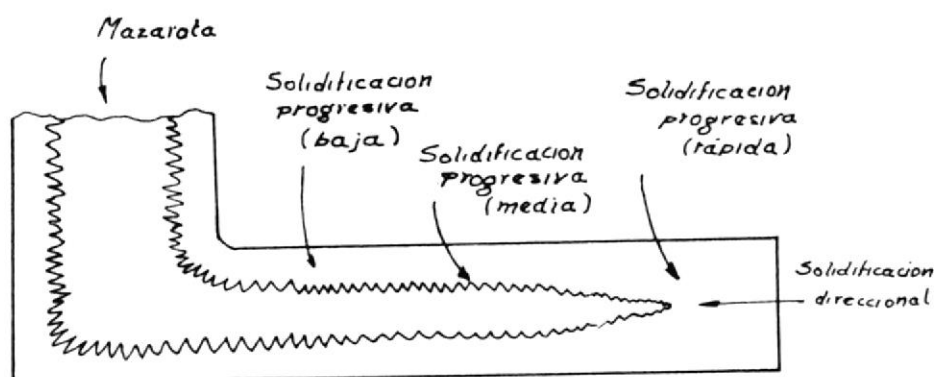


Figura No. 18. Ilustración de la solidificación progresiva. (Ref. 2)

En los moldes permanentes una manera de evitar las turbulencias y formación de escoria atrapada es mediante la inclinación del molde que varía conforme se llena con el metal o con una inclinación constante capaz de eliminar turbulencias (Fig.No.19).

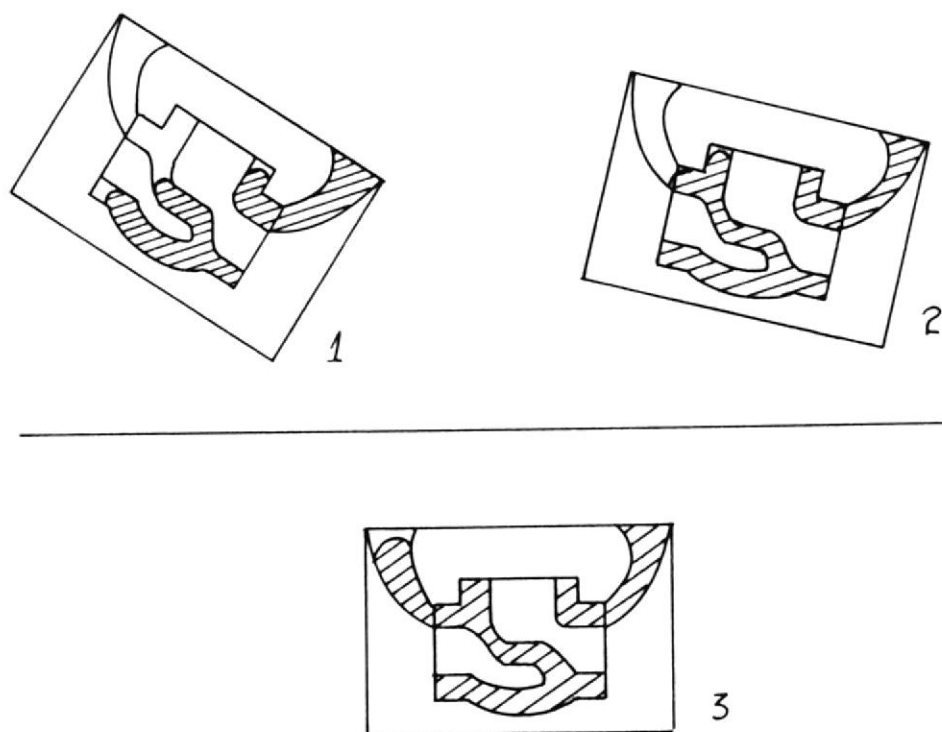


Figura No.19 Inclínación sucesiva del molde durante el vaciado. (Ref. 16).

1.5. NORMAS DE FABRICACION.

En la Parte 6 de las Normas de la ASTM de 1976, bajo la designación B148-71 se encuentra la especificación de la Norma de los Bronces al Aluminio. Su contenido se detalla en tres partes: Materiales y manufactura; Requerimientos químicos; Propiedades mecánicas

MATERIALES Y MANUFACTURA.

La fundición de la aleación se puede realizar por cualquier método apropiado. Si se utiliza lingotes de aleaciones en la fabricación dichos lingotes deberán satisfacer los requerimientos que debe cumplir la aleación a fabricar.

Las fundiciones deberán ser de calidad uniforme y realizadas de tal manera que cumplan con las propiedades mecánicas requeridas.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS.

Las fundiciones deberán conformar los requerimientos de las composiciones químicas descritas en la Tabla XVI.

TABLA XVI. Requerimientos Químicos

Número UNS	C95300	C95400	C95500
Cobre, mínimo	86.0	83.0	78.0
Aluminio	9.0-11.0	10.0-11.5	10.0-11.5
Hierro	0.75-1.5	3.0-5.0	3.0-5.0
Manganeso	---	0.5 Max.	3.5 Max.
Níquel	---	2.5 Max	3.0-5.5
Total de elementos	99.0	99.5	99.5

ASTM Standards, 1976

PROPIEDADES MECANICAS

El material debe satisfacer los requisitos de las propiedades mecánicas descritas en la Tabla XVII.

Los valores de dureza Brinell son únicamente para información y no conforman una base de aceptación o rechazo.

TABLA XVII. Requerimientos Mecánicos.

Número UNS	95300	95400	95500
Colado			
Resistencia Tensil, min., Ksi	65	75	90
Resistencia a la fluencia, min, Ksi	25	30	40
Elongación , en 2 pulg, porcentaje	20	12	6
Dureza Brinell, 3000 Kg. de carga	110	150	190
Con Tratamiento Térmico			
Resistencia Tensil, min, Ksi	80	90	110
Resistencia a la Fluencia, min, Ksi	40	45	60
Elongación, en 2 pulg, porcentaje	12	6	5
Dureza Brinell, 3000 Kg. de carga	160	190	200

ASTM Standards, 1976

1.6. CONTROL DE CALIDAD

La calidad de la aleación está determinada por los siguientes factores:

- Calidad de la materia prima
- Calidad de chatarra
- Control de la atmósfera del horno, y
- Control de la temperatura.

Del control de esos cuatro factores mayormente depende que el material presente la composición pretendida, que no presente inclusiones y falta de homogeneidad en su estructura y que no aparezcan porosidades interiores durante el maquinado.

LA MATERIA PRIMA

Los metales utilizados para las aleaciones deben ser lo más puro posible. En el caso del cobre pueden ser lingotes refinados electrolíticamente o material usado para conductores eléctricos. Igualmente con el aluminio; el más puro es aquel que se usa para conductores eléctricos.

Cuando se utilizan lingotes prealeados es conveniente realizar el análisis correspondiente para comprobar su composición química de vez en cuando.

El chequeo de la fractura del lingote es una prueba muy práctica para determinar si existen inclusiones duras o elementos contaminantes que puedan perjudicar las propiedades del material.

LA CHATARRA

La chatarra para refundir debe ser bien seleccionada y de composición conocida para asegurar la no presencia de elementos como el estaño, zinc, silicio y fósforo que afectan las propiedades del metal.

Cuando se utilizan desperdicios de otras fundiciones del mismo material, esto es, los alimentadores, mazarotas, entradas y distribuidores se debe considerar que son partes donde se retienen las impurezas, escorias y metal oxidado, por lo tanto es conveniente revisarlos y si están muy contaminados mejor no usarlos.

Cuando se refunden los desperdicios de otras fundiciones la composición cambia levemente por las pérdidas de oxidación. Por lo tanto la aleación que se va a realizar podría requerir un complemento de los elementos que más fácilmente se consumen en la fusión; en el caso de los cuproaluminio complejos: el aluminio.

Siempre es conveniente dejar por lo menos el 30% de la carga para completarla con metal nuevo.



CONTROL DE LA ATMOSFERA.

La falta de control en la atmósfera del horno puede dar como resultado un material con porosidades gaseosas interiores y con composición diferente a la esperada.

Se debe mantener una atmósfera ligeramente oxidante para reducir el riesgo de la absorción de hidrógeno de la colada. De cualquier modo es preferible siempre usar algún fundente que proteja la colada de la atmósfera.

La forma más segura de obtener un pequeño exceso de oxígeno es mediante un controlador automático que regule la proporción aire-combustible. Una forma menos segura es la que depende de la pericia del operador al controlar el tipo de llama. No siempre una llama verde es oxidante, si esta es larga y lenta puede ser reductora. La más apropiada es corta y aguda con bordes ligeramente verdes.

Otro método de control, aunque igual de impreciso, pero muy útil, es la prueba del zinc. En ella se coloca un pedazo de plancha de zinc en la llama por alrededor de 5 segundos. Si la superficie se oscurece la atmósfera es muy reductora. Si toma un color entre amarillo pajizo a gris claro la atmósfera es levemente reductora. Si el color no cambia la atmósfera es oxidante. El control más preciso se obtiene mediante un análisis de combustión de los gases de salida del horno. En él se determina los niveles de anhídrido carbónico, monóxido de carbono y oxígeno.

CONTROL DE LA TEMPERATURA

En la temperatura de sobrecalentamiento del metal fundido también depende que el problema de porosidades gaseosas y pérdidas por oxidación se presenten en el material. A mayor temperatura aumenta la solubilidad del hidrógeno en el cobre. Si el metal tiene demasiado hidrógeno disuelto la operación de degaseado puede tomar mucho tiempo e incluso no llegarse a completar.

Es necesario contar con algún tipo de pirómetro para medir la temperatura de la colada. La mayoría son de tipo para sumergir en el metal derretido. El más confiable y fácil de mantener es el que consta de una termocupla introducida dentro de un tubo de acero inoxidable donde la punta de la termocupla está soldada a la punta del tubo y que se sumerge en la colada.

Un control deficiente en la temperatura del metal no solo puede traer problemas en el material sino también en el acabado de las piezas coladas.

La comprobación del control que se ha mantenido durante la fusión debe ser verificada con la prueba de la calidad de la colada. Las pruebas más conocidas y practicadas son tres:

- Prueba de rechupe
- Prueba de fractura, y
- Prueba de vacío o presión reducida.

Prueba de Rechupe

Consiste en colar en molde de arena un cilindro de aproximadamente dos pulgadas de diámetro y cuatro de largo y permitir que se enfríe lentamente. Es preferible proteger la superficie de la muestra para evitar su solidificación prematura. Si la aleación no contiene gases se formará el rechupe profundo desde el centro de la superficie hacia abajo. Si el rechupe es reducido o presenta agujeros de porosidades gaseosas es indicación de que el material tiene gases disueltos. En casos de mucho gas disuelto la muestra presenta levantamiento de la superficie.

Prueba de Fractura

Consiste en analizar la fractura de una muestra de la colada vertida en un molde para ese propósito. De esta prueba se puede analizar el color de la aleación, la textura, la homogeneidad interior, la presencia de inclusiones y de porosidades.

Prueba de Vacío

Es una prueba muy rápida y sensitiva que sirve para determinar el contenido de gas disuelto en el metal líquido. Consiste en la solidificación controlada cuidadosamente de una pequeña muestra de la aleación bajo una presión de vacío parcial. La presión a la cual la burbuja se forma en el metal y revienta en la superficie se toma como la medida de la cantidad de gas que tiene disuelto el metal.

CAPITULO II . DESARROLLO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental aquí realizado se basa en experiencias y recomendaciones obtenidas de la investigación bibliográfica. Se busca desarrollar un método de fabricación efectiva de los cuproaluminios complejos sin la necesidad de equipo sofisticado de análisis y medida y con la ayuda de 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 eficacia del resultado

2.1. METODOLOGIA.

Se podría dividir la metodología en tres etapas:

- 1.- Elaboración de aleaciones madre.
- 2.- Elaboración de aleaciones finales.
- 3.- Determinación del método efectivo de fabricación de cuproaluminios complejos.

ELABORACION DE ALEACIONES MADRE

La elaboración de las aleaciones madre (50% Cu - 50% Al; 20% Al - 20% Fe - 60% Cu; 70%Cu - 30% Ni) empieza desde el lingoteado del cobre a partir de alambre y desperdicios de cobre. Luego, el troceado de los lingotes de cobre, del

aluminio, que se utilizó en forma de alambre, y del hierro y níquel, que se utilizaron en forma de fleje.

Luego se calcularon las cargas de cada metal de acuerdo con la composición de las aleaciones madre. Esto es:

- A.M. Al : 50% Cu - 50% Al
- A.M. Fe : 60% Cu - 20% Al - 20% Fe
- A.M. Ni : 70% Cu - 30% Ni

Una vez calculadas las cargas se pesaron y se procedió a la fundición 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 5gr. aproximadamente de viruta fina. En el caso de la aleación madre de níquel, la viruta se extrajo con un taladro y broca de 1/4", pero en el caso de las aleaciones madre de aluminio y de hierro su alta fragilidad hizo necesario prácticamente moler con martillo y yunque para extraer la muestra a manera de polvo.

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

La Figura No.20 resume las operaciones que se llevaron a cabo en la primera etapa de la fase experimental para cada aleación.

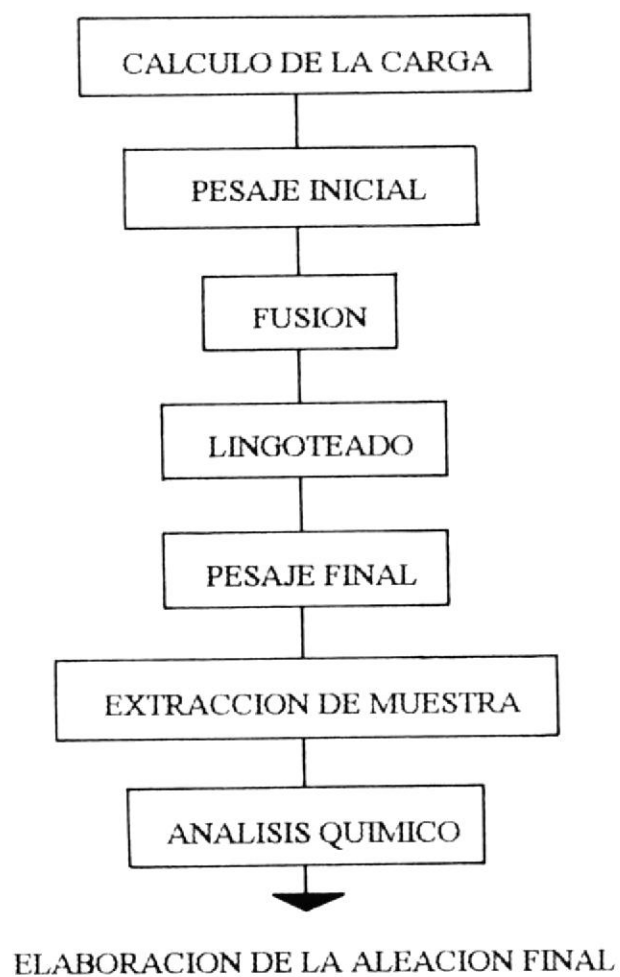


Figura No. 20 Operaciones llevadas a cabo en la elaboración de cada aleación madre para la fabricación de cuproaluminios complejos.

ELABORACION DE ALEACIONES FINALES.

En la elaboración de la aleación final se siguió un proceso doblemente iterativo y más largo. La experimentación se realizó en la fabricación de los cuproaluminios complejos o bronce al aluminio UNS C95400 (85% Cu - 11%Al - 4% Fe) y UNS C95500 (81%Cu - 11% Al - 4% Fe - 4%Ni).

El proceso parte del troceado de las aleaciones madre y de los metales sin alear, cobre y aluminio, para facilitar el posterior pesaje. 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 colaron tres probetas: una para doblado, una para tracción y una para dureza. Se pesó el material remanente y se volvió a fundir agregando aproximadamente 1% extra de aluminio a la colada. Luego se coló nuevamente tres probetas y se pesó el remanente y se volvió a fundir agregando más aluminio... Esto se repitió cuatro veces para obtener cuatro muestras con diferente contenido de aluminio.

Ya obtenidas las cuatro muestras se realizó el ensayo de planta a cada muestra. Luego se extrajo viruta de cada una de ellas y se practicó análisis químico para determinar la composición obtenida.

De los resultados del análisis químico dependía si ya se podía establecer un método efectivo de fabricación de los cuproaluminios complejos, o si era necesario volver a calcular la composición y fundir nuevamente; en cuyo caso se reutilizaría el material rechazado en la fundición anterior

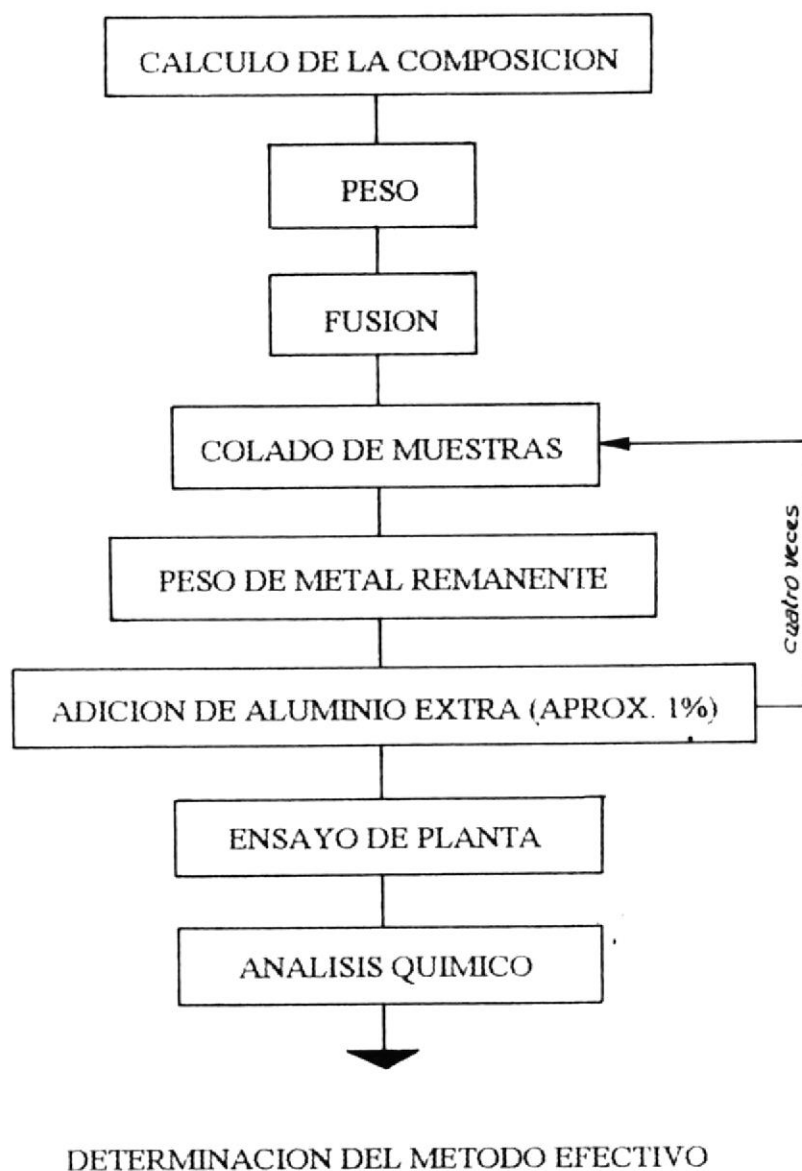


Figura No.21 Proceso Iterativo de Pruebas para la obtención de la aleación final.

La Figura No.21 esquematiza el proceso iterativo de pruebas para la elaboración de la aleación final.

DETERMINACION DEL METODO PARA FABRICAR CUPROALUMINIOS COMPLEJOS.

Esta etapa consiste en analizar los resultados obtenidos en los ensayos de planta y análisis químico, para determinar la cantidad de material que se debe cargar al crisol y las características que debe mostrar en los ensayos de planta. Luego se prueba el método elaborando el cuproaluminio. Finalmente se homologa el material fabricado con la norma respectiva, basándose en la composición química, las propiedades mecánicas, y la microestructura.

A continuación en la Figura No.22 se explican las operaciones que se realiza en la tercera etapa.

La parte más importante en el proceso experimental es la operación de fusión. Tanto las aleaciones madre como las finales se fundieron tomando en cuenta las recomendaciones que se consiguieron de la investigación bibliográfica

En la sección 2.3 se detalla la operación de fusión de cada aleación para obtener las muestras del material fabricado.

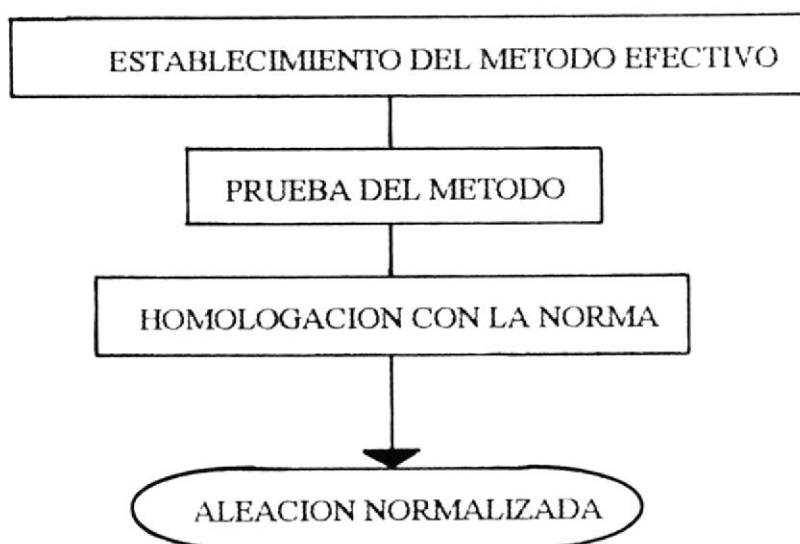


Figura No.22 Determinación y Prueba del método efectivo para la fabricación de cuproaluminios complejos.

2.2. EQUIPO EXPERIMENTAL Y MATERIALES.

Para el proceso de fusión de los cuproaluminios se utilizó los siguientes equipos en el Taller de Producción de la ESPOL :

- Horno de fusión a gas propano. (Figura No.23).
- Crisol de grafito. (Figura No.24).
- Lingoteras de acero. (Figura No.25).
- Moldes de acero. (Figura No.26)
- Termómetro de 2500° F. de capacidad de lectura.
- Tenazas de acero.
- Balanza de 20 Kg. de capacidad.

- Balanza de 2 Kg. de capacidad.
- Sujerador del crisol para verter.
- Agitador de acero.
- Guantes y delantal de cuero y casco protector con visor.
- Horno de tratamiento térmico.
- Desescoriador.

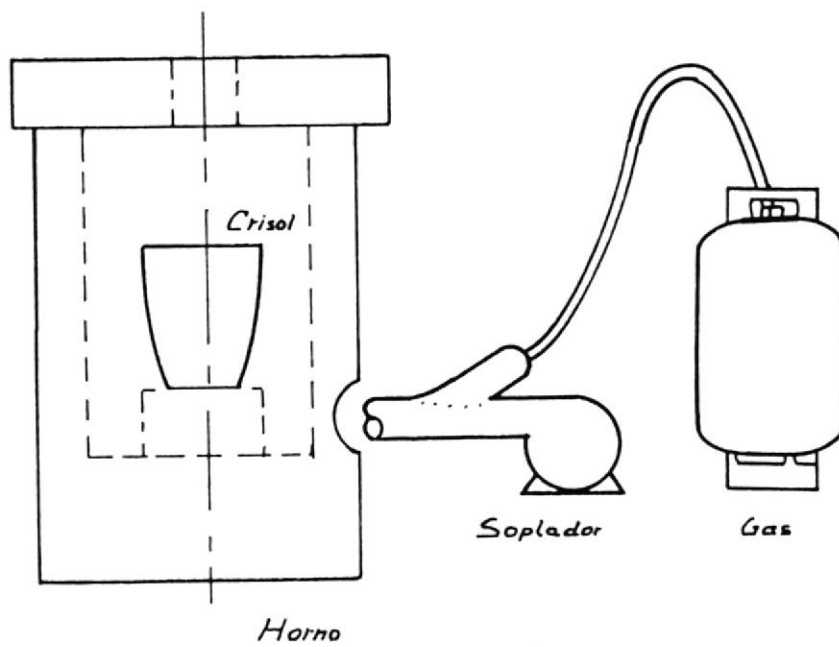


Figura No.23 Horno de Fusión a gas.

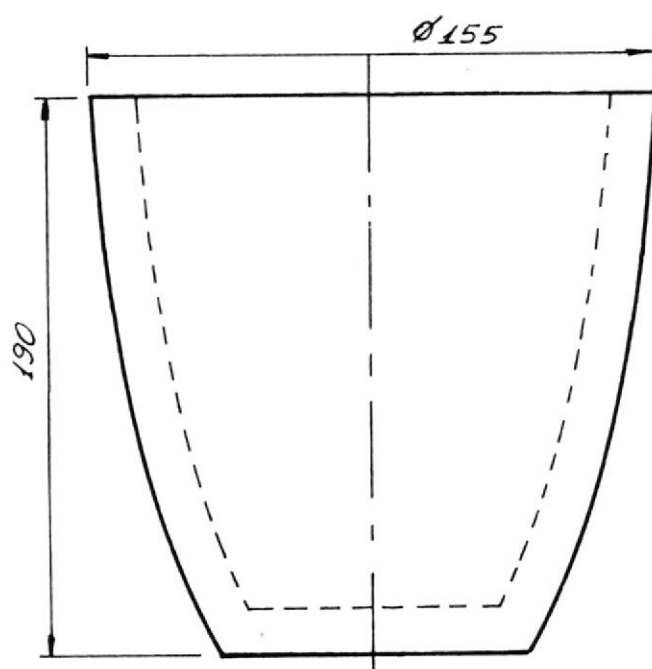


Figura No.24 Crisol de Grafito.

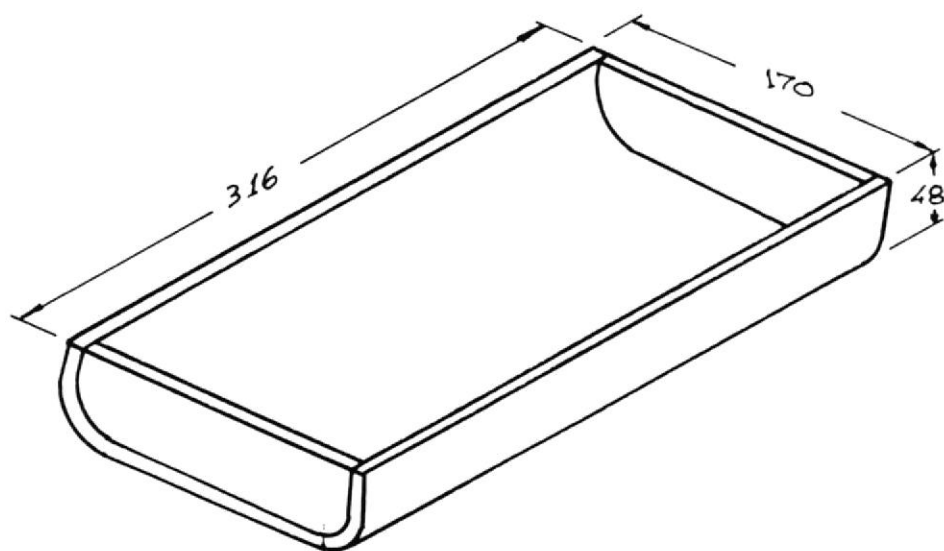


Figura No.25 Lingoteras de Acero

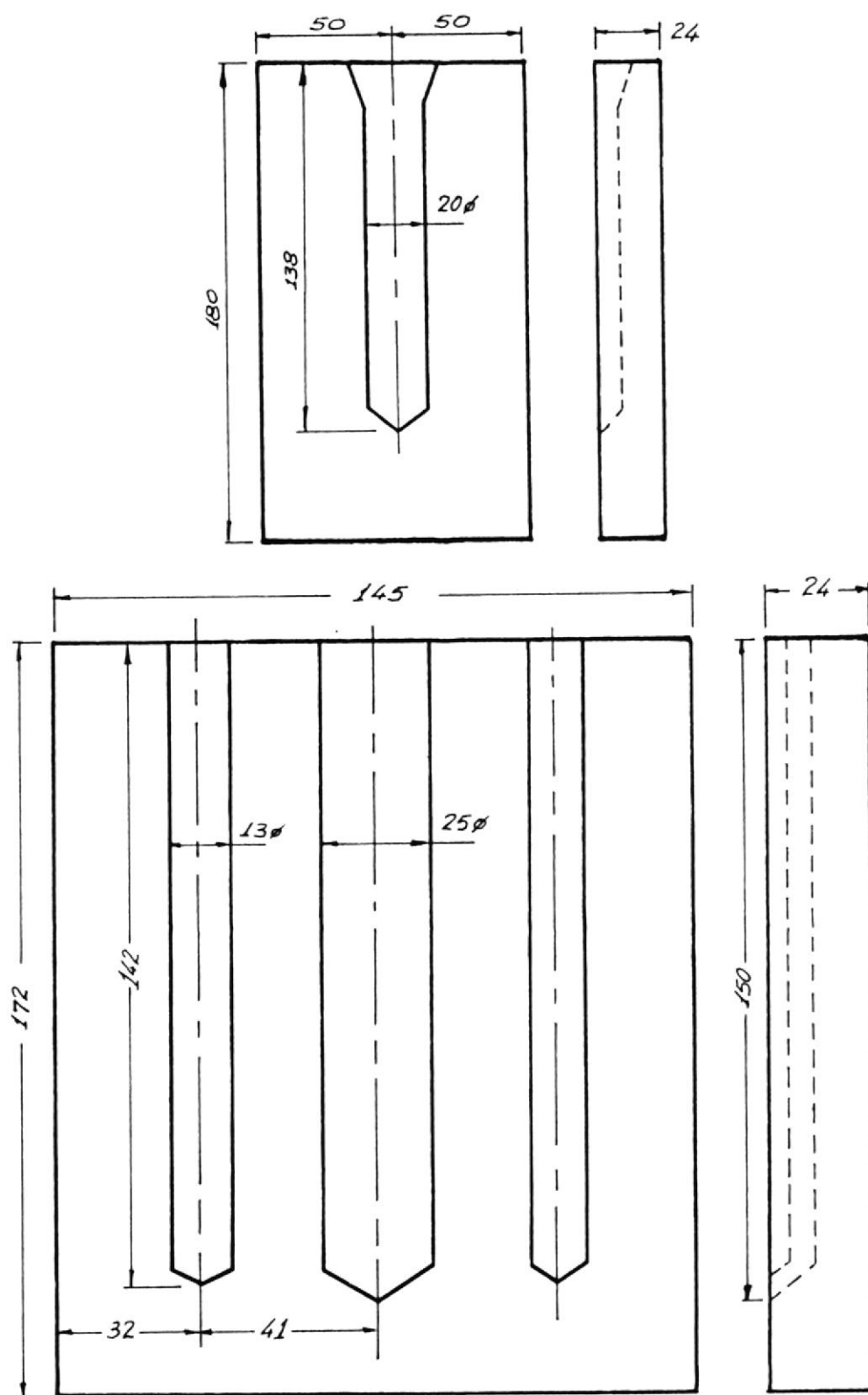


Figura No. 26 Moldes de Acero para las probetas de tracción, flexión y dureza.

La preparación de moldes y materiales requirió el uso de los siguientes equipos:

- Sueda eléctrica
- Tijeras cortalata
- Taladro de columna
- Esmeril
- Fresadora
- Sierra de arco.
- Martillo, yunque y cincel.
- Amoladora
- Torno
- Tornillo de banco

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

- Microscopio metalográfico
- Máquina de ensayo de tracción
- Equipo de análisis químico.
- Pulidora y banco de lijas
- Durómetro Brinell

Los materiales empleados para fundir son:

- Cobre de conductor eléctrico
- Aluminio de conductor eléctrico
- Níquel de matrices de discos fonográficos
- Acero de bajo carbono.

Para la fusión se emplearon los siguientes fundentes:

- Fundex
- Arena silícea
- Carbonato de sodio
- Bióxido de manganeso

- Magnesio metálico
- Grafito en polvo
- Carbón de madera

Para los análisis de Laboratorio se empleó:

- Acido nítrico
- Acido fluorhídrico
- Agua destilada
- Detergente
- Pasta abrasiva de alúmina
- Cloruro Férrico
- Alcohol
- Lijas 180, 280, 360, 500 y 600

2.3. OBTENCION DE MUESTRAS.

El flujo de materiales para obtener las muestras del cuproaluminio UNS C95400 y del UNS C95500 se ilustran en las Figuras No. 27 y 28, respectivamente

PRIMERA FUSION. (AM1, Aleacion Madre Cobre-Aluminio).

La primera fusión que se realizó fue la de la aleación madre 50% Cu , 50% Al . Sin embargo se cargó 20% más de aluminio para prevenir pérdidas.

En el siguiente orden se llevó a cabo la operación:

- Primero se pesó la carga total: $Wt = 1278 \text{ gr}$
- Se calentó el crisol al rojo cereza. Simultáneamente en la tapa del horno se precalentó los materiales de carga.



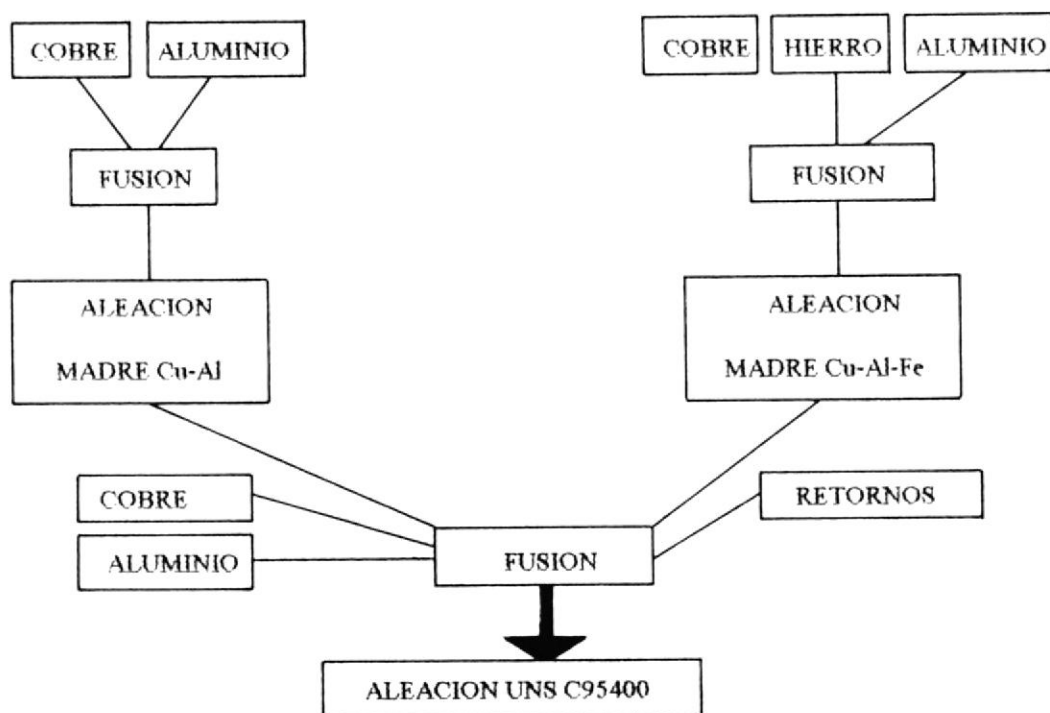


Figura No. 27. Flujo de Materiales en la fusión de la aleación C95400.

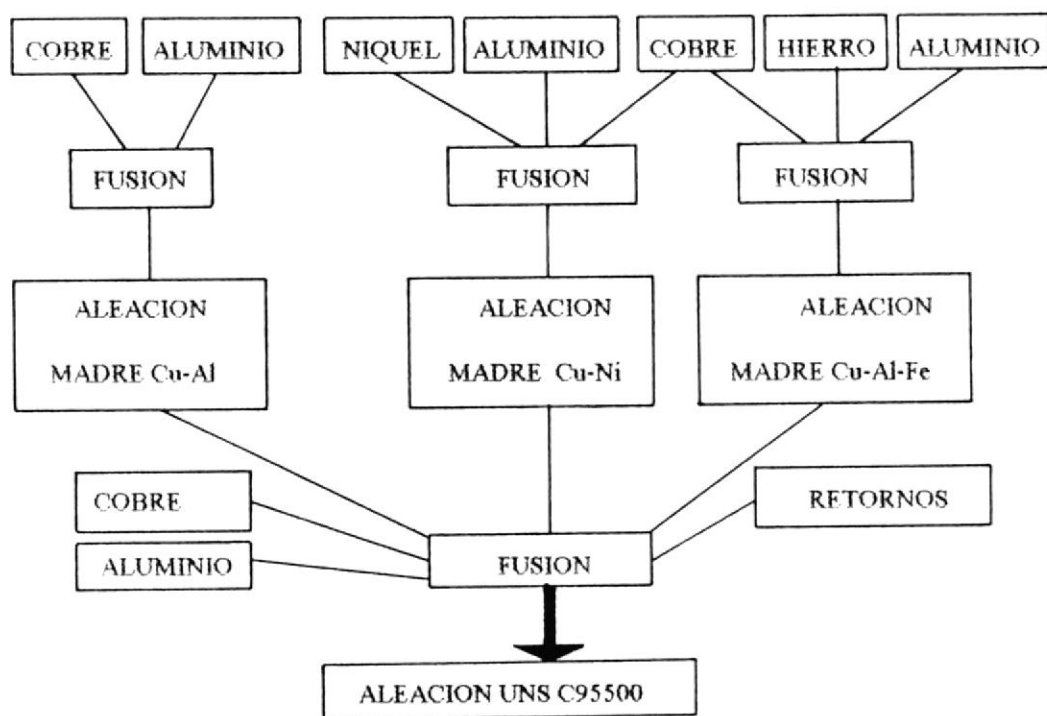


Figura No. 28. Flujo de Materiales en la fusión de la aleación C95500.