

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA APLICACION DE
DIVERSOS TRATAMIENTOS TERMICOS A
ALEACIONES Cu - Al COMERCIALES**

T E S I S

**Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P r e s e n t a

VICTOR MANUEL ROSAS CRUZADO

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TEMARIO

PAG.

I.-	INTRODUCCION	1
II.-	ASPECTOS GENERALES	3
	2.1 Panorama de las Aleaciones de Cobre y sus Aplicaciones	4
	2.2 Tratamientos Térmicos del Cobre y sus Aleaciones	28
	2.3 Los Cuproaluminios	39
	2.4 Tratamientos Térmicos de los Cuproaluminios ..	51
III.-	EXPERIMENTACION	56
	3.1 Elección de los Materiales y preparación de las probetas Metalográficas	57
	3.2 Elección de la secuencia de tratamiento	60
	3.3 Pruebas Mecánicas y Metalográficas	63
IV.-	RESULTADOS	68
V.-	DISCUSION DE LOS RESULTADOS	79
VI.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
VII.-	BIBLIOGRAFIA	87

Los tratamientos térmicos se han venido utilizando desde hace ya mucho tiempo con la misma finalidad en todos los casos, que es la de transformar las propiedades fisicomecánicas de los metales, para aprovechar al máximo las características mecánicas que ofrecen cada uno de los elementos que constituyen la composición del material.

Los tratamientos térmicos tienen como características principales, el que se pueden llevar a cabo en estado sólido, después de que ya se ha manufacturado una pieza determinada, lo cual implica que el proceso prácticamente no altera las dimensiones del material, además de esto no se ve afectada sustancialmente la composición química.

Estos tratamientos se definen como procesos de calentamiento y enfriamiento, en uno o varios ciclos para el cumplimiento y obtención de las características antes mencionadas.

Aunque el proceso se describe de modo muy sencillo, existen muchas variables involucradas en este, y cada una de ellas otorga una gran gama de resultados, y de estos, la selección de las características de operación para una determinada finalidad.

Dichas variantes son tan importantes que con una pequeña diferencia en cantidad entre un proceso y otro, nos pueden dar como resultado datos que pueden calificarse de poco comunes.

En la realidad, existen grandes dudas y pocos datos sobre las -- condiciones de operación de un tratamiento.

Las variables involucradas en estos procesos se pueden describir como :

- COMPOSICION.- La composición química es la variable mas importante para la obtención de resultados, generalmente se manejan en porcentajes.
- TEMPERATURA.- La temperatura a la cual se llevara a cabo el - tratamiento, ya que esta puede provocar o no -- una recristalización en el material, disolución de un elemento en otro, etc.
- TIEMPO.- El tiempo de permanencia es otra variable muy - importante, ya que es la que determina si surge o no transformación alguna.
- OTROS.- Existen otras variables de menor importancia pa ra el proceso, pero que es necesario en ocasio- nes tomarlas en cuenta; estas son: geometría de la pieza, tipo del horno, la atmósfera de este, el medio de enfriamiento etc.

C A P I T U L O I I

A S P E C T O S G E N E R A L E S

2.1 Panorama General de las Aleaciones de Cobre

El cobre se combina con muchos otros metales formando una amplia variedad de aleaciones en las que se conjugan las excelentes propiedades del cobre con las impartidas por los diferentes elementos de aleación, produciéndose balances muy apreciados de gran aplicación en la fabricación de diversos artículos.

Estas aleaciones se clasifican fundamentalmente en dos tipos: el primero se refiere a aquellas aleaciones que son susceptibles a ser trabajadas en frío o en caliente (Laminación, Extrusión, Estirado, etc.) para obtener una forma deseada y el segundo tipo menciona aquellas fundiciones de cobre que se emplean para fabricar formas complejas vaciando el metal fundido en un molde que tiene la forma ya establecida. También se les puede clasificar por el contenido de elementos de aleación; como aleaciones con alto contenido de cobre y cobres debilmente aleados.

2.1.a) Cobres débilmente aleados

En primer término, se denominan cobres débilmente aleados a aquellos materiales de cobre con un contenido no mayor al 1% del elemento (s) aleante (s).

Generalmente son cobres casi al 100% de pureza que requieren ser aleados con algún metal para mejorar alguna propiedad específica sin perjudicar las restantes que pueden ser indispensables para una determinada función; por ejemplo, el cobre ordinario no se puede utilizar durante largos periodos a temperaturas elevadas ya que a partir de 200°C , se produce, después de algunos días, un fenómeno de recristalización llamado "reblandecimiento" que reduce considerablemente las características mecánicas. Este inconveniente se puede solucionar añadiendo al cobre un bajo contenido de plata (0.02-0.12%) obteniendo así un punto de reblandecimiento aproximado de 300°C o sea unos 100°C más alto que en el caso del cobre sólo.

Los productos comerciales de los cobres débilmente aleados son análogos a los de los cobres propiamente dichos : lingotes, alambre, placas y tochos.

De las más importantes se pueden denotar las siguientes -

Cobre desoxidado con Fósforo, con Arsénico

$Cu + Ag + As ; P 0.013 - 0.05\% As 0.15 - 0.5\%$

Cobre tenaz con Plata

$Cu + Ag Ag 0.02 - 0.12\%$

Cobre exento de Oxígeno con Plata

$Cu + Ag Ag 0.02 - 0.12\%$

Cobre con Azufre

$Cu + Ag + S S 0.2 - 0.5\%$

Cobre con Telurio

$Cu + Ag + Te Te 0.3 - 0.8\%$

*Las tablas siguientes muestran algunos datos obtenidos --
acerca de las propiedades de estas aleaciones.*

Material			Cobre desoxidado con fósforo, con arsénico	Cobre tenaz con plata	Cobre exento de oxígeno con plata	Cobre con azufre	Cobre con telurio
Designación			Cu-DPA	Cu LSTP	Cu OFS	Cu S	Cu Te
Magnitud	Unidad	Estado					
Densidad	g/cm ³		8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Punto de fusión	°C		1053-1082	1082	1082	1067-1079	1051-1081
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C ⁻¹		0,000017	0,0000168	0,0000168	0,000 017	0,000 017
Calor específico (20 °C)	cal/g °C		0,092	0,092	0,092	0,092	0,092
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm/cm ² s °C		0,35-0,45	0,94	0,94	0,89	0,88
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	m/Ω mm ²	R ó F	20-26	57,4-58,6	57,4-58,6	55,1	56,8
	% IACS		35-45	99-101	99-101	95	98
Resistividad eléctrica, volumen (20 °C)	μΩ cm	R ó F	4,9-3,8	R 1,74-1,71	R 1,74-1,71	1,81	1,76
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 100 °C)	°C ⁻¹	R ó F	0,0014-0,0018	R 0,00393	R 0,00393	0,0037	0,0039
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	R	12 000	R 12 000	12 000	12 000	12 000
		F	12 000-13 500	F 12 000-13 500	12 000-13 500	12 000-13 500	12 000-13 500
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	R	4 500	R 4 500	4 500	4 500	4 500
		F	4 500-5 000	F 4 500-5 000	4 500-5 000	4 500-5 000	4 500-5 000

R = estado recocido F = estado de fuerza

TABLA 1.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COBRES ALEADOS

Material			Cobre desoxidado con fósforo, con arsénico	Cobre tenaz con plata	Cobre exento de oxígeno con plata	Cobre con azufre	Cobre con telurio
Designación			Cu DPA	Cu-LSTP	Cu-OFS	Cu S	Cu T
Magnitud	Unidad	Estado	(a)	(a)	(a)	(b)	(b)
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	R	22	22	22	23	23
		F	27-34	27-38	27-45	27-35	27-35
Límite elástico	kg/mm ²	R	5	5	5	6	6
		F	18-34	18-34	18-34	23-22	23-32
Alargamiento	%	R	48	48	48	40	40
		F	25-6	25-6	25-6	15-5	15-4
Dureza Brinell		R	45	45	45	50	50
		F	75-105	75-105	75-105	80-100	80-100
Resistencia a la cizalladura		R	16	16	16	14	14
		F	18-20	18-20	18-20	17-19	17-19

R = estado recocido
F = estado de forja

(a) Productos planos
(b) Barra

TABLA II. - PROPIEDADES MECANICAS DE LOS COBRES ALEADOS A TEMPERATURA AMBIENTE

Material			Cobre desoxidado con fósforo, con arsénico	Cobre tenaz con plata	Cobre exento de oxígeno con plata	Cobre con azufre	Cobre con telurio
Designación			Cu DPA	Cu-LSTP	Cu-OFS	Cu S	Cu Te
Magnitud	Unidad	Estado	a 300 °C	a 300 °C	a 300 °C	a 200 °C	a 200 °C
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	R	13	10,5	16,5	—	—
		F	—	24	24	24	25
Límite elástico	kg/mm ²	R	—	—	—	—	—
		F	—	19	19	—	—
Alargamientos	%	R	41	45	44	—	—
		F	—	11	12	23	8

R = estado recocido
F = estado de forja

(a) Planos
(b) Barra

TABLA III. - PROPIEDADES MECANICAS DE LOS COBRES ALEADOS A TEMPERATURA ELEVADA

2.1.b) Aleaciones con alto contenido de Cobre

Existe cierto número de aplicaciones en las cuales no es indispensable una conductividad eléctrica muy elevada, pero donde, por el contrario, son indispensables otras propiedades : resistencia a la tracción, dureza, resistencia a la corrosión, resistencia a la oxidación, etc. Para este tipo de aplicaciones se cuentan las siguientes aleaciones :

Aleaciones Cobre-Cadmio y Cobre-Cadmio-Estaño

La adición de cadmio al cobre, en la proporción de 0.2 a 1.2%, mejora notablemente las características mecánicas, el límite de fluencia, el límite de fatiga y la resistencia al desgaste. El cadmio aumenta sensiblemente la temperatura de reblandecimiento del cobre forjado, de forma -- que es posible efectuar a temperaturas intermedias operaciones de corta duración, como la soldadura blanda y la polimerización de los barnices para aislamiento eléctrico.

Estas aleaciones se utilizan para diversas aplicaciones eléctricas, siendo preferido el cobre con cadmio-estaño cuando se requiere una resistencia a la tracción más elevada.

La conductividad de estas aleaciones varía de 60 a 80% en relación al cobre puro.

Aleaciones Cobre-Cromo

Mientras que la forja es el único medio de aumentar la resistencia mecánica de muchas aleaciones, la adición de 0.5 a 1.2% de cromo permite obtener resultados análogos por un tratamiento térmico de precipitación de una segunda fase rica en cromo.

Este tratamiento es denominado igualmente endurecimiento estructural. Consiste en un temple en agua seguido de un revenido a temperatura media. Después del temple, las aleaciones cobre con cromo son blandas y maleables. El tratamiento de precipitación produce, además, una mejora importante de las características mecánicas.

El sistema cobre-cromo conserva sus buenas características hasta 250°C e incluso hasta 400°C. Se utiliza cuando una conductividad eléctrica o térmica elevada debe ir unida a una buena resistencia a la deformación en caliente: electrodos de máquinas para soldar por resistencia etc.

Aleaciones Cobre Berilio y Cobre-Berilio Cobalto

Se trata de un grupo de aleaciones muy especiales cuyas propiedades difieren completamente de las del cobre. Su conductividad eléctrica es bastante baja (17 a 30% IACS) pero presentan las siguientes ventajas : alta resistencia mecánica, sobre todo después de haber sufrido un tratamiento térmico de precipitación; excelente resistencia a la oxidación en caliente y a la corrosión bajo fatiga; resistencia al desgaste y al choque, sin producir chispas; presenta una buena facilidad de trabajado en estado blando.

Los cupro-berilios conservan sus características mecánicas hasta 300°C. Y estas no disminuyen de un modo relativamente brusco hasta por encima de los 350°C; sin embargo, estas características son aún superiores a las de las otras aleaciones de cobre calentadas a la misma temperatura.

Cuando se requiere una conductividad eléctrica un poco mejor (50% IACS), se puede recurrir a una aleación cobre - berilio con alto contenido de cobalto, cuyas características mecánicas son un poco inferiores a las de las aleaciones de más alto contenido de berilio. Por el contrario esta aleación soporta temperaturas más elevadas.

Una de las características más importantes de las aleaciones cobre-berilio es su módulo de elasticidad mucho menor que el de los aceros de igual resistencia mecánica. Este hecho permite acumular más energía de deformación en el mismo volumen y es el motivo del éxito de las aleaciones cobre-berilio en la fabricación de piezas que requieren trabajar bajo grandes esfuerzos.

Aleaciones Cobre-Níquel-Silicio

Sus características principales son : buena resistencia - mecánica, amagnetismo y conductividad eléctrica relativamente elevada, cuya magnitud relativa, se puede adaptar a la aplicación requerida variando la composición de la aleación o bien con el uso de tratamientos térmicos.

Aleaciones Cobre-Silicio-Manganeso

Esta aleación, muy fácilmente soldable, presenta propiedades mecánicas superiores a las del cobre y tiene además, excelente resistencia a la corrosión, lo que justifica su frecuente empleo en aplicaciones navales, hidráulicas, mecánicas y químicas.

Sus propiedades tanto físicas como mecánicas son mostradas en las siguientes tablas, de las cuales se puede extraer lo siguiente : la tabla de propiedades físicas nos muestra que las aleaciones con berilio y cobalto ofrecen una conductividad eléctrica más alta, con la aplicación de un tratamiento de precipitación.

De la tabla de propiedades mecánicas se nota que para las aleaciones de cobre con cromo, cobre con berilio-cobalto y el cobre con níquel-silicio, se muestran dos series de

Material			Cobre con cadmio	Cobre con cadmio-estaño	Cobre con cromo	Cobre con berilio	Cobre con berilio	Cobre con cobalto-berilio	Cobre con níquel-silicio	Cobre con silicio-manganeso
Designación			CuCd1	CuCdSn	CuCr ⁽¹⁾	CuBe11,7CoNi ⁽¹⁾	CuBe2CoNi ⁽¹⁾	CuCo2Be ⁽¹⁾	CuNi2Si ⁽¹⁾	CuSi3Mn1
Propiedades	Unidad	Estado								
Densidad	g/cm ³		8,9	8,9	8,9	8,25	8,25	8,75	8,9	8,55
Intervalo de fusión	°C		1010-1080	980-1070	1070-1080	870-990	866-985	1000-1075	1040-1060	910-1030
Coefficiente de dilatación térmica (20-100 °C)	°C ⁻¹		0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000018	0,000016	0,000017
Calor específico (20 °C)	cal/ g °C		0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm/ cm ² s °C		0,75-0,85	0,50-0,60	0,40-0,82	0,20-0,31	0,20-0,30	0,30-0,60	0,20-0,45	0,085
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	% IACS	R F	80-92 75-87	60-75 55-70	(a) 35-85	(a) 18-32	(a) 17-30	(a) 22-52	(a) 17-40	
	m/Ω mm ²	R F	46-53 44-50	35-44 32-41	(a) 20-49	(a) 10-19	(a) 10-17	(a) 13-30	(a) 10-23	4
Resistividad eléctrica, volumen (20 °C)	μΩ cm	R	2,2-1,9	2,9-2,3	4,9-2,0 (a)	9,6-5,4 (a)	70-5,7 (a)	7,8-3,3 (a)	10-4,3 (a)	25 (a)
		F	2,3-2,0	3,1-2,5						
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (10-100 °C)	°C ⁻¹	R	0,0031-0,0036	0,0024-0,0030	0,0014-0,0035(a)	0,0007-0,0013(a)	0,0007-0,0012(a)	0,0009-0,0020(a)	0,0007-0,0016(a)	0,0003(a)
		F	0,0030-0,0034	0,0022-0,0028						
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	R	12 700	12 700	11.000-15.000	12 000-13 000(a)	12 000-13 000(a)	11 000-13 000(a)	14 000(a)	10 500(a)
		F	13 000	13 000	11.000-16.000					
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	R	4 700	4 700	4 100-5 900(a)	4 100-5 000(a)	4 400-5 000(a)	4 100-4 800(a)	5 000(a)	3 900(a)
		F	4 800	4 900						

(1) Los valores indicados en primer lugar se refieren al estado "en solución" (salvo para el intervalo de fusión, evidentemente). Los valores indicados en segundo lugar se refieren al estado de precipitación.
(a) Los valores indicados son válidos para cualquier estado.

R = estado recocido
F = estado de forja

TABLA IV.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE COBRE

Material	Cobre con cadmio		Cobre con cadmio-estaño		Cobre con cromo		Cobre con berilio	Cobre con cobalto-berilio	Cobre con berilio	Cobre con níquel-silicio	Cobre con silicio-manganeso	
	Designación	Estado	CuCd1	CuCdSn	Estado	CuCr1	CuBe1CoNi	CuBe2CoNi	CuCo2Be	CuNi2Si	Estado	CuSi3Mn1
Propiedades	Unidad	Estado	CuCd1	CuCdSn	Estado	CuCr1	CuBe1CoNi	CuBe2CoNi	CuCo2Be	CuNi2Si	Estado	CuSi3Mn1
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	R1	25	26	A	24.42	48-118	50-127	31-63	30-58	R1	40
		R2	26	28							R2	40
		F1	34-42	45-52	B	30-55	52-133	55-142	36-76	44-75	F1	50-65
		F2	52-70	58-75							F2	55-85
Límite elástico	kg/mm ²	R1	8	9	A	10-30	20-100	23-110	12-58	12-52	R1	16
		R2	8	10							R2	16
		F1	27-38	40-49	B	18-51	37-120	40-127	28-70	40-65	F1	35-60
		F2	48-69	55-74							F2	42-86
Alargamiento	%	R1	45	45	A	30-15	50-3	50-3	25-3	35-14	R1	55
		R2	35	35							R2	45
		F1	20-7	7-3	B	14.2	30-1	30-1	12-3	12-10	F1	30-10
		F2	3-1	2-1							F2	13-2
Dureza Brinell		R1	55	55	A	65-110	95-350	105-375	56-180	70-170	R1	75
		R2	-	-							R2	-
		F1	100-120	120-140	B	110-160	135-385	135-410	105-220	120-190	F1	130-180
		F2	-	-							F2	-
Resistencia a la cizalladura	kg/mm ²	R1	18	19	A	-	-	-	22-33	-	R1	30
		R2	19	21							R2	30
		F1	24-27	31-34	B	-	-	-	25-44	-	F1	35-42
		F2	28-35	32-39							F2	32-44

A = Estado intermedio entre solubilización y solubilización seguida de endurecimiento por precipitación

B = Similar a A, excepto que ha habido deformación en frío antes o después del endurecimiento por precipitación.

R1 = recocido (chapa, banda para CuCd1 y CuSi3Mn1, barra para CuCdSn)

R2 = recocido (alambre).

F1 = forjado (chapa, banda para CuCd1 y CuSi3Mn1, barra para CuCdSn).

F2 = forjado (alambre)

TABLA V.- PROPIEDADES MECANICAS A TEMPERATURA AMBIENTE DE LAS ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE COBRE

datos. Para estas aleaciones, endurecibles por tratamiento, los valores indicados en primer lugar (A) se refieren a un estado intermedio entre solubilización y solubilización seguida de endurecimiento por precipitación enel que la segunda fase esta casi completamente disueltaen la matriz. En este estado, las aleaciones tienen mediana resistencia a la tracción, pero tienen por el contrario, buena maleabilidad y son fáciles de trabajar. - Los valores citados en segundo lugar, (B), se refieren a un estado similar excepto que ha habido deformación en frío antes o después del endurecimiento por precipitación, con lo que el metal alcanza el máximo de sus características mecánicas.

2.1.c) Los Latones

Los latones son aleaciones a base de cobre y zinc, que contienen de 5 a 46% de este metal y eventualmente varios otros elementos en pequeñas propiedades.

Según su composición, los latones pueden ser moldeados o bien trabajados en caliente o en frío. Son utilizados en forma de chapas, bandas planas o enrolladas, barras de tubos y alambres.

El color agradable de los latones, que varía del rosa al amarillo para contenidos crecientes de zinc, su buena resistencia a la corrosión y su aptitud para los tratamientos superficiales permiten realizar económicamente, objetos de bello aspecto, de larga duración y de mantenimiento fácil.

Las propiedades físicas y mecánicas se muestran en las siguientes tablas. De las principales propiedades mecánicas se puede observar que en estado recocido estas son muy bajas pero que pueden mejorarse mediante un proceso de forja.

Además de esto, sus características mecánicas aumentan de acuerdo al contenido de zinc.

Designación			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn28-30	CuZn33	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad	Estado								
Densidad	g/cm ³		8,85	8,80	8,75	8,65	8,55	8,50	8,45	8,40
Intervalo de fusión	°C		1055-1070	1025-1045	1000-1025	970-1010	910-965	902-940	902-940	895-900
Coefficiente de dilatación térmica (25-100 °C)	°C ⁻¹		0,000017	0,000018	0,000018	0,000018	0,000019	0,000019	0,000019	0,000020
Calor específico (a 20 °C)	cal/g °C		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Conductibilidad térmica (a 20 °C)	cal cm/cm ² s °C		0,56	0,45	0,38	0,33	0,29	0,29	0,30	0,30
Conductibilidad eléctrica volumen (a 20 °C)	m/Ω mm ²	R	32	26	21	19	16	16	15	16
	% IACS	R	56	44	37	32	28	28	26	28
Resistividad eléctrica volumen (a 20 °C)	μΩ cm	R	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	6,6	6,6	6,2
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 100 °C)	°C ⁻¹	R	0,0023	0,0019	0,0016	0,0015	0,0015	0,0016	0,0017	0,002
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	R	13 000	12 700	12 400	12 100	11 700	11 400	11 100	10 400
		F	12 300-13 000	12 000-12 700	11 400-12 400	10 600-12 100	9 900-11 700	9 700-11 400	9 700-11 100	9 600-10 400
Módulo de rigidez (20 °C)	kg	R	4 750	4 650	4 550	4 400	4 150	4 050	4 000	3 900
		F	4 500-4 750	4 400-4 650	4 300-4 550	4 150-4 400	3 100-4 150	3 600-4 050	3 550-4 000	3 500-3 900

R = estado recocido. F = estado de forja.

18

78

18

TABLA VI.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LATONES

Designación			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn28-30	CuZn33	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad	Es- tado								
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	R	27	28	31	32	35	36	36	38
		F	34-43	32-48	34-48	42-57	38-60	39-63	39-63	45-52
Límite elástico	kg/mm ²	R	10	10	13	13	14	14	14	16
		F	24-38	20-42	25-42	30-48	23-55	25-57	25-57	32-45
Alargamiento	%	R	45	48	40	51	57	55	53	40
		F	20-4	30-5	30-10	50-5	40-5	38-2	35-2	25-8
Dureza Brinell		R	65	60	80	80	80	80	80	85
		F	85-120	75-125	85-135	115-155	95-160	100-165	100-165	125-145
Resistencia a la cizalladura	kg/mm ²	R	20	21	23	24	26	27	27	29
		F	24-26	22-29	24-31	29-32	27-33	28-34	28-34	32-34

R = estado recocido
F = estado de forja

TABLA VII:-- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS LATONES A TEMPERATURA AMBIENTE (PLACAS)

Designación			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn28-30	CuZn33	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad	Estado	a - 195 °C	a - 195 °C	a - 195 °C	a - 180 °C	a - 180 °C	a - 195 °C	a - 195 °C
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	R	38	39	43,5	51,5	53,7	—	47
		F	—	—	—	82	72,3	52	61
Límite elástico	kg/mm ²	R	9,6	9,3	11,5	13,2	—	—	—
		F	—	—	—	48,2	—	—	—
Alargamiento	%	R	—	86	83	74	51	—	55
		F	—	—	—	28	10	53	24
Resiliencia	kg/cm ²	R	—	19,4	13,5	13,6	14,2	—	—
		F	—	—	—	2,7	—	—	—

R = estado recocido
F = estado de forja

TABLA VIII:-- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS LATONES A BAJA TEMPERATURA (BARRAS)

Otro medio de aumentar ligeramente las propiedades mecánicas de los latones, es por conducto del temple, de modo - que conserven en frío una dureza adecuada y una plasticidad a temperaturas elevadas.

Algunas de sus características se pueden mencionar, así - por ejemplo : el latón es fácil de trabajar en caliente - y en frío, además de proporcionar alto brillo por pulido, por lo cual tiene grandes aplicaciones en artículos de joyería de fantasía y decorados, en la arquitectura, cartuchería. Por su buena resistencia a la corrosión se utiliza para carcazas y rodetes de bombas hidráulicas, para tubos de intercambiadores de calor, instrumentos musicales etc.

Cuando se requiere mejorar las características físicas ó mecánicas de algún latón en especial, se recurre a la adición de uno o más elementos a los latones simples y -- son denominados entonces latones especiales.

La influencia de los diferentes elementos de adición sobre las propiedades de los latones es muy marcada y existe demasiada incertidumbre sobre las características que otorgan cada uno de estos elementos, lo cual presenta un campo amplio de investigación.

Los elementos aleantes utilizados industrialmente son : estaño, aluminio, manganeso, hierro, níquel, silicio y, en pequeñas proporciones, arsénico.

A excepción del plomo, prácticamente insoluble, y del níquel, totalmente soluble, los demás elementos tienen una solubilidad limitada en el latón, por lo que sólo pueden ser añadidos en pequeños porcentajes para no sobrepasar el límite de saturación.

Algunas de sus aplicaciones más marcadas son :

Latón con aluminio.- Su excelente resistencia a la corrosión explica el empleo generalizado de este latón para los tubos de condensadores y de intercambiadores de calor.

Latón Naval.- Ofrece elevada resistencia mecánica buena - resistencia a la corrosión y además, buena maquinabili-
dad, especialmente el que contiene plomo. Por lo tanto --
son utilizados en piezas maquinadas que deben resistir a la
corrosión, vastagos de válvulas y para placas condensa
dores.

Latón de Alta Resistencia.- Se utiliza para piezas someti
das a grandes esfuerzos y/o desgaste, tales como engrana-
jes, cojinetes para baja velocidad y grandes cargas, heli
ces, etc.

2.1.d) Los Bronces

Las aleaciones conocidas como bronce, son aleaciones de cobre y estaño, con contenidos que varían generalmente - del 2 al 20%. Contenidos de estaño más elevados, del orden de 20 a 25%, se encuentran únicamente en bronce especiales, tales como los utilizados en campanas.

Los bronce contienen frecuentemente otros elementos, tales como fósforo, zinc, níquel y plomo. Se pueden, entonces, distinguir dos familias de aleaciones : bronce binarios y bronce complejos, que contienen un tercer elemento.

Los bronce binarios son llamados también bronce fosforados a causa del contenido residual de fósforo añadido como desoxidante 0.01 a 0.03%.

Los principales broncees binarios son :

Cu Sn 2 (FORJA)

Cu Sn 4 (FORJA)

Cu Sn 5 (FORJA)

Cu Sn 6 (FORJA)

Cu Sn 8 (FORJA)

Cu Sn 10 (FORJA)

Cu Sn 12 (MOLDEO)

Cu Sn 14 (MOLDEO)

Entre los broncees compuestos hay que distinguir los broncees con zinc y los broncees con plomo.

El zinc, mas barato que el estaño, distingue el precio de costo de los broncees. En el metal líquido, el zinc actúa como desoxidante, facilita el desgaseado del baño y mejora la colabilidad.

En la aleación solidificada, el zinc disminuye la dureza y aumenta la maleabilidad del bronce, disminuyendo a la vez sus cualidades de fricción.

El plomo es insoluble en los broncees y se aísla en forma de glóbulos, cuya finura y homogeneidad de distribución, son factores importantes en la calidad de estas aleacio--

nes. Contenidos de plomo inferiores al 7% tienen como efecto principal mejoras de la maquinabilidad y estanqueidad de las piezas coladas. Contenidos de 6 a 30% de plomo permiten resolver la mayor parte de los problemas de fricción en un amplio campo de cargas y velocidades.

Entre los principales broncees complejos, se pueden citar:

Cu Sn 42 n 4 (FORJA)

Cu Sn 102 n 2 (MOLDEO)

Cu Sn 10 Pb 5 (MOLDEO)

Cu Sn 8 Pb 15 (MOLDEO)

Cu Sn 5 Pb 20 (MOLDEO)

Los broncees con hasta 5% de estaño son rosados, con contenido más alto toman un tono dorado, cada vez más oscuro hasta el 15% de estaño y palidecen con contenidos más altos.

Las características mecánicas de los broncees monofásicos aumentan con el contenido de estaño. Estos broncees pueden adquirir mediante forja características relativamente elevadas. Las tablas siguientes muestran las propiedades físicas y mecánicas de los broncees binarios y complejos. (IX y X)

Material		CuSn2	CuSn4	CuSn5	CuSn6	CuSn8	CuSn10	CuSn12	CuSn14
Magnitud	Unidad								
								(No hay Hojas de Datos)	
Densidad	g/cm ³	8,9	8,85	8,85	8,80	8,80	8,80	8,9	8,9
Intervalo de fusión	°C	1000-1080	950-1070	930-1060	900-1050	860-1040	830-1020	820-990	800-970
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C ⁻¹	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,0000185	0,0000185
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm/cm ² s °C	0,35-0,55	0,15-0,28	0,15-0,23	0,11-0,16	0,11-0,15	0,10-0,12	0,14	0,21
Conductividad eléctrica (volumen) (20 °)	m/Ω mm ²	15-29 (a)	8,7-15	7,5-10	6,4-8,7	5,8-8,1	5,8-7	6,5	5
	% IACS	25-50 (a)	15-25	13-18	11-15	10-14	10-12	11,5	8,8
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 20 °C)	°C ⁻¹	0,0013-0,0029 (a)	0,0007-0,0013	0,0007-0,0009	0,0006-0,0007	0,0006-0,0007	0,0006	0,0006	0,0005
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12.500	11.200-12.200	10.800-12.400	9.000-12.000	9.000-11.400	8.400-11.000	9.500	9.200
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4.600	4.150-4.500	4.000-4.600	3.300-4.500	3.300-4.200	3.100-4.100	-	-

TABLA IX:-- PROPIEDADES FISICAS DE LOS BRONCES BINARIOS (BRONCES FOSFOROSOS)

Material		CuSn4Zn4	CuSn10Zn2	CuSn10Pb5	CuSn8Pb15	CuSn5Pb20
Magnitud	Unidad					
Densidad	g/cm ³	8,82	8,8	8,9	9,1	9,2
Intervalo de fusión	°C	975-1045	840-1000	845-1000	875-1025	930-1050
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C ⁻¹	0,0000183	0,0000188	0,0000185	0,000019	0,0000193
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm/cm ² s °C	0,21	0,13	0,14	0,15	0,17
Conductividad eléctrica (volumen) (20 °C)	m/Ω mm ²	11	6	6,5	7	8,5
	% IACS	19	10,5	11,2	12	14,6
Resistividad eléctrica (volumen) (20 °C)	μΩ cm	9,07	16,42	14,7	14,4	11,8
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 20 °C)	°C ⁻¹	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0012
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12200	9200	8700	8200	8000

TABLA X.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS BRONCES COMPLEJOS

2.2.- Tratamientos Térmicos del Cobre y sus Aleaciones

En la elaboración del cobre y sus aleaciones, los fabricantes requieren de la aplicación de ciertos tratamientos térmicos para poder así ofrecer sus productos con determinadas características.

Estos tratamientos son : Homogeneización, recocido, relevado de esfuerzos, tratamiento de solución y endurecimiento por precipitación.

- 2.2.a) Homogeneización.- La homogeneización es un proceso de fábrica que emplea altas temperaturas por periodos prolongados, para eliminar o disminuir la segregación en piezas de fundición que serán destinadas a trabajado en frío o en caliente. En algunas aleaciones de cobre, la difusión y homogeneización son un poco más difíciles y más tardadas. Entre ellas se pueden mencionar : los bronce al estaño, bronce al silicio y cuproníqueles.

Como consecuencia, estas aleaciones son usualmente, sujetas a tratamientos de homogeneización muy prolongados.

El tiempo de homogeneización depende principalmente de la configuración de las piezas y de la forma o metodología con la que pueda realizarse el proceso.

2.2.b) *Recocido.*- La fabricación de algunos componentes con aleaciones de cobre, como la lámina, requieren de un recocido. Las temperaturas comunmente utilizadas para trabajar en frío algunas aleaciones de cobre estan dadas en la siguiente tabla XI.

El recocido es, principalmente, una función de la temperatura del metal y el tiempo de permanencia a la temperatura establecida. El objetivo principal es ablandar el material para que posteriormente sea trabajado en frío, obteniendo así la óptima combinación de ductilidad, resistencia y buena textura superficial.

Para el cobre y sus aleaciones el tamaño de grano es el estandard de prueba para diversas clases de recocido. Comunmente se emplea el ensayo de dureza del tipo Rockwell, junto a la medición del tamaño de grano.

La optimización de las operaciones de recocido involucra el conocimiento de varios factores muy considerables como son : trabajo en frío, tiempo de proceso, atmósfera del horno y el manchado de la superficie.

Una de las variables más importante que debe ser controlada es el tiempo; a medida que varían las condiciones del horno, las dimensiones de éste y del material, el --

TABLA XI

TEMPERATURAS UTILIZADAS PARA EL RECOCIDO DEL COBRE Y SUS ALEACIONES		
Nº DE ALEACION	NOMBRE DE LA ALEACION	TEMPERATURA °F
101 - 103	Cobre oxigenado	700 - 1200
104 - 107	Cobre - Plata	900 - 1400
108	Cobre oxigenado con poco fósforo	700 - 1200
111	Cobre tenaz eléctrico	700 - 1200
113 - 116	Rodamientos con cobre - plata tenaz	900 - 1400
120 - 122	Fósforo dexoxidado	700 - 1200
162	Cobre - Cadmio	800 - 1400
210 - 220	bronce dorado comercial	800 - 1450
226	Bronce de joyería	800 - 1400
230	Bronce rojizo	800 - 1350
268, 270	Bronce amarillo	800 - 1300
280	Metal muntz	800 - 1100
335, 342, 353,	Bronces con alto, medio y bajos en plomo	800 - 1300
365, 368, 370	Bronces de forja, bronce para ar- quitectura	800 - 1100
443, 445, 464	Bronces navales	800 - 1100
505	Bronce fósforoso	900 - 1200
608	Bronce al aluminio 5%	1000 - 1200
614	Bronce al aluminio, D	1125 - 1650
651	Bronce bajo en silicon, B	900 - 1250
655	Bronce alto en silicon, A	900 - 1300
667	Bronce con manganeso	930 - 1300
694	Bronce rojizo con silicon	800 - 1200
706	Cuproníquel 10%	1100 - 1500
710, 715	Cuproníquel 20% y 30%	1200 - 1500
953, 955	Fundición bronce - aluminio	1150 - 1225

tiempo de permanencia a una determinada temperatura varía considerablemente; general y usualmente entre 30 y 60 minutos son suficientes para obtener la recristalización deseada.

La oxidación puede minimizarse, especificando el acabado interno del tipo del horno que se va a utilizar o también utilizando una atmósfera protectora.

El manchado puede evitarse completamente, removiendo los lubricantes que se utilizan durante el proceso o también utilizando combustibles con bajo contenido de azufre para el horno.

2.2.c) Relevado de Esfuerzos

Los esfuerzos residuales internos que resultan del trabajado en frío de las aleaciones de cobre pueden relevarse por medio de un tratamiento térmico. Este es llevado a cabo, a bajas temperaturas (por debajo de la temperatura de recristalización).

Las temperaturas típicas para el tratamiento de relevado de esfuerzos para las aleaciones de cobre son mostradas en la tabla N° XII.

El relevado de esfuerzos se emplea como una medida de se

TABLA XII

TEMPERATURAS TÍPICAS PARA EL RELEVADO DE ESFUERZOS °F				
ALEACIÓN Nº	NOMBRE DE LA ALEACIÓN	LAMINA	TARRAS	
			y ALAMBRE	TUBERIA
110	Cobre electrolítico	355	355	-----
210	Cobre dorado 95%	525	---	-----
220, 226	Bronce comercial	525	570	-----
230, 240	Bronce rojizo	525	570	625
260	Bronce para cartuchos	500	555	610
270	Bronce amarillo	500	555	555
314	Bronce - Plomo	---	570	-----
335	Bronce bajo en plomo	---	555	-----
360, 377	Bronce para forja	525	500	-----
443, 445	Almirantazgo	---	---	610
462, 464	Bronce naval	---	555	-----
510	Bronce fósforado A	525	570	-----
544	Bronce fósforado B	---	570	-----
651, 658	Bronce con silicón	---	570	-----
687	Bronce con aluminio	---	---	625
706	Cobre níquel 10%	790	---	895
715	Cobre níquel 30%	860	---	970
745	Níquel - Plata 65-10	---	645	-----
754	Níquel - Plata 65-15	---	750	-----
770	Níquel - Plata 55-18	645	---	-----

guridad contra el esfuerzo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en las aleaciones de cobre, particularmente en las que contienen del 20% en adelante de Zn.

En virtud de las diferencias de las aleaciones de cobre, su susceptibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión varía, pero la presencia de un medio corrosivo durante el temple, puede contribuir a que este fenómeno tenga éxito, por lo cual el proceso del relevado de esfuerzo se aplica para eliminar esta posibilidad.

Prácticamente el ciclo ideal del relevado de esfuerzos - para retener ciertas propiedades mecánicas consiste posiblemente en altas temperaturas y tiempos cortos o bajas temperaturas y largos tiempos. Lo interesante es que la dureza y la resistencia de partes expuestas a un severo trabajo en frío, se incrementan muy poco en tratamientos a bajas temperaturas.

2.2.d) Endurecimiento.-

Las propiedades mecánicas de la mayoría de los cobres y aleaciones de cobre son retenidos por trabajo en frío.

Aleaciones conteniendo cantidades variables de berilio, cromo, zirconio, níquel, silicio, o fósforo que usualmen

te no tienen alta resistencia y dureza pueden endurecerse por el método conocido como endurecimiento por precipitación debido a que tienen características metalúrgicas similares. El aumento de resistencia puede obtenerse en sus condiciones de ablandamiento (calentamiento a temperaturas elevadas), seguida de un enfriamiento desde las altas temperaturas y subsecuentemente endurecidas mediante un calentamiento a una temperatura moderada (tratamiento de precipitación).

Las ventajas principales que otorga este tratamiento -- son :

- La ejecución es relativamente sencilla, ya que las condiciones del horno para el recocido pueden acondicionarse.
- El tratamiento de endurecimiento aplicado por el fabricante es relativamente fácil, ya que utiliza temperaturas moderadas sin necesidad de controlar estrictamente las variables de: tiempo de permanencia, atmósfera del horno y la velocidad de enfriamiento.
- Las diferentes combinaciones de propiedades como son : resistencia, dureza, ductilidad, conductividad, resistencia al impacto y elasticidad, pueden ser obtenidas por la variación del tiempo y la temperatura de endurecimiento.

Los requerimientos particulares aplicados determinan el tipo de tratamiento de endurecimiento. La siguiente tabla (XIII) nos muestra las temperaturas y tiempos para el proceso de endurecimiento por precipitación de las aleaciones de cobre tratables térmicamente.

Otro tipo de mecanismo para el endurecimiento de materiales está asociado con los bronce al aluminio que contienen del 10% en adelante de aluminio. Estas aleaciones son endurecidas por un enfriamiento rápido, desde una alta temperatura para que se produzca una estructura martensítica al ser templadas a bajas temperaturas.

Los hornos más frecuentemente utilizados son :

a) Hornos de recocido.- Comunmente son siempre hornos de paso, tanto si se trata de bandas, chapas, tubos o alambres. En efecto, los hornos de mufla tienden casi a desaparecer ya que con ello solo se alcanzan características de uniformidad muy limitadas.

Los productos muy largos, bandas y alambres, se colocan en forma de rollos en una desenrolladora anterior al horno y son de nuevo enrollados a la salida sobre una bobina sincronizada con la desenrolladora.

Estas bandas o alambres pasan por el interior del horno,

TABLA XIII

TEMPERATURAS PARA TRATAMIENTOS DE SOLUCION Y PRECIPITACION

ALEACION Nº	NOMBRE DE LA ALEACION	TRATAMIENTO. DE SOLUCION °F	TIEMPO MIN.	TRATAMIENTO. DE PRECIPIT. °F	TIEMPO HR.
150	Cobre-Zirconio	1650-1700	5-30	930-1020	1-4
170,172	Cobre-Berilio	1425-	10-30	600	3
175	Cobre-Berilio recocido	1675-1725	10-30	900	3
182,184	Cobre-Cromo	1800-1850	10-30	800-930	2-4
190,191	Cobre-Níquel-Fósforo	1300-1450	10-30	800-900	2-4
619	Bronce al aluminio	- - - -	- -	- - -	- - -
647	Cobre-Níquel-Silicio	1375-1475	10-30	850-900	1 1/2
813	- - - - -	1800-1850	3 Hr.	900	2
815	- - - - -	1830-1850	1 Hr.	900	3
818	- - - - -	1650-1700	1 Hr.	900	3
821	- - - - -	1650-1700	1 Hr.	850	3
824	- - - - -	1450-1500	1 Hr.	650	3
826	- - - - -	1450-1475	1 Hr.	650	3
828	- - - - -	1450-1500	1 Hr.	650	3
948	- - - - -	1425-1475	2 Hr.	600	5
953	- - - - -	1585-1635	1 Hr.	---	---
955	- - - - -	1585-1635	1 Hr.	---	---
966	- - - - -	1800-1850	1 Hr.	950	3

horizontal o vertical y los productos entran y salen por el orificio de la parte inferior.

Existe un método especial para el recocido continuo de alambre mediante la aplicación del efecto Joule. El alambre pasa por unas poleas entre las que se mantiene una diferencia de potencial regulada a un valor tal que, teniendo en cuenta la sección de paso, se establece una corriente suficiente para calentar el hilo a la temperatura del recocido. El valor de esta corriente se encuentra en relación con la resistencia química y el tiempo de permanencia del alambre entre las dos poleas.

b) Hornos de tratamientos térmicos.-

Para el calentamiento de homogeneización o solución anterior al temple es difícil conseguir una atmósfera protectora debido a las elevadas temperaturas y a la necesidad de un rápido enfriamiento.

A estas temperaturas, la convección no es tan necesaria y la radiación es lo suficientemente importante como para conseguir una temperatura uniforme en toda la parte útil del horno.

A menudo, el calentamiento en un horno de sales es una interesante solución, como ocurre con las aleaciones ligeras: además asegura una protección del metal contra la

oxidación en caliente. Estos hornos se suelen utilizar sobre todo para el tratamiento continuo de alambres y -- bandas de longitud considerable. (FIGURA 1 y 2).

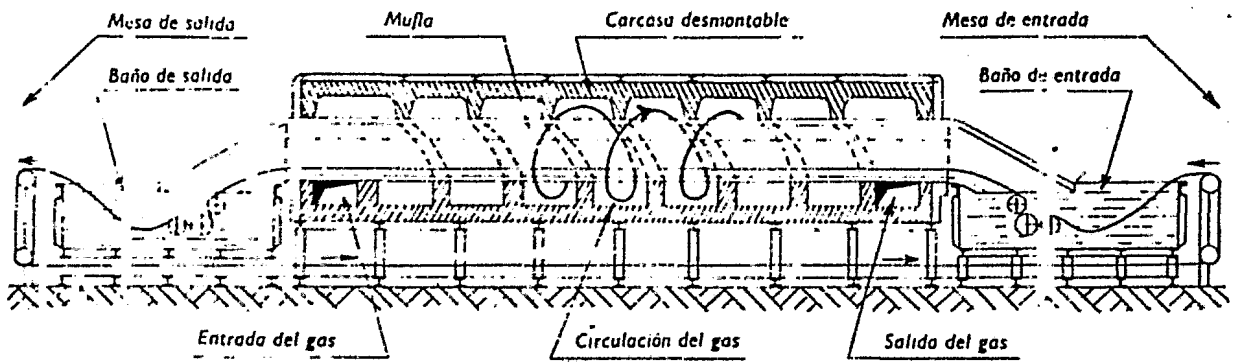


FIG. 1 .- HORNO CONTINUO PARA RECOCIDOS

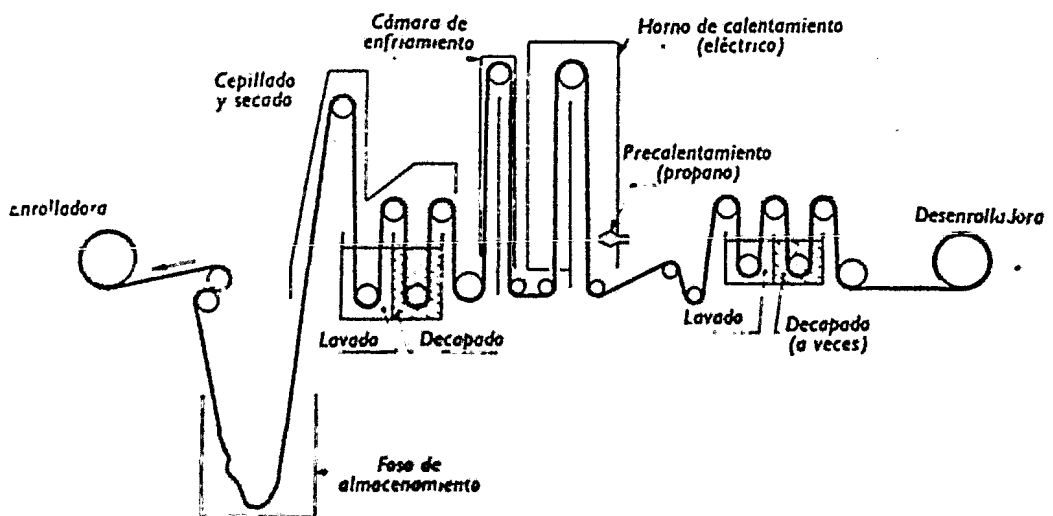


FIG. 2.- ESQUEMA DE UN HORNO PARA RECOCIDO DE BANDAS DELGADAS DE GRAN LONGITUD

2.3. Los Cuproaluminios

Los cuproaluminios son aleaciones de cobre y aluminio, con 5-11% de Al. Algunos tipos contienen también hierro, níquel ó manganeso. Las principales ventajas que ofrecen los cuproaluminios son :

- Son maleables en frío cuando el contenido de aluminio es inferior al 8%, aproximadamente, y en caliente, cuando es superior a esta cantidad.
- Son soldables, bien entre sí, bien a otros metales especialmente al acero.
- Presentan notable resistencia a la corrosión en muchos medios, sobre todo en agua de mar y en soluciones ácidas.
- Son amagnéticas, con excepción de las aleaciones con alto contenido de hierro y de manganeso.
- Sus características mecánicas son elevadas, y las conservan a muy bajas temperaturas.
- Presentan excelente resistencia a la oxidación y buenas propiedades mecánicas en caliente, lo que permite utilizarlos a temperaturas moderadamente altas.

La clasificación de los cuproaluminios se basa en su microestructura, que es función de su composición y de los tratamientos térmicos sufridos.

2.3.a) Diagrama de Equilibrio

Como se puede observar en el diagrama de equilibrio ---- (Fig. 3) la fase α , o solución sólida de aluminio en el cobre, llega hasta el 9.4% Al. Más adelante aparece una segunda fase llamada β . Por lo tanto, las aleaciones con menos del 9.4% Al. son monofásicas, y las demás son bifásicas. Sin embargo, en la práctica raramente se consiguen las condiciones ideales de equilibrio, de modo -- que el límite se situa hacia el 8% Al.

De igual modo puede apreciarse que la fase estable a temperatura elevada, por encima del campo $\alpha + \beta$ es la fase β , estando situada la temperatura de transformación a -- 565°C. Por temple sin embargo, es posible mantener la fase β a temperatura ordinaria y después dejar que se efectúe la transformación por revenido. Se obtiene así -- una estructura $\alpha + \beta$, finamente dispersa y con buena resistencia mecánica.

Resumiendo, las aleaciones comerciales de más interés dentro de los cuproaluminios, son binarias. Sin embargo, -

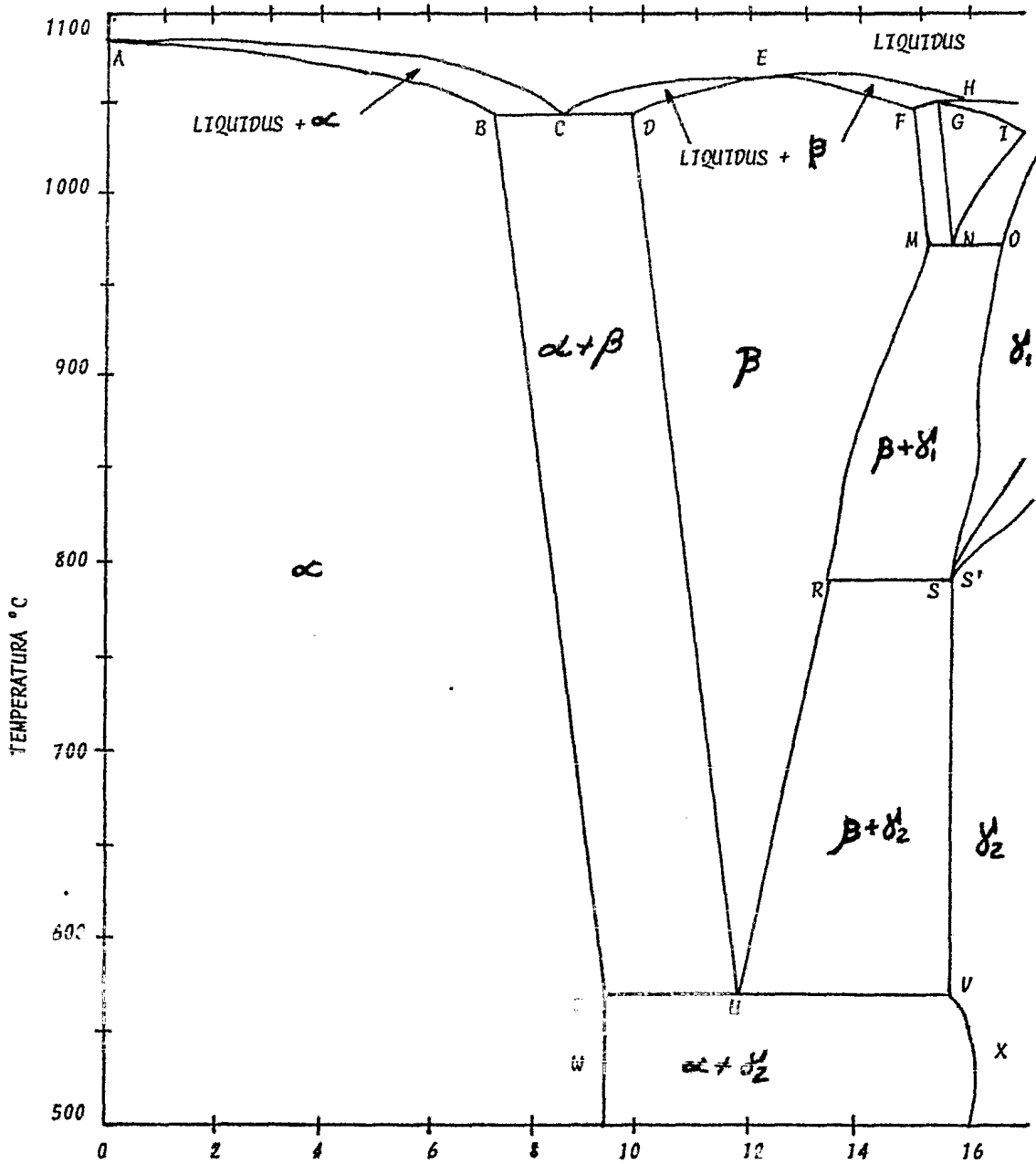


FIG. 3.- DIAGRAMA DE EQUILIBRIU Cu - Ar.

en la mayoría de casos se procede a la adición de hierro, níquel o manganeso obteniendo así cuproaluminios complejos.

Los efectos mecánicos que producen los elementos aleantes unidos en los cuproaluminios son determinantes para la obtención y explicación de ciertas propiedades mecánicas. Los más frecuentes son :

- Hierro.- El hierro frena la velocidad de transformación y permite obtener una estructura $\alpha + \delta_2$ fina y resistente. Además, mejora la resistencia a ciertos tipos de corrosión y aumenta la resistencia a la fatiga y al desgaste.
- Níquel.- El níquel tiene un efecto semejante al del hierro, en lo que se refiere a la microestructura y a la resistencia a la corrosión. El Ni y el Fe, utilizados simultáneamente, estimulan mutuamente su influencia favorable.
- Manganeso.- El manganeso, finalmente, afina la estructura y, por lo tanto, mejora las características mecánicas. Estabiliza la fase β en el enfriamiento.

Dependiendo del número y porcentaje de elementos aleantes, se puede concluir la existencia de cuatro grupos de

aleaciones dentro los cuproaluminios ;

Los binarios monofásicos, binarios bifásicos o polifásicos, complejos monofásicos, complejos bifásicos.

2.3.b) Propiedades Físicas

Los cuproaluminios con bajo contenido de aluminio se caracterizan por un color amarillo rosado que hacia el 10% Al. pasa a un amarillo dorado.

Como se puede observar en las tablas XIV y XV, la densidad y las conductividades eléctrica y térmica disminuyen con el aumento del contenido de aluminio.

Material		CuAl8Fe3	CuAl9Mn2	CuAl10Fe3	CuAl10Fe5Ni5	CuAl9N:6Fe3	- CuAl11Ni5,5Fe6	CuAl8Mn5,5Ni1,5
Magnitud	Unidad							
Densidad	g/cm ³	7,8	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5
Intervalo de fusión	°C	1045-1110	1045-1100	1045-1090	1060-1075	1050-1070	-	-
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C ⁻¹	0,000016	0,000016	0,000016	0,000015	0,000016	0,000017	0,000017
Calor específico	cal/g °C	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm/cm ² s °C	0,14-0,17	0,14-0,16	0,14-0,16	0,09-0,11	0,09-0,11	0,08	0,06
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	m/Ω mm ²	7,0-8,1	7,0-8,7	7,0-8,1	4,1-5,2	4,1-5,2	4	3
	% IACS	12-14	12-14	12-14	7-9	7-9	7	5
Resistividad eléctrica volumen (20 °C)	μΩ cm	14-12	14-12	14-12	25-19	25-19	24	34
Coefficiente térmico de la resistividad (0-100 °C)	°C ⁻¹	0,0008	0,0008	0,0008	0,0005	0,0005	-	-
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12.250	10.500	12.000	12.800-14.000	12.800-14.000	-	-
Módulo de rigidez (20 °C)	kr/mm ²	4550	3900	4450	4750-5200	4750-5200	-	-

TABLA XIV.- PROPIEDADES FISICAS DE LOS CUPROALUMINIOS COMPLEJOS

Material		CuAl5	CuAl13
Magnitud	Unidad		
Densidad	g/cm ³	7,2	7,8
Intervalo de fusión	°C	1030-1030	1035-1045
Coefficiente de dilatación lineal (0-100 °C)	°C ⁻¹	0,000017	0,000016
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,10	0,10
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm/ cm ² s °C	0,15-0,20	0,15-0,17
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	m/Ω mm ²	0,7-1,0	7,5-27
	% IACS	1-15	13-15
Resistividad eléctrica volumen (20 °C)	μ Ω cm	10-150	13-11
Coefficiente térmico de la resistividad (0-100 °C)	°C ⁻¹	0,000000,0000	0,000-0
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	11.000-12.500	11.350-12.600
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4.500-4.750	4200-4700

TABLA XV.- PROPIEDADES FISICAS DE LOS CUPROALUMINICOS BINARIOS

2.3.c) Propiedades Mecánicas

La resistencia a la tracción aumenta con el contenido de aluminio.

La dureza aumenta regularmente con el contenido de aluminio.

El alargamiento aumenta regularmente y alcanza el máximo hacia el 7.5% Al, después disminuye.

Las características de las aleaciones de forja pueden me
jorar sensiblemente por medio de este método de trabajo.

En las siguientes tablas XVI y XVII se muestran las pro-
piedades mecánicas de algunos de los cuproaluminios bina-
rios y complejos más comerciales.

2.3.d) Propiedades Químicas

La tendencia del aluminio a formar una capa protectora -
de alúmina explica el buen comportamiento frente a la co
rrosión. Esta capa protectora se forma lo mismo con los
ácidos y soluciones salinas que con los gases y tiene la
propiedad de regenerarse, siempre que la abrasión no sea
demasiado violenta.

En especial, los cuproaluminios resisten bien a la corro
sión en atmósferas marinas, agua de mar, aguas contamina
das, ácido fosfórico, ácido sulfúrico aireado, ácido acé
tico, sales y álcalis, con excepción del amoníaco.

Material			CuAl5	CuAl8
Magnitud	Unidad	Estado		
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	R	38	42
		F	45-53	50-57
Límite elástico	kg/mm ²	R	15	17
		F	30-45	35-43
Alargamiento	%	R	55	45
		F	25-15	20-15
Dureza Brinell		R	85	90
		F	115-140	130-150

TABLA XVI.- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS CUPROALUMINIOS BINARIOS

Material		CuAl8Fe3	CuAl9Mn2	CuAl10Fe3	CuAl10Fe5Ni5	CuAl9Ni6Fe3
Magnitud	Unidad					
Resistencia a la tracción	kg/mm ²	52 (a)	52 (a)	52 (a)	75 (a)	69 (a)
		55 (b)	55 (b)	55 (b)	75 (b)	69 (b)
Límite elástico	kg/mm ²	27 (a)	27 (a)	32 (a)	42 (a)	30 (a)
		25 (b)	25 (b)	32 (b)	42 (b)	32 (b)
Alargamiento	%	35 (a)	20 (b)	18 (c)	25 (b)	15 (c)
		36 (a)	20 (b)	18 (c)	25 (b)	15 (c)
Dureza Brinell		130 (a)	130 (a)	160 (a)	180 (a)	145 (a)
		145 (b)	130 (b)	160 (b)	180 (b)	145 (b)

TABLA XVII.- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS CUPROALUMINIOS COMPLEJOS

- (a) Chapa laminada en caliente
- (b) Barra laminada en caliente
- (c) Bruto de colada.

2.3.e) Aplicaciones de los Cuproaluminios

Los cuproaluminios poseen una gran gama de cualidades, - frecuentemente poco conocidas. Pero que poco a poco se van empleando por las características que ofrecen. De las propiedades más notables se pueden recordar las siguientes :

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Resistencia a la oxidación en caliente y buena resistencia mecánica en caliente.
- Excelente resistencia mecánica a temperatura ambiente.
- Excelente resistencia mecánica a baja temperatura.
- Buenas características de fricción.
- Amagnetismo.
- No se presentan chispas en choques.

Como las gráficas son más representativas que las letras, las fotografías que se muestran a continuación nos dan una clara idea de algunas de las aplicaciones.

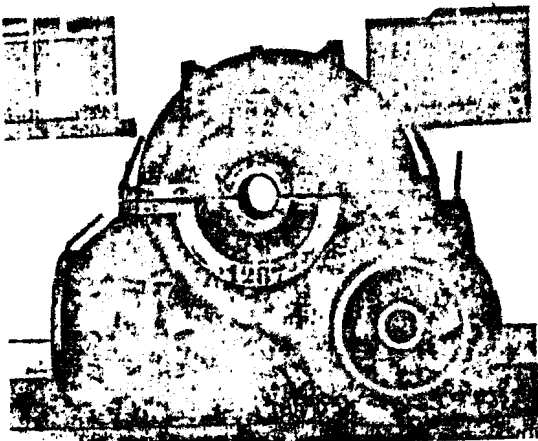


FIG. 4.-BOMBA PARA ASTILLERO NAVAL
FABRICADO EN BRONCE.

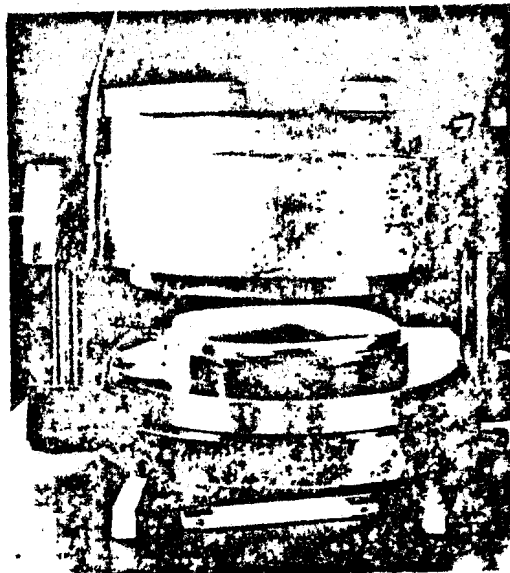


FIG. 5.-TROQUEL DE CUPROALUMINIO
PARA EMBUTIDOS DE CHAPA
DE ACERO AL CROMO

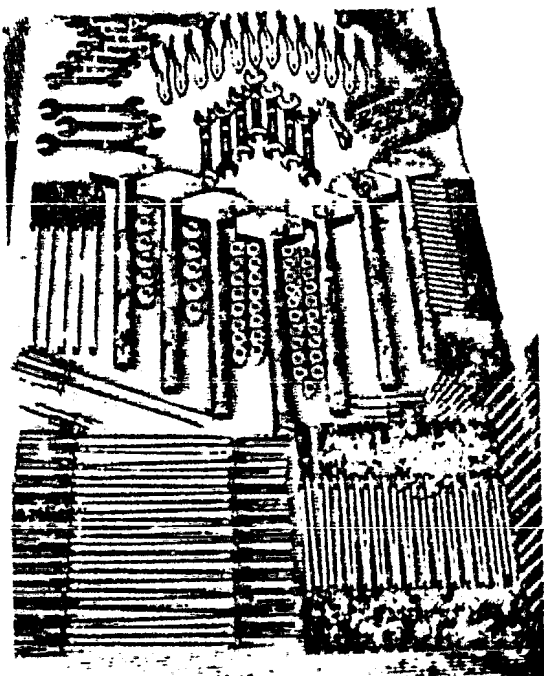
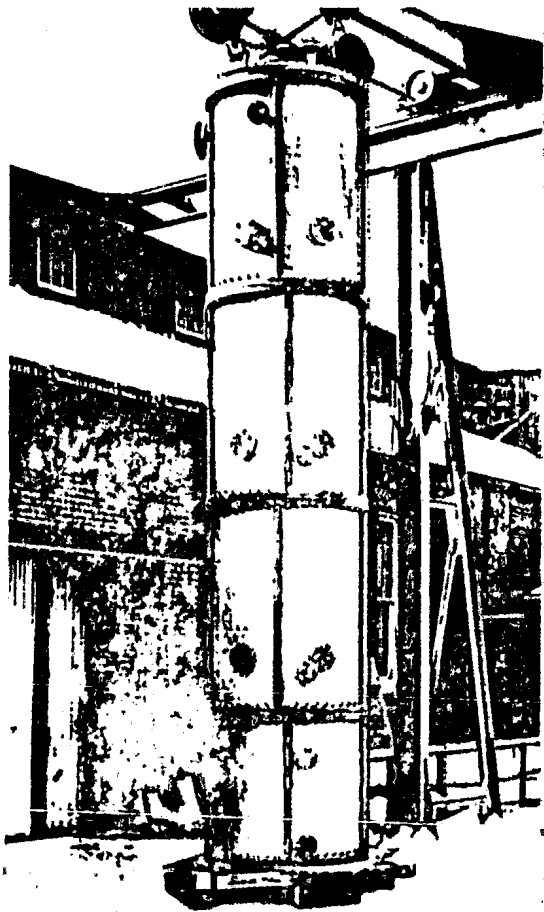


FIG. 6.-HERRAMIENTAS ANTICHISPA Y AMAGNETICAS
DE CUPROALUMINIO PARA LA INDUSTRIA NAVAL.



50 FIG. 7.-TORRE DE DESTILACION DE CHAPA
DE CUPROALUMINIO

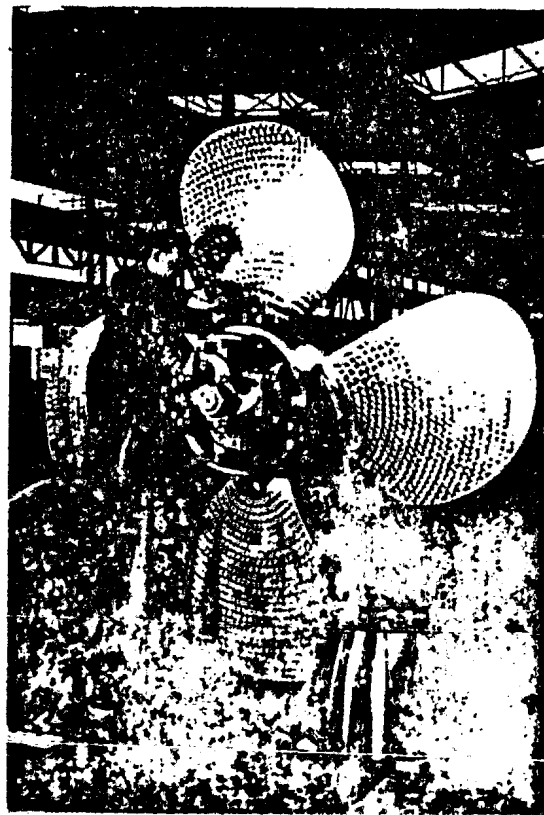


FIG. 8.-HELICE DE PASO VARIABLE
DE CUPROALUMINIO

2.4. Tratamientos Térmicos de los Cuproaluminios

El estudio del diagrama de equilibrio de los cuproaluminios (Fig. 3) dentro del campo de las composiciones más utilizadas y más comerciales, esto es entre el 8 y el 12% de contenido de aluminio, permite examinar los diferentes tratamientos térmicos que aceptan estos materiales. Se hace énfasis en este rango, ya que como se describe anteriormente, la base de este estudio se enfoca a las aleaciones comerciales nacionales.

Como se vio anteriormente, en el diagrama de equilibrio, existen un cierto número de fases :

- La fase α , solución sólida de aluminio en el cobre (de 0 a 9.4% de aluminio).
- La fase β , únicamente estable en caliente, que se produce, según las velocidades de enfriamiento; un agregado $\alpha - \delta_2$ por transformación eutécticoide para un enfriamiento suficientemente lento (del orden de 1°C/ min); una estructura de tipo martensítico, la fase β' para enfriamientos mas rápidos. (Por debajo de los 500°C).

La analogía con los aceros es sorprendente, y el interés de un tratamiento de temple, seguido de un revenido, se

ha señalado varias veces en la literatura de estos.

No obstante, como las estructuras obtenidas después de este tratamiento son bastante parecidas a las observadas sobre piezas moldeadas, no dan lugar a modificaciones importantes en las características mecánicas más que cuando la estructura bruta de la fundición es relativamente gruesa. En el caso de la colada en coquilla, por el contrario, las mejoras están limitadas porque este procedimiento da siempre una estructura muy fina y unas características mecánicas excelentes sobre el producto bruto de fundición.

La variación en la concentración de los átomos de aluminio desde los núcleos hasta la periferia de cada uno de los granos, provoca una segregación dentro de la velocidad de enfriamiento de la fundición. Esta falta de homogeneidad puede solucionarse mediante un calentamiento -- por por un determinado tiempo prolongado, a una temperatura elevada por, ejemplo 950°C, según el análisis previo del diagrama de equilibrio. Este tratamiento se denomina "homogeneización", porque ofrece a los átomos de aluminio una oportunidad de difusión para distribuirse -- por sí mismos uniformemente en las matrices de los granos.

En la práctica, es innecesario recurrir a esta forma de tratamiento ya que los bronce que contienen entre 5 y 8% de aluminio se trabajan en caliente, lo cual aunque no se elimina la estructura "nucleizada", sirve eficazmente para los fines destinados.

Hoy en día la demanda de materiales que trabajen a altas temperaturas y grandes niveles de resistencia aumenta -- considerablemente, este es el caso de los cuproaluminios que otorgan características favorables para estas tareas y que sólo mediante un tratamiento de "recocido", se pueden aproximar a ciertas propiedades deseadas. La mayoría de estos materiales se destinan a diferentes trabajos en frío, por eso es importante que el fabricante conozca las características con las cuales se encuentran sus artículos, para que mediante estos procesos se obtenga la óptima combinación de propiedades mecánicas. Resumiendo entonces, el proceso de recocido otorga el mejor acercamiento a las características deseadas mediante calentamientos a temperaturas por encima de la de recristalización.

El tratamiento más interesante y desconocido es el proceso del temple, que consiste en un calentamiento hasta alcanzar la fase (β) por un cierto tiempo e inmediatamente

engrilar en medios diferentes (aceite, agua, medio ambiente, etc.).

Aunque el proceso parece muy sencillo, esta parte es una de las más desconocidas y que desafortunadamente los estudios realizados han sido muy pocos. Por lo tanto, -- existe muy poca documentación acerca de este proceso y -- la que se encuentra disponible no es muy explícita y muestra que es un campo extenso del cuál solo se ha investigado una pequeña parte.

Todo el proceso se enfoca totalmente a la obtención de una estructura martensítica, y que algunos autores comparan grandemente con la de los aceros.

Esta estructura se puede lograr, mediante una mezcla perfecta de: composición química, temperatura de calentamiento, tiempo de permanencia y velocidad de enfriamiento. Cada una de estas variables otorgan una gran variedad de resultados, tanto en estructura como en propiedades físico-mecánicas. Con la mínima modificación en cualquiera de estas variables, se pueden obtener resultados muy variables así por ejemplo; dos muestras tratadas térmicamente igual, pero con la variante de un 4% en el contenido de aluminio otorgan una diferencia de 100 kg/mm^2 en su resistencia a la cedencia.

TABLA XVIII
INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO SOBRE ALGUNOS CUPROALUMINIOS

MUESTRA	1		2		3		4		5		6		7		8	
	Cu 89.5		Cu 89		Cu 88.25		Cu 86		Cu 85.25		Cu 80.25		Cu 79		Cu 81	
ALEACION	Al 9.5		Al 10		Al 10.75		Al 10		Al 10.75		Al 9.75		Al 11		Al 11	
	Fe 1.0		Fe 1.0		Fe 1.0		Fe 4.0		Fe 4.0		Fe 5		Fe 5		Fe 4	
											Ni 5		Ni 5		Ni 4	
	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
Rm	43	56	47	63	45	60	52	70	56	73	66	74	66	81	63	77
Ra	18	22	22	28	22	26	24	28	26	31	25	39	32	50	30	47
A%	25	25	15	15	15	8	18	15	10	10	23	14	7	5	7	5
HB	122	145	140	180	165	180	155	190	170	200	170	229	212	235	195	235
B= BRUTO DE FUNDICION								Rm= RESISTENCIA MECANICA KG/MM ²								
T= TEMPLE 885°C + REVENIDO 620°C								Ra= RESISTENCIA ALARGAMIENTO KG/MM ²								

C A P I T U L O I I I

E X P E R I M E N T A C I O N

3.1. Elección de los materiales y preparación de las probetas metalográficas.

La base primordial de este trabajo, está enfocado al comportamiento físico-mecánico de las aleaciones de cobre - aluminio nacionales comerciales, antes y después de la aplicación de uno ó varios tratamientos térmicos.

Los materiales seleccionados para la experimentación, -- son denominados por el, fabricante como Almena F y Almena Z cuya notación en normas internacionales es de A.S.-T.M. B-148 (9B), CDA 953 y A.S.T.M. B-148(9D), CDA 955 - respectivamente.

3.1.a) Características generales de los materiales. Composición química.

Almena F :

Cobre 86.0% mínimo

Hierro 0.8% mínimo 1.5% máximo

Aluminio 9.0% mínimo 11.0% máximo

Otros 1.0% máximo

Almena Z :

Cobre 78% mínimo

Níquel 3.0% mínimo 5.5 máximo

Hierro 3.0% mínimo 5.0 máximo

Aluminio 10.0% mínimo 11.5 máximo

Manganeso 3.5% máximo

Otros 0.5% máximo

Propiedades físicas :

Almena F : Resistencia a la tensión 4570 (kg/cm^2) .

Punto de cedencia 1760 (kg/cm^2)

Alargamiento en 5 cm. 20 (%)

Densidad 7.53 (gr/cm^3)

Almena Z :

Resistencia a la tensión 6330 (kg/cm^2)

Punto de cedencia 2810 (kg/cm^2)

Alargamiento en 5 cm. 20 (%)

Densidad 7.53 (gr/cm^3)

Las muestras proporcionadas, forman parte de los residuos de fundición (colada) que se destinan para la realización de las pruebas de Control de Calidad por las cuáles deben pasar todos los materiales antes de su utilización. Cabe aclarar que el material utilizado en este trabajo, ya se había sometido a los tratamientos respectivos después de la fundición: por lo tanto, esto quiere decir --

que este se encontraba en condiciones para la aplicación de los procesos de tratamiento para la transformación -- tanto de su estructura como de sus propiedades.

3.1.b) Preparación de las Probetas Metalográficas

Debido a la configuración del material, es necesario recurrir a los procesos de corte, por medio de arranque de viruta, para poder elaborar un amplio número de probetas, que serán sometidas a diferentes condiciones.

Debido a los procesos a los que son sometidas las muestras, es necesario seccionarlas en otras submuestras, -- que dependiendo de estos se selecciona el número o cantidad de ellas.

De acuerdo a la teoría expuesta anterior, y a la cantidad de material, serán necesarias (6) seis submuestras -- de cada uno de los materiales; por lo tanto el seccionamiento y el acabado se llevan a cabo con las mismas máquinas-herramientas utilizadas anteriormente.

3.2. Elección de las Secuencias de Tratamiento

La secuencia de tratamiento es la parte más importante - de todo el proceso, por lo cual debiera estar bien fundamentada para poder lograr los resultados esperados. Para la selección de la secuencia de este proceso, es necesario apoyarse en toda la teoría citada anteriormente.

- La fase β es estable hasta 565°C .
- Por temple se puede ó no seguir obteniendo β .
- Por medio de un revenido posterior al temple se puede obtener $\alpha + \delta'_2$.
- Dependiendo de las velocidades de enfriamiento al llegar a la fase β por calentamiento, se puede obtener directamente $\alpha + \delta'_2$ por transformación eutectoide y una estructura tipo martensítica (similar al acero) situada por debajo de la fase $\alpha + \delta'_2$.
- El tratamiento de recocido puede producir recristalización, por llevarse a efecto a una temperatura adecuada.

Tomando en cuenta lo anterior se puede seleccionar la secuencia, como sigue:

- Calentamiento del material a una temperatura suficiente para alcanzar y mantener la fase β . Se cuenta con

la información al respecto, en la cual recomiendan rangos de temperatura y tiempos de permanencia para el tipo de aleación que se está trabajando (A.S.T.M. B-148- (9B) y A.S.T.M. B-148 (9D)). Por lo tanto, las temperaturas utilizadas para ambas muestras serán de 900 y -- 1000°C, para así poder obtener la mayor información posible.

De las (6) seis muestras de cada material, (3) tres se calentaran a 900°C y las otras (3) tres a 1000°C.

- Enfriamiento de las muestras desde la temperatura de permanencia. La teoría indica que para diferentes velocidades de enfriamiento se obtendrán ciertas estructuras en el mismo material, motivo por el cual se utilizaron (3) tres muestras a cada una de las temperaturas para tener, un enfriamiento brusco, uno medio y otro lento.

Para lograr estas velocidades de enfriamiento se recurrió a la utilización de hielo seco con acetona para obtener una temperatura de -50°C para un enfriamiento brusco, agua potable de toma principal a 19°C y el último medio para una velocidad lenta, aire.

Dependiendo de los resultados obtenidos se tendrá o no -

que recurrir a otro proceso subsecuente ó, sea, a un re
nido. Para llevar a cabo esto, se seleccionan dentro de
las que se utilizarán en dicho proceso y por lo tanto se
duplicara el número de las muestras (de 6 a 12 por cada
material).

Teniendo las temperaturas (550 y 600°C) y el número de -
muestras se procedió a :

- Calentamiento de muestras

(6) seis muestras de cada material (total 12 muestras)
se calentaran a 550°C (temperatura en los límites de -
recristalización) y las otras (6) seis a 600°C (tempe-
ratura por encima de la de recristalización).

- Enfriamiento de muestras

Todas las muestras se enfriaran a la misma velocidad, -
esto es, todas expuestas al medio ambiente (21°C).

3.3. Pruebas Mecánicas y Metalografía

3.3.a) Pruebas Mecánicas

Las pruebas mecánicas son un estudio mas que colabora a determinar el estado físico-mecánico de los materiales. La finalidad de este estudio se basa en la determinación de un cambio de estructura. Para esto se puede aplicar el ensayo de dureza, que en este caso sera el ensayo Rockwell "B" (RB), tomado antes y despues de los procesos.

El ensayo Rockwell "B" (RB) utilizado para materiales blandos, como el cobre, aluminio, bronces, latones, etc. tiene la principal ventaja de que se lee directamente en una escala. Se utiliza un penetrador que es una esfera de 1/16" de diametro a una carga de 100 kg. que es la normalizada para RB y que actúa despues de una precarga aplicada manualmente.

3.3.b) Metalografía

El proceso de preparación de una probeta metalográfica - es sencillo. En nuestro caso, las probetas seccionadas listas para introducirse al horno se pasan antes por un análisis metalográfico, para poder referir los resultados posteriores al tratamiento térmico. Como inicialmente tenemos dos muestras homogéneas con diferente composición química, es suficiente la preparación de una muestra de cada aleación.

Posteriormente, para cada tratamiento se llevará a cabo un análisis metalográfico de todas las muestras, para poder observar los cambios en la estructura y comparar con las iniciales y con los resultados de dureza.

La secuencia de preparación de las muestras metalográficas es muy sencilla y similar a la mayoría de los materiales metálicos, sin embargo si no se ejecuta debidamente, los resultados que se obtienen no son muy satisfactorios.

Esto quiere decir que en la manera como se lleven a cabo los pasos siguientes, los resultados que se obtengan serán de buena, mala ó excelente calidad.

*Debaste.- Se entiende que las muestras fuerón ya maqui--
nas y por lo tanto con un determinado acabado superfici--
al, pero este no es suficiente para poder observar la mi--
croestructura del material. Por esto es necesario recu--
rrir a un debaste más fino mediante la utilización de -
abrasivos (lijas de agua) de diferentes asperezas (150, -
200, 300, 400, 500, 600) iniciando con la más gruesa has--
ta terminar con la más fina.*

*La técnica que se sigue, es desbastar en una sola direc--
ción hasta obtener un acabado homogéneo y posteriormente
cambiar de número de lija así como del sentido del des--
baste.*

*Pulido.- Las superficies que se obtienen al termino del
debaste anterior no se encuentran listas todavía para -
observarlas microscópicamente, por eso se recurre a un -
pulido final que nos permita un mejor acabado superfici--
al y por consiguiente una perfecta visión microscópica.*

*Las probetas se pasan sobre una pulidora de metales que
contiene un paño de limpieza humedecido por un solvente
que agiliza la actividad del acabado final. Comurmente
este solvente es una mezcla de oxido de aluminio y agua
destilada conocida como "alumina".*

Ataque.- Al término del pulido, las muestras se lavan y secan perfectamente para que después sean atacadas químicamente con una solución compuesta de 50 ml. de ácido clorhídrico y 30 grs. de cloruro férrico durante 15 seg. e inmediatamente se vuelven a lavar y secar para detener la reacción química. Posteriormente se agrega alcohol sobre toda la superficie a ser observada, y se deja que este se evapore libremente para que después las muestras se encuentren listas para ser visualizadas microscópicamente.

Las figuras N^o. 9 y 10, nos muestran las características micrográficas de los materiales en estudio (Almena F y - Almena Z) antes de someterse a algún tratamiento térmico. Se entiende que este material ha pasado ya por un tratamiento de homogeneización después de haber sido fundido y que se encuentra con unas determinadas propiedades físico mecánicas destinadas a una tarea específica.

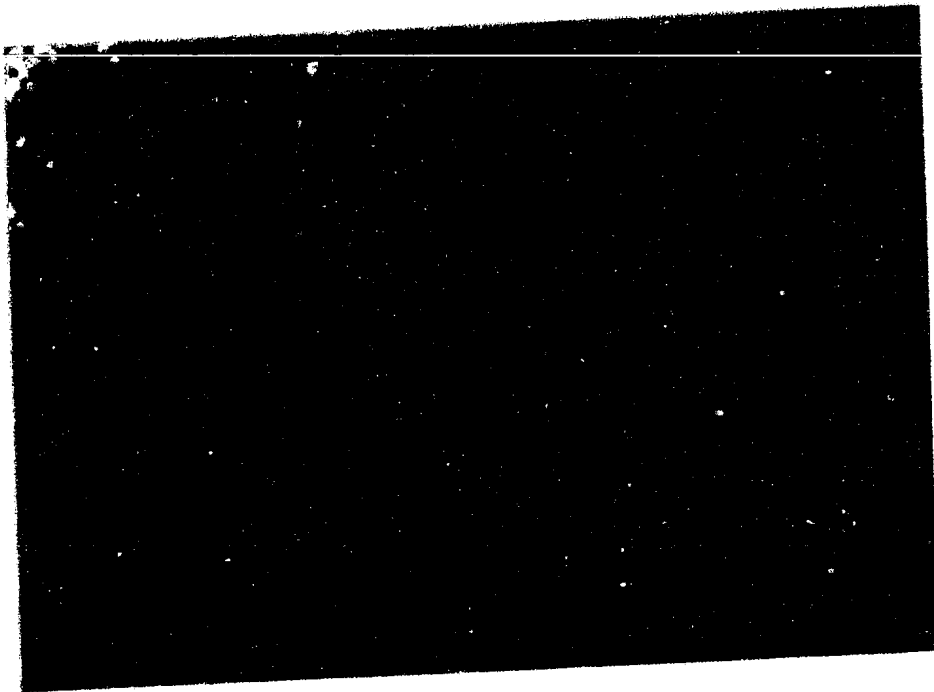


FIG. 9.- Cu-Al 11Fe1.5 SIN TRATAMIENTO. 69.5RB(x160)



FIG. 10:- Cu Al 11.5Fe5Ni5.5 SIN TRATAMIENTO. 67RB(x160)

C A P I T U L O I V

R E S U L T A D O S

IV.-

RESULTADOS

4.1. Resultados de Temple

Como se describió anteriormente, se utilizarían dos temperaturas y tres velocidades de enfriamiento. La siguiente tabla nos muestra las cifras obtenidas en el ensayo de dureza Rockwell "B" después del temple.

DUREZA SIN TRATAMIENTO: ALMENA F 69 RB

CALENTADO 1000°C	TEMPLADO AL MEDIO AMBIENTE (19°C) 68.5 RB	TEMPLADO EN AGUA (19°C) 80.5 RB	TEMPLADO EN ACETONA CON HIELO SECO (-50°C) 70.5 RB
CALENTADO 900°C	TEMPLADO AL MEDIO AMBIENTE (19°C) 65.0 RB	TEMPLADO EN AGUA (19°C) 69.0 RB	TEMPLADO EN ACETONA CON HIELO SECO (-50°C) 66.0 RB

ALMENA F DESPUES DE TEMPLE (DUREZA RB)

CALENTADO 1000°C	TEMPLADO AL MEDIO AMBIENTE (19°C) 69.0 RB	TEMPLADO EN AGUA (19°C) 64.5 RB	TEMPLADO EN ACETONA CON HIELO SECO (-50°C) 60.5 RB
CALENTADO 900°C	TEMPLADO AL MEDIO AMBIENTE (19°C) 59 RB	TEMPLADO EN AGUA (19°C) 55 RB	TEMPLADO EN ACETONA CON HIELO SECO (-50°C) 57.5 RB

ALMENA Z DESPUES DE TEMPLE (DUREZA RB)

DUREZA SIN TRATAMIENTO: ALMENA Z 67 RB

Como los resultados obtenidos del ensayo de dureza, no nos reflejan una completa información, nos ayudaremos con las fotografías tomadas de las microestructuras ya transformadas por un tratamiento térmico inicial. Las figuras N° 11, 12, 13 y 14 nos muestran las configuraciones de cada uno de los materiales, enfriados y calentados a diferentes temperaturas. Como se puede observar, sí hubo un cambio en el tamaño de grano con respecto al inicial.

Analizando las gráficas mencionadas (11, 12, 13, y 14), puede decirse que no tuvo mucha influencia la velocidad de enfriamiento, ya que el tamaño de grano no presenta una gran variación a diferentes temperaturas de calentamiento. Como se puede observar, la muestra que experimento la mejor afinación de grano fué la calentada a 1000°C y enfriada en hielo seco con acetona (Fig. 14).

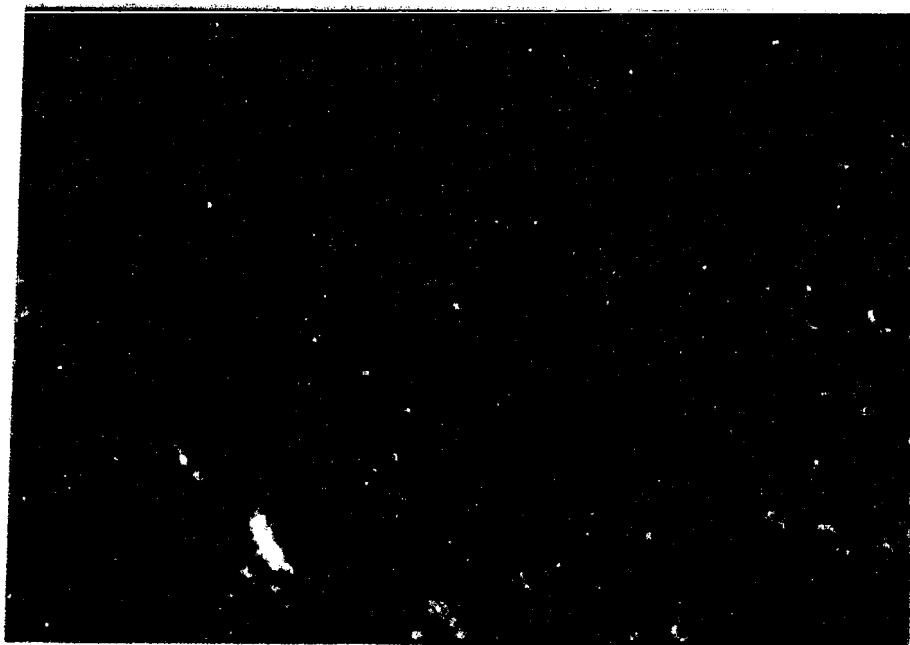


FIG. 11.- Cu-Al 11.5Fe5Ni 5.5 CALENTADA 1hr 30 mín. a 900°C
TEMPLADO EN AGUA A 19°C. 64.5 RB (x160)

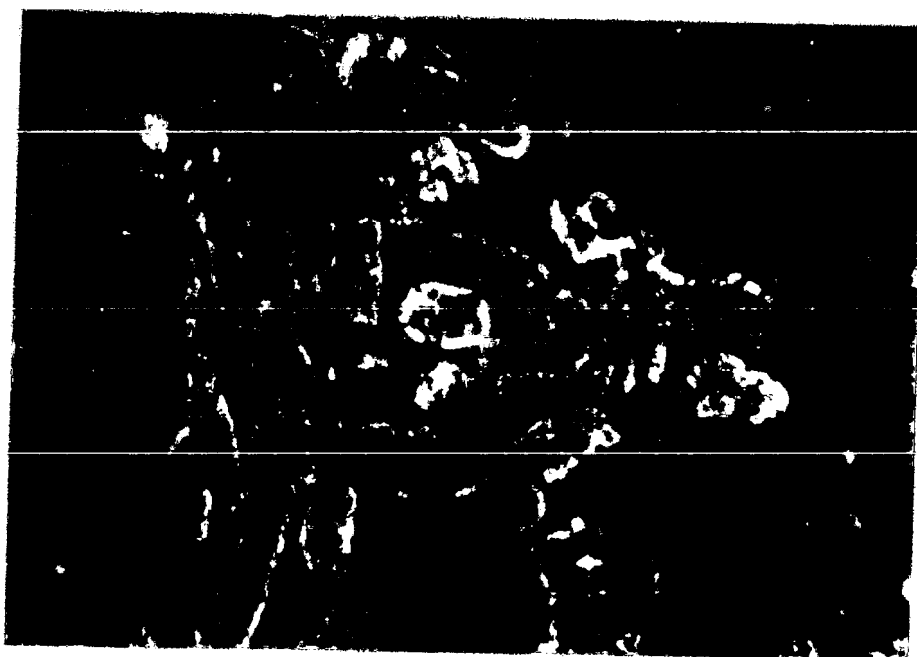


FIG. 12.- Cu-Al 11.5Fe5Ni 5.5 CALENTADA 1hr 30 mín. a 1000°C
TEMPLADO EN HIELO SECO CON ACETONA (-50°C) 60.5 RB (x160)

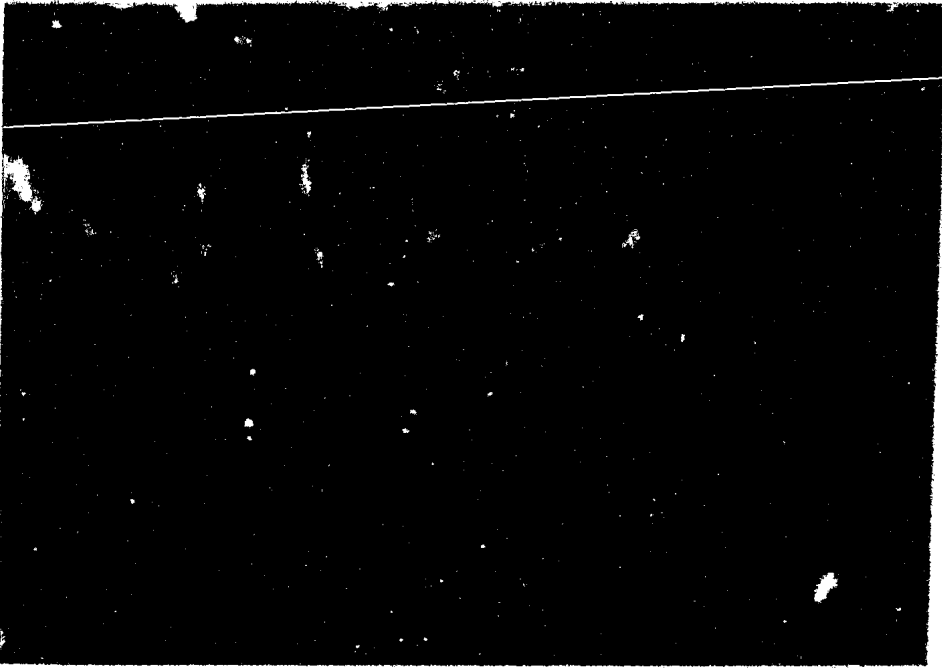


FIG. 13.- Cu-Al 11Fe1.5 CALENTADA 1hr 30 min. a 1000°C
TEMPLADA AL MEDIO AMBIENTE (18°C). 68.5 RB (x160)

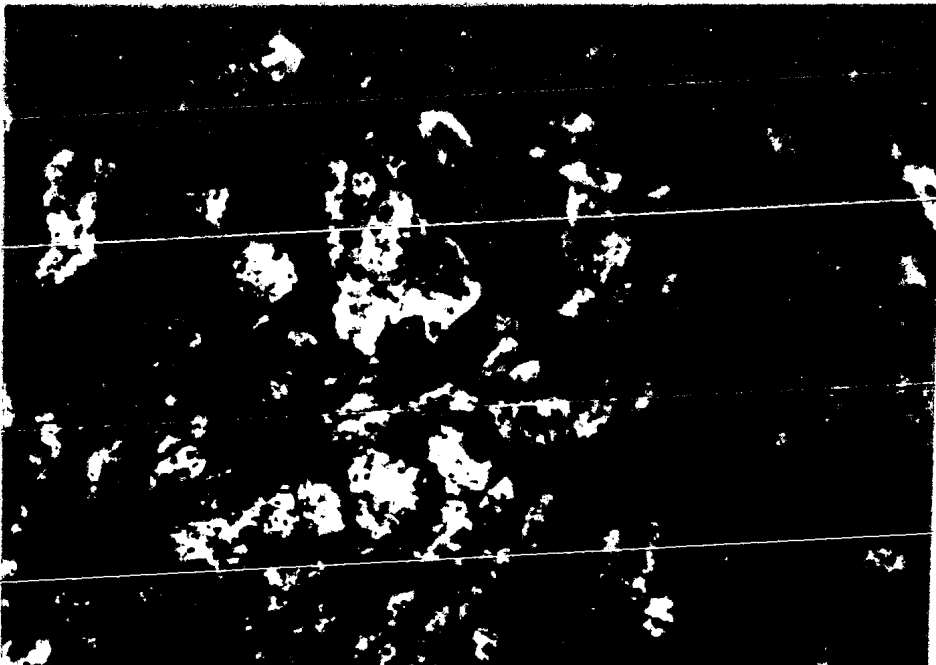


FIG. 14.- Cu-Al 11Fe1.5 CALENTADA 1hr 30 min. a 1000°C
TEMPLADA EN HIELO SECO CON ACETONA (-50°C). 70.5 RB (x160)

4.2. Resultados de Revenido

Los datos obtenidos en el ensayo de dureza de las muestras revenidas se indican en la tabla N^o XIX, de la cuál se puede apreciar que hubo un aumento considerable en algunas de las muestras, pero en su mayoría todas experimentaron una dureza mayor a la obtenida después del temple, comprobando así parte de la teoría referente al revenido después del temple.

A pesar de haber obtenido estos resultados, todavía no se puede definir la presencia de una estructura martensítica, que de acuerdo a la bibliografía es posible obtenerse por medio de temple. Mediante la ayuda de las microestructuras tomadas (Fig. 15,16,17 y 18) es posible determinar la presencia de un cambio de estructura en cada una de las muestras para diferentes características de tratamiento. Posteriormente se intentará explicar los resultados obtenidos de todas las muestras.

TABLA XIX. - DUREZA DESPUES DEL REVENIDO

MATERIAL	PROCESO	TEMPLE DUREZA	TEMPERATURA DE REVENIDO 550°C	TEMPERATURA DE REVENIDO 600°C
A L M E N A F 69.5 RB	CALENTAMIENTO A 1000°C	MEDIO AMBIENTE 68.5 RB	80 RB	78.5 RB
		AGUA 80.5 RB	83 RB	83 RB
		HIELO SECO 70.5 RB	79.5 RB	80 RB
	CALENTAMIENTO A 900°C	MEDIO AMBIENTE 65 RB	72 RB	71 RB
		AGUA 69 RB	76.5 RB	76.5 RB
		HIELO SECO 66 RB	75 RB	74 RB
MATERIAL	PROCESO	TEMPLE DUREZA	TEMPERATURA DE REVENIDO 550°C	TEMPERATURA DE REVENIDO 600°C
A L M E N A Z 67 RB	CALENTAMIENTO A 1000°C	MEDIO AMBIENTE 69 RB	74 RB	73 RB
		AGUA 64.5 RB	69.5 RB	71 RB
		HIELO SECO 60.5	68.5	68 RB
	CALENTAMIENTO A 900°C	MEDIO AMBIENTE 59 RB	62 RB	62 RB
		AGUA 55 RB	61 RB	61.5 RB
		HIELO SECO 57.5 RB	63 RB	62 RB

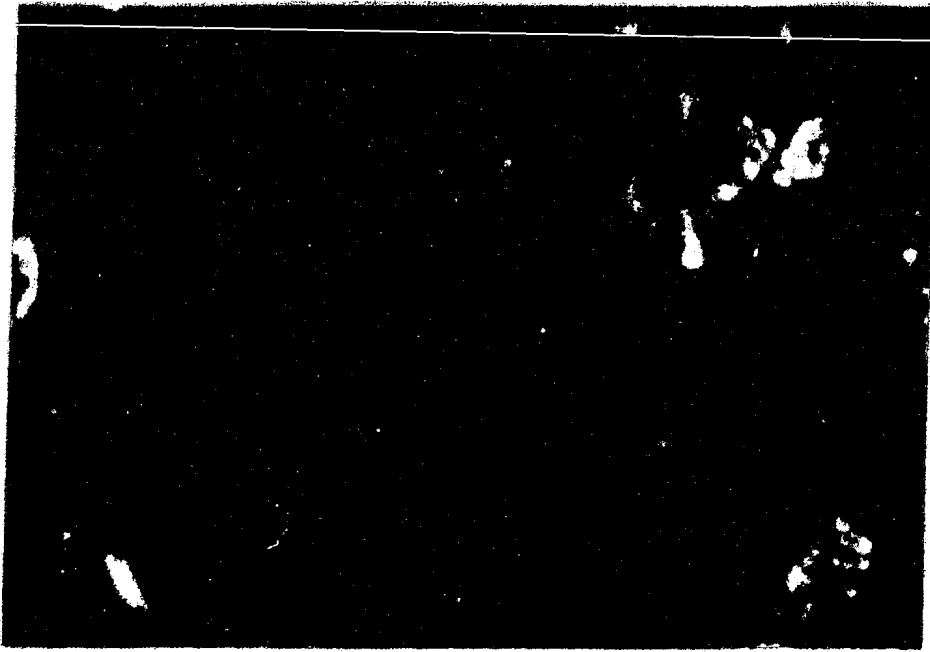


FIG. 15.- Cu-Al 11.5Fe5Ni25.5 CALENTADA 1000°C 1hr 30min.
TEMPLADA EN AGUA (19°C) Y REVENIDA A 600°C 71 RB (x160)

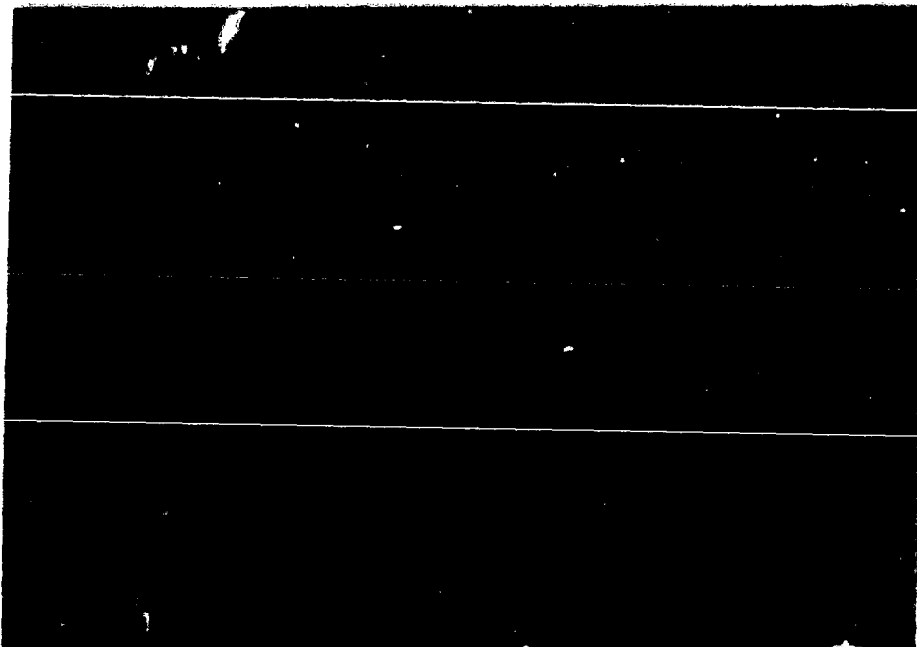


FIG. 16.- Cu-Al 11.5Fe5Ni25.5 CALENTADA 1000°C 1hr 30min.
TEMPLADA EN HIELO SECO CON ACETONA Y REVENIDA A
550°C 68.5 RB (x160)



FIG. 17.- Cu-Al 11Fe1.5 CALENTADA A 900°C 1hr 30 min. TEMPLADA
FN AGUA [19°C] Y REVENIDA A 600°C 76.5 RB (x160)

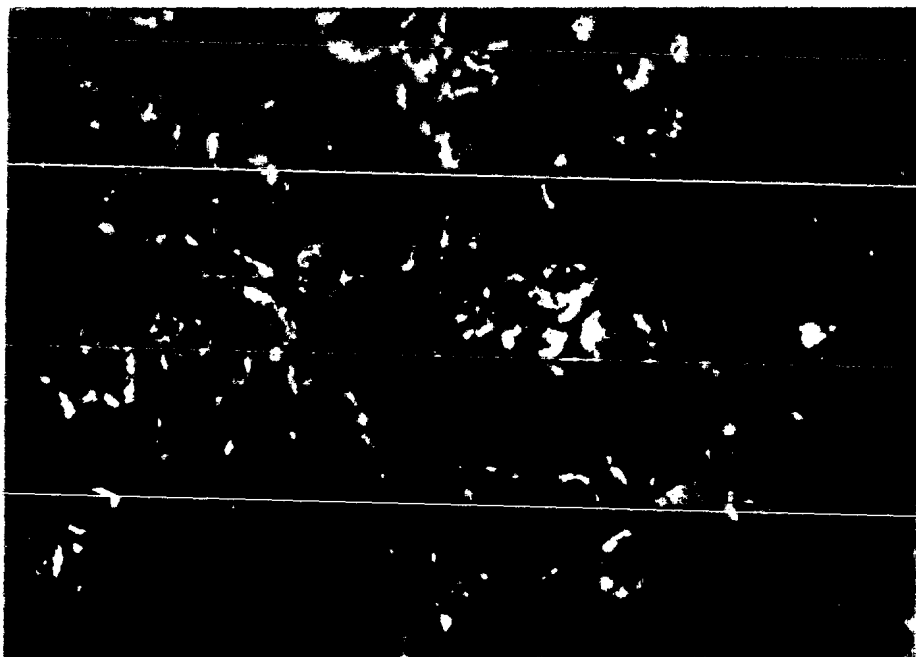


FIG. 18.- Cu-Al 11Fe1.5 CALENTADA A 1000°C 1hr 30 min. TEMPLADA
HIELO SECO CON ACETONA [-50°C] Y REVENIDA A 600°C
74 RB (x160)

Parte de los objetivos de este trabajo es la obtención de una estructura martensítica y hasta el momento no se ha podido definir ampliamente con los resultados obtenidos. Se optó entonces por realizar un tercer proceso aplicado ahora a un cuproaluminio binario puro (aluminio y cobre solamente).

La tercer muestra se trata de un cuproaluminio con 11% de aluminio y el resto de cobre. Se someterá a un proceso de calentamiento a una temperatura similar de las muestras anteriores (950°C) y templada en agua a 19°C. Con estas condiciones se comprobará si se puede ó no obtener la estructura martensítica de acuerdo a los comentarios publicados en la bibliografía consultada (cap. VII).

Debido al tamaño de la muestra (10 mm de ϕ x 1.5 mm de espesor) fue necesario aplicarle a la muestra el ensayo de microdureza Vickers, el cual consiste en aplicar la carga sobre la superficie y microscópicamente determinar el tamaño de la marca del penetrador, para que posteriormente en tablas de microdureza se determine el valor exacto de dureza. Así entonces, los resultados del ensayo antes y después de tratamiento fueron: dureza antes del temple 285 VHN, dureza después del temple 274 VHN

Las cifras anotadas anteriormente, reflejan que la dureza disminuye muy poco, pero en algunas ediciones al respecto aseguran que la estructura martensítica ablanda el material en lugar de endurecerlo. [Rev. Colada Vol. - 11, 1978].

Para complementar la evidencia de la obtención de una estructura martensítica, la siguiente fotografía nos muestra la microestructura después del temple en agua (19°C) de la tercer muestra en estudio y que resulta de un enfriamiento brusco desde una alta temperatura.

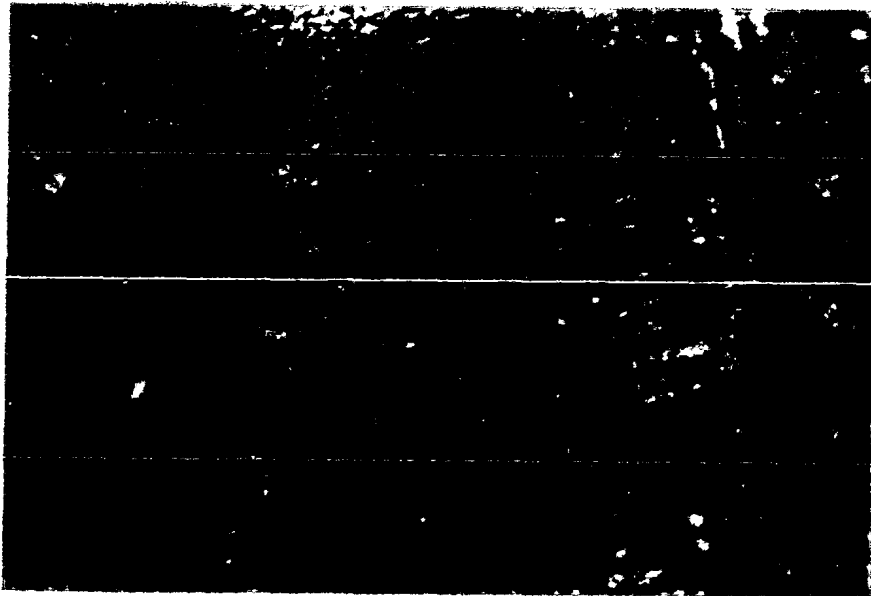


FIG. 19. - Cu-Al 11 CALENTADA A 950°C 30 min, TEMPLADA EN AGUA 19°C, 274 VHN (x160)

C A P I T U L O V

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

5.1. Temple

En la sección anterior se desglosaron todos los resultados obtenidos, pero en este capítulo se intenta dar una explicación del porque de ellos. Existen varias hipótesis acerca de ciertos aspectos que pueden influir en la transformación de la estructura por medio de tratamientos térmicos. En este trabajo, se puede decir que algunas de las variables que contribuyeron a la obtención de diversas microestructuras diferentes a una martensítica fueron las siguientes:

- En algunos cuproaluminios que no son puramente binarios (cobre y aluminio), la fase β se mantiene estable aún después de un tratamiento de temple.
- Analizando la composición química, (sección 3.1a), cada uno de los elementos influyen de una u otra manera. Cuando se tiene un contenido de hierro considerado (3% en adelante), este disminuye la velocidad de transformación permitiendo obtener solamente una combinación $\alpha + \beta$, y después por otro tratamiento (revenido) afinar más el grano, lo cual podría asociarse con el aumento de dureza que experimentan las aleaciones estudiadas.

- El manganeso afina la estructura pero estabiliza la fase β en el enfriamiento y conjuntamente con el hierro forman una fase intermedia y no muy definida que parece ser una mezcla de β y $\alpha + \delta_2$.
- En ciertos cuproaluminios, la obtención de una estructura martensítica, ablanda el material en lugar de endurecerlo como sucede en la mayoría de los casos.

Por otro lado, la obtención de una estructura martensítica en un cuproaluminio netamente binario (cobre y aluminio) nos indica que de alguna u otra manera, los elementos aleantes influyen para retener una cierta fase dependiendo del tratamiento y de la cantidad del material adicional al cobre-aluminio, y parece ser que para obtener una estructura más fina, se necesita una aleación binaria lo más pura posible.

En el primer tratamiento (temple), las condiciones de proceso fueron similares a las recomendadas en la literatura, tanto de investigación como de fabricación, pero en las dos primeras muestras no se pudo definir acertadamente, la obtención de una estructura martensítica. Esto debido en gran parte a los elementos aleantes de los cuproaluminios, que influyen de alguna manera en proporción al contenido en porcentaje de toda la aleación.

5.2. Revenido

Generalmente este proceso es utilizado para reblandecer el material y no para endurecerlo. En este caso el proceso de revenido aplicado a las muestras templadas reveló lo contrario, ya que hubo un aumento en la dureza.

Las condiciones de tratamiento de revenido, al igual -- que el temple, también fueron tomadas de experimentaciones anteriores y dentro de las cuales se han obtenido - resultados interesantes. (Efectos del revenido en co-- bres comerciales; Metal Progress, abril 1973). En este estudio una de las variantes más importantes es la composición química del material, que como ya se explicó - anteriormente, algunos aleantes poseen ciertas propiedades que no permiten obtener una transformación martensítica.

C A P I T U L O VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.-

Conclusiones y Recomendaciones

En esta parte se incluirán todos los comentarios respecto al comportamiento y desarrollo de todo el trabajo así como algunas sugerencias para trabajos posteriores.

Siguiendo la secuencia del estudio, en primer término se anotarán las conclusiones respecto a las teorías y resultados obtenidos en el proceso de temple.

- Las aleaciones estudiadas, están dentro de aquellas en las cuáles se establece que la fase β se mantiene aún después de un tratamiento de temple.*
- Los materiales aleantes adicionados al cuproaluminio - influyen de alguna manera para mantener una fase estable después del proceso temple.*
- Las microestructuras obtenidas después del temple muestran que existió una inhibición de la transformación martensítica.*

Referente a los datos obtenidos del revenido

- En la teoría que menciona la obtención de la martensita por revenido, no se contempla la influencia de los elementos aleantes y tal vez se aplique sólo a materiales binarios.

Comprobando con la tercer muestra considerada como una aleación binaria, las conclusiones obtenidas, se corrobora lo encontrado en estudios anteriores. (La transformación β en las aleaciones cu-al, Metal Transactions Vol. 185; Tratamientos térmicos de los cuproaluminios, Revista Colada Vol. 11, 1978).

- Si es posible obtener una estructura martensítica por medio de un proceso de temple, en los cuproaluminios binarios, pero no se puede asegurar con certeza el mínimo porcentaje permitido de elementos aleantes que permite la realización de dicho objetivo.
- En este tipo de aleación binaria la obtención de la estructura martensítica reblandece el material en lugar de endurecerlo.

En el área de los tratamientos térmicos existen un gran número de interrogantes así como variantes que hacen po-

sible un amplio campo de investigaciones y que en la medida en que se vaya cubriendo, las dudas se irán aclarando.

De acuerdo a esta pequeña experiencia, se pueden visualizar algunos puntos claves, que podrían determinar mas datos respecto al comportamiento de los cuproaluminios.

Algunos de ellos serían:

- Temperaturas para temple y revenido (variación de estas para el mismo material)
- Investigar de que manera y hasta que porcentaje, influyen algunos materiales aleantes (hierro, manganeso, otros).
- Experimentar diversos tiempos para el mismo material y a la misma temperatura.

Y como estas sugerencias se pueden citar muchas mas, ya que cada una de las variables de los procesos de tratamientos térmicos (tiempo, temperatura, composición, velocidad de enfriamiento) otorga un sin número de resultados diferentes entre sí.

BIBLIOGRAFIA

- *El Cobre y sus Aleaciones en la Tecnología*
Centro Español de Información del Cobre
- *Heat Treating Copper and Copper Alloys*
Metal Progress (Mayo 1974)
- *Tratamientos Térmicos de los Cuproaluminios*
Revista Colada Vol. 11 (1978)
- *How Annealing Affects Commercial Coppers*
Metal Progress (Abril 1973)
- *The Transformations in β -CuAl Alloys*
Metal Transactions Vol. 185
- *Sobre la Temperatura de Transformación Martensítica de los Bronces al Aluminio*
J.J. Regidor; Ma. C. Cristina y J. Ma. Sistiaga
Trabajo presentado al CENIM
- *Los Bronces al Aluminio. Su Comportamiento y Aplicaciones*
Ing. Francisco Andión 6 Trabajo Presentado al 4º Congreso Nacional de la Industria de la Fundición.
- *Materials Science For Engineers*
J. H Van Vlack C.E.C.S.A.
- *Materiales para Ingeniería y sus Aplicaciones*
Richard A. Flinn, Paul K. Trojan Mc Graw Hill