



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TRATAMIENTOS TERMOMECÁNICOS DE  
ALEACIONES Cu-Zn Y Cu-Al

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

presentan

JOSE AARON BELIO MALDONA  
PEDRO ROMEO RAMIREZ RUI



DIRECTOR DE TESIS  
ING. ARTURO BARBA PINGARRON

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES TEORICOS.	
I.1 Cobre y sus Aleaciones.	3
A) Cobre.	5
B) Cobre débilmente Aleado.	7
C) Cobre de Alta Aleación.	14
D) Aleaciones Cu-Zn (Latones).	21
E) Aleaciones Cu-Sn (Bronces).	28
F) Aleaciones Cu-Al (Cuproaluminios).	33
G) Aleaciones Cu-Ni (Cuproniquelios).	34
H) Aleaciones Cu-Ni-Zn (Alpacas).	36
I) Alpacas con Plomo.	41
I.2 Diagramas de Equilibrio de las Aleaciones Cu-Zn y Cu-Al.	45
I.2.1 Diagrama de Equilibrio Cu-Zn	45
I.2.2 Diagrama de Equilibrio Cu-Al	49
I.3 Propiedades y Aplicaciones de las Aleaciones Cu-Zn y Cu-Al.	53
I.3.1 Propiedades y Aplicaciones de las Aleaciones Cu-Zn.	53
I.3.2 Propiedades y Aplicaciones de las Aleaciones Cu-Al.	58
I.4 Tratamientos Térmicos de las Aleaciones de Cobre.	66

	Página
I.5 Tratamientos Térmicos de las Aleaciones Cu-Zn y Cu-Al.	75
I.5.1 Tratamientos Térmicos de las Aleaciones Cu-Zn.	75
I.5.2 Tratamientos Térmicos de las Aleaciones Cu-Al.	79
 CAPITULO II. TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS.	
II.1 Técnicas de Trabajo Termomecánico	85
II.2 Clasificación de Técnicas de Trabajo Termomecánico.	87
II.2.1 Clasificación Norteamericana de Tratamientos Termomecánicos.	87
II.2.2 Clasificación Soviética de Tratamientos Termomecánicos.	90
II.3 Tratamientos Termomecánicos de Aleaciones Cu-Al y Cu-Zn.	96
II.3.1 Tratamientos Termomecánicos de Aleaciones Cu-Al.	96
II.3.2 Tratamientos Termomecánicos de Aleaciones Cu-Zn.	98
 CAPITULO III. EXPERIMENTACION.	
III.1 Elección de Materiales.	100
III.2 Características Generales de las Aleaciones.	102
III.3 Preparación de Muestras.	104
III.4 Aplicaciones de Tratamientos Térmicos Preliminares a los Tratamientos Termomecánicos.	108

	Página
CAPITULO IV. APLICACION DE TRATAMIENTOS TERMO--MECANICOS.	
IV.1 Secuencia de Tratamientos Termo--mecánicos para Aleaciones Cu-Al y Cu-Zn.	110
IV.2 Representación Gráfica de los Tra--tamientos Termomecánicos Aplica--dos a la Aleación Cu-Al y Cu-Zn.	114
CAPITULO V. ENSAYO DE TRACCION PARA LA ALEACION Cu-Zn. POSTERIOR A LA APLICACION DE LOS TTM.	
V.1 Secuencia del ensayo de Tracción.	121
V.2 Representación gráfica del ensayo de Tracción.	123
CAPITULO VI. RESULTADOS.	
VI.1 Resultados para el Cu - Zn.	129
VI.2 Resultados para el Cu - Al.	130
CAPITULO VII. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	
VII.1 En Relación a la Aleación Cu-Zn.	138
VII.2 En Relación a la Aleación Cu-Al.	142
CONCLUSIONES.	
.1 En Relación a la Aleación Cu-Zn.	144
.2 En Relación a la Aleación Cu-Al.	145
BIBLIOGRAFIA.	147

## INTRODUCCION

En la actualidad el avance tecnológico e industrial requiere de la utilización de materiales con propiedades mecánicas cada vez mejores. Debido a esta exigencia, el Acero ha tenido prioridad en diversas aplicaciones dadas sus buenas propiedades mecánicas comparadas con la mayoría de los demás metales, a esto se suma la relativa facilidad con que esta aleación se puede obtener.

Sin embargo, aun cuando los Aceros presentan ventajas sobre otros metales, (en cuanto a propiedades mecánicas se refiere) el empleo de metales no ferrosos es de vital importancia especialmente si este debe estar en contacto directo con medios corrosivos. Las aplicaciones de esta índole en la mayoría de los casos, deben combinar tanto la buena resistencia a la corrosión como elevadas propiedades mecánicas. Algunas aplicaciones comunes de metales no ferrosos se dan en la fabricación de flechas propulsoras y hélices de barcos, carcasas para bombas, álabes de turbinas para gas e hidráulicas, tuberías, etc.

Para poder cubrir la demanda de metales con propiedades mecánicas elevadas, se han desarrollado paralelamente a estas necesidades las investigaciones sobre Tratamientos Térmicos y Tratamientos Térmicos combinados con deformaciones mecánicas encaminados a mejorar dichas propiedades.

Los estudios hasta ahora realizados, han prestado su atención particularmente al diseño de Tratamientos Termomecánicos destinados a mejorar las propiedades mecánicas de los Aceros debido a que la industria absorbe un alto porcentaje de esta aleación en sus diversas aplicaciones.

En el trabajo aquí presentado se recopilan algunas de las informaciones sobre estudios realizados para mejorar las propiedades mecánicas de aleaciones no ferrosas. El trabajo está enfocado a exponer las técnicas o Tratamientos Térmicos combinado con deformaciones mecánicas para incrementar las propiedades mecánicas como; dureza, tenacidad, resistencia a la tracción, etc. particularmente en aleaciones Cu-Al y Cu-Zn, producidas comercialmente en el país.

El objetivo de la realización de este trabajo es conocer las técnicas o técnica más recomendable para lograr el máximo incremento de propiedades mecánicas en las aleaciones Cu-Al y Cu-Zn a través de la experimentación de las diversas técnicas hasta ahora propuestas, o bien, a través del diseño de técnicas apropiadas, basadas en las experiencias adquiridas en los estudios hechos para el caso de Aceros.

Con esto se pretende dar una aportación técnica para el mejor aprovechamiento de las cualidades de estas aleaciones y aumentar los campos de aplicación en la industria mexicana.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES TEORICOS

#### I.1 COBRE Y SUS ALEACIONES.

Uno de los metales más antiguamente conocidos es el Cobre, ya que el hombre lo ha utilizado para fabricar diversos utensilios como; herramientas, vasijas, adornos, etc.

La razón por la cual este metal se utilizó más comunente en comparación con otros metales (el Hierro por ejemplo) se debe a que se encuentra en estado nativo en el suelo gracias a su nobleza electroquímica.

El Cobre es considerado como un metal noble, pero de menor valor económico comparado con el Oro, la Plata y el Platino debido a que es más común.

Varios factores determinan la utilización del Cobre en distintas aplicaciones. Por ejemplo, la resistencia a la corrosión lo hace un metal preferentemente empleado para fabricar elementos que deben tener contacto con medios corrosivos como Agua de Mar, soluciones Ácidas, etc.

Un segundo factor lo constituye su excelente conductividad eléctrica, la cual es superada solamente por el Oro y ligeramente por la Plata. Por esta razón la industria eléctrica consume aproximadamente el 50% de la producción de este metal.

El color agradable del Cobre ha sido el factor determinante para su utilización en diversas aplicaciones decorativas y artísticas.

A esto se suma la facilidad para manejarlo dada su maleabilidad. Además, la recuperación de este metal de chatarra es fácil, esto hace que existan buenas cantidades para satisfacer la demanda.

Aun cuando el Cobre presenta estas ventajas, en algunas aplicaciones es necesario tener además; buena resistencia mecánica, buena maquinabilidad, resistencia a altas temperaturas, etc.

Para obtener estas características pueden utilizarse aleaciones de Cobre con otros metales como; Zinc, Aluminio, Estaño, Níquel, Hierro, etc.

El Cobre y sus Aleaciones pueden clasificarse en diferentes grupos, según el Consejo Internacional para el Desarrollo del Cobre (C.I.D.E.C.), los principales grupos son:

- A. Cobre.
- B. Cobre débilmente aleados.
- C. Cobre de alta aleación.
- D. Aleaciones Cobre-Zinc (Latones), Cobre-Zinc-Plomo, (Latones con Plomo) y Cobre-Zinc Especiales (Latones Especiales).

- E. Aleaciones Cobre-Estano (Bronces).
- F. Aleaciones Cobre-Aluminio (Cuproaluminios).
- G. Aleaciones Cobre-Níquel (Cuproníqueles).
- H. Aleaciones Cobre-Níquel-Zinc (Alpacas).
- I. Aleaciones Cobre-Níquel-Zinc-Plomo (Alpacas con Plomo).

A continuación se exponen brevemente algunos aspectos de importancia relevante sobre esta clasificación.

#### A) COBRES.

En la actualidad los yacimientos de Cobre metálico están prácticamente agotados y debido al consumo mundial de este metal, cada vez se incrementa aún más la explotación de minas rales que contienen de 0,5 a 1 % de Cu., e incluso menos.

Los minerales generalmente sulfurados se concentran para obtener mata rica en Cobre y Azufre. El Azufre se elimina por oxidación al fuego, obteniéndose así el Cobre refinado Térmico que contiene 99,95% de Cobre y el resto de impurezas.

Su conductividad eléctrica es mediana (83-85% IACS)\*

\* Se ha convenido internacionalmente, que una muestra de cobre puro tiene la conductividad de 100% IACS (International Annealed Copper Standard) o sea  $58 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$ . En realidad algunos Cobres muy puros pueden alcanzar 102% IACS.

Las impurezas se pueden reducir mejorando las condiciones de refinación obteniéndose así lo que se denomina Cobre refinado Térmico de alta conductividad, cuya conductividad varía entre 100 y 101% IACS., contenido de Cobre 99.9%.

Este Cobre refinado Térmico de relativa impureza, no es utilizado como tal, sino que se coecla en ánodos que son refinados electrolíticamente, los cátodos obtenidos en la electrolisis son refundidos y colados en lingotes, alambre, tochos, etc. Se obtiene así el Cobre electrolítico de alta conductividad eléctrica (100 a 101.5% IACS) que tiene un contenido mínimo de Cobre de 99.7%.

La pureza de este Cobre no es total, sigue existiendo por lo menos 0.1% de Oxígeno que es perjudicial en ciertos casos.

Debido a esto se ha preparado un Cobre "oxeto de oxígeno", el cual tiene la misma conductividad eléctrica, pero con un mínimo de Cobre de 99.95%. Este tipo de Cobre es obviamente bastante caro por lo que su empleo se reserva a aplicaciones especiales.

Por otra parte al existir muchas aplicaciones del Cobre en las que la conductividad eléctrica pasa a segundo término, y la presencia de Oxígeno (bajo forma de óxido cuproso  $Cu_2O$ ) es totalmente perjudicial, y es necesario someter el Cobre a una nueva fusión con adición de Fósforo, que es un poderoso

desoxidante. La eliminación total del Oxígeno requiere evidentemente un exceso de Fósforo que queda presente en el metal. Se pueden distinguir dos calidades de cobre desoxidado con fósforo que son:

- Cobre desoxidado con fósforo con alto contenido de fósforo residual, 99.85% Cu y 0.013 a 0.050 de P., conductividad de 70 a 90% IACS.
- Cobre desoxidado con fósforo con bajo contenido de fósforo residual, 99.9% Cu y 0.005 a 0.012% de P., conductividad de 85 a 98% IACS.

Las propiedades físicas, mecánicas a temperatura ambiente y a baja temperatura, así como a temperaturas elevadas se muestran en las tablas I.1, I.2, I.3 y I.4 respectivamente para estos cobsres.

#### B) COBRES DEBILMENTE ALEADOS.

Se denominan Cobsres debilmente aleados a aquéllos metales con un contenido de elementos aleantes menor al 1%.

Los Cobsres debilmente aleados casi siempre conservan la pureza del Cobre y sus características. Los elementos aleantes sólo vienen a reforzar alguna propiedad de particular importancia para cierta aplicación. Así, si se requiere de resistencia a altas temperaturas durante periodos de tiempo - -

**Tabla 3.1. Propiedades físicas de los cables**

Material			Cu electrolítico	Cu electrolítico de alta conductividad	Cu electrolítico	Cu electrolítico de alta pureza	Cu electrolítico de alta pureza con alto contenido de Mg para reducir	Cu electrolítico de alta pureza con alto contenido de Mg para reducir
Designación			Cu-ETP	Cu-ETHC	Cu-ETP	Cu-CP	Cu-DUP	Cu-DRP
Material	Unidad	Estado del						
Densidad	g/cm <sup>3</sup>		8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
Punto de fusión	°C		1083	1083	1083	1083	1083	1083
Coefficiente de dilatación térmica (20-100°C)	°C <sup>-1</sup>		0.0000163	0.0000162	0.0000163	0.0000163	0.0000164	0.0000164
Calor específico (a 20°C)	cal/g °C		0.0921	0.0921	0.0921	0.0921	0.0921	0.0921
Conductividad térmica (a 20°C)	cal cm/cm <sup>2</sup> s °C		0.94	0.94	0.93-0.93	0.94	0.93-0.93	0.93-0.93
Conductividad eléctrica (valoración, a 20°C)	$\rho_{20} = 1$	R	50.0-51.0	50.0-51.0	49.5-51	50.0-50.9	49.5	49.5-51
	NAICS	R	100.0-101.5	100.0-101.5	99.0-101	100.0-101.5	99.96	100.0-101
Resistividad eléctrica (valoración, 20°C)	ohm cm	R	1.7241-1.70	1.7241-1.70	2.0-1.9 <sup>1)</sup>	1.7241-1.70	2.0-1.9	2.0-1.9 <sup>1)</sup>
Coefficiente de resistencia eléctrica (a 100 y +200°C)	°C <sup>-1</sup>	R	0.0003 (100% IACS)	0.0003 (100% IACS)	0.0003 <sup>1)</sup> (95% IACS)	0.0003 (100% IACS)	0.0003 (95% IACS)	0.0003 <sup>1)</sup> (95% IACS)
Módulo de elasticidad (20°C)	kg/cm <sup>2</sup>	R	12000	12000	12000	12000	12000	12000
		F	12000 (12000)	12000 (12000)	12000 (12000)	12000 (12000)	12000 (12000)	12000 (12000)
Módulo de torsión (20°C)	kg/cm <sup>2</sup>	R	4500	4500	4500	4500	4500	4500
		F	4500 (4500)	4500 (4500)	4500 (4500)	4500 (4500)	4500 (4500)	4500 (4500)

R = resistencia      1) - Estado forjado o recocido.  
F = la fuerza        2) - 0-100 °C.

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas de los cobses a temperatura ambiente.

Material			Cu electrolítico templ	Cu aleado de alta resis- tencia	Cu aleado templ	Cu aleado de engibre	Cu aleado con níquel con bajo con- tenido de ní- quel residual	Cu aleado con níquel con alto con- tenido de ní- quel residual
Designación			Cu-ETP	Cu-FRHC	Cu-FRTP	Cu-OF	Cu-OLP	Cu-DHP
Magnitud	Unidad	Estado						
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R <sub>1</sub>	22	22	22	27	22	22
		R <sub>2</sub>	23-26	23-26	-	23-26	-	-
		F <sub>1</sub>	27-30	27-30	27-30	27-30	27-28	27-30
		F <sub>2</sub>	26-45	26-45	-	26-45	-	-
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R <sub>1</sub>	5	5	5	5	5	5
		R <sub>2</sub>	18-24	18-24	18-24	18-24	18-24	18-24
Alarga- miento	%	R <sub>1</sub>	48	48	48	48	48	48
		R <sub>2</sub>	26-37	26-30	-	26-37	-	-
		F <sub>1</sub>	25-6	25-6	25-6	25-6	25-6	25-6
		F <sub>2</sub>	45	45	45	45	45	45
Queda dentel		F <sub>1</sub>	75-105	75-105	75-105	75-105	75-105	75-105
		F <sub>2</sub>	16	16	16	16	16	16
Resistencia a la compresión	kg/mm <sup>2</sup>	F <sub>1</sub>	19-20	18-20	19-20	19-20	19-20	19-20
		R	19-20	18-20	19-20	19-20	19-20	19-20

R<sub>1</sub> = estado resaca (brasa, templ)

R<sub>2</sub> = Estado resaca (aleante)

F<sub>1</sub> = estado de brasa ( " " )

F<sub>2</sub> = " " de brasa ( " " )

**Tabla 1.3** Propiedades mecánicas de los alúminos a baja temperatura (4K/100K).

Material			Cu aluminio tema	Cu aluminio de alta con- ductibilidad	Cu aluminio tema	Cu aluminio de alto de grado	Cu aluminio de alto grado con baja con- ductibilidad de alta resistencia	Cu aluminio de alto grado con baja con- ductibilidad de alta resistencia
Designación			Cu-CTP	Cu-FBHC	Cu-FRTP	Cu-OF	Cu-DLP	Cu-DHP
Magnitud	Unidad	Estado	a -100 °C	a -100 °C	a -100 °C	a -100 °C	a -100 °C	a -100 °C
Resistencia a la tracción	kgf/cm <sup>2</sup>	R	35	35	35	35	35	35
		F	39	39	39	37-40	37	37
Límite elástico	kgf/cm <sup>2</sup>	R	7	7	7	6-7,5	6-7,5	6-7,5
		F	20	20	20	19-22	19-20	19-20
Alargamiento	%	R	57	57	57	58-68	59-59	59-59
		F	45	45	45	40-42	43-62	49-62

R = estado receptado      F = estado de baja conductividad 0.7% en final.

**Tabla 1.4** Propiedades mecánicas de los alúminos a temperatura elevada.

Material			Cu aluminio tema	Cu aluminio de alta con- ductibilidad	Cu aluminio tema	Cu aluminio de alto de grado	Cu aluminio de alto grado con baja con- ductibilidad de alta resistencia	Cu aluminio de alto grado con baja con- ductibilidad de alta resistencia
Designación			Cu-CTP	Cu-FBHC	Cu-FRTP	Cu-OF	Cu-DLP	Cu-DHP
Magnitud	Unidad	Estado	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C
Resistencia a la tracción	kgf/cm <sup>2</sup>	R	15	15	15	16	17	16
		F	17,5	17,5	17,5	16	—	17,5
Límite elástico	kgf/cm <sup>2</sup>	R	6	6	6	6,5	—	6,5
		F	14,5	14,5	14,5	13	—	16,5
Alargamiento	%	R	57	57	57	57	60	52
		F	34	34	34	49	—	46

R = estado receptado  
F = estado de baja

considerables, el Cobre se puede alea con Plata (0.02-0.12%), la cual evita un fenómeno de recristalización llamado "reblandecimiento" que ocurre al Cobre al estar expuesto por unos días a una temperatura de 200°C. Con la adición de Plata la resistencia a la temperatura aumenta en 100°C.

Los Cobre debilmente aleados se producen en forma de lingotes, alambres, placas y techos.

Dentro de los Cobre debilmente aleados destacan los siguientes:

a) Cobre Desoxidado con Fósforo.

$Cu + Ag + As$  ; P 0.013-0.03%, As 0.015-0.5%

Gracias a la desoxidación con fósforo, este Cobre es fácilmente soldable; por otra parte, la presencia de Arsénico aumenta la temperatura de reblandecimiento y mejora la resistencia a la corrosión en ciertos medios. Se utiliza principalmente en aparatos y tuberías para líquidos y gases relativamente poco corrosivos, a temperaturas moderadamente elevadas. Se fabrican además tubos y placas tubulares para condensadores que trabajen con agua dulce, y además para tuberías diversas.

b) Cobre Tenax con Plata

$Cu + Ag$  ; Ag 0.02-0.12%

Este Cobre presenta características de buena resistencia al reblandecimiento y a la fluencia, lo que permite su utilización hasta 250° C.

Por su excelente conductividad eléctrica, este Cobre se presta ventajosamente a la construcción de elementos de máquinas eléctricas rotativas (pletinas para bobinado, delgas de colectores) que trabajan a temperaturas bastante elevadas.

Se utiliza igualmente para barras colectoras, contactos e interruptores, bobinados de inducción, circuitos impresos, etc. Su resistencia al reblandecimiento y la buena conductividad se aprovechan en los casos de aletas de radiadores y otros cambiadores de calor, otra aplicación son las placas para fotograbados de larga vida.

c) Cobre exento de Oxígeno con Plata



Las aplicaciones de este Cobre son las mismas que para el Cobre con Plata ordinario, pero la ausencia de óxidos permite el calentamiento en atmósfera reductora (por ejemplo para soldadura).

Se emplea en electrónica para las uniones vidrio-metal, para bases de transistores y de rectificadores, para bobinado de máquinas rotativas, delgas de colectores, barras colectoras, contactos e interruptores.

d) Cobre con Azufre.



Dadas sus propiedades este cobre se utiliza para las terminales torneadas para transformadores, los contactos y conexiones, así como toda clase de piezas conductoras de corriente obtenidas por torneado.

Existen también aplicaciones donde el Cobre es elegido no por su conductividad si no por su resistencia a la corrosión y su bonito aspecto. Algunas de estas aplicaciones, tales como resaches, tuercas, tornillos, etc., que necesitan un maquinado importante, recurren al Cobre con Azufre.

e) Cobre con Telurio.



Esta aleación tiene una maquinabilidad mejor que la del Cobre con Azufre. Su conductividad es similar a la del Cobre común. Se utiliza por lo tanto para fabricar piezas de Cobre que requieran un maquinado importante, así como para aplicaciones eléctricas y otras.

Se pueden citar las terminales de transformadores y de disyuntores, contactos y conexiones diversas.

Resaches, tornillos y tuercas de Cobre también se fabrican por maquinado a partir de barras de cobre con telurio.

En la Tabla 1.5 se muestran las propiedades físicas de los Cobre debilmente aleados mencionados anteriormente.

En las Tablas 1.6 y 1.7 se muestran las propiedades mecánicas de los cobres debilmente aleados mencionados anteriormente, tanto a temperatura ambiente como a temperatura elevada respectivamente.

### C) COBRES DE ALTA ALEACION.

No siempre la conductividad eléctrica resulta ser la propiedad primordial en un Cobre, y se requieren en otras aplicaciones características como mayor resistencia a la tracción, dureza considerable, resistencia a la corrosión, resistencia a la oxidación, etc. Para este tipo de aplicaciones se cuentan con las siguientes aleaciones: Cobre-Cadmio y Cobre-Cadmio-Estano.

Para mejorar notablemente las propiedades mecánicas del Cobre este se alea con Cadmio en una proporción de 0.2 a 1.2%. Así se ven incrementados el límite de fluencia, el límite de fatiga y la resistencia al desgaste. Además el Cadmio aumenta sensiblemente la temperatura de reblandecimiento del Cobre Forjado, esto favorece operaciones como la de aplicar soldadura blanda y la polimerización de los barnices para aislamiento eléctrico.

TABLA 1.5 Propiedades físicas de los Cables de Aluminio.

Material		Cable aluminio con núcleo de acero	Cable línea con placa	Cable con núcleo de aluminio	Cable con núcleo de acero	Cable con núcleo de aluminio	
Designación		Ca-DPA	Ca-LSTP	Ca-DPS	Ca S	Ca Tc	
Magnitud	Unidad						
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	
Punto de fusión	°C	1083-1082	1002	1002	1067-1070	1067-1068	
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000017	0,0000168	0,0000165	0,000017	0,000017	
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm <sup>2</sup> cm <sup>2</sup> °C	0,35-0,45	0,34	0,34	0,39	0,39	
Conductividad eléctrica, aluminio (20 °C)	m/Ω cm <sup>2</sup>	R	39,29	37,4-38,5	37,4-38,5	52,1	52,8
		F	35-45	36-40	35-40	50	50
Resistividad eléctrica, aluminio (20 °C)	μΩ cm	R	4,9-5,8	1,74-1,71	1,74-1,71	1,81	1,78
		F					
Coeficiente térmico de la resistencia eléctrica (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	R	0,0014-0,0018	0,0018	0,0019	0,0017	0,0019
		F					
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	R	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
		F	12 000-13 500	12 000-13 500	12 000-13 500	12 000-13 500	12 000-13 500
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	R	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500
		F	4 500-5 000	4 500-5 000	4 500-5 000	4 500-5 000	4 500-5 000

R = estado recocido      F = estado de fuerza

**TABLA I.6 Propiedades Mecánicas de Los Cables  
Débilmente Aleados a Temperatura Ambiente.**

Material			Cable aleado de alta ten. fuerz. con aluminio	Cable aleado con plata	Cable aleado de aluminio con plata	Cable con estrua	Cable con Ward
Designación			Cu-DPA	Cu-LTP	Cu-DPS	Cu S	Cu T
Magnitud	Unidad	Estado	1st	1st	1st	2nd	1st
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	32	32	23	23	33
		F	27-30	27-28	23-25	23-25	27-25
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	5	5	5	5	5
		F	18-24	18-24	18-24	23-22	23-23
Alargamiento	%	R	45	45	45	45	45
		F	25-6	25-6	25-6	25-6	15-6
Carga límite		R	45	45	45	45	45
		F	25-100	25-100	15-100	25-100	20-100
Resistencia a la fatiga		R	10	10	10	14	14
		F	10-20	10-20	10-20	17-19	13-19

R = estado reciente      1st Pruebas planas  
F = estado de fuerza      2nd Barea

**TABLA I.7 Propiedades Mecánicas de Los Cables  
Débilmente Aleados a Temperatura Elevada.**

Material			Cable aleado de alta ten. fuerz. con aluminio	Cable aleado con plata	Cable aleado de aluminio con plata	Cable con estrua	Cable con Ward
Designación			Cu-DPA	Cu-LTP	Cu-DPS	Cu S	Cu T
Magnitud	Unidad	Estado	a 300 °C	a 300 °C	a 300 °C	a 300 °C	a 300 °C
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	10	10.5	10.5	—	—
		F	—	24	24	24	25
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	—	—	—	—	—
		F	—	10	10	—	—
Alargamiento	%	R	40	45	44	—	—
		F	—	15	12	22	8

R = estado reciente      1st Planos  
F = estado de fuerza      2nd Barea

Estas aleaciones son utilizadas en aplicaciones eléctricas. El Cobre-Cadmio-Estado, se utiliza para aquéllas aplicaciones donde se requiere una resistencia a la tracción mayor.

La conductividad eléctrica de estas aleaciones disminuye de un 60 a un 80% en relación al Cobre puro.

Dentro de los Cobre de Alta Aleación se encuentran las siguientes aleaciones más importantes:

a) Aleaciones Cobre-Cromo.

La adición de 0.5 a 1.2% de Cromo al Cobre, permite aumentar considerablemente la resistencia mecánica por medio de un Tratamiento Térmico de Precipitación de una segunda fase rica en Cromo (Endurecimiento por Envejecimiento).

Este tratamiento se denomina también endurecimiento por envejecimiento, que consiste de un calentamiento hasta la solubilización luego un enfriamiento en agua seguido de un re calentamiento a temperatura media.

Después del enfriamiento, las aleaciones Cobre-Cromo son blandas y maleables. El Tratamiento de Precipitación produce además, una mejora importante de las características mecánicas.

Las aleaciones Cobre-Cromo conservan sus características óptimas hasta 250 °C manteniéndolas incluso hasta 400 °C.

Son utilizadas cuando la conductividad Térmica y eléctrica - deben ser características importantes además de tener una - buena resistencia a la deformación en caliente. Algunas apli- caciones se dan en los electrodos de máquinas para soldar - por resistencia, delgas de colectores, etc.

b) Aleaciones Cobre-Berilio-Cobalto.

Las propiedades de estas aleaciones difieren totalmente de - las del Cobre puro, por esto se consideran como aleaciones - especiales; por ejemplo, su conductividad eléctrica apenas - es de 17 a 30% IACS., considerada baja comparada con la del Cobre.

Sin embargo, son muy útiles donde se requieran propiedades - como; alta resistencia mecánica (sobre todo después de haber sufrido un tratamiento Térmico de precipitación), excelente resistencia al desgaste y al choque sin producir chispas, - a-magnetismo y relativa facilidad de trabajo en estado blan- do.

Los Cupro-Berilios conservan sus características mecánicas - hasta los 300 °C y no disminuyen de una manera brusca inclu- so por encima de los 350 °C.

La ventaja de estas aleaciones sobre las demás, es que con- servan características superiores a temperaturas aún mayores a los 350 °C.

Las aleaciones Cobre-Berilio con alto contenido de Cobalto elevan su conductividad eléctrica a 50% IACS., pero sus características mecánicas son inferiores a las aleaciones de más alto contenido de Berilio que además soportan temperaturas más elevadas.

Una de las ventajas de la aleación Cobre-Berilio sobre los Aceros, lo constituye su menor módulo de elasticidad, ya que esto permite acumular más energía de deformación en el mismo volumen, de aquí se deriva el éxito de las aleaciones Cobre-Berilio en la fabricación de piezas que deberán trabajar bajo grandes esfuerzos.

c) Aleaciones Cobre-Níquel-Silicio.

Estas aleaciones tienen como características principales; buena resistencia mecánica, magnetismo y conductividad eléctrica relativamente elevada, la cual puede adaptarse a la aplicación requerida variando la composición de la aleación o bien, preferiblemente, los Tratamientos Térmicos.

d) Aleaciones Cobre-Silicio-Manganeso.

Sus características sobresalientes son; propiedades mecánicas superiores a las del Cobre, excelente resistencia a la corrosión, facilidad para ser soldada.

Dadas estas características, se emplean en aplicaciones navales, hidráulicas, mecánicas y químicas.

Estas aleaciones se venden en lingotes cuando se destinan a fundición.

Existen además en el mercado distintos productos semielaborados; bandas, alambres, chapas, etc., fabricados a partir de lingotes, alambre, placas, etc.

Las composiciones más corrientes de los Cobre de Alta Aleación son las siguientes:

Aleaciones Cobre-Cadmio	0.2 a 1.2% Cd
Aleaciones Cobre-Cadmio-Estado	0.5 a 1 % Cd
	0.2 a 6 % Sn
Aleaciones Cobre-Cromo	0.5 a 1.2% Cr
Aleaciones Cobre-Berilio	1.7 a 2 % Be
Aleaciones Cobre-Cobalto-Berilio	0.4 a 0.8% Be
	2 % Co
Aleaciones Cobre-Níquel-Silicio	2 % Ni
	1 % Si
Aleaciones Cobre-Silicio-Manganeso	3 % Si
	1 % Mn

En las Tablas 1.8, 1.9 y 1.10 se muestran las propiedades físicas, las propiedades mecánicas a temperatura ambiente y las propiedades mecánicas a temperatura elevada de las Aleaciones con Alto Contenido de Cobre respectivamente.

#### D) ALEACIONES COBRE-ZINC (LATONES).

Los Latones son aleaciones a base de Cobre y Zinc, que contienen de 5 a 40% de este metal y eventualmente varios otros elementos en pequeñas proporciones.

Según su composición, los Latones pueden ser moldados 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 rosado al amarillo para contenidos crecientes de Zinc, su buena resistencia a la corrosión y su aptitud para los tratamientos superficiales permite realizar económicamente, objetos de bello aspecto, de larga duración y de mantenimiento fácil.

Las propiedades físicas y mecánicas a diferentes temperaturas se muestran en el apartado de propiedades y aplicaciones de los Latones (Sección 1.3), Tablas 1.23, 1.24, 1.25 y 1.26.

**TABLA I.8. Propiedades físicas de las aleaciones con alto contenido de cobre**

Aleación			Cobre con cobre puro	Cobre con cobre-estaño	Cobre con cobre	Cobre con alto contenido de estaño				
Temperatura			Cu-60.1	Cu-50.0	Cu-37.0 <sup>(1)</sup>	Cu-20.0Co-80 <sup>(1)</sup>	Cu-20.0Co-80 <sup>(1)</sup>	Cu-20.0Co-80 <sup>(1)</sup>	Cu-20.0Co-80 <sup>(1)</sup>	Cu-20.0Co-80 <sup>(1)</sup>
Temperatura	Unidad	Estado								
Densidad	g/cm <sup>3</sup>		8.9	8.9	8.9	8.25	8.25	8.25	8.9	8.85
Punto de fusión	°C		1010-1080	980-1010	1030-1090	870-890	865-885	860-875	1040-1060	910-1035
Coefficiente de expansión térmica (20-100 °C)	%/°C		0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000018	0.000018	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 <sup>2</sup> cm <sup>2</sup> s °C		0.75-0.95	0.50-0.80	0.40-0.80	0.20-0.30	0.20-0.30	0.30-0.60	0.30-0.45	0.085
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	% IACS	R	80-90	60-75	35-45	18-30	11-30	22-50	11-40	7
	mΩ/cm	R	48-53	35-41	20-18	10-18	10-17	13-30	10-23	4
Resistividad eléctrica, volumen (20 °C)	μΩ cm	R	1.3-1.9	1.3-2.3	4.5-2.0 <sup>(1)</sup>	5.6-5.4 <sup>(1)</sup>	7.0-5.7 <sup>(1)</sup>	7.0-5.3 <sup>(1)</sup>	10.4-3.0 <sup>(1)</sup>	25-10
		F	1.3-2.0	1.1-2.5						
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (20-100 °C)	%/°C	R	0.0037-0.0036	0.0034-0.0038	0.0014-0.0035 <sup>(1)</sup>	0.0007-0.0012 <sup>(1)</sup>	0.0001-0.0012 <sup>(1)</sup>	0.0009-0.0009 <sup>(1)</sup>	0.0007-0.0016 <sup>(1)</sup>	0.0005 <sup>(1)</sup>
		F	0.0036-0.0034	0.0032-0.0028						
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	R	12 700	12 700	11 000-10 000	12 000-13 000 <sup>(1)</sup>	12 000-13 000 <sup>(1)</sup>	11 000-13 000 <sup>(1)</sup>	14 000 <sup>(1)</sup>	10 500 <sup>(1)</sup>
		F	13 000	13 000	11 000-10 000					
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	R	4 700	4 700	4 100-5 000 <sup>(1)</sup>	4 100-5 000 <sup>(1)</sup>	4 400-5 000 <sup>(1)</sup>	4 100-5 000 <sup>(1)</sup>	5 000 <sup>(1)</sup>	3 900 <sup>(1)</sup>
		F	4 800	4 800						

R = estado recocido  
F = estado de forja

(1) Los valores indicados en primer lugar se refieren al estado "en solución" (para para el aluminio de fusión, aluminio elemental). Los valores indicados en segundo lugar se refieren al estado de precipitación.  
(2) Los valores indicados son valores para cualquier estado.

PARLA 1.9 Propiedades Mecánicas a Temperatura Ambiente de las Aleaciones con Alto Contenido de Cobre.

Material	Cobre con latón		Cobre con aluminio		Cobre con zinc		Cobre con níquel		Cobre con cobalto		Cobre con níquel aluminio		Cobre con níquel manganeso	
	Unidad	Tensión	Cu-C6Sn	Cu-C6Sn	Tensión	Cu-C6Zn	Cu-C6Ni	Cu-C6Ni	Cu-C6Co	Cu-C6Ni	Cu-C6Ni	Cu-C6Ni	Tensión	Cu-C6Ni
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R1	25	28	A	24-42	48-118	50-127	31-63	29-58	R1	45	R1	45
		R2	26	28							R2	43	R2	43
		F1	24-42	45-52	B	30-55	53-133	55-142	35-74	44-75	F1	50-55	F1	50-55
		F2	23-30	28-35							F2	25-25	F2	25-25
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R1	8	9	A	10-30	20-100	23-110	13-58	12-62	R1	15	R1	15
		R2	8	10							R2	15	R2	15
		F1	23-38	40-49	B	15-51	37-133	43-127	23-73	40-65	F1	35-53	F1	35-53
		F2	48-63	55-74							F2	42-55	F2	42-55
Alargamiento	%	R1	45	45	A	20-15	50-3	50-3	25-3	25-14	R1	55	R1	55
		R2	28	25							R2	45	R2	45
		F1	20-7	7-3	B	14-2	30-1	30-1	10-3	10-10	F1	30-10	F1	30-10
		F2	3-1	3-1							F2	13-3	F2	13-3
Dureza Brinell		R1	56	55	A	85-110	95-250	105-175	55-160	70-110	R1	75	R1	75
		R2	-	-							R2	-	R2	-
		F1	150-120	120-140	B	110-180	125-385	135-410	105-220	120-190	F1	150-190	F1	150-190
		F2	-	-							F2	-	F2	-
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R1	18	19	A	-	-	-	22-33	-	R1	30	R1	30
		R2	18	21							R2	30	R2	30
		F1	24-27	21-24	B	-	-	-	25-44	-	F1	25-42	F1	25-42
		F2	23-25	23-23							F2	23-44	F2	23-44

A = Estado intermedio entre solubilización y solubilización seguida de endurecimiento por precipitación.  
 B = Similar a A, estado que ha habido deformación en frío antes o después del endurecimiento por precipitación.

R1 = muestra (bajo), tanda para Cu-C6Ni y Cu-C6NiAl  
 tanda para Cu-C6Sn.  
 R2 = muestra (superior).  
 F1 = muestra (bajo), tanda para Cu-C6Ni y Cu-C6NiAl  
 tanda para Cu-C6Zn.  
 F2 = muestra (superior).

**TABLA I.10 Propiedades Mecánicas a Temperatura Elevada  
de las Aleaciones con Alto Contenido  
de Cobre.**

Material			Cobre con níquel	Cobre con cromo- níquel	Cobre con cromo	Cobre con níquel	Cobre con níquel- manganeso
Designación			CuNi	CuCrNi	CuCr	CuNiSi	CuNiMnAl
Propiedad	Unidad	Estado	300 °C	300 °C	300 °C	+ 300 °C	300 °C
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	—	—	35	—	28
		F	31	38	—	60	58
Límite elástico 0.2%	kg/mm <sup>2</sup>	R	—	—	30	—	9
		F	27.5	37	—	61	—
Alargamiento	%	R	—	—	25	—	50
		F	17	12	—	8	9

R = estado recocido  
F = estado de forja

Algunas de las características de estas aleaciones son las siguientes; el Latón es fácil de trabajar en caliente y en frío, además de proporcionar alto brillo por pulido, por lo cual tienen grandes aplicaciones en artículos de joyería de fantasía y decorados, en la arquitectura y cartuchería.

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.

Dentro de los Latones especiales 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 maquinabilidad, especialmente el que contiene plomo. Por lo tanto, son utilizados en piezas maquinadas que deben resistir a la corrosión, vástagos de válvulas y para placas de condensadores.

Latón de Alta Resistencia.- Se utiliza para piezas sometidas a grandes esfuerzos y/o desgaste, tales como engranajes, cojinetes para baja velocidad y grandes cargas, hélices, etc.

#### E) ALEACIONES COBRE-ESTAÑO (BRONCES).

Los Bronces o aleaciones Cobre-Estaño, contienen de 2 a 30% de Estaño. Los Bronces con contenido de 30 a 35% de Estaño se consideran especiales. Un ejemplo lo constituye el Bronce utilizado en la fabricación de campanas.

Las Aleaciones Cobre-Estaño, contienen frecuentemente otros elementos tales como; Fósforo, Zinc, Níquel y Plomo. De lo anterior se puede decir que existen dos tipos de aleaciones

que sea; Bronces Binarios y Bronces Complejos, que contienen un tercer elemento.

Los Bronces Binarios son también llamados Bronces fosforados a causa del contenido residual de Fósforo añadido como desoxidante (0.01 a 0.03%).

Los principales Bronces 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)

Los Bronces Complejos se dividen en Bronces con Zinc y Bronces con Plomo. Debido al menor costo del Zinc respecto al Estaño, resultan más baratos los Bronces con Zinc. En el metal líquido, el Zinc actúa como desoxidante facilitando el desgasado del baño y mejora la colabilidad.

Cuando la aleación solidifica aumenta la maleabilidad del Bronce pero disminuyen sus cualidades de fricción.

El Plomo resulta insoluble en los Bronces mezclándose en forma de glóbulos, la finura y homogeneidad de distribución son factores importantes en la calidad de estas aleaciones.

Cuando se requiere un Bronce con buena resistencia a la fricción, el contenido de Plomo debe incrementarse de 6 a 30%, - con esto se obtiene una aleación que resuelve el problema de fricción en un amplio campo de cargas y velocidades.

Destacas entre los Bronces Complejos:

Cu-Sn	4 Zn	4 (forja)
Cu-Sn	10 Zn	2 (soldes)
Cu-Sn	10 Pb	5 (soldes)
Cu-Sn	8 Pb	15 (soldes)
Cu-Sn	5 Pb	20 (soldes)

El color de los Bronces con hasta 15% de estaño es rosado, - si el contenido es mayor toma un tono dorado, cada vez más oscuro hasta el 15% de Estaño y pulidocen con contenidos - más altos.

Para aumentar las características mecánicas de los Bronces, se debe incrementar el contenido de Estaño. Estos Bronces pueden someterse a un proceso de forja, con el cual obtienen características relativamente elevadas.

En las Tablas I.11, I.12, I.13, I.14, I.15 y I.16 se muestran diversas propiedades físicas y mecánicas de los - Bronces anteriormente tratados.

Tabla I.11. Propiedades Físicas de los Bronces Biméricos (Bronces Pasteroscos).

Aleación		CuSn2	CuSn4	CuSn6	CuSn8	CuSn10	CuSn12	CuSn14
Magnitud	Unidad							
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,9	8,85	8,85	8,82	8,80	8,80	8,8
Intervalo de fusión	°C	1000-1000	950-1070	900-1060	860-1050	800-1040	830-1020	820-990
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,0000185
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> °C	0,26-0,25	0,15-0,28	0,15-0,23	0,11-0,16	0,11-0,15	0,10-0,12	0,14
Conductividad eléctrica (20 °C)	mΩ cm <sup>-2</sup>	15-26 (al)	8,3-15	7,5-10	6,4-8,3	5,8-8,1	5,8-7	6,8
	% IACS	25-50 (al)	15-28	13-18	11-15	10-14	10-12	11,5
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (20 a 20 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,0013-0,0029 (al)	0,0007-0,0013	0,0007-0,0008	0,0008-0,0007	0,0008-0,0007	0,0006	0,0008
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	12.500	11.200-12.200	10.600-12.400	9.000-12.000	9.000-11.400	8.400-11.000	9.500
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	4.800	4.150-4.500	4.000-4.800	3.200-4.000	3.200-4.200	3.100-4.100	-

118 Dentro del intervalo de composición indicado, el contenido de estaño influye positivamente sobre la conductividad y la resistividad eléctricas.

**TABLA I.12 Propiedades físicas de los Broncos Complox.**

Material		CuSnZn	CuSn10Zn2	CuSn10Pb5	CuSn10Pb15	CuSn10Pb20
Magnitud	Unidad					
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,92	8,8	8,9	8,1	9,2
Intervalo de fusión	°C	975-1045	940-1000	945-1000	975-1025	930-1050
Coefficiente de dilatación lineal 120-100 °C	°C <sup>-1</sup>	0,0000163	0,0000168	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 <sup>-1</sup> sec <sup>-1</sup> °C	0,31	0,13	0,14	0,15	0,17
Conductividad eléctrica (solución) (20 °C)	mΩ cm <sup>2</sup>	11	8	6,5	7	8,5
	% IACS	39	30,5	11,2	13	14,8
Resistividad eléctrica (solución) (20 °C)	μΩ cm	9,07	18,42	14,7	14,4	11,8
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 20 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0012
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	12300	9200	8700	8200	8900

**TABLA I.13 Propiedades mecánicas de los broncos complox a temperatura ambiente.**

Material			CuSnZn	CuSn10Zn2	CuSn10Pb5	CuSn10Pb15	CuSn10Pb20
Magnitud	Unidad	Estado					
Resistencia a la tracción	kg/cm <sup>2</sup>	R	35	28	24	22	28
		F	43,6	-	-	-	-
Límite elástico	kg/cm <sup>2</sup>	R	-	14	14	11	10
			-	-	-	-	-
Alargamiento	%	R	50	15	18	12	18
		F	23,6	-	-	-	-
Dureza Brinell		R	75	60	65	70	55
		F	110-165	-	-	-	-

R = estado recocido  
F = estado de forja

Tabla 1.14 Propiedades mecánicas de los bronce binarios a temperatura ambiente (chapa y banda).

Material			CuSn3	CuSn4	CuSn5	CuSn6	CuSn8	CuSn10	CuSn15 (No. Rev. Hoja de Datos)	CuSn18
Ingrediente	Grupo	Estado								
Resistencia a la tracción	kgf/cm <sup>2</sup>	R	28	30	35	37	42	44	50	55
		F	34-53	40-66	43-72	46-80	50-85	53-88	—	—
Límite elástico	kgf/cm <sup>2</sup>	R	11	12	13	14	17	19	18	17
		F	23-60	25-58	28-62	32-76	40-83	54-85	—	—
Alargamiento	%	R	48	50	55	60	65	65	75	5
		F	25-3	35-2	38-2	35-3	30-1	17-1	—	—
Dureza Brinell		R	60	70	75	80	85	95	95	115
		F	80-150	115-185	120-205	130-225	150-340	195-245	—	—
Resistencia a la fatiga	kgf/cm <sup>2</sup>	R	20	25	30	28	31	33	—	—

R = estado recocido

F = estado de forja

**TABLA I.15** Propiedades mecánicas de los bronce a baja temperatura (barra, estado recocido y eliminación de tensiones).

Material			CuSn2	CuSn5	CuSn8
Magnitud	Unidad	Temperatura de ensayo			
Resistencia a la tracción	kg/cm <sup>2</sup>	-75 °C	87	93	104
		-100 °C	72	90	110
Alargamiento	%	-75 °C	60	80	81
		-100 °C	30	80	82

**TABLA I.16** Propiedades mecánicas de los bronce a temperatura elevada (barra, deformada en frío y eliminación de tensiones).

Material		CuSn2	CuSn5	CuSn6	CuSn8
Magnitud	Unidad	a 225 °C	a 225 °C	a 225 °C	a 225 °C
Resistencia a la tracción	kg/cm <sup>2</sup>	40	50	55	48
Alargamiento	%	42	50	63	45

F) ALEACIONES COBRE-ALUMINIO (Cuproaluminios).

Los Cuproaluminios son aleaciones de Cobre y Aluminio, con 5 a 11% de Al. Algunos tipos contienen también Hierro, Níquel o Manganeso.

Las principales ventajas de los Cuproaluminios son las siguientes;

- 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 aguas ácidas.
- Son prácticamente insensibles a los fenómenos de corrosión intergranular.
- Son magnéticos, con excepción de las aleaciones con alto contenido de Hierro y de Manganeso.
- Por pulido adquieren un bonito color dorado.
- 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.

Las propiedades físicas y mecánicas de algunos Cuproaluminios comerciales se muestran en el apartado de propiedades y aplicaciones, Sección I.3 en las Tablas I.27 a la I.32.

#### G) ALEACIONES COBRE-NIQUEL (Cuproníqueles).

El Cobre y el Níquel son mutuamente solubles en todas proporciones. Debido a esto se pueden obtener una extensa gama de aleaciones, desde las que sólo contienen un pequeño porcentaje de Níquel hasta las formadas principalmente por este.

A las aleaciones que contienen menos del 50% de Níquel se les conoce con el nombre de Cuproníqueles.

Dentro de las aleaciones con contenidos de Níquel mayor que el 50% destaca el Monel, que posee excelentes propiedades de resistencia a la corrosión.

Los Cuproníqueles tienen contenidos de Níquel que varían del 5 al 44% generalmente, estos se utilizan por su excelente -

resistencia a la corrosión, la cual aumenta con el contenido de Níquel.

Debido a que el costo aumenta paralelamente con el contenido de Níquel, se han hecho aleaciones con contenidos de Níquel bajos pero al mismo tiempo, suficientemente resistentes a la corrosión.

Los Cuproníqueles Binarios más importantes son:

Cu-Ni	10
Cu-Ni	20
Cu-Ni	25
Cu-Ni	30

Otros tipos contienen un tercer o cuarto elemento, añadido esencialmente para mejorar la resistencia a la corrosión o más exactamente a los distintos tipos de corrosión (abrasión, cavitación, picaduras, etc.), así como la resistencia mecánica.

Las propiedades de los Cuproníqueles, que justifican sus numerosas aplicaciones, son las siguientes:

- Facilidad de conformación en frío y en caliente,
- Facilidad de moldear,
- Buenas características mecánicas, incluso a bajas y altas temperaturas,

- Propiedades eléctricas especiales (alta resistividad)-  
de los tipos con alto contenido de Níquel,
- Color plateado y aspecto atractivo,
- Buena resistencia a la corrosión.

Por estas características los Cuproníqueles son utilizados - en los cambiadores de calor, en partes tales como; condensadores, refrigeradores, recalentadores, destiladores, etc. Se fabrican además, piezas para la industria azucarera y química. Se emplean en la construcción de instrumentos de música y vainas de proyectiles. El Cuproníquel Cu-Ni 25 es utilizado sobre todo para la acuñación de monedas y de medallas.

Las propiedades Físicas y Mecánicas a diferentes temperaturas se muestran en las Tablas I.17, I.18, I.19 y I.20.

#### H) ALEACIONES COBRE-NIQUEL-ZINC (Alpacas).

Las Alpacas son aleaciones de Cobre, Níquel y Zinc en diversas proporciones.

Debido al agradable color blanco, parecido al de la Plata - las Alpacas se emplean principalmente para fines decorativos.

Secundariamente se emplean en aplicaciones industriales, basadas sobre todo en la resistencia a la corrosión.

TABLA I.11: Propiedades físicas de los cuproníquel.

Magnitud	Unidad	Cu40Fe60	Cu50Fe50	Cu60Ni40	Cu70	Cu80Ni20	Cu90Ni10
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,95	8,93	8,95	8,95	8,95	8,90
Intervalo de fusión	°C	1090-1120	1100-1140	1100-1190	1190-1230	1170-1240	1225-1300
Coefficiente de dilatación lineal (20-200 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000017	0,000017	0,000016	0,000016	0,000016	0,000015
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm / cm <sup>2</sup> s °C	0,15	0,12	0,09	0,08	0,07	0,05
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	mΩ mm <sup>2</sup>	0,7	0	3,5	3	3	2,0
	Ω INCS	14	9	6	5	5	2,5
Resistividad eléctrica, volumen (20 °C)	μΩ cm	12	16	39	34	34	48
Coefficiente térmico de la resistividad (0-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,012	0,007	0,004	0,003	0,0025	0,0004
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	12400-13000	13000-13000	13600-14800	14100-14900	14800-15300	16000-16500
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	4900-5000	4900-5100	5050-5500	5300-5500	5400-5750	5900-6000

**TABLA 1.18** Propiedades mecánicas de los cuproníqueles a temperatura ambiente.

Magnitud	Unidad	Estado	CuNi5Fe1Mn	CuNi10Fe1Mn	CuNi20Mn1Fe	CuNi25	CuNi30Mn1Fe	CuNi44Mn1
Resistencia a la tracción	kg/cm <sup>2</sup>	R	28	32	34	37	38	48
		F	30	43	47	—	60	68
Límite elástico	kg/cm <sup>2</sup>	R	9	12	15	16	16	20
		F	25	28	42	—	43	55
Alargamiento	%	R	45	38	38	42	40	45
		F	10	12	14	—	16	5
Dureza Brinell		R	60	65	80	85	85	95
		F	100	105	120	—	140	155

R = estado recocido

F = estado de forja.

**TABLA 1.19** Propiedades mecánicas de los cuproníquel a  $-195^{\circ}\text{C}$  (estado recocido)

Materia	CuNi5Fe1Mn	CuNi10Fe1Mn	CuNi20	CuNi20Mn1Fe	CuNi30Mn1Fe
Resistencia a la tracción $\text{kg/cm}^2$	40	51	48	50	63
Alargamiento %	51	50	62	46	52

**TABLA 1.20** Propiedades mecánicas de los cuproníquel a temperatura elevada.

Materia	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Resistencia a la tracción $\text{kg/cm}^2$	Límite elástico $\text{kg/cm}^2$	Alargamiento %
CuNi10Fe1Mn	200	30	16	32
	300	27	15	30
	400	26	—	32
CuNi20Mn1Fe	200	30	—	35
	300	28	—	30
	400	27	—	27
CuNi30Mn1Fe	200	28	—	37
	300	23	—	34
	400	21	—	31

Las Alpacas ternarias se dividen, según su composición físico-química, en dos grandes clases: las aleaciones monofásicas ( $\alpha$ ), muy maleables en frío y fáciles de transformar por laminación, embutición, entallado, etc., y las aleaciones bifásicas ( $\alpha + \beta$ ), con menor contenido de Cobre, que son fáciles de trabajar en caliente y presentan mejor maquinabilidad.

Las principales Alpacas de Forja son las siguientes:

Cu-Ni	10	Zn	27
Cu-Ni	12	Zn	24
Cu-Ni	15	Zn	21
Cu-Ni	18	Zn	27
Cu-Ni	20	Zn	18
Cu-Ni	25	Zn	15

Las principales Alpacas de Moldeo son las siguientes:

Cu-Ni	13	Zn	28
Cu-Ni	18	Zn	22
Cu-Ni	22	Zn	22

Cabe hacer notar que los tipos normalizados o utilizados corrientemente varían según los países.

Las Alpacas se encuentran disponibles en forma de bandas, chapas, tubos, barras, así como en forma de piezas moldeadas.

Las Alpacas tienen diversas aplicaciones basadas esencialmente en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Una de las principales aplicaciones se dan en el campo de las telecomunicaciones, donde se fabrican equipos aprovechando de la inoxidableidad de las Alpacas, su resistencia mecánica elevada y facilidad de elaboración.

Otras de las aplicaciones de las Alpacas se dan en la fabricación de cubiertas y carfebrería. En obras arquitectónicas se utilizan las Alpacas con fines decorativos.

#### 1) ALPACAS CON PLOMO.

Las Alpacas presentan una maquinabilidad baja, para mejorarla se añade Plomo, obteniéndose las Alpacas con Plomo.

Según las hojas de datos editadas por el CIBEC, existen las siguientes composiciones de Alpacas:

Cu-Si	10	Zn	25	Pb	
Cu-Si	10	Zn	42	Pb	2
Cu-Si	12	Zn	30	Pb	
Cu-Si	14	Zn	23	Pb	
Cu-Si	18	Zn	19	Pb	1

Las Alpacas se encuentran con mayor frecuencia en forma de productos forjados tales como: chapas o barras, que se presentan bien al maquinado.

Las propiedades Físicas, Mecánicas y Químicas de las Alpacas con Plomo son prácticamente las mismas que las de las Alpacas.

Las aplicaciones de las Alpacas con Plomo se dan especialmente para la fabricación de elementos que requieren mucho maquinado, tales como llaves y balones.

En las Tablas I.31 y I.32 que se muestran a continuación se presentan las propiedades físicas y mecánicas de algunas alpacas en especial.

TABLA I.21. Propiedades físicas de los alpacas.

Material		CuAl10Zn17	CuAl12Zn24	CuAl15Zn31	CuAl18Zn39	CuAl20Zn47	CuAl23Zn55	CuAl25Zn63
Propiedad	Unidad							
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,60	8,65	8,70	8,75	8,70	8,76	8,75
Intervalo de fusión	°C	980-1025	1000-1060	1040-1090	1090-1110	1200-1230	1280-1350	
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000015	0,000015	0,000015	0,000015	0,000015	0,000017	0,000017
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> °C <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
Conductividad eléctrica volumen (20 °C)	mΩ cm <sup>2</sup>	4,2	4,8	4,1	3,8	3,2	2,8	2,8
	% IACS	8,5	8	7	6	5,5	6	5
Resistividad eléctrica volumen (20 °C)	μΩ cm	20	22	25	26	31	31	34
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica	°C <sup>-1</sup>	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003		0,0003
Peso de aluminio (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	12 000	12 300	12 700	13 300	13 400		14 000

TABLA I.22. Propiedades mecánicas de las aleaciones a temperatura ambiente.

Material			CuNi10Zn27	CuNi10Zn24	CuNi15Zn21	CuNi20Zn20	CuNi25Zn17	CuNi30Zn16	CuNi35Zn15
Magnitud	Unidad	Estado							
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	43	40	41	43	43	43	48
		F	45-65	45-70	47-70	48-70	51-80	70	73
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	15-20	14-20	15-20	17-23	16-21	17	19
		F	31-64	32-60	36-60	36-67	37-75	58	62
Aterramiento	%	R	47-52	45-50	36-45	35-45	45-48	36	35
		F	30-3	30-3	35-2	35-2	35-2	3	2
Densidad		R	75-80	80-85	85-100	86-100	85-100	85	85
		F	120-180	120-180	125-180	125-200	145-230	200	200

R = estado resaca.

F = estado de forja.

## 1.2 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DE LAS ALEACIONES

### COBRE-ZINC Y COBRE-ALUMINIO.

Un diagrama de Equilibrio es la representación gráfica en la que se relaciona la Temperatura y la Presión de una aleación con su estructura según las distintas composiciones posibles.

Es necesario tener la presión, Temperatura y Composición para que quede determinado completamente un sistema en equilibrio.

Los Diagramas son válidos en condiciones de Equilibrio, es decir con enfriamientos y calentamientos infinitamente lentos.

#### 1.2.1 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO COBRE-ZINC.

Como se vió anteriormente este tipo de aleaciones Cobre-Zinc son denominadas Latones. Los Latones que son aleaciones a base de Cobre y Zinc contienen de 3 a 40% de este metal y en ocasiones algunos otros elementos.

La parte del Diagrama de fases Cobre-Zinc relativa a los Latones está representada en la Figura # 1.

De acuerdo a la Figura # 1 se observa que la temperatura de fusión disminuye regularmente al aumentar el contenido de Zinc. El intervalo de solidificación es pequeño, lo que permite obtener aleaciones homogéneas.

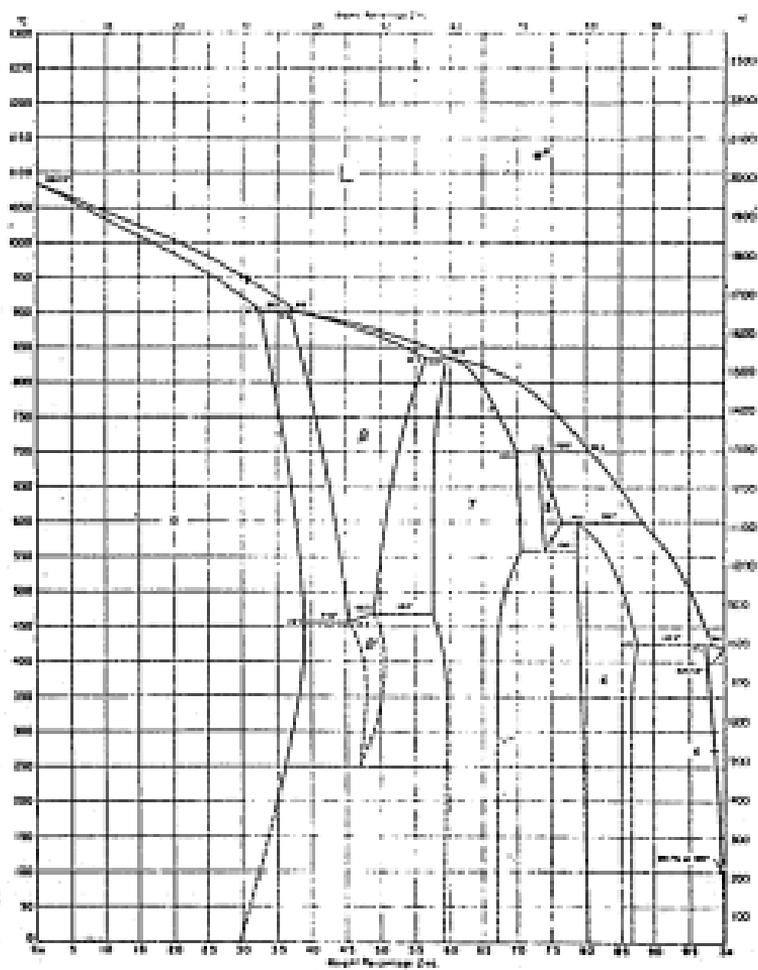


Figura # 1 Diagrama de fase Cu-Zn.

A temperatura ambiente, los Latones comerciales están constituidos por una sola fase ( $\alpha$ ) hasta 36% de Zinc aproximadamente y por una mezcla de dos fases ( $\alpha + \beta'$ ) para contenidos de Zinc superiores a este valor.

La fase  $\alpha$  es una solución sólida de Zinc en Cobre y cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas.

En esta fase la resistencia a la tracción, el límite elástico, el alargamiento y la dureza aumentan con el contenido de Zinc. Esta misma fase  $\alpha$  existe a cualquier temperatura inferior al sólido y es maleable en frío; lo es igualmente en caliente si está exenta de plomo.

Las conductividades eléctrica y térmica disminuyen rápidamente con las primeras adiciones de Zinc, luego más lentamente. El módulo de elasticidad disminuye lentamente en el campo y luego más rápidamente en el campo de las dos fases.

La fase  $\beta'$  estable a temperatura ambiente, proviene de la fase  $\beta$ , que es estable sólo a temperatura elevada, por una transformación que se produce hacia los 460 °C.

La fase  $\beta$  es un compuesto electrónico cúbico de cuerpo centrado. Al enfriar en el intervalo de los 460 °C la fase  $\beta$  con los átomos de Cobre y de Zinc dispersos al azar en los puntos de la red, cambia continuamente hasta convertirse en estructura  $\beta'$  ordenada, la cual es todavía cúbica de cuerpo

centrado, pero con los átomos de Cobre en las esquinas y los de Zinc en los centros de los cubos unitarios. La reacción de ordenamiento es tan rápida que no puede retardarse por templado.

La fase  $\beta$  es una fase intermedia de Cu-Zn con estructura cúbica gigante. Se considera que esta fase tiene estructura cúbica gigante con 52 átomos, como resultado de 27 cubos elementales de  $\beta$ , en la que han desaparecido dos átomos.

La fase  $\epsilon$  es una fase intermedia de Cu-Zn con estructura hexagonal compacta.

La fase  $\eta$  es una solución de Cu-Zn que conserva la estructura hexagonal del Zn.

Se comprende, por lo tanto, que los Latones monofásicos (menos de 36% de Zinc) se prestan muy bien al trabajo en frío, con recocidos intermedios eventuales, así como al trabajo en caliente.

Por el contrario, los Latones bifásicos (más del 36% de Zinc) deben ser trabajados en la zona de temperaturas en la que la segunda fase es maleable, es decir prácticamente por encima de 600 °C.

Las aleaciones Cobre-Zinc usadas en la práctica son las designadas hasta el intervalo del 40% en peso de Zinc, que constituyen soluciones sólidas (fase  $\alpha$ ).

Los latones con más de 40% de Zinc son raramente empleados - (varilla para soldar por ejemplo) porque son excesivamente frágiles y muy difíciles de trabajar en frío.

### 1.2.2 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO COBRE-ALUMINIO.

Como se sabe a las aleaciones Cobre-Aluminio se les conoce también como Cuproaluminios y son aleaciones con 5 a 11% de Aluminio.

De acuerdo al Diagrama Cu-Al de la figura # 2 se observa que la fase  $\alpha$ , o solución sólida de Aluminio en el Cobre, llega hasta el 9.4% de Aluminio. Más allá aparece una segunda fase llamada  $\beta_2$ .

Por lo tanto, las aleaciones con menos del 9.4% de Aluminio son monofásicas y las de más del 9.4% de Aluminio son bifásicas.

Sin embargo, en la práctica raramente se consiguen las condiciones ideales de equilibrio de modo que el límite se sitúa hacia el 8% de Aluminio.

Se observa igualmente, en el diagrama de equilibrio, que la fase estable a temperatura elevada por encima del punto  $\alpha + \gamma_2$  es la fase  $\beta$ , estando situada la temperatura de transformación a 565 °C.



Por enfriamiento rápido, sin embargo, es posible mantener - la fase  $\beta$  a temperatura ordinaria, y dejar que se efectúe la transformación por revenido. Se obtiene así una estructura  $\alpha + \beta_2$ , finamente dispersa y con buena resistencia mecánica.

Las aleaciones en cuestión son, porés, aleaciones binarias - Cobre-Aluminio, sin embargo en muchos casos se procede a la adición de Hierro, Níquel o Manganeso, obteniéndose así - Cuproaluminios Complejos.

El efecto de los distintos aleantes en los Cuproaluminios - es el siguiente:

- El Hierro; frena la velocidad de transformación y permite obtener una estructura  $\alpha + \beta_2$  fina y resistente. Además mejora la resistencia a ciertos tipos de corrosión y aumenta la resistencia a la fatiga y - al desgaste.
- 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 Níquel y el Hierro, utilizados simultáneamente, estimulan mutuamente su influencia favorable.

- El Manganeso; por su parte afina la estructura y por lo tanto, mejora las características mecánicas y estabiliza la fase  $\beta$  en el enfriamiento.

La solubilidad de estos elementos en el Cuproaluminio es limitada. En consecuencia, la adición de más del 3% de Hierro o de Níquel da lugar a la formación de una nueva fase  $\epsilon$ , frecuentemente dispersa en la matriz  $\alpha$ , lo que contribuye igualmente a mejorar la resistencia mecánica.

Dependiendo del número y porcentaje de elementos aleantes, se puede concluir la existencia de cuatro grupos de aleaciones dentro de los Cuproaluminios que son; Los Binarios Monofásicos, Binarios Bifásicos o Polifásicos, Complejos Monofásicos y los Complejos Bifásicos.

### 1.3 PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LAS ALEACIONES

#### COBRE-ZINC Y COBRE-ALUMINIO.

#### 1.3.1 PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LAS ALEACIONES

##### COBRE-ZINC (LATONES).

El color de los Latones varía del rosa hasta el amarillo dorado para los latones Cu-Zn 28-30. Para contenidos de Zinc mayores el color vuelve a ser rojizo, esto es debido a la aparición de la fase  $\beta'$ .

Las principales propiedades Físicas de algunos Latones se muestran en la Tabla 1.32.

En las Tablas 1.34, 1.35 y 1.36 se muestran las principales propiedades mecánicas de los Latones a diferentes temperaturas.

En la Tabla 1.34 se observa que las características mecánicas bastante bajas en el estado Recocido, mejoran claramente con la Forja. Notese igualmente que las características mecánicas aumentan con el contenido de Zinc.

Otro medio de aumentar ligeramente las propiedades mecánicas de los Latones Bifásicos consiste en enfriarlos rápidamente, de modo que conserven en frío una cierta cantidad de fase  $\beta'$  fuera del equilibrio, aprovechando el ensanchamiento del campo  $\beta'$  a temperatura elevada.

TABLE 2-23 Properties (Units as in text)

Properties			Gal-4	Gal-5	Gal-6	Gal-7	Gal-8	Gal-9	Gal-10	Gal-11	Gal-12
Material	Unit	Ref.									
Density	g/cm <sup>3</sup>		0.85	0.85	0.75	0.85	0.55	0.50	0.70	0.70	
Increase in length	%		1000-1000	1000-1000	1000-1000	1000-1000	1000-1000	1000-1000	1000-1000	1000-1000	1000-1000
Coefficient of thermal expansion (20-100 °C)	10 <sup>-6</sup> /°C		0.000017	0.000018	0.000018	0.000018	0.000018	0.000018	0.000018	0.000018	0.000018
Capacitance (at 20 °C)	μF/cm		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Conductivity (at 20 °C)	cm/cm (10 <sup>10</sup> Ω <sup>-1</sup> cm)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Conductivity (at 20 °C)	W/mK	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Btu/inch °F	2	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Resistivity (at 20 °C)	Ω-cm	1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Ω-cm	2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Coefficient of thermal expansion (20-100 °C)	10 <sup>-6</sup> /°C	1	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	10 <sup>-6</sup> /°C	2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Modulus of elasticity (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	1	10,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	10,000
	psi	2	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000	10,000-10,000
Tensile strength (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	1	0.700	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
	psi	2	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000	0.000-0.000

1 = static strength, 2 = static strength

**TABLA I.24** Propiedades mecánicas de los latones a temperatura ambiente (productos planos).

Designación			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn25-30	CuZn30	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad	Estado								
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	27	28	30	32	35	36	38	38
		F	34-43	37-48	38-48	42-57	38-50	39-53	39-53	45-57
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	19	19	13	13	14	14	14	16
		F	24-38	20-42	25-42	30-48	23-35	25-37	25-37	32-45
Alargamiento	%	R	45	48	48	51	57	55	53	42
		F	30-4	30-5	30-18	50-5	40-5	38-2	36-2	20-8
Dureza Brinell		R	65	68	68	68	80	80	80	85
		F	85-120	75-125	85-135	115-115	85-160	100-145	100-105	125-165
Resistencia a la soldadura	kg/mm <sup>2</sup>	R	20	21	23	24	26	27	27	27
		F	24-26	22-26	24-31	29-32	27-33	28-34	28-34	32-34

R = estado recocido

F = estado de forja

**TABLA I.25** Propiedades mecánicas de los latones a baja temperatura (láminas).

Designación			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn25-30	CuZn30	CuZn37	CuZn40
Magnitud	Unidad	Estado	a -100 °C	a -180 °C	a -195 °C	a -190 °C	a -180 °C	a -195 °C	a -195 °C
Resistencia a la tracción	kg/cm <sup>2</sup>	R	38	39	43,5	51,5	53,7	-	47
		F	-	-	-	82	72,8	59	61
Límite elástico	kg/cm <sup>2</sup>	R	8,5	8,2	11,5	13,2	-	-	-
		F	-	-	-	49,2	-	-	-
Alargamiento	%	R	-	86	8,1	74	61	-	55
		F	-	-	-	28	10	53	24
Resistencia	kg/cm <sup>2</sup>	R	-	16,4	13,5	13,5	14,2	-	-
		F	-	-	-	3,7	-	-	-

R = estado recocido

F = estado de forja

**TABLA 1.26** Propiedades mecánicas de los aceros a temperatura ambiente (tem<sup>o</sup>C)

Designación			Cuadro líbera <sup>1</sup>	Cuadro 10 líbera <sup>1</sup>	Cuadro 20 líbera <sup>1</sup>	Cuadro 30 líbera <sup>1</sup>	Cuadro 40 líbera <sup>1</sup>	Cuadro 50 líbera <sup>1</sup>	Cuadro 60 líbera <sup>1</sup>
Magnitud	Unidad	Estado	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C	a 200 °C	a 250 °C	a 250 °C
Resistencia a la tracción	kg/cm <sup>2</sup>	R	17	19	23	26 (a)	30	34 (a)	33
		F	27	41	37	34	50	38	43
Límite elástico	kg/cm <sup>2</sup>	R	3,7	5,3	7,5	—	—	—	—
		F	25	43	—	—	—	—	—
Alargamiento	%	R	—	—	—	23 (a)	25	20 (a)	19
		F	13	9	9	8	8	30	30

R = estado resaca  
F = estado de flujo

(a) Determinado en tensión.

Dentro de las propiedades mecánicas a baja temperatura, debe notarse que la disminución de la temperatura se traduce por una elevación de las características mecánicas.

A temperaturas elevadas observamos que prácticamente los Latones ordinarios no deben ser utilizados a temperaturas superiores a 200 °C, dado que los resultados de la Tabla 1.26 muestran que a temperaturas superiores de 200 °C las propiedades mecánicas disminuyen considerablemente.

En cuanto a las aplicaciones tenemos que por ejemplo el Latón Cu-Zn5 se trabaja en frío y en caliente con relativa facilidad, adquiere un buen brillo por pulido, por lo que se emplea mucho en bisutería de fantasía.

Su pequeño contenido de Zinc hace que sea especialmente apto para el esmalte. También se utiliza para la fabricación de discos para monedas de insignias. Se utiliza para hacer fulminante y fundas de balas en cartuchería.

El Latón Cu-Zn10 es utilizado para bisutería de fantasía, anillos de refuerzo, arquitectura y cartuchería.

El Latón Cu-Zn15 tiene un color muy parecido al del oro donde se le da el nombre de "Similor", se utiliza para la decoración, guías de lámparas, aparatos eléctricos, tornillos laminados, etc.

El Latón Cu-Zn20 se utiliza para la fabricación de ciertos instrumentos musicales, fuelles y membranas manométricas, etc.

El Latón Cu-Zn28-30 es muy utilizado en la fabricación de estuches de casquillos para artillería e infantería, y de manra general para piezas esbucidas complicadas, para instrumentes musicales, radiadores de automóviles, etc.

El Latón Cu-Zn37 tiene características muy parecidas a las del Latón Cu-Zn33 que presenta una maleabilidad excelente en frío, sin embargo, el Latón Cu-Zn37 no requiere las propiedades especiales de embutición del Cu-Zn33.

El Latón Cu-Zn40 se puede trabajar fácilmente en caliente y con bastante facilidad en frío, encuentra numerosas aplicaciones en arquitectura y cerrajería; se utiliza con frecuencia para la fabricación de placas de condensadores.

### 1.3.2 PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LAS ALEACIONES

#### COSSE-ALUMINIO (CUPROALUMINIOS).

Dentro de las Propiedades Físicas de los Cuproaluminios, se encuentra que cuando tienen un bajo contenido de Aluminio - se caracterizan por un tinte amarillo rosado que hacia el 10% de Aluminio pasa el amarillo dorado.

Como se ve en las Tablas 1.27 y 1.28, la densidad y las conductividades eléctricas y térmicas disminuyen con el aumento del contenido de Aluminio.

Tabla 1.27. Propiedades físicas de los cuproaluminos binarios.

Material		CuAl5	CuAl8
Magnitud	Unidad		
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,3	7,8
Intervalo de fusión	°C	1050-1060	1025-1040
Coefficiente de dilatación lineal (0-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000017	0,000016
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0,10	0,10
Conductividad térmica (20 °C)	cal cm / cm <sup>2</sup> s °C	0,18-0,20	0,15-0,17
Conductividad eléctrica, volumen (20 °C)	ohm cm <sup>2</sup>	8,3-10	7,5-8,7
	% IACS	15-18	13-15
Resistividad eléctrica, volumen (20 °C)	μ Ω cm	17-20	13-18
Coefficiente térmico de la resistividad (0-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,0008-0,0009	0,0008
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	11.880-12.950	11.350-12.600
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm <sup>2</sup>	4250-4350	4200-4350

**TABELA 1.22**

**Propriedades físicas de los cup aluminicos complejos.**

Material		CuAl <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>						
Medida	Unidad							
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	7,5	7,5
Intervalo de fusión	°C	1045-1118	1045-1100	1045-1090	1050-1085	1050-1070	-	-
Coefficiente de dilatación lineal (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,000016	0,000016	0,000016	0,000016	0,000016	0,000017	0,000017
Calor específico	cal/g °C	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	-	-
Conductividad térmica (20-100 °C)	cal/cm <sup>2</sup> cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> °C	0,148, 0,7	0,148, 0,8	0,148, 0,8	0,098, 0,11	0,098, 0,11	0,09	0,09
Conductividad eléctrica (20-100 °C)	mΩ/cm <sup>2</sup>	1,0E+1	7,0E+7	7,0E+1	4,1E+2	4,1E+2	4	5
Resistividad eléctrica (20-100 °C)	Ω/cm <sup>2</sup>	1E+1	1E+14	1E+14	2,5E+1	2,5E+1	1	0,2
Resistencia eléctrica (20-100 °C)	Ω/cm	1E+1	1E+12	1E+12	2E+1	2E+1	1	1
Coefficiente térmico de la expansión (20-100 °C)	°C <sup>-1</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	11.700	18.500	12.000	13.800-14.000	12.800-16.000	-	-
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	450	700	480	4.92-6.300	4700-5000	-	-

1  
8  
1

En las propiedades mecánicas tenemos que; a temperatura ambiente la resistencia a la tracción aumenta con el contenido de Aluminio, así como la dureza aumenta regularmente.

El Alargamiento aumenta regularmente y alcanza el máximo - hacia el 7.5% de Aluminio, después disminuye.

Lo anterior se observa en las Tablas 1.29 y 1.30.

Material			CuAl5	CuAl8
Magnitud	Unidad	Estado		
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	38	42
		F	45-53	50-57
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	15	17
		F	30-43	35-43
Alargamiento	%	R	65	65
		F	25-15	20-15
Dureza Brinell		R	85	90
		F	115-140	120-145

R = estado roscado      F = estado de hoja

A Baja temperatura la resistencia a la Tracción y el alargamiento conservan valores elevados hasta muy bajas temperaturas, y ciertamente hasta -235 °C. Hay que notar que la Resiliencia es grande, incluso a estas temperaturas.

**TABLA II-30 Propiedades mecánicas de los cupraluminios comerciales a temperatura ambiente.**

Aleación		CuAl10Mg	CuAl12Mg	CuAl15Mg	CuAl18Mg	CuAl20Mg	CuAl25Mg	CuAl30Mg
Magistral	Estado							
Resistencia y la tracción	templada	50 ksi	50 ksi	50 ksi	75 ksi	55 ksi	75 ksi	50 ksi
		50 ksi				50 ksi		
Límite elástico	templada	27 ksi	25 ksi	32 ksi	43 ksi	28 ksi	42 ksi	28 ksi
		28 ksi				37 ksi		
Alargamiento	B.	25%	24%	18%	15%	15%	15%	20%
		50%				15%		
Dureza Brinell		100 ksi	100 ksi	100 ksi	100 ksi	150 ksi	100 ksi	100 ksi
		150 ksi				150 ksi		

50 - Chapa laminada en caliente  
 B - barra laminada en caliente  
 B2 - barra de coque

1  
 2  
 1

En la Tabla 1.31 se muestran datos referentes a ciertas aleaciones específicas.

**TABLA 1.31** Propiedades mecánicas de los cuproaluminos a -183 °C

Magnitud	Unidad	CuAl6	CuAl6Fe3	CuAl10Fe16Ni5
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	66	73	90
Alargamiento	%	29	53	5

A Temperaturas Elevadas las características mecánicas no disminuyen sensiblemente hasta sobrepasar la temperatura de 300 °C. Los tipos que contienen Hierro y Níquel son especialmente interesantes desde este punto de vista. Esta propiedad es aprovechable gracias a la buena resistencia a la oxidación en caliente. En la Tabla 1.32 se muestran datos referente a lo anterior.

**TABLA 1.32** Propiedades mecánicas de los cuproaluminos a temperatura elevada (400 °C)

Material			CuAl6	CuAl6Fe3	CuAl10Me3	CuAl10Fe16Ni5	CuAl6Ni6Fe3
Magnitud	Unidad	Estado					
Resistencia a la tracción	kg/mm <sup>2</sup>	R	23	32	-	43	-
		F	23	24	25	47	36
Límite elástico	kg/mm <sup>2</sup>	R	14	-	-	22	-
		F	-	20	20	26	16
Alargamiento	%	R	60	30	-	30	-
		F	23	26	56	18	24

R = recocido

F = forja (deformado en caliente)

Referente a las Propiedades y Aplicaciones de los Caproalumi-  
nios, estos poseen una gran gama de cualidades, muy frecuen-  
tamente todavía poco conocidas, que se pueden enumerar como  
sigue:

- Excelente resistencia a la corrosión,
- Resistencia a la oxidación en caliente y buena resis-  
tencia mecánica en caliente,
- Excelente resistencia mecánica a baja temperatura,
- Buenas características de fricción,
- Amagnetismo,
- Ausencia de chispa en el choque,
- Soldabilidad excelente, incluso sobre Acero y
- Aspecto atractivo.

En lo que respecta a la resistencia a la corrosión la aplica-  
ción de las aleaciones monofásicas, se encuentra en los tu-  
bos para cambiadores de calor, especialmente en la industria  
Química. Estos tubos se utilizan igualmente en las refina-  
rias de azúcar y otras industrias de la alimentación.

Las aleaciones de forja o moldeo (bifásicas) se utilizan pa-  
ra las placas tubulares de condensadores y de cambiadores de  
calor, así como en construcciones del tipo naval para cuer-  
pos de bombas, hélices, cadenas y accesorios diversos.

La resistencia a los Ácidos Sulfúricos, Clorhídricos y otros justifica las numerosas aplicaciones en la industria Química así como en los talleres de decapado, cadenas, ganchos, rotores de bombas, etc., están fabricados comunmente con Cuproaluminios.

Por su buena resistencia mecánica en caliente y su buena resistencia a la oxidación los Cuproaluminios se utilizan para asientos de válvulas, tuberías para gases de escape y accesorios diversos para turbinas de gas, etc.

También basados en las características de fricción se consiguen ventajosamente de Cuproaluminios los engranajes y tornillos sin fin sometidos a grandes cargas, a choques, abrasión y con lubricación insuficiente.

Y en general aprovechando las diversas cualidades se les puede dar la aplicación requerida, tomando en cuenta también las propiedades Mecánicas y Físicas, hasta poderse utilizar en partes decorativas como monedas, estatuas, rejas, pasamanos de escaleras, ceniceros, etc.

#### 1.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LAS ALEACIONES DE COBRE.

Se entiende por Tratamiento Térmico ciertas operaciones consistentes en el calentamiento en determinadas condiciones de los metales o aleaciones metálicas dentro de ciertos límites de temperatura y duración para alcanzar determinadas propiedades intrínsecas, así como también el enfriamiento con modalidades especiales (enfriamiento instantáneo, lento, lentísimo, o con escalones de temperaturas intermedias), pero sin la intervención de trabajo mecánico alguno.

La definición de Tratamiento Térmico dada en el "Metals Hand book" es; "una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados aplicados a un metal o aleación en el estado sólido de forma tal que producirá las propiedades deseadas".

En la elaboración del Cobre y sus aleaciones comerciales, los fabricantes requirieron de la aplicación de ciertos Tratamientos Térmicos para poder así ofrecer sus productos con determinadas características.

Dichos Tratamientos son; Homogeneización, Recocido, Relevado de Esfuerzos, Endurecimiento por Precipitación y Tratamiento de Solución.

A continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

- Homogeneización: Es un proceso de fábrica que emplea altas temperaturas por períodos prolongados, para eliminar o disminuir la segregación en piezas de fundición que serán destinadas al trabajo en frío o en caliente.

En algunas aleaciones de Cobre, la difusión y la homogeneización son un poco más difíciles y más tardadas, entre ellas - se pueden mencionar; los Bronces al Estaño, Bronces al Silicio y Caproníqueles.

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.

- Recocido: Este Tratamiento Térmico generalmente se aplica después de la fabricación de algunas piezas de Cobre y sus aleaciones como por ejemplo la lámina.

Las temperaturas comúnmente utilizadas para trabajar en frío de algunas aleaciones de Cobre se dan en la Tabla I.33.

El Recocido es, principalmente función de la temperatura de Recristalización del metal y del tiempo de permanencia a la temperatura establecida. El objetivo principal de este Tratamiento Térmico es ablandar el material para que posterior-

mente sea trabajado en frío, obteniéndose así la óptima combinación de ductilidad, resistencia y buena textura superficial.

Comunmente se emplea el ensayo de dureza Rockwell junto con la medición del tamaño de grano como estándar de prueba para diversas clases de Recocido en el Cobre y sus aleaciones.

La optimización de las operaciones de Recocido involucran el conocimiento de varios factores como trabajo en frío, tiempo de proceso y atmósfera del horno.

Una de las variables más importantes que debe ser controlada es el tiempo de permanencia; a medida que cambian las condiciones del horno, las dimensiones de éste y del material, el tiempo de permanencia a una determinada temperatura varía considerablemente.

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

El manchado puede evitarse removiendo los lubricantes que se utilizan durante el proceso de Recocido, o también utilizando combustibles con bajo contenido de Azufre para el horno si es del tipo que utiliza combustible.

TABLA I.33 TEMPERATURAS UTILIZADAS PARA  
EL RECOCIDO DEL Cu Y SUS ALEACIONES

NOMBRE DE LA ALEACION	TEMPERATURA °F
Cobre oxigenado	700 - 1200
Cobre-Plata	900 - 1400
Cobre oxigenado con poco fósforo	700 - 1200
Cobre tenaz eléctrico	700 - 1200
Andamios con cobre - plata tenaz	900 - 1400
Fósforo deoxidado	700 - 1200
Cobre - Cadmio	800 - 1400
Bronce dorado comercial	800 - 1450
Bronce de joyería	800 - 1400
Bronce rojizo	800 - 1350
Bronce amarillo	800 - 1200
Metal muntz	800 - 1100
Bronces con alto, medio y bajos en plomo	800 - 1200
Bronces de forja, Bronce para arquitectura	800 - 1100
Bronces navales	800 - 1100
Bronce fósforoso	900 - 1200
Bronce al aluminio S%	1000 - 1200
Bronce al aluminio B	1125 - 1650
Bronce bajo en silicio, B	900 - 1250
Bronce alto en silicio, A	900 - 1200
Bronce con manganeso	900 - 1200
Bronce rojizo con silicio	800 - 1200
Cuproniquel 10%	1100 - 1500
Cuproniquel 20% y 30%	1200 - 1500
Fundición bronce - aluminio	1150 - 1225

- Elevado de Esfuerzos: Los esfuerzos residuales internos que resultan del trabajo en frío de las aleaciones de Cobre pueden relevarse por medio de un Tratamiento Térmico, el cual se lleva a cabo a bajas temperaturas (por debajo de la temperatura de recristalización).

Las temperaturas típicas para el Tratamiento de Relevado de esfuerzos para aleaciones de Cobre se muestran en la Tabla - I.34.

TABLA I.34 TEMPERATURAS TÍPICAS  
PARA EL RELEVADO DE ESFUERZOS \*F.

NOMBRE DE LA ALEACION	LAMINA	BARRAS Y ALAMBRE	TUBERIA
Cobre electrolítico	355	355	--
Cobre dorado 95%	525	--	--
Bronce comercial	525	570	--
Bronce rojizo	525	570	625
Bronce para cartuchos	500	555	610
Bronce amarillo	500	555	555
Bronce - Plomo	--	570	--
Bronce bajo en plomo	--	555	--
Bronce para forja	525	500	--
Almirantazgo	--	--	610
Bronce naval	--	555	--
Bronce fósforado A	525	570	--
Bronce fósforado B	--	570	--
Bronce con silicio	--	570	--
Bronce con aluminio	--	--	625
Cobre níquel 10%	790	--	895
Cobre níquel 30%	860	--	970
Níquel - Plata 65 - 10	--	645	--
Níquel - Plata 55 - 15	--	790	--
Níquel - Plata 55 - 18	645	--	--

El Relevado de Esfuerzos se emplea como una medida de seguridad contra el agrietamiento por corrosión bajo tensión en las aleaciones de Cobre, particularmente en las que contienen del 20% en adelante de Zn.

Prácticamente el ciclo ideal del relevado de esfuerzos para retener ciertas propiedades mecánicas consiste 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 incrementa muy poco en tratamientos a bajas temperaturas.

- Endurecimiento por Precipitación: Las propiedades mecánicas de la mayoría de los Cobre y aleaciones de Cobre son retenidas por trabajo en frío.

Aleaciones conteniendo cantidades variables de Berilio, Cromo, Zirconio, Silicio o Fósforo que usualmente no tienen alta resistencia y dureza, pueden endurecerse por el método conocido como endurecimiento por precipitación debido a que tienen características metalúrgicas similares entre sí.

El aumento de Resistencia puede obtenerse mediante calentamiento a temperaturas elevadas, seguido de un enfriamiento desde las altas temperaturas y subsiguientemente endurecidas

mediante un calentamiento a una temperatura moderada (Tratamiento de Precipitación).

Algunas ventajas que otorga este Tratamiento son; la ejecución es relativamente sencilla, se pueden combinar diferentes propiedades como resistencia, dureza, ductilidad, etc., que pueden ser obtenidas por la variación del tiempo y la temperatura del Tratamiento.

- Tratamiento de Solución; El Tratamiento de Solución sólida persigue dos objetivos; preparar la aleación a fin de realizar el envejecimiento y obtener la máxima ductilidad para la deformación posterior.

Si sometemos al enfriamiento rápido un material con Acritud, al calentarlo en él se desarrollan los procesos de recuperación y recristalización.

Lo mismo que durante el Recocido de Recristalización, un alto grado de deformación una baja temperatura y un corto tiempo de calentamiento proporcionan el grano fino, por el contrario pequeños grados de deformación, tiempos prolongados de calentamiento y temperaturas elevadas conducen a estructuras de grano grueso.

Los granos gruesos pueden formarse a consecuencia del calentamiento para el proceso de solución. La temperatura de calentamiento para el proceso de solución deberá asegurar la -

disolución más completa posible de las fases en exceso en la matriz y encontrarse en el sistema binario entre las curvas de solubilidad del sólidos y la línea de éste.

El tiempo de mantenimiento queda definido por la plenitud de los procesos de disolución de las fases en exceso, cuanto más dispersa sea la fase en exceso con más rapidez se disolverá. El tiempo de calentamiento depende del procedimiento de calentamiento, de la atmósfera del horno, de la geometría del semiproducto y de la masa de la carga.

En general se puede decir que el objetivo de los Tratamientos mencionados anteriormente puede ser el de restablecer el equilibrio físico-químico de la aleación (Homogenización, Recocido, Alivado de esfuerzos, etc.), o bien de proporcionar a la aleación las características óptimas de propiedades mecánicas tales como; resistencia a la deformación, resistencia a la ruptura, dureza y capacidad de deformación elástica (módulo y límite elástico) o permanente (alargamientos).

También permiten llevar la aleación a una determinada temperatura para el trabajo mecánico por deformación en caliente.

Las temperaturas para el Tratamiento de Solución y Precipitación se muestran en la Tabla 1.25.

TABLA 1.35 TEMPERATURAS PARA TRATAMIENTOS  
DE SOLUCION Y PRECIPITACION.

NOMBRE DE LA ALEACION	TRATAMIENTO TO. DE SOLUCION °F	TIEMPO MIN.	TRATAMIENTO TO. DE PRECIPIT. °F	TIEMPO HR.
Cobre-Zirconio	1650-1700	5-30	930-1020	1-4
Cobre-Berilio	1425-	10-30	600	3
Cobre-Berilio recocido	1675-1725	10-30	900	3
Cobre-Cromo	1800-1850	10-30	800- 930	2-4
Cobre-Niquel-Fósforo	1300-1450	10-30	800- 900	2-4
Bronce al aluminio	-- --	--	- -	-
Cobre-Niquel-Silicio	1375-1475	10-30	850- 900	1-1/2

## 1.5 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LAS ALEACIONES COBRE-ZINC (LATONES) Y COBRE-ALUMINIO (CUPROALUMINIOS).

### 1.5.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LAS ALEACIONES COBRE-ZINC.

Como se vió anteriormente el Recocido del Cobre y sus Aleaciones se efectúa con el objeto de eliminar aquéllas desviaciones respecto a la estructura de equilibrio que surgieran con el proceso de solidificación o a causa de las características mecánicas requeridas, o bien como el resultado del Tratamiento Térmico precedente.

En el caso de los Latones con un contenido de Cobre superior al 65%, su Recocido sólo tenderá a eliminar diferencias de estructura debidas a una difusión insuficiente.

Al Recocer aleaciones de Cobre con un contenido de Zinc del 32 al 39% a temperaturas superiores a la de Transición  $\alpha \rightleftharpoons \alpha + \beta$  se precipita la fase  $\beta$  lo que provoca la irregularidad en el crecimiento de grano, por lo que es preferible que el Recocido de tales aleaciones se efectúe a temperaturas que no superen la línea de equilibrio  $\alpha \rightleftharpoons \alpha + \beta$  del sistema Cu-Zn.

La calidad del material Recocido queda definida no sólo por sus propiedades mecánicas, sino también por el tamaño de grano recristalizado. El tamaño de grano en una estructura por entero recristalizada es homogéneo.

Al fijar incorrectamente los regímenes del Recocido de recristalización (temperaturas adecuadas), en la estructura se revelan con claridad dos grupos de granos que difieren por su tamaño, esta estructura llamada Binaria es sobre todo indeseable al ejecutar las operaciones de embutición profunda, curvado, pulido y decapado de los artículos.

Es indeseable la estructura Binaria para las operaciones mencionadas, dado que; a medida que aumentan las dimensiones del grano hasta cierto límite, los Latones se estampan mejor, pero empeora la calidad de la superficie, cuando el tamaño del grano es mayor de 40  $\mu$ m, en la superficie del artículo se observa una rugosidad típica llamada "cascara de naranja" lo que según se denomina indeseable.

También es posible obtener una estructura recristalizada parcial o totalmente con el grano fino manipulando el tiempo de Recocido. Los artículos con estas características se estampan sin que aparezca la rugosidad mencionada.

El Recocido incompleto se emplea fundamentalmente a fin de disminuir las tensiones residuales que pueden conducir al llamado "agrietamiento por corrosión bajo tensión". Este tipo de corrosión típico para los Latones que contienen más del 15% de Zn., consiste en el desarrollo gradual de las grietas intercristalinas, junto con la acción simultánea de las tensiones (residuales aplicadas) y de reactivos químicos

específicos (por ejemplo: soluciones y vapores de Amoníaco, soluciones de sales de Mercurio, Anhídrido Sulfúrico húmedo, etc.).

Se considera que la sensibilidad de los Latones al agrietamiento por corrosión bajo tensión, está condicionada más bien por la heterogeneidad de las tensiones, que por su magnitud absoluta.

Este Recocido incompleto se determina por el grado de la deformación previa y se efectúa dentro del intervalo de temperaturas de 250 y 400 °C.

El Recocido para disminuir las tensiones residuales se ejecuta dentro de un intervalo de temperaturas inferiores a la temperatura en que comienza la recristalización, con el fin de no reducir de modo notable las propiedades mecánicas adquiridas por Acritud. Por lo general dicho intervalo se encuentra entre 250 y 330 °C y el tiempo de Recocido oscila entre 1 y 2 horas.

Enfriamiento rápido; Ningún enfriamiento rápido puede aplicarse al Latón cuando el contenido de Cobre supera el 67,5% dado que el material se halla constituido tanto a temperaturas elevadas como a temperaturas bajas de una sola fase  $\alpha$ .

En aquellos Latones cuyos contenidos de Cobre se encuentran entre 67.5 y 63%, dado que a temperaturas elevadas son - -

Bifásicos puede realizarse un enfriamiento rápido que conduce a tener en frío, conjuntamente con la fase  $\alpha$  un poco de la fase  $\beta$ , pero como las propiedades de  $\beta$  y  $\beta'$  son análogas, el efecto puede alcanzarse más económicamente con una aportación inicial de Zinc que entregue al material la cantidad de  $\beta'$  deseada.

Dada la analogía que existe entre las propiedades de  $\beta$  y  $\beta'$  no hay motivo alguno para el enfriamiento rápido de Latones cuyos contenidos de Cobre están entre el 63 y 55% desde la zona  $\alpha + \beta$  a la zona  $\alpha + \beta'$ . Tampoco conviene enfriarlo rápidamente del campo monofásico  $\beta$  ya que no se obtendría un producto adaptable a las aplicaciones mecánicas y por otra parte, aún en este caso, se podría alcanzar un efecto idéntico con mayor economía con una adición inicial de Zinc.

El enfriamiento rápido del Latón no se manifiesta en seguida; sólo excepcionalmente, cuando debe operarse con un material de un contenido de Cobre comprendido entre 67.5 y 63% y se quiere mejorar la resistencia mecánica, podrá Templarse a una temperatura un poco superior a su punto de Transformación en el campo  $\alpha + \beta$ , procediendo después a un Revenido hasta 400 °C, para que el alargamiento no sufra disminuciones apreciables.

El Temple de los Latones que contienen más del 34% de Zn., - los hace propensos al envejecimiento, además la capacidad de endurecer después de esta operación crece al aumentar el contenido de Zinc hasta el 42%, sin embargo esta clase de envejecimiento técnico de los Latones no ha encontrado aplicación práctica.

### I.5.2 TRATAMIENTOS TÉCNICOS DE LAS ALEACIONES COBRE-ALUMINIO.

Dentro de las diferentes aleaciones de Cobre solamente los - Cuproaluminios son realmente aptos para Tratamientos Térmicos.

El estudio del Diagrama de Equilibrio de los Cuproaluminios\_ dentro del campo de las composiciones más utilizadas y más - comerciales, esto es quizá entre el 8 y el 12% de Aluminio, permite examinar los diferentes Tratamientos Térmicos que -- aceptan estos materiales.

Se hace énfasis en este rango de composiciones dado que la - base de este estudio se enfoca a las aleaciones comerciales nacionales.

El Diagrama Co-Al muestra claramente la existencia de tres - fases;  $\alpha$  (cúbica de caras centradas),  $\beta$  (cúbica de cuerpo centrado) y  $\gamma_2$  (estructura cúbica gigante) que pueden ser

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

comparadas con las tres fases que existen en los Aceros Eutectoides; solución  $\alpha$  , Hierro  $\gamma$  ,  $\text{Fe}_3\text{C}$  respectivamente.

Podemos así comparar los fenómenos acompañados de los Tratamientos Térmicos eutectoides de Aceros con los Cuproaluminicos.

La descomposición de la fase  $\beta$  con 11.8% Al a 565 °C es muy lenta y necesita una velocidad de enfriamiento inferior a 1 °C por minuto. Esta descomposición produce una estructura perlítica, agregado lamelar fino de las fases  $\alpha$  y  $\beta_2$ .

Si la velocidad de enfriamiento es superior a 1 °C por minuto la fase  $\beta$  experimenta entre 200 y 260 °C, una transformación brusca de tipo martensítico y se obtiene una nueva solución sólida con estructuras hexagonales.

Con una velocidad de enfriamiento de 10 °C por minuto la descomposición de la fase  $\beta'$  es completamente suprimida. El aspecto micrográfico de la fase  $\beta'$  es de plaquetas relacionadas con la estructura reticular de la fase  $\beta$  madre. El fenómeno es reversible; si se calienta la fase  $\beta'$  , se transforma entre 260 y 300 °C en fase  $\beta$  .

En el caso de piezas fundidas, 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 un determinado tiempo prolongado, a temperatura elevada, según el análisis previo del diagrama de equilibrio. Este Tratamiento se denomina "Homogeneización", por que ofrece a los átomos de aluminio una oportunidad de difusión para distribuirse por sí mismos uniformemente en las matrices de los granos.

Hoy en día la demanda de materiales que trabajan 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.

Por lo tanto, 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, en el caso de los Cuproaluminios, es el proceso del Temple.

Este Tratamiento consiste en un calentamiento hasta alcanzar la fase  $\beta$  por un tiempo determinado e inmediatamente enfriar en medios diferentes como aceite, agua, medio ambiente, etc.

Aunque el proceso parece muy sencillo, esta parte es una de las más desconocidas dado que los estudios realizados desafortunadamente han sido muy pocos. La información que se encuentra no es muy explícita y muestra que es un campo extenso del cual sólo se ha investigado una pequeña parte.

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

Esta estructura se puede lograr mediante una combinación adecuada de; composición química, temperatura de calentamiento, tiempo de permanencia y velocidad de enfriamiento. Cada una de estas variables otorga una gran variedad de resultados en estructura y en propiedades físicas y mecánicas, con la mínima modificación en cualquiera de estas variables se pueden obtener resultados muy variables.

## CAPITULO II

### TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS

En la búsqueda constante para obtener materiales de mayor resistencia que los usuales, se han desarrollado nuevos Tratamientos para aprovechar hasta el máximo las cualidades potenciales de los mismos.

De esta manera la implantación de los Tratamientos Termomecánicos, tiene sus antecedentes en los trabajos realizados sobre las transformaciones que tienen los Aceros a partir de un procesamiento por el cual se puede obtener Martensita y Bainita a partir de la Austenita.

Este procesamiento consiste en deformar el Acero cuando se encuentra en estado de Austenita estable o metastable, antes de su transformación a Martensita o Bainita, obteniéndose de este modo un considerable aumento en las propiedades mecánicas de los Aceros (límite elástico, dureza, alargamiento, estricción).

A continuación se da la definición de Tratamiento Termomecánico. "Tratamiento Termomecánico es el proceso de trabajo mecánico controlado, realizado durante el proceso de Tratamiento Térmico usual en esos materiales, con el fin de obtener una mejor combinación de propiedades mecánicas en el producto final".

Estos Tratamientos involucran (en el caso de los Aceros), el trabajo mecánico, al mismo tiempo en que el Acero se encuentra en la fase de Austenita estable o metaestable, o durante la transformación de esta fase, para promover modificaciones microestructurales, así como la producción controlada de defectos, (fundamentalmente dislocaciones y precipitados fijos) los cuales combinados con un refinamiento de la microestructura, pueden influir en forma importante en el comportamiento final del producto.

La anterior descripción de Tratamiento Termomecánico es aplicable al sistema Cero-Aluminio, ya que las aleaciones Cu-Al de mayor interés comercial, contienen de 10 a 12% de Al y poseen muchas características de transformación similares a las de los Aceros Eutectoides.

## II.1 TÉCNICAS DE TRABAJO TERMOMECAÑICO.

A continuación se exponen las técnicas de Trabajo Termomecánicas hasta ahora investigadas para mejorar las propiedades mecánicas de los Aceros, ya que de estas técnicas se han tomado aquéllas que se consideran básicas para ser aplicadas a las aleaciones Co-En y Co-Al.

La primera Técnica desarrollada y que quedó comprendida dentro de la definición de Tratamientos Termomecánicos, fue el Ausforming o Deformación de Austenita metaestable, dado que los Tratamientos Termomecánicos, buscaban producir niveles de resistencia ultra elevados en productos terminados, se encontró que con el uso de éstos era posible incrementar tanto ductilidad y tenacidad como resistencia de un amplio rango de productos terminados y semiterminados.

La mayor parte de estos trabajos están encaminados a mejorar la ductilidad; entendida esta, como el incremento en la alóngación total o aumento de la estricción de una muestra tensionada uniaxialmente, así como una mayor facilidad en operaciones de conformado mediante deformación plástica, y el mejoramiento en tenacidad que ocasiona una disminución en la temperatura de Transición al impacto (temperatura a la cual un material metálico pasa de un comportamiento dúctil a un comportamiento frágil).

Evidentemente al buscar mejorar las anteriores propiedades - se trata de satisfacer los requerimientos de alta resistencia en los Aceros para partes estructurales, por ello gran parte de los estudios sobre Tratamientos Termomecánicos (si no es que todos) están enfocados para satisfacer estos requerimientos.

## II.2 CLASIFICACION DE TECNICAS DE TRABAJO TERMOMECANICO.

En los Tratamientos Termomecánicos existen diversas combinaciones de las variables que intervienen según sea el proceso a seguir para obtener mejoría en las propiedades mecánicas, las variables a considerar son: Plan de deformación, velocidad de calentamiento y enfriamiento, así como el tiempo de permanencia en ciertas etapas a determinadas temperaturas.

Debido a esto, existe la necesidad de hacer una clasificación de los Tratamientos Termomecánicos.

Fundamentalmente se consideran dos clasificaciones: La Nortamericana y La Soviética, ya que estos dos países son los pioneros en investigaciones sobre Tratamientos Termomecánicos.

### II.2.1 CLASIFICACION NORTEAMERICANA DE TRATAMIENTOS TERMOMECANICOS.

Las principales investigaciones realizadas sobre el tema corresponden a Axria, S. Victor, Endcliffe y Erick B. Kula en 1964.

Ellos basan su clasificación en la secuencia de deformación y transformación de fase, no tomando en cuenta como un factor de importancia relevante, la temperatura a la cual se realiza la deformación.



### CLASE II.

La deformación es llevada a cabo durante la transformación de la Austenita. Dentro de esta clase se encuentran:

- a) Deformación durante la Transformación a Martensita, - por ejemplo; Zerolling y Andefora,
- b) Deformación durante la Transformación a agregados de carburo y ferrita, por ejemplo; Isoforming como se observa en la figura # 4.

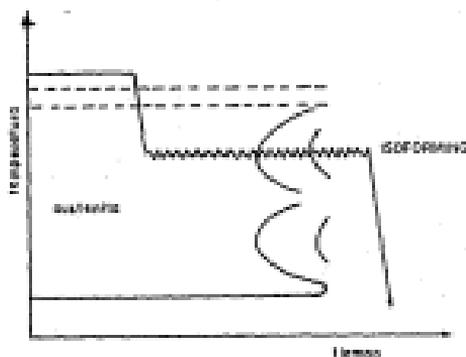


FIGURA # 4 Representación Esquemática del TTM Isoforming en un Diagrama TTT.

### CLASE III.

La deformación se realiza sobre los productos de la Transformación de la Austenita, es decir, la deformación es después de la Transformación de la Austenita. Entre ellos se consideran tres casos particulares;

- a) Deformación de la Martensita seguida por Revenido, por ejemplo la deformación en frío de la Martensita y Maraging.
- b) Deformación de Martensita revenida, seguida por Envejecimiento, por ejemplo, Mar-Straining, Strain-Tempering, Tempforming y Warmworking como se muestra en la Figura # 5.
- c) Deformación de productos de Transformación Isotérmica, por ejemplo; Patenting y Warmworking.

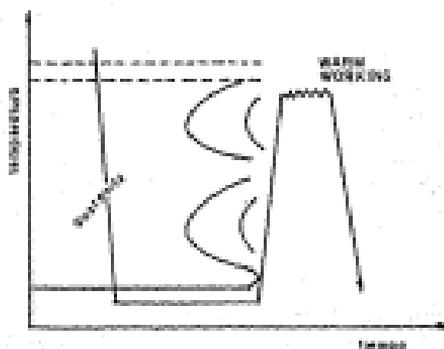


FIGURA # 5 Representación Esquemática de un Diagrama TTT del Proceso Denominado "Trabajo en Caliente".

### II.2.2 CLASIFICACION SOVIETICA DE TRATAMIENTOS TERMOMECANICOS

La clasificación Norteamericana es considerada por algunos

autores como muy amplia. W.E. Duckworth considera que la definición de Tratamiento Termomecánico debe cubrir únicamente aquellas técnicas en las cuales "La deformación plástica es llevada a cabo antes o durante un cambio alotrópico con el objetivo de mejorar las propiedades", de esta manera, Técnicas tales como Strain-aging y Flowtemporing de Martensita, - no son considerados como Tratamientos Termomecánicos.

De esta manera, T.J. Koppensal realizó una clasificación de los Tratamientos Termomecánicos, basada en la temperatura a la cual se realiza la deformación plástica (diferencia fundamental entre esta clasificación y la realizada por Sadcliffe Kola), como se muestra en la figura # 6.

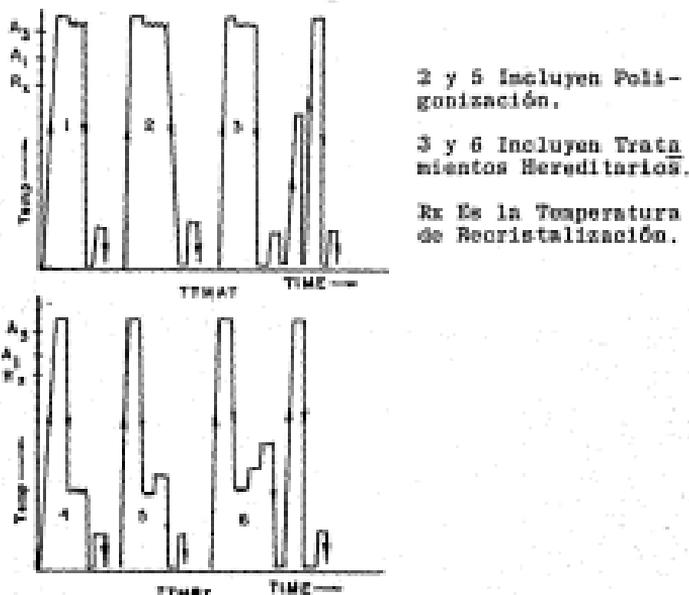


FIGURA # 6 Representación Esquemática de los ciclos de Tiempo-Temperatura-Transformación - de la Clasificación Soviética de los TTM.

## 1.- TRATAMIENTO TERMOMECANICO DE BAJA TEMPERATURA (TTMBT).

La Deformación se lleva a cabo a temperaturas inferiores a la de recristalización. Este Tratamiento es equivalente al proceso de la clase I-b de la clasificación Norteamericana - llamada Ausforming, el cual define el Tratamiento en términos de deformación de Austenita metaestable antes de Templar para formar Martensita. En la URSS la definición ha sido ampliada a decir simplemente que es la deformación abajo de la temperatura de recristalización, como se muestra en la figura 7a.

Cabe hacer notar que de acuerdo a esta última definición, cualquier aleación puede ser sometida a TTMBT sin tomar en cuenta si se lleva a cabo o no una transformación después de la deformación.

## 2.- TRATAMIENTO TERMOMECANICO DE ALTA TEMPERATURA (TTMAT).

Este proceso involucra la deformación de Austenita estable (llevada a cabo antes de la transformación a Martensita mediante Temple), desde la temperatura de deformación, que en este caso es superior a la temperatura de recristalización y se realiza el temple generalmente (aunque no siempre) inmediatamente después de la deformación para evitar recuperación o recristalización, como se observa en la figura 7b.

De modo similar al caso anterior, esta definición general de TTMT incluye cualquier proceso en el cual la deformación es ejecutada por encima de la temperatura de recristalización, independientemente de que suceda o no una transformación de fase posterior.

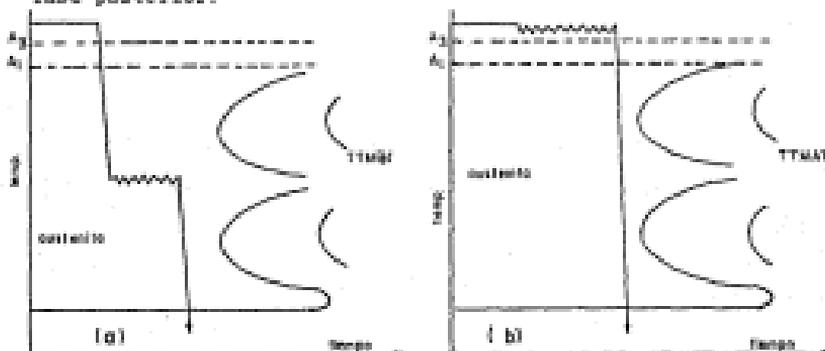


FIGURA # 7 Representación Esquemática del TTMT (a) y del TTMT (b) en un Diagrama TTT.

### 3.- TRATAMIENTO TERMOVIBRACIONAL DE ALTA TEMPERATURA (TTVAT),

Este tipo específico de Tratamiento Termomecánico de Alta -- Temperatura, utiliza una carga cíclica Torsional como medio de realizar la deformación plástica.

### 4.- TRATAMIENTO TERMOMECANICO COMBINADO (TTMC),

Como su nombre lo indica, este Tratamiento combina un Tratamiento Termomecánico de Alta Temperatura, seguido directamente

te por un Tratamiento Termomecánico de Baja Temperatura, como el que se tiene en la figura 8.

#### 5.- TRATAMIENTO TERMOMECAÑICO PRELIMINAR (TTMP)

La palabra preliminar en este término, se refiere a la defo<sup>r</sup>mación plástica efectuada antes de la Austenización durante el Tratamiento Térmico de los Aceros. La defo<sup>r</sup>mación preliminar puede llevarse a cabo mediante un TTMT mediante defo<sup>r</sup>mación en frío, con un Tratamiento Térmico intermedio a baja temperatura.

Posteriormente a uno de estos Tratamientos preliminares, los Aceros son Austenizados utilizando velocidades de calenta<sup>m</sup>iento muy elevadas, esto es necesario para evitar la recup<sup>e</sup>ración o recristalización, antes de la transformación a Austenita, ver figura 9.

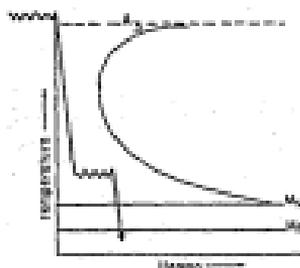


FIGURA # 8 Representación Esquemática de un TTMC en un Diagrama TTT.

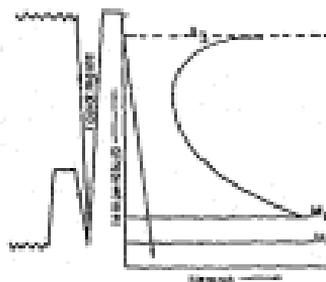


FIGURA # 9 Representación Esquemática de un TTMP en Un Diagrama TTT.

En todos los tipos de Tratamientos antes descritos, la deformación se realiza antes o durante la Transformación de la Austenita. Sin embargo, investigadores Soviéticos han realizado una amplia experimentación con aquéllos procesos en los cuales la deformación es aplicada después de la Transformación a Martensita. El término Soviético para este tratamiento de deformación y envejecimiento después de la transformación a Martensita es "Tratamiento Mecánico-Térmico".

Comparando las dos clasificaciones, se observa que la soviética es cubierta fundamentalmente por la Clase I y parcialmente por la clase II de la clasificación Norteamericana, mientras que la clase III sale de la clasificación de TPM Soviética, entrando en otra categoría como un Tratamiento diferente a éstos.

### 11.3 TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS DE ALEACIONES

#### Cu-Al Y Cu-Zn.

#### 11.3.1 TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS DE ALEACIONES Cu-Al.

Hasta ahora las investigaciones para lograr materiales de mayor resistencia han enfocado su atención principalmente en idear Tratamientos Termomecánicos especializados, los cuales utilizan la transformación Eutectoide y Martensítica que ocurren en los Aceros, logrando mejoras en Resistencia, Ducti-lidad y Dureza.

Sin embargo, un método similar ha sido adoptado con aleacio-nes básicas Cu-Al, en un esfuerzo para intensificar sus pro-piedades Mecánicas, mientras retienen su buena resistencia a la corrosión.

Al querer utilizar alguna técnica de Tratamiento Termomecá-nico en las aleaciones Cu-Al se realizó un análisis de todas las técnicas de TTM investigadas para los Aceros, encontrán-dose que mientras muchas combinaciones de Tratamiento Térmico y Deformación han sido utilizados, existen solamente tres técnicas básicas, las cuales se ilustran en la figura 10 y se han aplicado a las aleaciones Cu-Al.

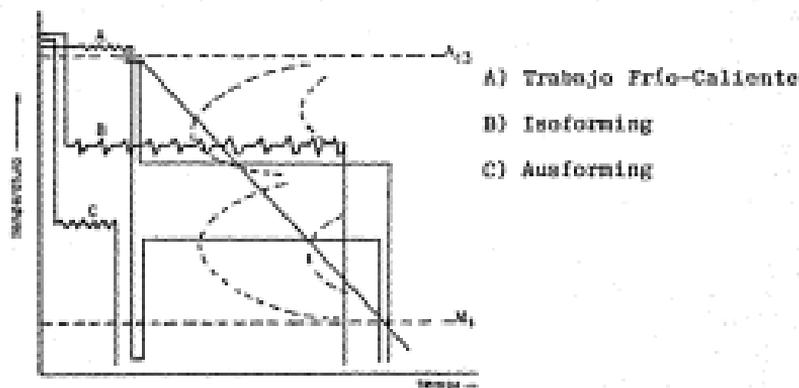


FIGURA # 10 Representación Esquemática de TTM en Aleaciones Cobre-Aluminio.

Dichas técnicas se describen brevemente a continuación:

A) Trabajo Frío-Caliente: Esta técnica queda comprendida en la clase I.a de la definición Norteamericana de Tratamientos Termomecánicos. En este método la aleación se mantiene a una temperatura a la cual se tenga una condición Austenítica y entonces es severamente deformada, preferiblemente en una operación.

Después la aleación es enfriada a una velocidad que permita la Austenita deformada para reorganizarse sin incremento apreciable de grano. Alternativamente, la aleación puede ser templada y posteriormente darle un tratamiento Isotérmico.

- B) Isoforming: Esta técnica corresponde a la clase II.b de la definición Norteamericana TTM. En esta técnica - la aleación se mantiene a una temperatura más baja que la utilizada en el método A, aplicando una serie de deformaciones con recalentamientos cortos a esta temperatura mientras lo permita la fase metaestable, para - - transformarse completamente a sus productos de equilibrio.
- C) Anisforming: Esta técnica corresponde a la clase I.b de la definición Norteamericana de TTM. En esta técnica - como se observa en la figura 10 la aleación se mantiene a una temperatura más baja que la temperatura de la técnica B y sufre una deformación antes de la Transformación de Austenita entre las curvas perliítica y Bainítica de la curva de Transformación Isotérmica.

### II.3.2 TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS DE ALEACIONES Cu-Zn.

En el caso de la aleación Cu-Zn hasta ahora no se han reportado trabajos concretos sobre alguna técnica de Tratamientos Termomecánico.

Sin embargo en la revista Scripta Metalúrgica se encontró - un artículo que trata sobre el comportamiento de la Martensita al ser deformada a ciertas temperaturas.

Esta información se refiere solamente a la disposición de la Martensita, y a la forma en que ésta se encuentra, dependiendo de la temperatura y la deformación a la que la estructura se someta.

Los datos antes anotados pueden tomarse como referencia para aplicar alguna técnica conocida o bien diseñar algún tratamiento Termomecánico para observar los posibles cambios estructurales tendientes a mejorar las propiedades mecánicas de esta aleación.

## CAPITULO III

### EXPERIMENTACION

#### III.1 ELECCION DE MATERIALES.

De acuerdo al objetivo establecido para la realizaci3n de este trabajo las aleaciones Cu-Al y Cu-Zn deberian ser aqu3llas que se produjeran comercialmente en el Pa3s, y que deberian tener un contenido de Aluminio mayor al 10% en el caso de la aleaci3n Cu-Al y en el caso de la aleaci3n Cu-Zn un contenido mayor o igual al 40% de Zn.

La caracteristica de contenido de Al y Zn en cada aleaci3n resulta determinante en ambas aleaciones, dado que; en la aleaci3n Cu-Al un contenido mayor al 10% de Aluminio favorece los cambios microestructurales al ser sometida la aleaci3n a alg3n Tratamiento T3rmico redundando en mejoras en las propiedades mec3nicas, aunado a esto un comportamiento similar, en lo que respecta a la microestructura, a los Aceros Eutectoides, lo cual garantiza buenos resultados.

Para el caso del Cu-Zn un alto contenido de Zn tiene influencia favorable en las propiedades mec3nicas de la aleaci3n, se estima un alto contenido de Zn a la aleaci3n que posee al rededor del 40% de Zn, aleaci3n que se conoce como metal MUNTZ o Lat3n ( $\alpha + \beta$ ) material que se le puede aplicar Tratamiento T3rmico.

Para obtener las aleaciones Cu-Al y Cu-Zn con las características antes mencionadas se procedió a una investigación en diferentes industrias dedicadas a la producción comercial de este tipo de aleaciones, encontrándose que la compañía "Metalúrgica ALMENA" produce la aleación Cu-Al con un contenido de Aluminio mayor al 10% a la que denomina ALMENA Z, y la compañía "SACOBRE" produce la aleación Cu-Zn (5337) con un contenido de Zn de 37%. Aún cuando esta última aleación no tiene la composición del metal MUNTZ (8040) las características de esta aleación son muy similares a la de dicho metal. La producción de la aleación Cu-Zn con 40% de Zn no es comercial.

### III.2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ALEACIONES.

Las aleaciones seleccionadas tienen las siguientes características:

#### a) Composición Química;

##### ALMENA Z

Cu	-	78 %	mínimo		
Ni	-	3 %	mínimo	-	5.5 % máximo
Fe	-	3 %	mínimo	-	5.0 % máximo
Al	-	10 %	mínimo	-	11.5 % máximo
Mg	-			-	3.5 % máximo
Otros	-			-	0.5 % máximo

##### LATON 6337

Cu	-	62 %	mínimo	-	65 % máximo
Zn	-	35 %	mínimo	-	38 % máximo
Otros	-			-	0.2 % máximo

#### b) Propiedades Físicas;

Característica	ALMENA Z	LATON 6337
Resistencia a la tensión	6330 Kg/cm <sup>2</sup>	3600 Kg/cm <sup>2</sup>
Punto de cedencia	2810 Kg/cm <sup>2</sup>	1400 Kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento	20 %	53 %
Densidad	7.53 gr/cm <sup>3</sup>	8.45 gr/cm <sup>3</sup>

Las aleaciones fueron donadas por ambas compañías con las formas siguientes; para el caso de la aleación ALMENA 2 fue donada en forma de barra de 1 pulgada de diámetro directamente de fundición, y en el caso del Latón se nos proporcionó en forma de barra de sección rectangular de recorte de lámina de espesor de 1 cm.

### III.3 PREPARACION DE MUESTRAS.

Para realizar un estudio metalográfico de cada aleación se obtuvieron dos muestras representativas.

La prueba metalográfica se realizó con el fin de conocer la microestructura de cada aleación y saber si dichas aleaciones habían sufrido o no algún tratamiento térmico.

La secuencia de la metalografía fue la siguiente:

- a) Desbaste: Una vez que se tenían las muestras se procedió a esmerilarlas para después ir afinando la superficie utilizando lijas con asperezas diferentes (180, 300, 360, 400, 500 y 600 grado de número de abrasivo).
- b) Pulido: Después del desbaste se procedió a dar un pulido a espejo con ayuda de un paño y una mezcla de Óxido de Aluminio y agua destilada. Al término del pulido las muestras se lavaron y secaron perfectamente con agua y alcohol.
- c) Ataque Químico: Para ayudar a que la superficie quedara completamente pulida se aplicó un Ataque Químico el que consistió en sumergir la muestra en una solución química durante 30 a 30 segundos, lavar con agua y alcohol y secar perfectamente.

La solución consistió en lo siguiente:

Acido Acetico

Acido Fosforico

Acido Nitrico

En partes iguales se calienta la solución entre 60 y 70 °C -  
(Dicha solución es recomendada en el Metals Hand-Book de --  
acuerdo a la composición química de las aleaciones).

d) Observación al Microscopio: La observación de las pie--  
zas se realizó en un microscopio modelo "Epivert" - -  
Leitz-Wetzlar el cual cuenta con fuente luminosa y dispo--  
sitivo para tomar fotografías, con lentes de diferentes  
aumentos desde 10X hasta 50X.

e) Toma de Dureza: La Dureza se tomó como una prueba para  
complementar el estudio de las aleaciones, dicha prueba  
se realizó en un Durómetro Rockwell.

La dureza se tomó en la escala Rockwell B (RB) dados los  
tipos de Aleaciones ya que así lo recomiendan varios --  
autores.

f) Resultados del Estudio Metalográfico y el Ensayo de Dure--  
za: Para el caso de la aleación ALMENA 2 se observó una  
estructura con la fase  $\alpha$  primaria Estectóide granular  
( $\alpha + \beta_2$ ), al compararla se encontró que la estructura

se trataba de una aleación en estado de fundición sin Tr  
tamiento Térmico alguno.

La estructura observada al microscopio es la que se mues-  
tra en la Fotografía de la figura # 11.

Para el caso del Latón 6337 la microestructura observada es,  
la que se muestra en la fotografía de la figura # 12. Dicha  
microestructura es la típica de este tipo de latones en la -  
cual se observa de color oscuro la fase  $\alpha$  y de claro -  
la fase  $\beta'$ .

En el caso del Ensayo de Dureza se obtuvieron los siguientes  
valores en cada aleación:

Material	Dureza Rockwell B
ALMENA Z (estado original)	83
LATÓN 6337 (estado original)	43.5

En función de los resultados obtenidos tanto en Metalografía  
como en Dureza se determinó que para el caso de la Aleación  
ALMENA Z se requería aplicar algún Tratamiento Térmico pre-  
vio al Tratamiento Termomecánico, esto es para reducir la -  
Dureza e incrementar el tamaño de grano, es decir Homogenei-  
zar el material y facilitar la aplicación del Tratamiento -  
Termomecánico.

Para el caso de LATON 6337 se consideró que no era necesario aplicar ningún Tratamiento Térmico preliminar dada la estructura que se tenía y la dureza.



Fig. # 11. Microestructura de la aleación Cu-21 (AE 100) correspondiente a la muestra original, aumentada por la fase  $\alpha'$  primaria y eutéctico grueso ( $\beta + \beta'$ ). M 11.



Fig. # 12. Microestructura de la aleación Cu-11 (6337) correspondiente a la muestra original, aumentada por la fase  $\beta'$  de eutéctico y la fase  $\alpha'$  de eutéctico grueso. M 11.

### III.4 APLICACIONES DE TRATAMIENTOS TERMICOS PRELIMINARES A LOS TRATAMIENTOS TERMOMECANICOS.

Antes de aplicar cualquier Tratamiento Termomecánico, es conveniente tener una microestructura con un tamaño de grano relativamente homogéneo ya que estas características facilitan la aplicación de algún Tratamiento Termomecánico (TTM).

De esta manera al observar con detalle la microestructura de la aleación ALMENA 2 se determinó que era conveniente aplicar un Tratamiento Térmico de Recocido para disminuir la dureza y hacer más propicias las condiciones para la aplicación de alguna técnica de Trabajo Termomecánico.

El Tratamiento Térmico de Recocido se realizó elevando la temperatura a 900 °C manteniéndola durante 24 horas. Los resultados muestran después del Recocido lo siguiente:

- 1.- La microestructura observada es similar a la mostrada en la figura # 11 sólo que ahora el tamaño de grano se incrementó.
- 2.- La dureza disminuyó a 78 HB.

En el caso del LATON 6337 la aplicación de un Tratamiento Térmico no se juzgo necesaria, debido al tamaño de grano observado en la figura # 12, además de que la dureza es aceptable, determinándose que estas condiciones eran propicias para aplicar un TTM.

Los datos obtenidos de la literatura respecto a la aplicación de Tratamientos Termomecánicos a estas aleaciones parecen revelar un mayor potencial para las aleaciones Cu-Al.

Sin embargo, aún cuando para las aleaciones Cu-Zn no se tengan técnicas de Tratamientos Termomecánicos experimentados, se procedió a la aplicación de Tratamientos Térmicos combinados con deformaciones mecánicas, tal como se detalla en la siguiente sección.

## CAPITULO IV

### APLICACION DE TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS.

La aplicación de alguna de las técnicas de trabajo termomecánico, como las descritas en el Capítulo III, concretamente los métodos: A) Trabajo frío-caliente, B) Isoforming y C) Ausforming, han sido experimentadas para el caso del Cu - Al debido a la analogía que existe entre esta aleación y los aceros al carbono. Para el caso del Cu - Zn, ninguna de las técnicas hasta ahora experimentadas para el caso de aceros ha sido probada en esta aleación.

#### IV. 1 SECUENCIA DE TRATAMIENTOS TERMOMECAÑICOS PARA

##### ALEACION Cu - Al Y Cu - Zn.

En la experimentación que nos ocupa, los tratamientos aplicados a ambas aleaciones, se basaron en el principio establecido en la definición de lo que es un Tratamiento Termomecánico. La variación de los parámetros que interviene en la aplicación de un Tratamiento Termomecánico, son los que finalmente van a influir directamente en la posible mejora de las propiedades mecánicas de ambas aleaciones. Los Parámetros manejados en este caso son: Porcentaje de deformación mecánica, Tratamiento Térmico anterior o posterior a la deformación mecánica, tiempo de permanencia a determinada temperatura, medio enfriamiento. (Velocidad de enfriamiento) etc.

De esta forma las múltiples combinaciones de estos parámetros influirán directamente en los cambios microestructurales de los cuales se buscan aquéllos que tiendan a mejorar las propiedades mecánicas de ambas aleaciones.

Debido al número de variaciones y combinaciones de los parámetros anotados, la experimentación se puede realizar tan ampliamente como se desee.

La deformación mecánica efectuada a ambas aleaciones fue la laminación con diferentes porcentajes de reducción a partir de los espesores originales de las 6 diferentes sustratos, - empleadas para cada aleación. Para este fin se utilizó la máquina laminadora "Harland Simons Limited".

La secuencia de deformación y el Tratamiento Térmico aplicado se detalla para las aleaciones Cu - Al y Cu - Zn, en las Tablas IV.1.A y IV.1.B respectivamente.

TABLA IV.1.A SECUENCIA SEGUIDA PARA EL Cu - Al

No. DE OPERACION	TRATAMIENTO TERMOMECANICO		
	TRATAMIENTO T. PRIMARIO	DEFORMACION MECANICA	TRATAMIENTO TECNICO POSTERIOR
1	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON NITRO.	LAMINADO CON 10% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	N I N G U N O
2	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON NITRO.	LAMINADO CON 30% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	N I N G U N O
3	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON NITRO.	LAMINADO CON 10% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 600°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.
4	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON NITRO.	LAMINADO CON 30% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 600°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.
5	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON NITRO.	LAMINADO CON 10% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 600°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.
6	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON NITRO.	LAMINADO CON 30% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 600°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.

TABLA IV.1.8 SECUENCIA SEGUIDA PARA EL Cu - Zn

No. DE MUESTRA	T R A T A M I E N T O T E R M O M E C A N I C O		
	TRATAMIENTO T. PREVIO	DEFORMACION MECANICA	TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR
1	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON HIELO.	LAMINADO CON 10% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	N I N G U N O
2	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON HIELO.	LAMINADO CON 20% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	N I N G U N O
3	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON HIELO.	LAMINADO CON 10% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 300°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.
4	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON HIELO.	LAMINADO CON 20% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 300°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.
5	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON HIELO.	LAMINADO CON 10% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 500°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.
6	A 750°C CON 1 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA EN AGUA CON HIELO.	LAMINADO CON 20% DE DEFORMACION RESPECTO A ESPESOR ORIGINAL.	REVENIDO A 600°C CON 1/2 HORA DE PERMANENCIA A ESTA TEMPERATURA, ENFRIADA AL AIRE.

#### IV.2 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS TTM APLICADOS A LAS ALEACIONES Cu - Al Y Cu - Zn.

La información contenida en las Tablas IV.1.A. y IV.1.B -- puede apreciarse en las gráficas mostradas en las figuras de la 13 a la 24. A cada muestra le corresponde una de las gráficas con toda la secuencia de los TTM aplicados a ambas aleaciones. Para todos los casos debe interpretarse que la deformación mecánica (laminación) se realizó a temperatura ambiente.

Antes de presentar las tablas de resultados es necesario definir que tipo de TTM, según las clasificaciones Estadounidense y Soviéticas se llevó a cabo con las aleaciones Cu-Al y Cu-Zn.

De la observación de las gráficas ya presentadas podemos afirmar que se han aplicado para ambas aleaciones un TTMT. Ya que según la clasificación Soviética, cualquier aleación puede ser sometida a un TTMT sin tomar en cuenta si se lleva a cabo o no una transformación microestructural después de la deformación mecánica.

De acuerdo con la definición de TTMT la deformación se lleva a cabo a temperaturas inferiores a la de recristalización, este tratamiento es equivalente al proceso 1-b de la clasificación Norteamericana llamado Asforming.

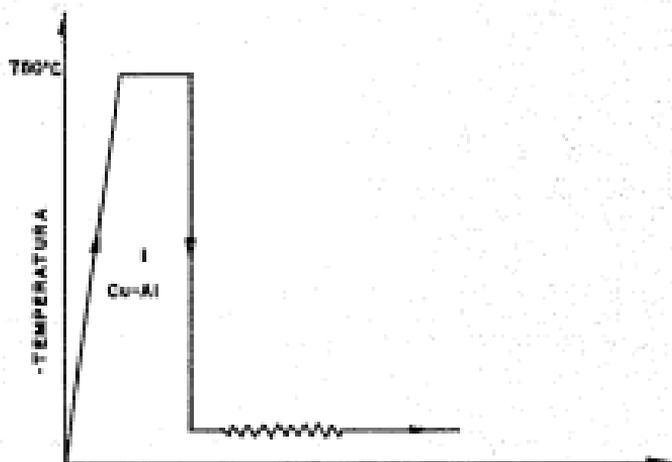


FIGURA N° 13

TIEMPO

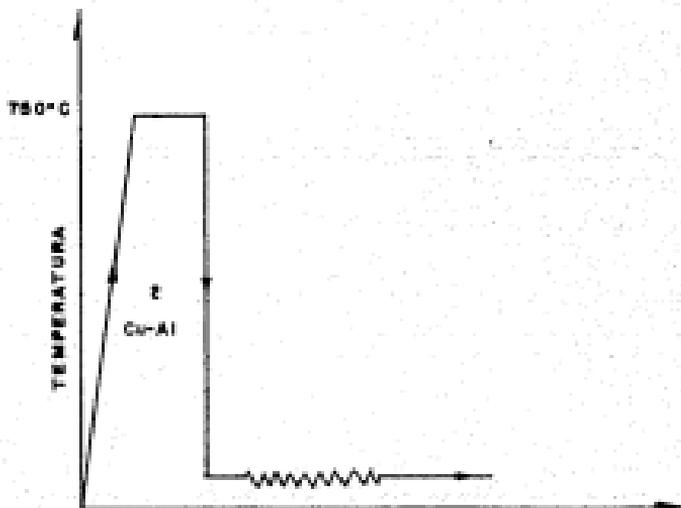


FIGURA N° 14

TIEMPO

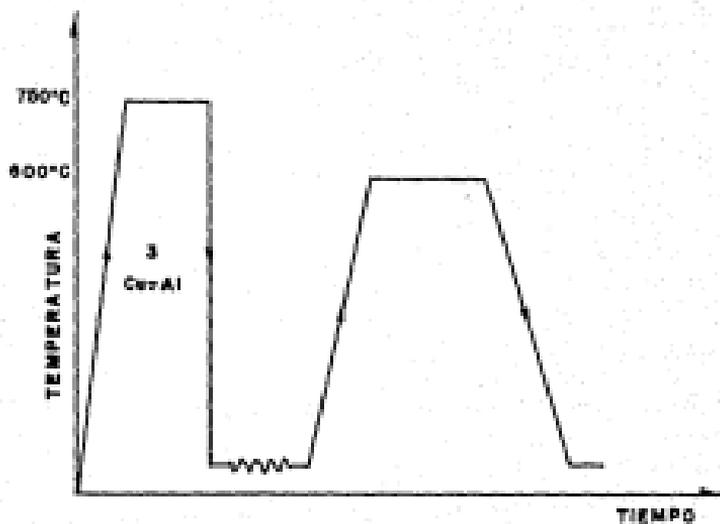


FIGURA N° 15

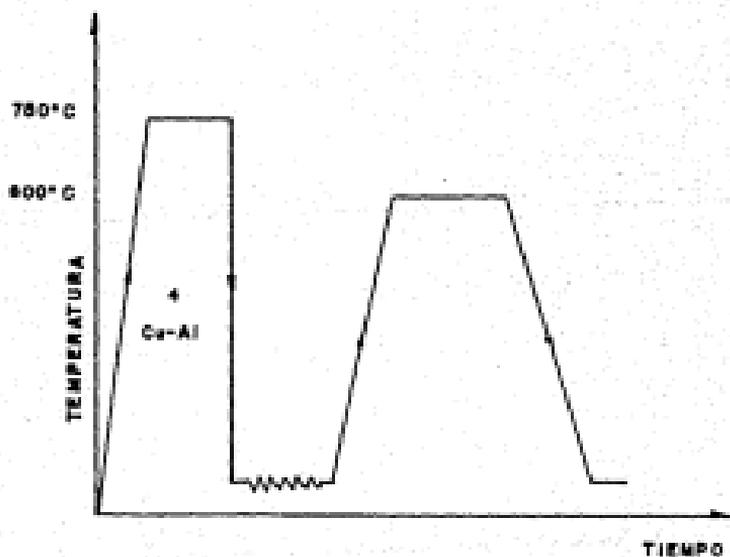


FIGURA N° 16

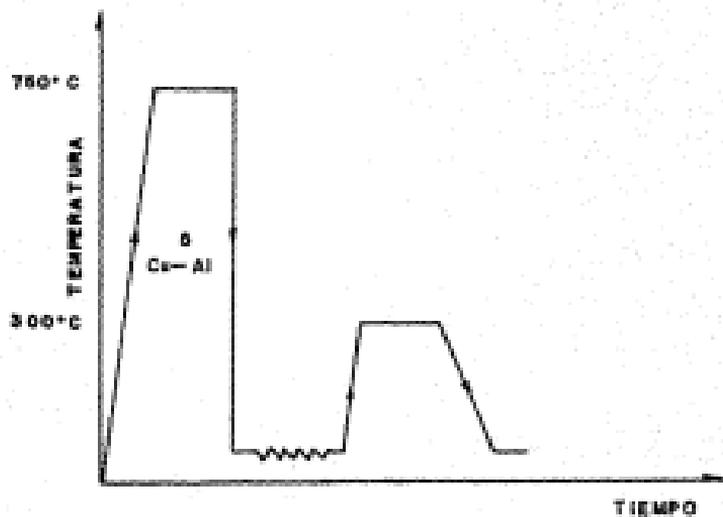


FIGURA N° 17

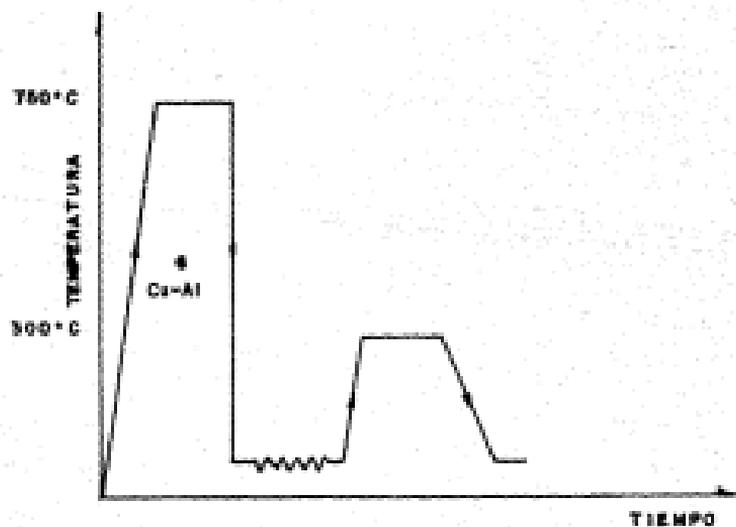


FIGURA N° 18

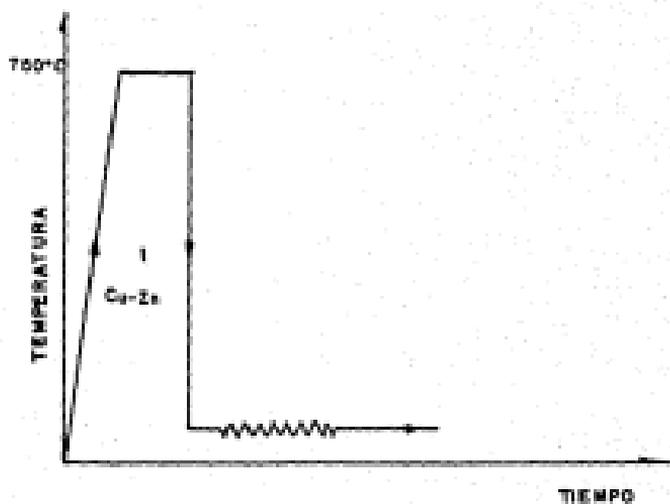


FIGURA N° 19

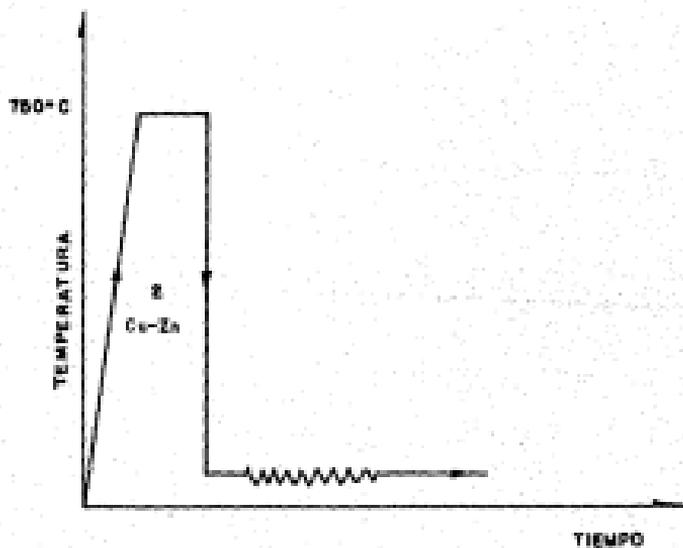


FIGURA N° 20

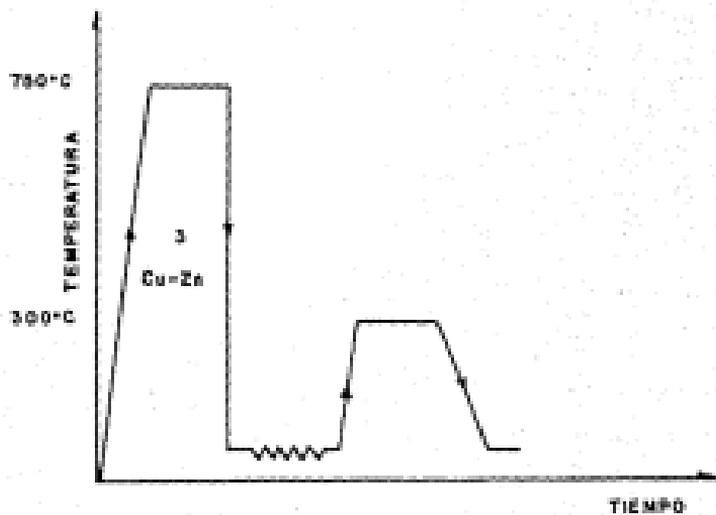


FIGURA N° 21

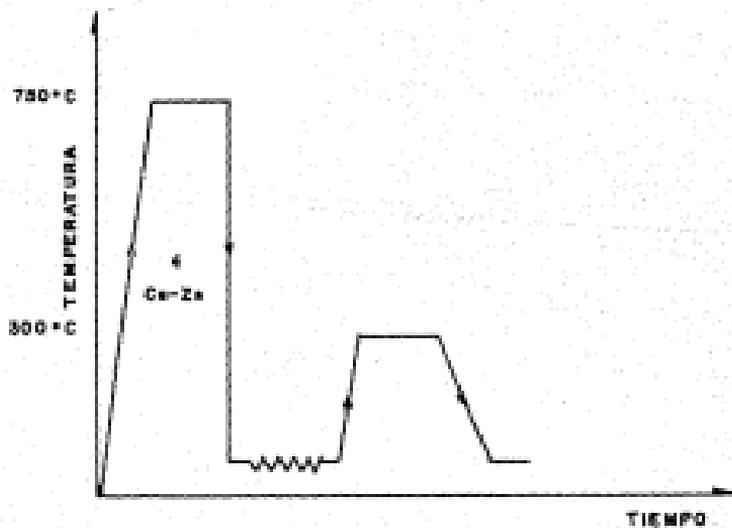


FIGURA N° 22

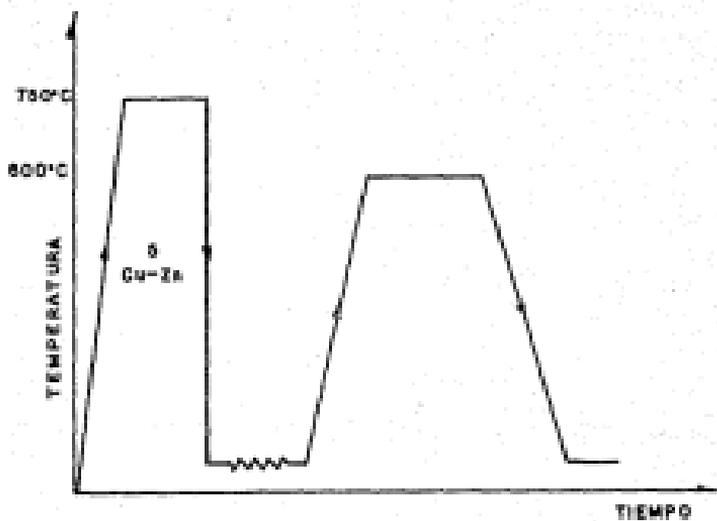


FIGURA N° 23

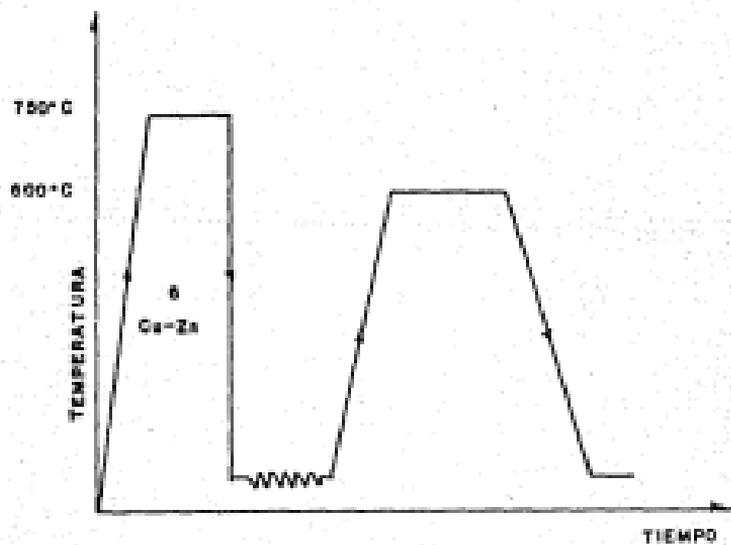


FIGURA N° 24

## CAPITULO V

### ENSAYO DE TRACCION PARA LA ALEACION Cu-Zn.

#### POSTERIOR A LA APLICACION DE LOS TTM.

Después de la aplicación de los TTM es necesario evaluar las posibles mejoras en las propiedades mecánicas de las aleaciones estudiadas. Por medio de un ensayo de tracción es posible conocer parámetros como: Resistencia máxima a la tracción, y % de elongación, los que resultan ser los más representativos dentro de las propiedades mecánicas de interés.

Desafortunadamente por limitantes en los tamaños de las muestras, sólo fue posible realizar esta prueba para la aleación Cu-Zn para las muestras 0, 2, 4 y 6. El objetivo perseguido fue comparar los parámetros anotados, antes y después de aplicar los TTM.

#### V. 1 SECUENCIA DEL ENSAYO DE TRACCION.

Para la realización del ensayo se utilizó la máquina de Pruebas Dinámicas "INSTRON" 1131.

El ensayo requirió del maquinado de probetas como la mostrada en la figura 25.

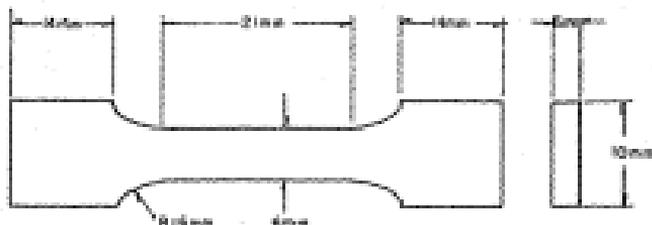


FIGURA # 25 Probeta "Tipo lámina"  
para ensayo de tracción.

La fabricación de la probeta se realizó, bajo las especificaciones de la norma NOM-B-310-1981 "Métodos de Prueba a la Tensión" de la Dirección General de Normas.

El ensayo se realizó para las muestras 0, 2, 4 y 6 de las cuales se obtuvieron gráficas Esfuerzo-Deformación, de donde a su vez se tomó la información para poder determinar el % de elongación, así como la Resistencia Máxima a la Tracción. Resultados mostrados en el siguiente capítulo.

V.2 REPRESENTACION GRÁFICA DEL ENSAYO DE TRACCION  
(GRÁFICAS ESFUERZO-DEFORMACION),

En las figuras de la 26 a la 29, se muestran las gráficas -  
Esfuerzo-Deformación obtenidas del ensayo de Tracción para -  
cada una de las muestras estudiadas.

En ellas pueden observarse los parámetros manejados durante  
el ensayo.

En el Capítulo VI y VII. se muestran y analizan con detalle  
los resultados de esta prueba.

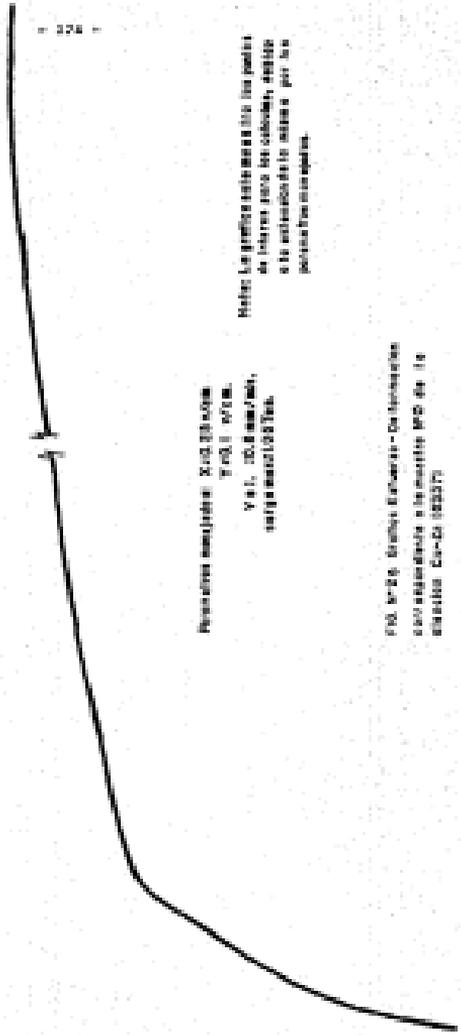
Resistencia máxima: 200.000 kg/cm<sup>2</sup>

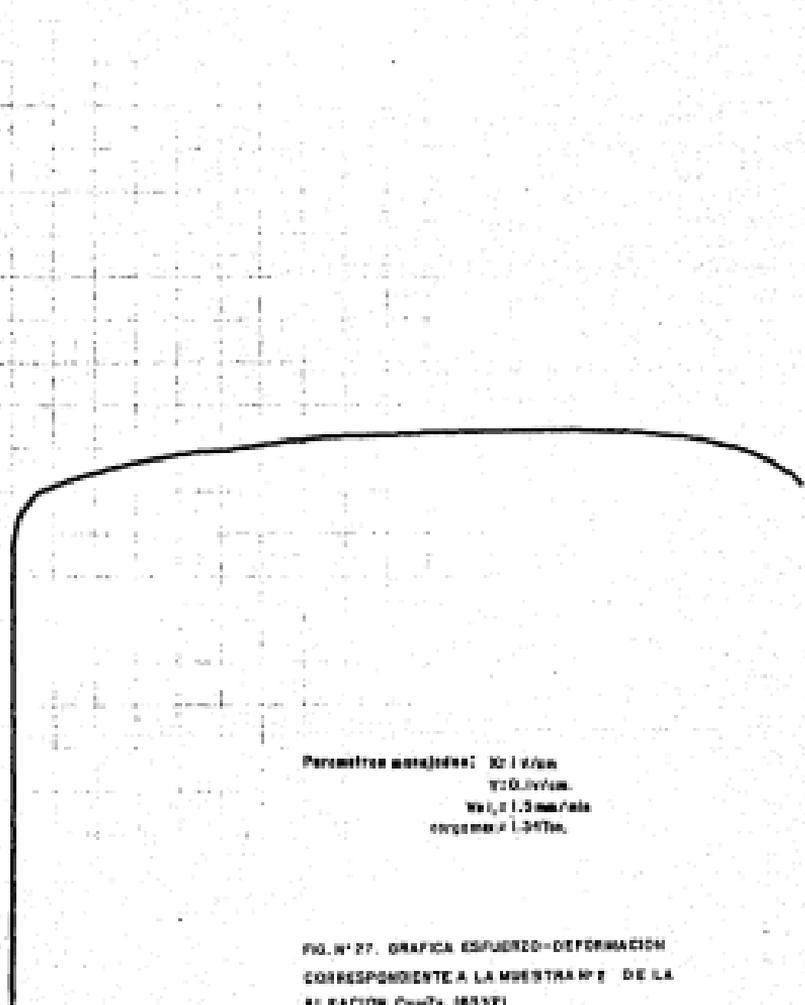
y 100.000 kg/cm<sup>2</sup>

Y en: 100.000 kg/cm<sup>2</sup> de  
carga normal/0.025 in.

Nota: La grafica adjunta de los puntos  
de ensayo para los cables, refleja  
a la resistencia máxima por la  
presión de estos cables.

PRO. 1000 - cables Ensamble - De Inspección  
con seguridad a temperatura 100 de la  
manera Co-De (02257)





Procedura analitica: R.F. Inoue  
F.20.1000  
Via L.lli. Sissarioli,  
Campomarzio RTDa.

n. 276 -

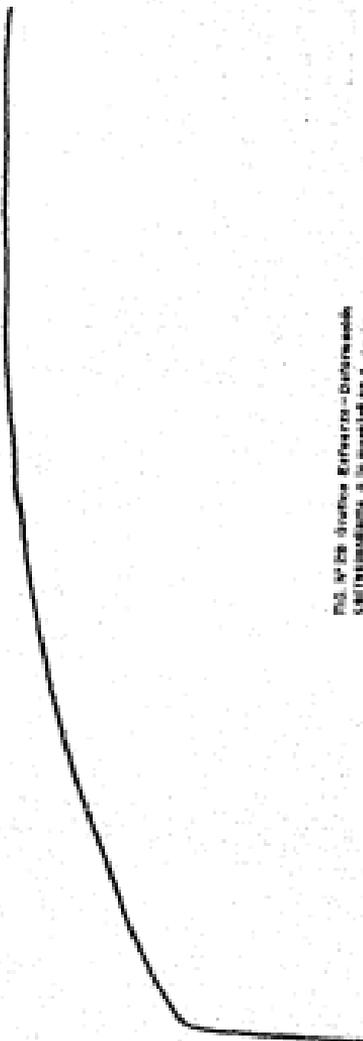
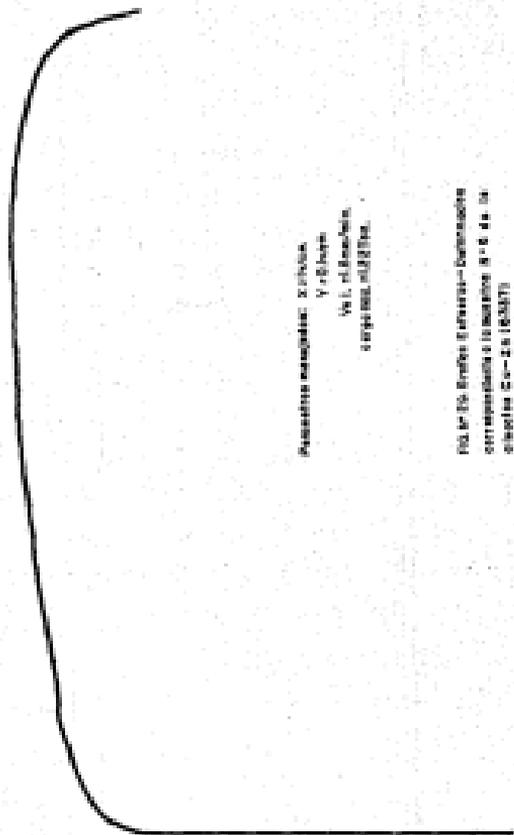


Fig. 10.08 - Curve Effetto - Densità  
Cilindrica a la medida n. 4 de la  
meseta Co-2a (1037)



Parasitäre Mangelkrankheit: K. (1910)  
V. (1910)  
No. 1. et. (1910)  
K. (1910)

Fig. 10. Die Wirkung der Parasiten-  
konzentration auf die Mortalität  
des Fisches (1910)

## CAPITULO VI.

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos después de la aplicación de los tratamientos Termomecánicos, se muestran en las Tablas - VI.1 y VI.2.

En ellas se pueden apreciar cambios favorables en propiedades mecánicas tales como; resistencia máxima a la -- tracción, porcentaje de elongación y dureza, estas 3 propiedades, para el caso de las muestras 0, 2, 4 y 6 del Cu - Zn y sólo la última para el Cu - Al. Debido a limitantes en el tamaño de las muestras de ambas aleaciones, no fue posible realizar un ensayo de tracción y conocer así estos parámetros para todas las muestras estudiadas.

Sin embargo, aún con estos resultados es posible determinar en alguna forma la influencia que tuvieron los TTM - sobre el comportamiento final de ambas aleaciones.

TABLA VI.1 RESULTADOS DE TTM PARA Cu - Zn.

No.	DUREZA HB DESPUES DE APLICAR EL TT. PREVIO	DUREZA HB DESPUES DE APLICAR EL TTM.	RESISTENCIA MAXIMA A LA TRACCION Kg/cm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO %
0 *	26.60	---	44.54	6.55
1	26.60	43.00	--	--
2	26.60	71.00	53.17	24.42
3	26.60	37.10	--	--
4	26.60	34.10	44.34	36.30
5	26.60	41.60	--	--
6	26.60	69.30	59.45	23.27

\* Se ha incluido la Muestra No. 0 en estado original para tener un punto de referencia, en lo relacionado a parámetros obtenidos del ensayo de Tracción y Dureza.

TABLA VI.2 RESULTADOS DE LOS TTM  
PARA Cu - Al.

No. MUESTRA	0	1	2	3	4	5	6
DUREZA RC DESPUES DE APLICAR EL TT. FRIEVO	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
DUREZA RC DESPUES DE APLICAR EL TTM.	- -	18.00	21.00	18.00	27.00	28.00	30.00

A continuación se presentan las microestructuras de las dos aleaciones después de aplicar los TTM, así como la discusión de los cambios en las propiedades mecánicas, y la influencia que sobre estas tuvieron las secuencias seguidas para cada material.

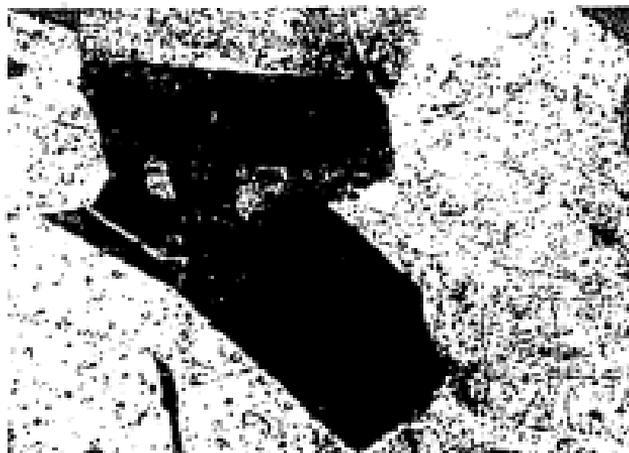


Fig. # 30. Microestructura de la aleación Cu-20 (6037) correspondiente a la muestra # 2, (alta temperatura de deformación). La fase  $\beta'$  se ve de color oscuro, la fase  $\alpha$  es clara. 50 X.



Fig. # 31. Microestructura de la aleación Cu-20 (6037) correspondiente a la muestra # 3, con 50% de deformación. La fase  $\beta'$  se ve de color claro, la fase  $\alpha$  es oscura. 50 X.



Fig. 2 32. Microestructura de la aleación Cu-Zn (6137) correspondiente a la muestra  $\#$  2, con 20% de deformación. La fase  $\beta'$  se ve de color claro, la fase  $\alpha$  es oscura. 50  $\mu$ .



Fig. 2 33. Microestructura de la aleación Cu-Zn (6137) correspondiente a la muestra  $\#$  3, con 10% de deformación. La fase  $\beta'$  se ve de color claro, la fase  $\alpha$  es oscura. 50  $\mu$ .

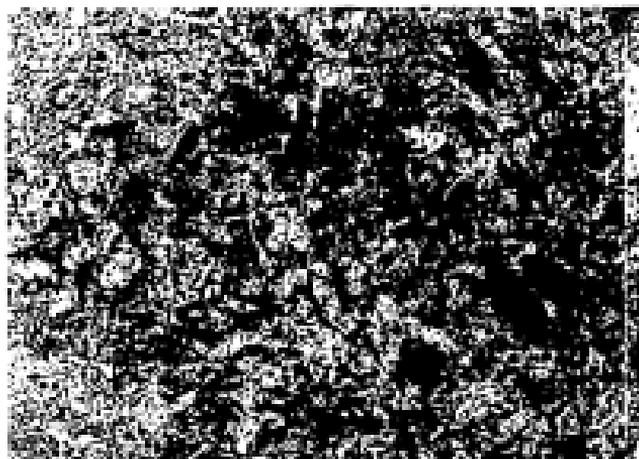


Fig. 34. Microestructura de la aleación CuAlNi (6037) correspondiente a la muestra 4, con 10% de deformación. La fase  $\beta'$  se ve de color claro, la fase  $\alpha$  de oscuro. 10 X.

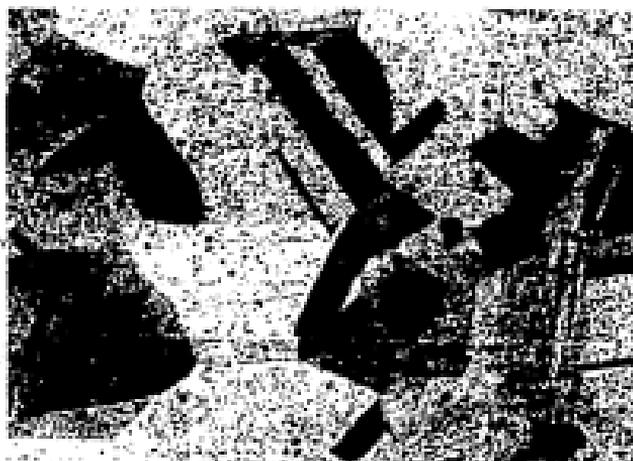


Fig. 35. Microestructura de la aleación CuAlNi (6037) correspondiente a la muestra 5, con 50% de deformación. La fase  $\beta'$  se ve de color claro, la fase  $\alpha$  de oscuro. 50 X.



Fig. : 26. Microestructura de la aleación Cu-Zn (60% Zn) correspondiente a la muestra J 6, con 30% de deformación. La fase  $\beta'$  se ve de color claro, la fase  $\alpha$  es oscura. 50 X.

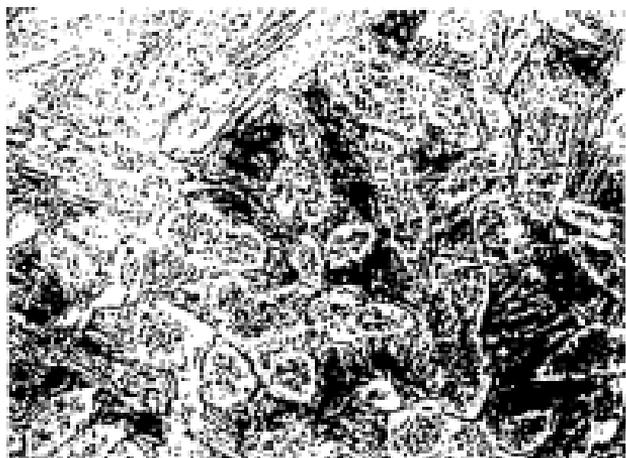


Fig. : 27. Microestructura de la aleación Cu-Zn (60% de Zn) correspondiente a la muestra J 11, (con 10%), compuesta por la fase  $\alpha$  primaria y eutectoide gruesa  $\beta + \alpha_2$ . 50 X.



Fig. 28. Microestructura de la aleación Cu-Al (10% de Al) correspondiente a la estructura 1, con 10% de deformación. Compuesta por la fase  $\alpha$  primaria con eutectoide granular ( $\alpha + \beta$ ). 50 X.



Fig. 29. Microestructura de la aleación Cu-Al (10% de Al) correspondiente a la estructura 2, con 20% de deformación, formada por la fase  $\alpha$  primaria y eutectoide granular ( $\alpha + \beta$ ). 50 X.



Fig. 7 4. Microestructura de la aleación Cu-31 (10% de Al) correspondiente a la muestra 2, con 10% de deformación. Compuesta por la fase  $\alpha$  primaria y martensita granular ( $\alpha + \beta$ ). 10 X.

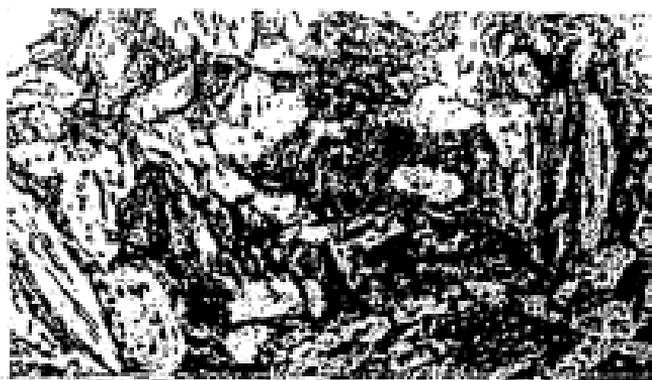


Fig. 7 5. Microestructura de la aleación Cu-31 (20% de Al) correspondiente a la muestra 3, con 20% de deformación. Compuesta por la fase  $\alpha$  primaria y martensita granular ( $\alpha + \beta$ ). 10 X.



Fig. 2 42. Microestructura de la aleación Cu-31 [31% de Al] correspondiente a la muestra  $\beta$  1, con 30% de deformación. Compuesta por la fase  $\alpha'$  primaria y eutectoide granular ( $\alpha + \beta_2$ ). 50 X.



Fig. 2 43. Microestructura de la aleación Cu-31 [31% de Al] correspondiente a la muestra  $\beta$  5, con 30% de deformación. Compuesta por la fase  $\alpha'$  primaria y eutectoide granular ( $\alpha + \beta_2$ ). 50 X.

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### VII.1 EN RELACION A LA ALEACION Cu - Zn.

Como se aprecia en la Tabla VI.1 los parámetros obtenidos después de la aplicación de los TTM son: Dureza, Resistencia Máxima a la Tracción y % de elongación. (Sólo para el caso Cu - Zn).

La importancia de este análisis radica en relacionar directamente estos valores con la secuencia seguida para cada muestra e interpretar la influencia que sobre las propiedades mecánicas finales anotadas tuvieron dichas secuencias.

De esta forma analizamos en primer término los valores de dureza, tomando como referencia el valor de dureza original (28.6 RB dureza promedio), para cada una de las muestras, se puede apreciar un incremento representativo sobre este valor en las muestras 1, 2, 5 y 6.

Para las piezas 1 y 2 el % de deformación fue del 10% sobre el espesor original y se trató térmicamente sólo la pieza 5. El incremento en la dureza fue moderado y se debe fundamentalmente a la deformación plástica en frío. Como puede apreciarse en las Fig. 31 y 34, existió un - -

alargamiento en los granos debido a la deformación a que se sometieron ambas muestras.

En el caso de las piezas 3 y 6 el incremento en la dureza fue mayor lo cual se atribuye al mayor grado de deformación plástica que se realizó sobre estas piezas.

En ambos casos se deformó en un 30% sobre el espesor original esto se aprecia en las Fig. 32 y 36 donde el alargamiento de los granos es mayor.

Analizando la influencia que el Tratamiento Térmico tuvo sobre las muestras 3, 4, 5 y 6 se aprecia al observar las microestructuras correspondientes, (Figuras 33, 34, 35 y 36 -- respectivamente) que en las piezas 3, 5 y 6 no se dieron las condiciones propicias para una posible recristalización (Temperatura de revenido, tiempo de permanencia, Porcentaje de deformación) de la microestructura, se nota además que el tamaño de grano es común en todas las piezas a excepción de la pieza No. 4 (Fig. 34). En cuanto a esta última pieza, el menor tamaño de grano parece asociado al fenómeno de recristalización y de ahí que no se observe una diferencia destacable respecto a la muestra No. 3 en lo que a dureza se refiere. La aparición de estos granos recristalizados pequeños, es justificable en base al mayor porcentaje de deformación.

La microestructura para todas las muestras está formada por la fase  $\alpha'$  de color oscuro y la fase  $\beta'$  de color claro.

Con respecto a los resultados de los ensayos de tracción aplicados a las muestras 0, 2, 4 y 6 mostrados en la misma Tabla VI.I, se observa que el mayor valor de dureza está asociado directamente con el mayor valor de resistencia a la tracción.

Analizando con detalle el comportamiento de cada una de las muestras, tenemos que para la muestra 2, aunque el valor de dureza registrado es el más alto, este comportamiento corresponde al de un material endurecido por una fuerte deformación en frío con una ductilidad aceptable y una resistencia a la tracción considerablemente buena respecto a la muestra 0.

La muestra 4 no sufrió fractura en el ensayo de tracción, sin embargo, para el porcentaje de deformación registrado ya se iniciaba la formación de la estricción y no se esperaba un importante aumento de dicho porcentaje. Por otro lado, el pequeño tamaño de grano recristalizado, propicia que el material posea buena resistencia a la tracción combinado con una buena ductilidad.

La combinación de estas propiedades mecánicas representan una ventaja significativa sobre los valores anotados para la muestra 0.

Finalmente se observa que la muestra 6, posee una combinación de propiedades mecánicas de importancia relevante, ya que en la literatura se reportaron como valores típicos de Resistencia a la Tracción 36 - 40 Kg/mm<sup>2</sup>, para una baja ductilidad y para el tipo de Latexes estudiado.

De esta manera, considerando estos valores respecto a los de la muestra original, es notoria la ventaja que poseen todas las muestras estudiadas lográndose la mejor combinación en - orden decreciente para las muestras 6, 4 y 2.

### VII.3 EN RELACION A LA ALEACION Cu - Al.

El análisis de los resultados para esta aleación, sólo se ha cará en los datos de dureza obtenidos antes y después de la aplicación de los Tratamientos Termomecánicos.

Desafortunadamente por limitantes en el tamaño de las piezas de este material, no fue posible maquinarse probetas para poder realizar un ensayo de tracción y obtener así la resistencia máxima a la tracción y el porcentaje de elongación y así poder establecer una comparación basada en el análisis de esos parámetros.

Sin embargo, este estudio puede tomarse como base para futuras investigaciones donde se profundice hasta obtener esos parámetros y poder así concluir con más detalle la influencia que los tratamientos termomecánicos tienen sobre las propiedades mecánicas de esta aleación.

De esta forma observando la secuencia seguida para cada muestra tra en la Tabla VI.3., podemos comentar lo siguiente:

Al igual que para la aleación Cu - Zn., tanto la dureza como el porcentaje de deformación aumentan paralelamente.

Para el caso de las muestras 1 y 2., muy ligeramente para -- las muestras 3 y 4., existió un aumento moderado y para las piezas 5 y 6, el incremento no fue muy significativo.

Al observar las figuras de la 37 a la 43 no se observan cam bios importantes en estas, en general está compuesta por -- una fase  $\alpha$  primaria en una matriz ( $\alpha + \frac{1}{2}$ ).

Haciendo una comparación de las microestructuras, podemos -- observar únicamente diferencias en cuanto al alargamiento -- de los granos, la compactación y reorientación de estos en la fase  $\alpha$  lo que se incrementó cuando fue mayor el porcen-- taje de deformación en frío.

Para este caso no se dieron las condiciones propicias para una posible recristalización, temperatura y tiempo de per-- manencia en el horno, para ninguna de las piezas estedia-- das.

## CONCLUSIONES

### 1. EN RELACION A LA ALEACION Cu - Zn.

- Del análisis realizado para cada muestra, es notorio que el endurecimiento del material en todos los casos, se debe principalmente a la deformación en frío y el incremento de ésta, este asociado directamente al incremento en la dureza.
- La comparación de los parámetros obtenidos en el ensayo de tracción, resistencia máxima a la tracción y porcentaje de deformación, muestran cierta ventaja - comparando estos valores contra los anotados según - la literatura para este material. De aquí que la influencia del T.T.M., es favorable sobre estas propiedades mecánicas para todas las muestras.
- El nivel de ductilidad alcanzado para esta aleación, la determina el porcentaje de deformación para cada muestra, tal como se observa en los resultados, el - incremento de esta propiedad mecánica es favorable - para todas las piezas, comparada ésta con la muestra No. 0.
- Según el planteamiento inicial de este trabajo, buscamos la secuencia del T.T.M., que dé como resultado la mejor combinación de propiedades mecánicas.

- Este resultado sería ideal, siempre y cuando la aplicación que vaya a darse al material, requiera de buenas propiedades mecánicas en general, así que hablar de una mejora general en todas las propiedades mecánicas es relativo, pensando en una aplicación específica, donde se requiera que alguna propiedad mecánica sea mejor que las restantes. De esto podemos concluir que hemos logrado, para la aleación Cu-Zn, determinar una de las muchas secuencias posibles a seguir para mejorar las propiedades mecánicas de interés industrial.

Luego entonces haciendo otras combinaciones y variaciones de los parámetros que intervienen en este tipo de tratamientos, podrían lograrse secuencias encaminadas a obtener o crear la aleación con propiedades mecánicas idóneas, para alguna aplicación específica.

## 2. EN RELACION A LA ALEACION Cu - Al.

- Aún cuando la carencia de información sobre más propiedades mecánicas de esta aleación, nos limita al análisis simplemente de la dureza anterior y posterior al T.T.M., podemos concluir que la influencia que el T.T.M., tuvo sobre la aleación fue favorable, en este

caso también existió un incremento lineal entre el porcentaje de deformación (laminación) y el aumento en la dureza.

- Para esta aleación con seguridad la influencia de los TTM., es favorable en varias de sus propiedades mecánicas. De aquí que la afirmación hecha anteriormente, respecto al diseño de alguna secuencia encaminada a favorecer alguna o varias propiedades mecánicas de particular interés, también sea válida para este caso.

## BIBLIOGRAFIA

- A.S.M. Metalografía de aleaciones no ferrosas  
Metals Handbook  
Vol. 7, 9a. Edición.
- AYNER, S.H. Introducción a la Metalurgia Física  
2a. Edición.  
Editorial: Mc. Graw Hill. 1983.
- CIDEF. El Cobre y sus Aleaciones en la Tecnología  
100, rue du Rhone-124  
Ginebra 3, (Suiza).
- DIRECCION GENERAL DE NORMAS.  
Métodos de Prueba a la Tensión.  
Nom-S-310-1981.
- FRANCISCO ANDION UZ.  
Los Bronces al aluminio su comportamiento y aplicaciones  
4º Congreso Nacional de la Industria de la Fundición.
- KOPPENAL T. J. - El Estado Actual de los Tratamientos  
Termomecánicos en la Unión Soviética.  
Trans. ASM.,  
Vol. 62 No. 1. 1969.
- LAWRENCE H. VAN VLACK.  
Materiales para Ingeniería.  
Editorial: CECSA.  
México, 1981.
- MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico  
8ª Edición.  
Editorial: Mc. Graw. Hill. 1982.

- SHORSHOROV, M. RE.- Tratamientos Termomecánicos de Aleaciones ferrosas y no ferrosas con endurecimiento subestructural.  
3a. Conferencia Internacional sobre el endurecimiento de metales y aleaciones.  
Vol. 2. Cambridge, Inglaterra, 1973.
  
- Tratamientos Térmicos de los Caproluminicos  
Revista Colada.  
Vol. II. 1978.
  
- Tratamientos Termomecánicos de Aleaciones Cu-Al.  
Revista Scripta. Metalurgia.  
Vol. 1. 1979.
  
- Tratamientos Termomecánicos de Aceros  
Tesis Profesional.  
Marco Antonio Guerrero Espeda.  
Ubaldo Eduardo Marquez A.  
Facultad de Ingeniería UNAM. 1983.