

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO METALOGRAFICO DE NUEVE
MUESTRAS TIPO DE ALEACIONES
DE COBRE

Nombre del sustentante

JUAN MANUEL TORRES FRANCO

Carrera

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

349

Año

1975



Universidad Nacional
Autónoma de México

Biblioteca Central

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
ADQ. 1975
FECHA 1975
PROC. Mt. 3 ~~330~~ 330



QUÍMICA

PRESIDENTE

PROF. MARIO MEDINA VALENZUELA

VOCAL

" ALBERTO OBRECON PEREZ

SECRETARIO

" HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

1er. SUPLENTE

" DARIO RENAN PEREZ PRIEGO

2do. SUPLENTE

" CARLOS ARANGO SOLORZANO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE: JUAN MANUEL TORRES FRANCO

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA: HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

CON TODO MI CARINO Y MI RESPETO
A MIS PADRES:

JUAN TORRES ESPINO

Y

JULIA FRANCO DE TORRES
QUE CON SU AYUDA Y ESFUERZO HI _
CIERON POSIBLE LA REALIZACION DE
MI CARRERA.

A MIS HERMANOS:

DOLORES RAQUEL, MAGDALENA,
TERE, RAFAEL Y COCO.

A MI ESPOSA:

ESTHER.

A MI HIJA:

CLAUDIA

A MI SUEGRA:

ROSARIO SALINAS S.

AL ING. ENRIQUE GURIEL R.,

A MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS.

A MIS AMIGOS

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPITULO I.- GENERALIDADES

CAPITULO II.- BRONCES

CAPITULO III.- LATONES

CAPITULO IV.- METALOGRAFIA

CAPITULO V.- RESULTADOS

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES

CAPITULO VII.- BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La elaboración de ésta tesis tiene por objeto presentar un estudio complementario de la tesis profesional elaborada por el Sr. Ing. Manuel Canales Jacobo, dedicada al estudio de preparación de muestras standard de aleaciones de cobre. Debido a las diversas propiedades presentadas por el cobre y sus aleaciones industriales numerosas e importantes, hace imposible una generalización de las propiedades que rigen sus aplicaciones prácticas, por tal motivo se dedicará este estudio metalográfico única y exclusivamente a nueve muestras tipo de aleaciones de cobre.

CAPITULO I

GENERALIDADES.-

El Cu es conocido y utilizado por la industria desde la antigüedad. Más o menos aleado fué utilizado en gran escala por los antiguos romanos y todas las civilizaciones han utilizado el Cu ó sus aleaciones a lo largo de su evolución. Una de las razones evidentes de este empleo precoz es la existencia del Cu nativo en estado casi puro, la facilidad de extracción del metal gracias a su bajo calor de oxidación han contribuido asimismo, de una manera importante a su desarrollo metalúrgico.

Por sus propiedades, el Cu a lo largo de la historia de la humanidad, ha sido objeto de numerosas investigaciones tanto por sus propiedades técnicas como por el valor estable que presenta. Los pueblos de Africa utilizaron en la antigüedad barras de cobre fundidas para su primitiva industria, como medio monetario y de capitalización; se trataba en suma de un metal monetario no acuñado.

Las aleaciones de cobre se han desarrollado al mismo tiempo que el metal sería casi imposible preparar una relación de las aleaciones de cobre que se han utilizado en los diferentes períodos de las antiguas civilizaciones: bronce al estaño, cuproantimonios chinos, latones más ó menos complejos cuya composición a veces bastante variable permitía sin embargo orientarlas hacia aplicaciones precisas.

Desde el descubrimiento de la corriente eléctrica y el advenimiento industrial resultante del mismo, el cobre encuentra su primordial aplicación: la de conductor eléctrico. Indirectamente, sus propiedades conductoras de calor le abren otro importante campo de utilización en la construcción de cambiadores de calor.

Hacia el año de 1925, las aplicaciones del Cu no tenían la amplitud actual de sus composiciones y aplicaciones tradicionales que se venían usando, pero la competencia del aluminio y la renovación suscitada en los estudios metalúrgicos en el desarrollo de éste metal han modificado esta posición. Muchos científicos e industriales han llegado a crear diversos tipos de aleaciones de cobre, con aplicaciones cada vez más amplias o altamente especializadas.

Actualmente, un cierto número de aleaciones que permiten tratamiento térmico (temple y endurecimiento estructural) han creado posibilidades industriales que no se pueden obtener más que con ellas especialmente por la relación, siempre difícil, entre la conductibilidad eléctrica ó térmica por una parte y la resistencia mecánica por la otra.

Asimismo mediante el empleo de composiciones especiales dentro de las aleaciones de Cu se ha conseguido la mejor y más conocida relación entre la conductibilidad térmica y la resistencia a la corrosión.

Las diversas propiedades presentadas por el Cu y sus aleaciones industriales, numerosas e importantes, como ya mencionábamos, hace imposible una generalización de las propiedades que rigen sus aplicaciones prácticas. Por ejemplo, las propiedades mecánicas varían desde las de un metal blando y dúctil a las de las aleaciones duras y resistentes que son parecidas, en muchos aspectos, a los aceros templados. Sin embargo, hay que prestar atención a las características globales más importantes de este grupo de materiales.

Los broncees de diversos tipos deben sus aplicaciones a la facilidad de fundición y mecanizado además de las buenas condiciones de resistencia en general lo mismo que los latones.

Como las propiedades de los materiales están determinadas en última instancia por su estructura atómica, debemos conocer lo más posible esta estructura. En los metales, los átomos están dispuestos de forma que ocupan un modelo regular tridimensional, y pueden representarse distribuidos regularmente en planos equidistantes, como tarjetas en un paquete. Cuando el material está sometido a cargas externas, los planos de los átomos tienden a deslizarse y la resistencia a esta tendencia determina la resistencia aparente ó dureza del metal sólido.

En los metales puros esta estructura atómica regular existe a lo largo de todos los cristales, pero la masa total consiste en un aglomerado de cristales en contacto íntimo uno con otro, que varía en dos aspectos: en la orientación y en el espacio de los planos atómicos dentro de cada cristal y en el tamaño de cada cristal. La primera de estas dos diferencias es de importancia vital, porque está claro que la tendencia al destrozamiento en cada cristal se contrarrestará por los adyacentes que a su vez sólo podrán deslizarse en las otras direcciones.

Por consiguiente, el tamaño de un metal puede modificar de una manera considerable su resistencia a la deformación. Teniendo siempre presente esta estructura del metal base no es difícil hacer comprender algunos efectos producidos por la introducción de los elementos de aleación ó las impurezas.

Al igual que para todos los metales, las adiciones que entran en solución sólida con el Cu son capaces de aumentar su resistencia mecánica. Las soluciones sólidas de contenido medio pueden mediante acritud alcanzar unos valores de resistencia que se pueden obtener con el Cu sin alea. Además las soluciones sólidas sobresaturadas tienen la posibilidad del endurecimiento estructural. Con éste mecanismo se puede llegar a resistencias de 70 a 80 Kg

por milímetro cuadrado.

Sin embargo, como ocurre con el aluminio, las adiciones tienen una acción más o menos marcada sobre la conductibilidad eléctrica. Por consiguiente, para todas las aplicaciones en conductividad eléctrica se deberá buscar una relación adecuada entre la resistencia mecánica y la conductibilidad, teniendo en cuenta las posibilidades aportadas por la acritud.

La figura no. 1 muestra las variaciones de la conductibilidad en función del porcentaje de adición de los siguientes elementos químicos: O_2 , Pb, S, Te, Se, Ag y Cd afectan muy poco la conductibilidad. Zn, Sn, Mg y Ni alteran sensiblemente. Fe, As, Al y P la alteran de manera muy importante.

Si se consideran las modificaciones que originen las adiciones sobre las propiedades mecánicas se encuentra una relación muy peculiar a la observada en la conductividad a excepción del Cd, que aumenta de forma muy importante la resistencia a la tracción sobre todo en presencia de una pequeña cantidad de Sn, en tanto que la conductividad resulta poco alterada.

El Fe, As y P no aumentan prácticamente la resistencia mecánica.

La conductividad eléctrica es mínima para las soluciones sólidas en estado de temple homogéneo, aumenta con la maduración artificial, ya que los átomos extraños se separan de la red para formar una nueva fase, menos perjudicial para la conductibilidad. Por consiguiente la maduración artificial endurecedora que sigue a un temple permite conseguir simultáneamente un aumento de la resistencia mecánica y de la conductibilidad eléctrica y térmica.

Finalmente la acritud hace descender poco la conductividad eléctrica, se admite que el descenso para el Cu y sus aleaciones industriales no pasa de un punto. Por ejemplo, para el Cu de alta conductibilidad, si la conductividad es de 100% en estado recocido desciende al 99% después de una acritud obtenida por deformación mediante un trefilado a temperatura ordinaria.

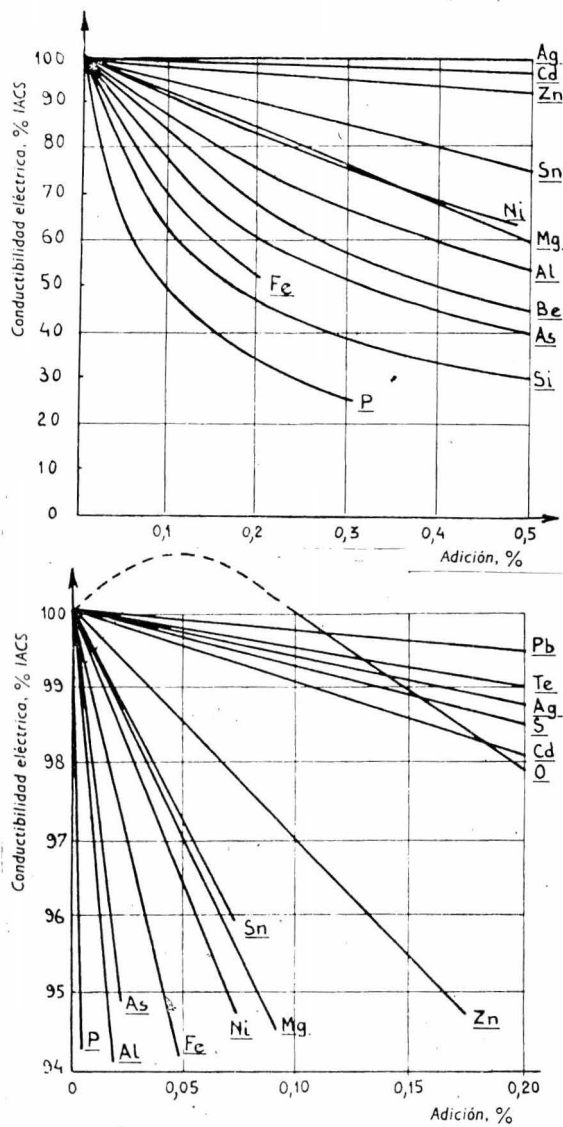


Fig. 1.-Influencia de las adiciones sobre la conductibilidad del Cu recocido

CAPITULO II

BRONCES.-

En un principio el término bronce se utilizaba para designar a las aleaciones de Cu y Sn; sin embargo en la actualidad este término se aplica a cualquier aleación de Cu, con excepción de las aleaciones Cu-Zn, en las cuales el principal elemento de aleación intervenga en cantidades hasta de un 12% aproximadamente. El término bronce implica la idea de una aleación de mejor calidad que el latón, aunque sin embargo se hace uso impropio de el, para designar algunas aleaciones, que en realidad son aleaciones especiales.

Los broncees comerciales son fundamentalmente aleaciones Cu-Zn pudiendo contener además Al, Si, Be, P, Zn, Ni y otros.

Estas aleaciones generalmente son conocidas como aleaciones de moldeo pero también se utilizan como aleaciones de forja aunque en éste caso sólo empleen los broncees alfa.

Presentan una dificultad particular que deriva de su diagrama de estado según lo muestra la figura no. 2.

La estructura de fundición presenta una importante cantidad de eutéctico fácilmente fusible, lo que hace extremadamente difícil la laminación en caliente aunque vaya precedida de una homogenización. La extrusión en prensa es mucho más fácil y entonces puede realizarse la laminación posterior a la extrusión, ya que la estructura ha sido interiormente forzada durante esta operación. Así las placas de laminación con un contenido de Sn mayor de 4% se laminan generalmente en frío con recocidos intermedios.

Como en el caso de los latones la adición de Sn al Cu produce la formación de una serie de soluciones sólidas. El diagrama de las aleaciones Cu-Sn es muy complejo pero en la figura 2 se reproduce la parte que concierne a las aleaciones de importancia industrial y puede resumirse como sigue:

Composiciones porcentuales		Componentes que existen justo por debajo del punto de solidificación después de enfriamiento lento a través de la zona de modificación	Componentes que existen después de enfriamiento lento a 400 °C
Cobre	Estaño		
100 a 87	0 a 13	α	α
87 a 86	13 a 14	$\alpha + \beta$	α
86 a 78	14 a 22	$\alpha + \beta$	$\alpha + \delta$
78 a 74	22 a 26	$\beta + (\alpha + \beta)$	$\alpha + \delta$

Las transformaciones posteriores durante el enfriamiento desde 400°C a temperatura ambiente son tan lentas que sólo se producen en circunstancias muy distintas a las de la práctica. La solución del componente más blando de todos; puede ser laminado o estampado en frío, pero bajo éste tratamiento se endurece con mucha mayor rapidez que el latón alfa. Los componentes beta y

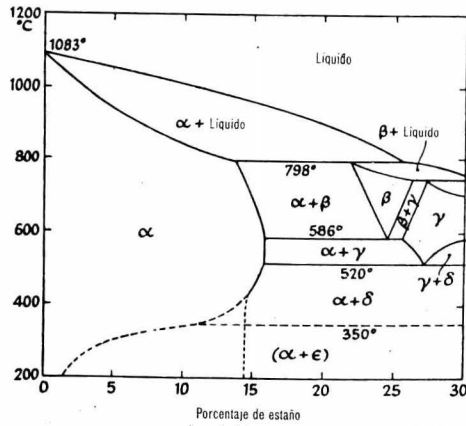
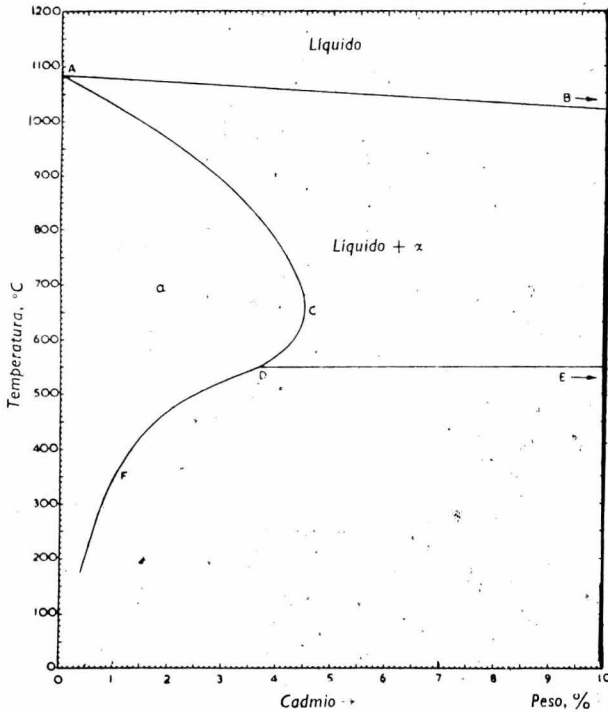


Fig. 2.-Diagrama de constitución de las aleaciones cobre-estaño



Punto	A	B	C	D	E	F
°C	1083	1020	650	549	549	350
Cd. %	0	10	4,5	3,7	10	1,0

Fig. 3.-Diagrama de estado cobre-cadmio del lado del cobre

gama no existen en la aleación enfriada lentamente hasta temperatura ambiente; esto se debe a las transformaciones sucesivas que ocurren a 586 y 520°C, por las cuales beta se transforma en alfa + gama y gama en alfa + delta. El componente delta tiene la estructura del cristal del latón gama. Su zona de composición es estrecha y corresponde aproximadamente a la fórmula $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ y como todos los compuestos intermetálicos es muy duro y frágil. La transformación delta $\rightarrow$ alfa + epsilon a 350°C no se realiza en la práctica comercial, aunque las aleaciones más ricas en estaño pueden contener el componente epsilon que corresponde a la composición Cu_3Sn_5 , y la solución sólida eta que a proxima a la composición Cu Sn .

A los bronce se les han adicionado diversos elementos desoxidantes; cualquier exceso de estos sobre la cantidad necesaria para eliminar el oxígeno permanece en la aleación y afecta a sus propiedades. Entre estos desoxidantes figuran el Si, Al y Mn, pero el más importantes de todos es el P. Los bronce fosforosos que contienen menos del 9% de Sn y sólo trazas de P (hasta 0.2%) son adecuados para la laminación ó el estirado y presentan la estructura simple del componente alfa homogéneo. En realidad son bronce desoxidados por completo. Para ciertos fines es posible beneficiarse del aumento de dureza conferido por la presencia de P en la aleación. Así se emplean aleaciones con 8 o 10% de Sn y 0.5% de P para válvulas; otras aleaciones todavía más duras con 10 a 12 % de Sn y contenidos en P que oscilan entre 0.5 y 1.5%, se destinan a engranajes, cojinetes y piezas que deben resistir una considerable acción de desgaste. El P en estas aleaciones se separa en partículas duras de P Cu_3 , asociadas con el componente delta y mejora sus propiedades como metales de cojinetes. La mejor forma de distinguir ambos componentes es la técnica del teñido por el calor, que colorea el fosforo de azul, mientras el componente delta permanece amarillo.

También se debe hacer referencia a los bronce que contienen Pb, el cual se separa en la aleación sólida como glóbulos y películas. Una pequeña cantidad de Pb hace posible torneear y limar el metal con más facilidad; con cantidades mayores (hasta 25%) se emplea en cojinetes. La aleación Cu-Pb-Sn 72-24-4 puede soportar cargas un 50% mayores que la aleación Cu-Pb 70-30. La segregación es un inconveniente grave que se presenta en los materiales fundidos de este tipo para cojinetes que al igual que en el caso del metal Cu-Pb para cojinetes, se fabrican mejor por métodos pulvimetalúrgicos.

Existen diferentes variedades de Cu conductor y de aleaciones con porcentajes de adición pequeños. Generalmente para los alambres, la acritud en el estado de utilización es importante.

Sin embargo, en las barras de sección relativamente grandes es difícil

conseguir fuertes acritudes; éstas serán limitadas al 50 o como máximo al 100% de crudeza aunque el producto venga designado como en estado duro.

Algunas aleaciones que admiten tratamiento térmico se suministran sin acritud; éstas aleaciones se suministran cuando se desea obtener piezas forjadas que con simple tratamiento tengan propiedades mecánicas elevadas sin que se necesario hacer sufrir a los productos deformaciones en frío; en este caso la resistencia en caliente es generalmente superior a la de los productos que tienen acritud, que se ablandan a temperatura muy baja (salvo los cobs con adiciones de Ag y te).

El diagrama Cu-Cd muestra la existencia de una solución sólida que alcanza el 3.7% a 549°C y del 1% a 300°C según lo muestra la figura no. 3.

En principio estas aleaciones Cu-Cd y Cu-Cd-Sn podrían ser susceptibles de adquirir un endurecimiento estructural por maduración artificial pero resulta muy bajo y no se utiliza en la práctica. Por consiguiente todas estas aleaciones industriales se encuentran en solución sólida y se suministran en estado de acritud.

Existen además los siguientes tipos de aleaciones:

Cu con 0.9% de Cd(sin Sn).— En esta aleación el límite de temperatura de ablandamiento se encuentra hacia los 200°C , lo cual sin embargo nos permite retener la acritud aún después de la soldadura al Sn y en la polimerización de barnices de aislamiento eléctrico.

El Cu-Cd se utiliza como conductor sobre todo en secciones gruesas (troley para tracción eléctrica) y para ciertas aplicaciones especiales: electrodos de soldadura por puntos o por cordón de soldadura. En efecto, tiene unas propiedades de contacto muy buenas.

Las uniones se hacen por soldadura fuerte con Ag; la soldadura con soldaplate puede realizarse utilizando fundentes (NaF y bórax ó ácido bórico fundidos) para disolver el CdO . No es indicada la soldadura eléctrica debido a que volatiliza el Cd.

Cu-Cd-Sn.— Esta aleación se utiliza principalmente en dos tipos, en forma de alambres (bronces telefónicos laminados en caliente y trefilados posteriormente en frío).

Además de los bronces ya mencionados existen otras muchas aleaciones, dentro de las cuales mencionaremos las siguientes: Bronces de aluminio. Estas aleaciones de base Cu son de las más fuertes y más resistentes a la corrosión entre las aleaciones de este tipo, y son también notables por la conservación de sus propiedades mecánicas a temperaturas elevadas. Para incrementar todavía más la fortaleza y la resistencia a la corrosión se añade fre

cuentemente el Ni a las aleaciones para trabajo en frío. Las aleaciones para trabajo en caliente pueden ser aleaciones binarias de contenido de aluminio más elevado ó aleaciones más complicadas con adiciones de Ni, Fe ó de ambos. Aleaciones fundidas en arena ó por gravedad suelen tener por composición Cu-Al-Fe ó Cu-Al-Ni. La presencia de un 2 a 3 % de Fe es muy deseable en aleaciones de fundición, en especial en las utilizadas para las fundiciones en arena de piezas pesadas, porque ese Fe compensa el llamado autorrecocido, tendencia a la fragilidad que resulta de un cambio estructural durante el enfriamiento lento.

Estas aleaciones son notablemente más ligeras que el Cu; sus pesos específicos disminuyen al aumentar en contenido de Al hasta 7.5 para las aleaciones que contienen un 10% de Al. Retienen su resistencia a temperaturas elevadas mucho mejor que los latones y los bronce de Sn; y las partes de tensiones moderadas pueden trabajar a temperaturas de 300 a 400°C y aún más elevadas para las piezas de tensiones ligeras, debido a la delgada y tenaz película de óxido (alúmina) que se forma a temperaturas elevadas. Esta película ayuda a conseguir una excepcional resistencia a la corrosión en ambientes marinos, en atmósferas urbanas ó industriales y en ciertos ácidos (sulfúrico - clorhídrico). Pero como resulta relativamente difícil la soldadura, no se han utilizado todavía con toda la amplitud que harían presumir sus propiedades.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones que contienen el 9% ó más de Al, con o sin adiciones de Fe y Ni, pueden mejorarse por tratamiento térmico, el beneficio principal es un aumento en resistencia a las tensiones.

La resistencia a la fatiga de éste grupo es notablemente elevada, los límites de resistencia son comparables a los de los aceros suaves o medios al aire; en condiciones corrosivas este grupo es muy superior, generalmente hablando a los aceros.

Las aleaciones sencillas Al-Cu son propias para producir piezas torneadas continuas y duras y exigen una práctica de mecanizado semejante a la que se ha descrito para el Cu, latones y bronce. Con las aleaciones más complejas duras se utilizan útiles de alta resistencia (por ejemplo aceros rápidos y mejor aún carburos de wolframio), los ángulos de ataque deben ser moderados. Los bronce de aluminio plomados pueden trabajarse por el procedimiento de extrusión para aleaciones que supongan una mecanización intensiva.

En vista de sus muchas propiedades altamente deseables, estas aleaciones son muy aptas para una variedad de aplicaciones, entre las que se incluyen equipos marítimos, carcasas de bombas, varillas, ejes, equipo para produ

tos químicos, bombas para ácidos, cestas de adobamiento, aplicaciones de resistencias térmicas, asientos de válvulas, sujetadores de electrodos, engranajes de transmisión pesada y aplicaciones decorativas, en combinación con las excelentes propiedades mecánicas, para que éstas aleaciones resulten útiles en ciertas conexiones eléctricas de compresión.

Las aleaciones de Cu-Si (3-4%) normalmente con cantidades menores de manganeso (1%) y a veces Zn (hasta 2%) se les conoce con el nombre de bronce al Si y su mayor desarrollo ha ocurrido en los últimos años.

El material recocido para trabajado tiene muy buenas propiedades de tracción. En ocasiones a la aleación anterior se le añade Pb para mejorar la mecanizabilidad de la varilla extruída. Las aleaciones son muy resistentes a la corrosión, pueden ser trabajadas en caliente ó en frío y además se suelen facilmente por los métodos de gas ó arco, utilizados en los aceros de construcción. Encuentran su aplicación en fabricas de productos químicos, en las que la facilidad de soldadura, la alta potencia y la resistencia a la corrosión las hacen especialmente valiosas.

Este breve recuento de las aleaciones especiales a base de Cu debe incluir una referencia alusiva a una cierta cantidad de nuevas aleaciones que, aunque presentan una cantidad muy pequeña del tonelaje total de las aleaciones de base Cu, son si embargo de un gran interés para el ingeniero. Las aleaciones importantes entre otras son: Cu-Cr, Cu-Be, Cu-Ni-Si y bronce de Cr.

El Cr es soluble en el Cu (sólido) de una manera limitada y la solubilidad descende rapidamente con la temperatura. Esta característica se asocia en la mayoría de los materiales con la propiedad de envejecimiento o precipitación de endurecimiento, conseguida mediante un tratamiento térmico adecuado. Los elementos de aleación en solución sólida producen normalmente una disminución muy marcada de la conductividad eléctrica y térmica; la precipitación producida por éste tratamiento tiene efectos mucho menos adversos sobre éstas propiedades.

Cu-Cr.- Una aleación con 0.5% de Cr puede ser tratada térmicamente a temperaturas de aproximadamente 500 y 1000 °C respectivamente, para obtener productos fundidos ó de trabajado, con propiedades del orden siguiente: resistencia - 3.6 Tm/cm^2 , elongación 20%, dureza Brinell - 120, conductividad eléctrica - 80%. De esta manera, el material encuentra aplicaciones como en pinzas de electrodos y en puntas cuando es esencial la alta conductividad y la resistencia a temperaturas elevadas.

Cu-Be (Cu-Be-Co).- Estos elementos forman aleaciones que responden al

al tratamiento térmico de la misma forma que se describe para la aleación Cu Cr; el tratamiento supone un temple desde 800°C y un revenido a 350°C . El material para trabajado, con aproximadamente el 2% de Be puede dar las propiedades siguientes : resistencia - 12.6 Tm/cm^2 , elongación - 2%, dureza Brinell-400, conductividad eléctrica - 30%. Estas aleaciones son muy caras y su utilización está limitada practicamente a los útiles sin chispas y a muelles especiales de instrumentos.

Cu-Ni-Si.- Esta aleación con contenido de Ni alrededor de 0.75% y 0.5 % de Si, responde también a tratamiento térmico alrededor de 900°C , produciendo productos muy fuertes para trabajado (6.6 Tm/cm^2 y una elongación del 35%) que retiene sus propiedades a temperaturas elevadas. La aleación se utiliza en cajas de fuego para locomotoras.

Adiciones de Cr (1-2%) a bronce de estaño para trabajado se han hecho para trabajar aleaciones duras, fuertes, resistentes al desgaste y para trabajos duros; el Cr se presenta en forma de partículas separadas de un compuesto duro intermetálico que mejora materialmente las cualidades de resistencia al desgaste del bronce.

CAPITULO III

LATONES.-

Todas las aleaciones de Cu-Zn, importantes desde el punto de vista industrial, están comprendidas dentro de los límites de composición de 0 a 50% de Zn. En la figura no. 4 se da la parte del diagrama de constitución que se refiere a éstas aleaciones. La adición del Zn al Cu produce la formación de una serie de soluciones sólidas, que de acuerdo con la práctica usual se denominan siguiendo el orden decreciente de sus contenidos de Cu, como componentes alfa, beta, gamma, etc. El diagrama se puede resumir como sigue:

Composiciones porcentuales		Componente formado justamente por debajo del punto de solidificación	Componente formado después de enfriamiento lento a 400 °C
Cobre	Cinc		
100 a 67,5	0 a 32,5	α	α
67,5 a 63	32,5 a 37	$\alpha + \beta$	α
63 a 61	37 a 39	β	α
61 a 55,5	39 a 45,5	β	$\alpha + \beta'$
55,5 a 50	45,5 a 50	β	β'
50 a 43,5	50 a 56,5	β	$\beta' + \gamma$
43,5 a 41	56,5 a 59	$\beta + \gamma$	$\beta' + \gamma$

Las composiciones de las fases alfa y beta sólo sufren cambios por debajo de los 400°C después de un recocido prolongado.

Por supuesto, estos límites se refieren a condiciones de equilibrio producidas por enfriamiento muy lento; los componentes presentes después de un enfriamiento más rápido se pueden conjeturar teniendo en cuenta las transformaciones sufridas (pero posiblemente no llevadas a su consumación) por la aleación durante el enfriamiento desde el punto de vista de solidificación.

Las curvas térmicas y las medidas de resistencia eléctrica indican que el componente beta sufre una transformación a 470°C. El tipo de red del original es el mismo por encima y por debajo de 470°C, pero las distribuciones de los átomos de Zn entre los del Cu dentro de la red, se alteran. A temperatura por encima de 470°C el Cu y el Zn ocupan al azar los vértices y los centros en un sistema de red cúbica centrada en el cuerpo. Por debajo de 470°C los átomos comienzan a segregarse, unos se trasladan para situarse en los vértices y los otros en los centros. Esta distribución de los átomos que pasan a ocupar determinadas posiciones distribuidas regularmente en el edificio cristalino de la fase inferior se denomina super-red, y a la acción o cambio, transformación desordenada-ordenada. Este cambio afecta a la resistencia eléctrica y al calor específico verdadero de la temperatura de transformación, dando origen a un punto crítico. En el latón beta no puede existir una super-red por encima de 470°C; por debajo de ésta temperatura la velocidad de la transformación al estado ordenado disminuye rápidamente con la

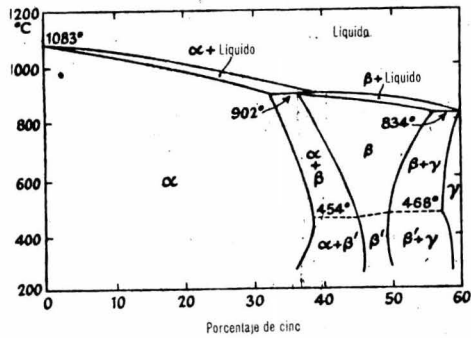
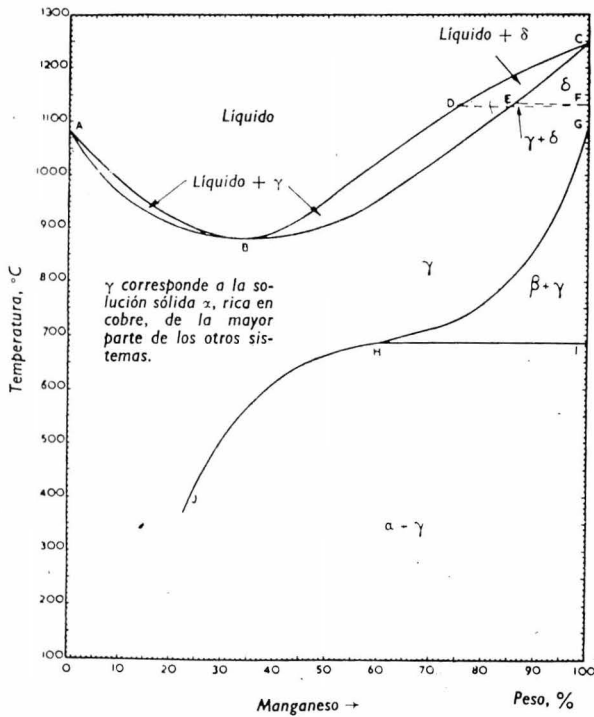


Fig. 4.-Diagrama de constitución de las aleaciones cobre-cinc



Punto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
°C	1083	880	1246	(1130)	(1135)	1133	1092	685	685	400
Mn, %	0	34	100	(75)	(86)	100	100	60	100	24

Fig. 5.-Diagrama de estado cobre-manganeso

reducción de la misma. Si la velocidad de transformación es alta en la zona de la temperatura crítica, como ocurre en el latón beta, no se puede evitar que la estructura pase a ser ordenada ni aún cuando se enfríe la aleación bruscamente. Si la temperatura crítica para que se forme la super-red es baja, desaparece la posibilidad de reajuste atómico antes de ser alcanzada y la estructura queda permanentemente desordenada. Si es tan elevada como el punto de fusión, la red será ordenada por completo desde el punto de solidificación hacia abajo; esta estructura es propia de los compuestos intermetálicos bien definidos, por ejemplo Ni-Al.

En el latón beta no se puede suprimir la transformación que conduce a la disposición ordenada y así, la única forma que puede existir a temperatura ambiente es beta prima, pero para fines corrientes es frecuente recibirse el componente como beta.

Existen ciertas relaciones entre las propiedades y la microestructura que se pueden expresar en términos generales:

1) La resistencia a la tracción aumenta con el contenido de Zn; se eleva de manera algo repentina con la aparición de beta y alcanza el máximo con la composición que corresponde poco más o menos a partes iguales de alfa y beta y disminuye con rapidez al aparecer gamma.

2) El alargamiento alcanza un máximo y comienza a disminuir antes de que la composición alcance el límite de la solución alfa; se reduce considerablemente a medida que aumenta la cantidad de beta es muy pequeño en la presencia de gamma.

3) El componente alfa tiene mayor resistencia al choque, que disminuye con la presencia de beta, y cuando está presente gamma, la aleación se hace más frágil.

4) La dureza aumenta mucho por la presencia de beta y todavía más cuando aparece gamma.

5) Las aleaciones que contienen sólo alfa resultan adecuadas para ser trabajadas en frío y se pueden laminar en caliente ó en frío; las que contienen alfa y beta toleran muy poca deformación en frío sin ruptura y sólo es posible laminarlas en caliente. El componente beta también puede ser forjado laminado ó extruido en caliente, pero las aleaciones que contienen la fase gamma se deben rechazar invariablemente para cualquier tratamiento mecánico.

La fase alfa se deforma fácilmente en frío y en caliente (en caliente se deforma mejor la fase beta que la alfa).

Se ha visto que el Zn aumenta poco la resistencia a la tracción del cobre en estado recocido y un poco más en estado con acritud. Por consiguiente, al ser el precio del Zn notablemente inferior al del Cu se pueden obtener --

con la fase alfa una gama de aleaciones que se prestan a la deformación en frío tan bien como el Cu (en ocasiones un poco mejor) y proporcionan económicamente, objetos dotados de una resistencia mecánica y a la corrosión generalmente satisfactorias.

Cuando se da acritud a los latones alfa ó son sometidos a tensiones mecánicas externas (al mismo tiempo que a la acción de ciertos reactivos químicos) tiene lugar en ellos una rotura intercrystalina a temperatura ordinaria denominada corrosión bajo tensiones (season craking). Las trazas de amoníaco (libre ó combinado, aminas, etc.) y las sales de Mg tienen una acción especialmente intensa en éste fenómeno.

Los incidentes debidos a la corrosión bajo tensión se pueden evitar:

- mediante un tratamiento térmico contra tensiones dado a los productos con acritud (media hora 275-300°C) que no modifica prácticamente las propiedades mecánicas. Naturalmente un recocido completo es todavía más eficaz pero reduce de forma muy notable la resistencia a la deformación.

- reduciendo el contenido de Zn inferior al 10% no se produce corrosión bajo tensiones.

- evitando las variaciones de temperatura durante el almacenamiento (agbre todo el frío).

Para las chapas destinadas al conformado y a la embutición, el tamaño de grano tiene una importancia fundamental:

- no debe ser demasiado grande, para evitar la formación de la cascara de naranja ó rugosidad de deformación.

- debe ser suficientemente grande para permitir deformaciones importantes.

El tamaño de grano (T.G.) de recristalización viene definido sobre todo por la temperatura y el tiempo de recalentamiento durante el recocido. A este respecto se pueden dar los siguientes datos:

- para conformaciones pequeñas conviene un T.G. de 15 mic. aproximadamente con un recocido de media hora entre 500 y 550°C; para trabajos más difíciles un T.G. de 50 mic. aproximadamente con un recocido de media hora entre 600 y 700°C; para las embuticiones más difíciles y chapas gruesas un T.G. de 100 mic. aproximadamente con un recocido de media hora entre 700 y 750°C.

La importancia de la acritud que tiene el material, el tiempo y la temperatura intervienen evidentemente para definir el T.G. de recristalización, aunque estos factores tienen una importancia menor que para el Al y sus aleaciones.

Las adiciones que se pueden introducir, así como ciertas impurezas inv

luntarias tienen una acción específica sobre los latones alfa:

Al.- Aumenta la resistencia mecánica de la solución sólida alfa al mismo tiempo que la resistencia a la abrasión en aguas de circulación rápida y que contienen impurezas sólidas (la dureza de la película de óxido resulta incrementada por la presencia de Al_2O_3). Un ejemplo típico de este caso es el latón 76/22/2.

Fe.- Pequeñas adiciones de éste elemento elevan la temperatura de ablandamiento y recocido (0.02% tiene ya una acción importante) y estabilizan un T.G. pequeño de recristalización.

Ni.- Afina igualmente el grano. Interviene en la composición de los latones especiales con Ni-Si.

Mn.- Aumenta la resistencia a la corrosión, especialmente en agua de mar. Se añade hasta un 2% aproximadamente, tanto en los perfiles de decoración, como en los latones de alta resistencia, como por ejemplo en el 60/40+ 2% de Mn.

P-Mg.- Estos dos elementos atenúan sensiblemente la propensión de los latones alfa a la descohesión intergranular en caliente (300 a 600°C y más), sometidos a una sección de tracción mantenida.

P.- Proporciona un considerable aumento en la duración de vida y del alargamiento; un examen micrográfico de los bordes de la rotura confirma que ésta deja de ser intergranular como en el caso del latón sin adición. La adición más favorable es la del 0.02 a 0.08% de P. Esta adición disminuye por otra parte la tendencia a la corrosión bajo tensiones y amplía el dominio de temperaturas de deformación en caliente sin fragilidad excesiva.

Mg.- Aumenta también la resistencia de las juntas de grano pero incrementa simultáneamente la resistencia a la fluencia viscosa al contrario del P que no modifica esta última propiedad.

Si.- Se añade como desoxidante junto con Mn en las varillas de metal de aportación para soldadura fuerte; por ejemplo el 60/40 + 0.4 % de Sn y 0.15 % de Si.

Sn.- Además de utilizarlo en el latón naval en 1% de Sn, se aplican a aleaciones de 6 a 9 % de Zn con 3 a 5 % de Sn.

Los latones alfa normalizados de uso más común son: 90/10U-Z10, 85/15U-Z15, 80/20U-Z20, 72/28U-Z28, 70/30U-Z30, este latón se usa principalmente en armamento, 67/33U-Z33, 65/35U-Z55, 62/38U-Z38. También se utiliza una composición a base de Cu al que se añade 1 a 2% de Zn; en realidad se trata de un Cu desoxidado con P. Esta aleación es compacta y dúctil.

Latones alfa+beta.- Si dejamos a un lado los latones especiales que lle

van adiciones para aumentar la resistencia mecánica, los más corrientes son los latones de alta maquinabilidad, con Pb. Su elevada maquinabilidad (buen acabado superficial, pequeño desgaste de la cuchilla, viruta finamente dividida) se obtiene a la vez mediante la presencia de la fase beta y por una adición del Pb (del 1 al 3%).

Los distintos tipos de latones de alta maquinabilidad se reparten en las clases siguientes:

- alta maquinabilidad propiamente dicha. Barras cuyo estado de entrega es con acritud (contratamiento de relajación de tensiones) para mecanizados de gran velocidad. Fórmula europea: Cu 58%, Pb 2.5% y una R= 45 a 50 Kg/mm². Fórmula U.S.A : Cu 60, Pb 3% y una R= 35 a 40 Kg/mm².

Matrizado en caliente y alta maquinabilidad. Barras cuyo estado de entrega es extruído en prensa (calibradas) para la obtención de piezas forjadas en caliente: Cu 57.5, Pb 1.75% y R= 30 Kg/mm².

Deformación en frío y alta maquinabilidad. Barras, alambres y productos laminados para mecanizado y que permitan engastes con una deformación más ó menos importantes: Cu 60, Pb 1.5%, R= 38-40 Kg/mm², A de 18 a 20 %.

Perfiles extruídos de alta maquinabilidad: Cu 55, Pb 2%, Al 0.5% extruído, R = 45 Kg/mm².

En todos estos tipos de aptitud a la alta maquinabilidad viene definida por: el grado de fragmentación de la viruta, el acabado de la superficie mecanizada, la importancia del desgaste de las cuchillas. Todo lo anterior dependiendo de : contenido de Pb, cantidad y reparto de la fase beta en la matriz alfa (eventualmente tratamiento térmico), contenido de impurezas (Fe, sobre todo para el desgaste).

Una cantidad importante de fase beta favorece además la plasticidad en caliente.

Latones con fase beta.- Se utilizan sobre todo como metales de aportación para soldadura fuerte. Por ejemplo: 50% de Cu, 50 % de Zn, con un punto de fusión de 870°C.

Los latones beta están sujetos al ataque intergranular por el Sn fundido y por las sales amoniacales y aminas.

A pesar de ello se utilizan latones beta con 5 a 6 % de Al y 1 a 1.5 % de Fe y Mn para obtener moldeos de alta resistencia mecánica (R= 75 Kg/mm²) que desgraciadamente son muy sensibles a la corrosión bajo tensiones en el agua de mar y en las soluciones cloruradas, así como, al ataque por el Sn fundido y sus aleaciones.

Latón 70-30.- Esta aleación que se emplea mucho para tubos, chapas fi -

nas y alambre, también da cuando se cuela en coquilla ó molde metálico, una estructura dendrítica de solución sólida alfa. El componente beta no comienza a aparecer en la estructura de colada hasta que el Zn pasa de 32%, excepto en el caso de estar presente algún elemento adicional como el Al ó el Sn. Después del recocido la aleación se compone de solución sólida alfa homogénea y es adecuada en especial para el trabajo en frío. Para soportar este tratamiento, sobre todo el trefilado, es necesario que el latón esté perfectamente sano y exento de impurezas perjudiciales. Puesto que el latón 70-30 de alta calidad se fabrica en general partiendo del Cu y del Zn más puros que se pueden adquirir en el mercado, sin mezclas de ninguna clase, excepto de la chatarra más limpia, estas impurezas son principalmente inclusiones de espuma (óxido ó silicatos) ó de carbón de madera. Cuando están presentes estas inclusiones conducen muy a menudo al fallo del material durante su manufactura ó en su servicio. En las lingoteras de pequeña sección transversal las inclusiones quedan atrapadas, bien sea por el salpicado ó por la solidificación rápida. Es costumbre frecuente colar el latón que se va a destinar para trefilar varilla en lingoteras muy largas de sección transversal muy pequeña, con objeto de reducir al mínimo el tratamiento mecánico subsiguiente. Los lingotes producidos en estas lingoteras son más propensos a contener inclusiones y rechupe que puede llegar a gran profundidad, lo que origina la formación de una zona central no sana que cubre una longitud considerable del lingote. Para asegurarse de que el lingote será sano es necesario colocar el latón en una lingotera tal que su sección transversal sea lo bastante grande como para proporcionar un enfriamiento relativamente lento. La lingotera y el chorro de metal fundido se deben disponer de manera que se eviten las salpicaduras, y las dimensiones de la lingotera deberán ser tales que el lingote solidifique de abajo hacia arriba.

El trabajo en frío sobre la microestructura tiene el efecto de romper y reducir los granos cristalinos por deformación plástica y aplastarlos hasta formar una masa confusa. El recocido, después del trabajado en frío, produce la recrystalización y el consiguiente crecimiento de los cristales. En el latón típico 70-30 laminado en frío de dureza Brinell aproximada a 165, recocido durante media hora a temperaturas en aumento gradual, se produce primero un pequeño aumento de dureza y resistencia a la tracción. Sin embargo, no hay cambio visible de la microestructura. El alargamiento no resulta afectado hasta los 300°C pero entre 300 y 400°C se observa un aumento rápido que coincide con el período de recrystalización. En este punto la estructura es claramente más fina que la del material trabajado en frío. Por encima de esta temperatura tiene lugar el crecimiento de los cristales y los nuevos granos-

muestran un maclado pronunciado. En el recocido hasta de 600°C hay un descenso progresivo de la resistencia a la tracción y aumento del alargamiento; de 600 a 750°C , estas propiedades permanecen casi constantes, después a temperaturas más altas tiene lugar junto con el desarrollo de cristales muy grandes característico del latón sobrerrecocido, un descenso mayor de la resistencia a la tracción acompañado cuando el metal está quemado, de una pérdida repentina del alargamiento. Se puede refinar la estructura del latón sobrerrecocido mediante un tratamiento mecánico cuidadoso de trabajado en frío seguido de un nuevo recocido. El latón quemado es frágil en extremo e inservible, a menos que se vuelva a fundir. Este efecto del quemado se produce cuando se hace el recocido del latón a temperaturas próximas a la línea del sólido, y es probable que se deba en parte a la volatilización del Zn , y con certeza se acelera con la presencia del Pb que se concentra en los espacios intergranulares y los corroe. El latón puro soporta el sobrerrecocido sin quemarse mucho mejor que otro que contenga pequeñas cantidades de impurezas.

El latón 70-30 quemado se compone de granos muy grandes de alfa con picaduras y pequeñas motas distribuidas sobre su superficie y bordes de unión característicos.

Muchos latones de una amplia variedad de composiciones (incluidos los tipos 70-30 y 60-40) son susceptibles al agrietado por envejecimiento, defecto que sin embargo, sólo ocurre en el material que se mantiene en estado de tensión, sea por compresión extrema ó con más frecuencia, por tensiones internas. Las grietas de envejecimiento siguen casi siempre una trayectoria intercrystalina.

Parece que la mejor protección contra el fallo debido al agrietado por envejecimiento consiste en dar a las piezas un recocido bien controlado a baja temperatura debajo de 300°C , que elimina las tensiones internas y tiene poco ó ningún efecto sobre la dureza.

Cupro-manganeso y latón al manganeso.- El diagrama de estado de la figura no. 5 muestra la existencia de un amplio dominio de solución sólida alfa.

La posibilidad de disponer de Mn electrolítico suficientemente puro ha permitido el desarrollo de las aleaciones Cu-Mn que presentan interesantes propiedades de utilización: resistencia mecánica elevada y buena resistencia en caliente.

También se añade 1 - 2 % de Mn a los latones de elevado contenido de Zn (latones de alta resistencia).

Finalmente, es necesario citar las aleaciones especiales siguientes: U-M13 a: 13 % Mn + 2% Al , las cuales generalmente se fabrican en forma de alame

bres para resistencias eléctricas de aparatos de medida, debido a que presentan una resistividad de $40 \text{ ohm cm}^2/\text{cm}$ y coeficiente de temperatura nulo.

Aleación de Heusler; fuertemente magnética y dúctil: Cu -65%, Mn-25%, Al 10%.

Manganín con Cu -84%, Mn -12%, Ni-4% que tiene propiedades análogas a la U-M 13 A.

CAPITULO IV

METALOGRAFIA.-

Técnica metalográfica.- El término metalografía no se reduce meramente al examen visual o microscópico de los metales, sino que ahora, comprende to dos los métodos empleados en el estudio de la constitución y estructura interna de los metales y sus aleaciones, así como la influencia que ambas ejercen sobre las propiedades físicas y mecánicas.

Aunque existen algunos informes dispersos de exámenes microscópicos de metales realizados por varios de los primeros investigadores, fué el trabajo de Sorby, en la mitad del siglo XIX el que marcó el primer intento sistemático para descubrir por medio del microscopio, las características estructurales distintivas de diferentes muestras de hierro y acero. Sorby, en 1856, estableció la práctica del examen microscópico de secciones de rocas y fundó la ciencia de la petografía, y, por extensión de la misma idea y modificando la técnica, comenzó antes de 1864 a dedicar su interés a los productos metalúrgicos. En 1886 anunció el descubrimiento del componente perlítico como rasgo característico de los aceros al carbono. El examen microscópico de los metales lo iniciaron en forma independiente Martens (1878) y Osmond (1880); Arnold, más tarde, continuó los trabajos de Sorby, al mismo tiempo que Stead Roberts, Austen, Howe, Charpy, Heycock, Neville y otros, entraban a formar parte en las filas de los pioneros de la investigación metalográfica.

Por sugerencia de Howe, los diferentes componentes del acero fueron denominados con nombres mineralógicos para facilitar las referencias. Así, a los cristales de hierro puro se les llamó ferrita, al carburo de hierro cementita, y al compuesto descubierto por Sorby (componente perlítico) se le llamó perlita. Más tarde se comenzó a nombrar a los componentes ó estructuras características con nombres personales, por ejemplo: sorbita, austenita, martencita, etc. Por fortuna en la metalografía de las aleaciones no ferrosas de desarrollo más reciente se ha evitado ésta compleja terminología.

En un metal ó aleación los componentes de su microestructura se forman durante la solidificación del estado líquido ó durante las transformaciones que después tienen lugar en el metal sólido. La apariencia de la estructura no da por si sola una información completa sobre su origen ó sobre la relación de un componente a otro.

De aquí que el microscopio fuera pronto complementado por otros instrumentos de investigación, principalmente por el pirómetro, ya que con la ayuda primordial de estos dos instrumentos se establecieron las bases de la nueva ciencia de la metalografía. El termopar y el pirómetro eléctrico de re

sistencia, hicieron posible la medición precisa de temperaturas altas, pudiendo así terminar los puntos de solidificación y de otros cambios térmicos de los metales y aleaciones. Los resultados de los exámenes microscópicos y térmicos junto con el análisis químico se han condensado en los llamados diagramas de equilibrio.

En años recientes el análisis cristalográfico por medio de rayos X ha proporcionado un método muy efectivo para investigar la constitución de las aleaciones, ya que proporcionan datos sobre la estructura interna de los metales y aleaciones, así como las alteraciones sufridas con los cambios de composición, ya ocurran a temperatura ambiente ó elevada. También se han empleado otros métodos para confirmar y ampliar los resultados de microscópico y térmico, entre los que se cuentan la medida del volumen específico, de las propiedades magnéticas, resistencia eléctrica, propiedades termo-eléctricas y fuerza electromotriz. Además del valor esencial del análisis químico para determinar la composición elemental del material considerado como un todo, también se han utilizado en algunos casos métodos químicos para conseguir la separación individual de los componentes. Las propiedades mecánicas, tales como dureza, tenacidad y ductilidad se relacionan en forma directa y continua con la microestructura, mientras que los numerosos defectos que se pueden presentar en las aleaciones y metales comerciales están asociados casi siempre con anomalías de la estructura.

Toma de muestras.— Por convenientes de manipulación, siempre que sea posible, se recomienda mantener el tamaño de las muestras para el examen microscópico dentro de ciertos límites, entre 6 y 25 mm. de diámetro ó lado para redondos cuadrados respectivamente. Las muestras demasiado pequeñas ó muy grandes resultan muy difíciles de pulir; las primeras por la tendencia que muestran los bordes a redondearse y las últimas por la dificultad para eliminar todas las rayas. La muestra se sujeta con mayor facilidad cuando su espesor es menor que las dimensiones lineales de la cara a pulir; los espesores más convenientes son los comprendidos entre 5 y 10 mm. Para las muestras muy delgadas hay que utilizar métodos de montaje especiales.

Las muestras se deben seleccionar de diferentes puntos cuya localización se indicará por sí misma según la naturaleza del material y el propósito del examen, así, de un redondo laminado se examinarán secciones longitudinal y transversal, mientras que de una pieza moldeada se debe explorar toda la sección para observar las diferencias del exterior al interior, etc. En algunos casos, cuando se trata de piezas muy grandes, puede ser necesario hacer un examen preliminar con pocos aumentos, pero una vez realizado éste, se procede

a cortar muestras pequeñas para un examen más detallado. Cuando se investi-
gan materiales que han fallado en servicio, suele ser necesario tomar gran -
cantidad de secciones. El examen en la proximidad de la fractura se comple -
menta con un examen general del material, con el fin de descubrir cualquier-
posible pérdida de uniformidad en la composición ó del tratamiento.

Debe recordarse que en algunos casos, después de un calentamiento, el -
material próximo al exterior de la pieza puede sufrir alteraciones; así, el
acero puede descarbonarse y el latón perder algo de contenido de Zn.

Las muestras ^{se} cortan mediante una sierra mecánica ó manual. Cuando las -
aleaciones son frágiles, como ocurre con las fundiciones y algunos broncees -
ricos en Sn se puede romper la pieza con el martillo y seleccionar un pedazo
adecuado como probeta.

Las probetas de materiales duros, que no se pueden serrar con facilidad,
tales como los aceros templados y las aleaciones no ferrosas endurecidas por
envejecimiento, se pueden emplear con seguridad empleando discos abrasivos.

Tales discos son generalmente delgados (se recomiendan de 1.5 mm aprox)
y son un conglomerado de un abrasivo adecuado, tal como esmeril, carborundo ó
polvo de diamante. El disco gira a velocidades relativamente elevadas, y el
aparato empleado tiene generalmente un dispositivo que asegura la refrigera -
ción durante el corte. El enfriamiento se logra manteniendo la probeta total
mente sumergida en agua u otros líquidos refrigerantes, ó proyectando sobre -
ella una corriente ininterrumpida de líquido de refrigeración y precisamen -
te en la región que se corta.

Sino se elige cuidadosamente el disco cortante y no se enfría suficien -
temente la probeta durante el corte, se altera radicalmente la estructura o -
riginal, por lo menos en la superficie obtenida por el corte, como consecuen -
cia del calor desarrollado por el frotamiento. Es muy buena técnica operar de
tal modo que la probeta no llegue a calentar la mano ni durante la toma de -
la muestra, cualquiera que sea el método empleado, ni durante las operaciones
de desbaste posteriores. Por supuesto que no se puede tomar una probeta me -
talográfica mediante corte oxiacetilénico ó métodos análogos, a menos que se
eliminen después las partes afectadas por el calor.

Desbaste de probetas.- La superficie que haya de observarse se debe pri -
mero hacer plana mediante un desbaste grosero, que se lleva a cabo ventajo -
samente mediante una desbastadora de cinta. Cuando el área es grande, la ope -
ración se puede terminar en un tiempo muy corto si se la gira ligeramente -
mientras se le desbasta. Para no alterar la estructura superficial del metal,
especialmente si está templado, se sumerge frecuentemente la probeta en agua

a fin de que se mantenga fría.

Ni durante el desbaste grosero, ni los posteriores, se debe aplicar la probeta contra el medio abrasivo con presión demasiado grande. La presión excesiva no sólo produce rayas muy profundas difíciles de eliminar en el paso siguiente del pulido, sino que también distorsiona intensamente el metal de la superficie de la probeta. Este metal distorsionado puede extenderse hasta profundidades grandes alterando enormemente el aspecto de la estructura metalográfica, sino se elimina después completamente.

La distorsión del metal superficial no se puede evitar enteramente, pero se puede disminuir mediante técnicas adecuadas de desbaste y pulido, la presión de contacto en las operaciones citadas debe mantenerse baja y en todo caso, el metal distorsionado se elimina mediante varios ciclos de pulido y ataque. En general son precisos tres ciclos de pulido y ataque alternados para eliminar el metal distorsionado, pero en ciertos casos, especialmente tratándose de metales y aleaciones blandas hacen falta muchos más ciclos para lograr tal objetivo. Si se ha logrado ó no eliminar el metal distorsionado es algo fácil de reconocer mediante la observación microscópica. Para la mayoría de metales y aleaciones el tiempo de ataque no debe superar al necesario en el ataque final; los pulidos deben hacerse con cuidado empleando presiones ligeras para evitar la formación de nuevas cantidades de metal distorsionado.

Biselando los bordes de la probeta durante el desbaste grosero se evitan las roturas y desgarres de papeles y paños en las operaciones posteriores; tal biselado puede no realizarse cuando interesa observar precisamente el material inmediato a esos bordes, en cuyo caso se monta adecuadamente la probeta y se protegen sus bordes.

Cuando la superficie de la probeta es completamente plana y se han eliminado las irregularidades, se da por terminado el desbaste grosero, pasando enseguida al desbaste intermedio, lavando previamente con cuidado la probeta.

Los papeles de esmeril empleados en la preparación de las probetas metalográficas deben ser de alta calidad, en particular por lo que respecta a la uniformidad en el tamaño de sus partículas.

Conviene emplear un papel nuevo para cada probeta. Los papeles usados sólo se emplean para algunas finalidades específicas, porque sus partículas abrasivas desgastadas tienden a producir distorsión del metal superficial; además si por ejemplo, sobre un papel se ha desbastado una probeta de acero, pueden quedar sobre él partículas de este material duro, que pueden producir rayas profundas y anchas al emplearlo después para preparar un material blan-

do, por ejemplo un latón.

El final de la operación de desbaste intermedio está determinado por la desaparición de las rayas producidas por el desbaste grosero ó el papel anterior, y para poder reconocerlo fácilmente se opera en forma que las nuevas rayas sean perpendiculares a las anteriores y las substituyan.

El desbaste final se realiza en la misma forma descrita en la sección anterior para el intermedio, pasando del papel de esmeril número 0 empleado en la última operación de desbaste intermedio al número 00; en general, se emplean sucesivamente dos papeles, el ya indicado y el 000. Para casos especiales se usa el 0000.

El desbaste a mano de una probeta es una operación más o menos pesada y trabajosa que consume mucho tiempo si han de prepararse muchas. Un desbaste más eficaz se puede realizar mecánicamente, empleando un disco giratorio que se cubre con papel de esmeril, análogo al que se ha descrito en las operaciones anteriores, sujetándolos mediante un anillo de fijación apropiada. El disco debe girar a unas 600 rpm para el papel más grueso (1-0) y a velocidades de preferencia más pequeñas con los papeles más finos.

Existen para el desbaste de probetas además de los sistemas descritos anteriormente, entre otros, discos con parafina, discos de Pb, etc.

Pulido. El pulido de una probeta metalográfica tiene por objeto eliminar de su superficie las rayas finas producidas en la última operación de desbaste y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimento.

El éxito del pulido y el tiempo empleado en la operación dependen en gran manera del cuidado con que se haya realizado el desbaste. Si una probeta tiene rayas profundas y gruesas que no se han eliminado en la última operación de desbaste, se pierde el tiempo y el trabajo si se pretende eliminarlas en el pulido fino. En casos tales se deberá volver a desbastar la probeta poniendo la máxima atención en conseguir la uniformidad y la finura deseadas.

Mientras que nos sea posible hay que tomar precauciones para que la operación se realice en un ambiente relativamente limpio de polvo, evitar la contaminación de los discos y, en la mayoría de los casos el desbaste debe hacerse de preferencia en un cuarto diferente del de pulido.

El pulido preliminar y el final de una probeta metalográfica desbastada se realizan en uno ó más discos, cubiertos con un paño de calidad apropiada y dotados igualmente con una velocidad de giro adecuada.

Los equipos de desbaste y pulido automáticos ahorran sin duda alguna mucho tiempo y trabajo en las operaciones rutinarias de preparación de probetas metalográficas. Sin embargo muchos metalógrafos manifiestan que con los equipos automáticos es difícil observar el progreso en la preparación de pro

betas y observar el grado final de pulido.

El pulido metalográfico tiene por fin obtener una superficie pulimentada por eliminación ó corte del metal superficial sin que se produzca deformación y flujo del mismo.

Físicamente un abrasivo metalográfico ideal debe poseer una dureza relativamente alta. La forma externa de las partículas debe ser tal que presente numerosas y águdas aristas y vértices cortantes.

Existen en el mercado varios tipos de abrasivos:

- polvo de diamante.- El abrasivo que más se aproxima al ideal es el polvo de diamante no adulterado y bien clasificado; encontrándose en el mercado con tamaño de partículas de 0.5 a 120 mic.

Muy adecuadas para el empleo metalográfico son las mezclas del polvo de diamante con un vehículo apropiado y con consistencia de pasta clara.

- alúndum. Para el pulido intermedio ó preliminar de las probetas en aquellos caso en que tal operación se realiza, se emplea como abrasivo el alúndum (óxido de Al fundido) y a veces carborundo (carburo de Si) ó carburo de boro, todos en grado de finura de 500 a 600 mallas. Se emplean en forma de suspensión acuosa adecuada que seña al paño que recubre el disco de la pulidora.

- óxido de magnesio. El óxido de magnesio es el abrasivo que suele recomendarse para el pulido final de los metales blandos. Tales como Al, Mg, y otros ó para substituir a la alúmina en el pulido de las fundiciones y otros metales relativamente duros. Con el nombre comercial Shamva se designa un óxido de magnesio adecuado a fines metalográficos.

Una de las calidades más satisfactorias para la metalografía es el denominado óxido de magnesio pesado.

La técnica adecuada para el óxido de magnesio en el pulido final, consiste en poner una pequeña cantidad de polvo seco y fresco sobre el paño de pulir colocado en el disco de la pulidora, añadir agua destilada en cantidad suficiente para formar una pasta clara que se trabajará posteriormente con las yemas de los dedos. Después de ésta carga y durante el pulido posterior se mantiene húmedo el paño por adición de agua destilada.

- Alúmina.- La alúmina (óxido de aluminio) es probablemente el abrasivo más satisfactorio y universal desde el punto de vista metalográfico. La alúmina existe en tres formas cristalográficas distintas: alfa, beta y gamma. De ellas la alfa y la gamma son las más empleadas como abrasivos.

El comercio lo proporciona en forma de polvo seco y en forma de pasta ó suspensión acuosa. A la primera forma pertenecen los polvos de pulir marca Linde en sus tipos A y B. La alúmina Norton y a la segunda, productos como el ga

mal, productos para pulir AB, alúmina para pulir Fisher y otros. La alúmina - Linde A es una alúmina alfa típica, cuya forma cristalográfica es hexagonal. Este abrasivo especial tiene partículas con tamaño de 0.3 mic. y una dureza - de 9 en la escala de Mohs.

La modificación gamma, de la que son representativos el gamal y el polvo Linde B, es de estructura cúbica y un tamaño de partícula de 0.1 mic., y en - consecuencia muy adecuado para el pulido final.

Físicamente la alúmina gamal está constituida por laminillas planas y - delgadas de dureza elevada.

Una alúmina ideal para el pulido metalográfico se puede preparar de la - siguiente manera: se parte de hidróxido de aluminio que se convierte en alúmi - na calentando durante 2 horas y a una temperatura de 925 a 1100°C, una capa - de polvo de 50 mm de altura y no apisonada. Se deja enfriar y se leviga en - proporciones de 100 a 150 g. que se suspenden en 1000 cc. de agua destilada. El tiempo de levigado es de 10 a 20 minutos según la necesidad de finura de - partículas. Después de sifonada la suspensión, se elimina el sedimento.

Como consecuencia de que algunos álcalis solubles en agua, que impurifi - can el hidróxido de aluminio, no se descomponen durante el calentamiento, las suspensiones que se obtienen son básicas. Si se almacenan en este estado sedi - mentarían después en forma de una torta dura que es muy difícil de deshacer - por agitación. Para evitar esto es necesario ajustar el pH con HCl diluido, u sando fenolftaleína como indicador. Cuando se alcanza el punto final el pH es aún alcalino ya que la fenolftaleína vira en un pH de 8.3 a 10. Esta circuns - tancia no es perjudicial porque las suspensiones ligeramente básicas mojan me - jor la superficie de las probetas durante el pulido, que las que contienen un pH de 7 ó menor. Durante el almacenamiento el pH de la solución puede aumen - tar siendo necesario agregar más gotas de HCl diluido.

Además de los abrasivos citados anteriormente, también el óxido de cromo y el óxido de fierro (rojo de joyeros) se han empleado con éxito en el pulido metalográfico. El rojo de joyeros tiene propensión a hacer fluir el metal su - perficial, y aunque proporciona una superficie extraordinariamente pulida, es - ta no es la necesaria y característica del pulido metalográfico.

Otro aspecto muy importante que hay que considerar es la elección de un - paño para pulir, la cual depende especialmente de la naturaleza específica de - la probeta que ha de prepararse y de la finalidad del examen metalográfico - posterior. Existen muchísimas clases de paño entre los que se puede hacer la - elección, algunos de los cuales responden a nombres comerciales tales como - Selvyt, Kitten's Eqr, Vel Chomee, Gamal, Meracloth y otros. En general, la tex

tura superficial varía desde las que no tienen pelo, como la seda natural y - el tejido empleado en las alas de los aeroplanos (utilizado en algunos casos-especiales), hasta aquellos con pelo relativamente largo como el terciopelo y la pana, que son de aplicación muy general. En el caso intermedio se encuentran los paños de mesa de billar de lana y de distintas finuras, y las lonas de diferentes pesos, tejidas de fibras sintéticas.

PULIDO PRELIMINAR.- El objeto del pulido preliminar es hacer desaparecer las rayas finas producidas en esta última operación de desbaste. El disco de la pulidora empleado en esta operación se cubre generalmente con paño de lana de billar ó una lona de poco peso, utilizando una velocidad de giro de 400 a 500 rpm. Como abrasivo se emplea alúndum o carborundo de 600 mallas ó productos equivalentes.

La experiencia ha demostrado que durante el pulido preliminar realizado con los abrasivos indicados, existe el peligro de obtener superficies picadas. El pulido preliminar ahorra mucho tiempo en la obtención de superficies altamente pulimentadas, pero no debe realizarse cuando sean objetables el picado y el arranque de las fases secundarias (como por ejemplo las partículas de plomo en un latón al plomo). En tales casos conviene pasar directamente desde la última operación de desbaste al pulido final.

PULIDO FINAL. Esta operación tiene por finalidad eliminar las rayas producidas en el pulido preliminar y dar lugar, por último a una superficie pulida uniformemente y libre de rayas.

Esta operación, salvo que sea fundamental la preservación de las inclusiones no metálicas, se realiza cubriendo el disco de la pulidora con un paño de pelo largo como el terciopelo, el gamal ó el meracloth. Según el metal ó aleación que se pule, se emplea uno de los abrasivos citados anteriormente. Para la mayoría de las probetas metalográficas, la alúmina es reconocida como el abrasivo de empleo más universal en el pulido final.

La probeta una vez pulida por los medios adecuados está lista para atacarse inmediatamente después y examinarse sin ataque. En cualquier caso la superficie de la probeta debe protegerse de la oxidación y otros efectos perjudiciales.

PULIDO ELECTROLITICO.- Además del pulido final mecánico ya mencionado, existe el pulido electrolítico, introducido por Jacquet y Rocquet, que disminuye muchas de las dificultades encontradas en el pulido mecánico. Puesto que este método de pulido evita la formación de capas distorsionadas en la superficie de los metales desbastados de la probeta, es ideal para la preparación de muchos metales blandos, aleaciones monofásicas, y aleaciones que endurecen fácilmente por deformación, tales como los aceros inoxidables austeníticos. Ag

tualmente se han encontrado electrólitos adecuados para pulir la mayoría de los metales y aleaciones ordinarios.

La calidad de las superficies obtenidas en el pulido electrolítico es igual a la conseguida con un pulido mecánico bien hecho y puesto que no produce metal distorsionado que exija repetidos ciclos de pulido y ataque, esto nos ahorra tiempo y resulta ser más económico en preparación en serie de probetas y varias a la vez.

Las principales desventajas de este método son las siguientes: destruye total ó parcialmente las inclusiones no metálicas que generalmente se encuentran en el aluminio y sus aleaciones y en el acero. Además ciertas fases intermetálicas y compuestos metaloides (por ejemplo, carburos de acero) se pueden mostrar en relieve, debido a las diferentes velocidades de disolución de los distintos constituyentes estructurales, produce un manchado de las probetas montadas en plástico, obtención de superficies onduladas.

MÉTODOS ESPECIALES DE PREPARACION MECANICA.- La preparación metalográfica de los metales blandos, tales como el aluminio, plomo, cobre y sus aleaciones, la de los materiales muy duros como los carburos cementados de wolframio y boro y la conservación de las inclusiones de acero ó las laminas de grafito en la fundición requieren técnicas más o menos específicas. Los latones relativamente blandos y sus aleaciones fluyen facilmente durante el desbaste y el pulido. Si no se tiene un especial cuidado se originan capas distorsionadas de espesor considerable que es imposible eliminar por el método usual. Consecuentemente la estructura real queda totalmente enmascarada.

Los materiales muy duros por su dureza intrínseca son difíciles ó imposibles de preparar por los métodos ordinarios y con los abrasivos usuales. En estos casos se obtienen resultados especiales y satisfactorios con polvo de diamante y sobre discos especiales.

Cu y sus aleaciones.- La superficie de las probetas de Cu y sus aleaciones, se rectifica limandola ó con una muela abundantemente refrigerada por agua. Los discos empleados giran a velocidades comprendidas entre 250 y 1800 rpm. según el tipo de aleación, clase de paño y preferencias del operador. El desbaste con papeles de esmeril no es necesario en estos materiales, pasandose directamente al pulido que se realiza en dos o tres fases.

La primera fase del pulido se realiza sobre lona, empleando como abrasivo carborundo ó alúmina de 500 ó menos mallas. La segunda operación se realiza sobre disco cubierto con paño de lana y empleando como abrasivo trípoli pulverizado; en lugar de esta última operación se pueden realizar dos pulidos sucesivos sobre discos cubiertos con fieltro el primero y cargado con esmeril EF ó e

equivalente, el segundo con harina de esmeril 5F6X ó equivalente. La fase tercera y última se hace sobre un disco cubierto con paño fino de lana, con Gamal ó Kitten's Ear ó equivalente, empleando como abrasivo una suspensión en agua de alúmina u óxido de magnesio. En lugar de esta operación se puede pulir sobre gamuza con rojo de joyeros.

Todos los discos se mantienen húmedos añadiendo agua con un frasco lavador, y las probetas, al pasar de una fase a otra de la operación pulido se lavan bien, para quitar el abrasivo y se mantienen húmedas. Al terminar el pulido se atacan directamente ó se lavan con alcohol y se secan rápidamente antes del ataque. En muchas preparaciones de rutina, el ataque elimina bastantes rayas ligeras. Cuando se emplea el rojo de joyeros se puede retirar la probeta en un momento crítico, en que la superficie aparezca limpia y seca y atacarla directamente.

El Cu puro es más difícil de pulir que sus aleaciones, pues se necesita obtener una superficie casi perfecta para comprobar la presencia de óxido cuproso al observarla sin ataque.

MONTAJE DE PROBETAS PEQUEÑAS.— Cuando las probetas metalográficas son pequeñas ó de una forma que no permiten un manejo fácil en las operaciones de desbaste y pulido, como ocurre por ejemplo con virutas, alambres, varillas y tubos pequeños, chapas, secciones delgadas, etc, es necesario montarlas en un material adecuado ó en unas pinzas para hacer posible la preparación.

Los plásticos termoendurecibles, como la bakelita y los compuestos de anilina y formaldehído son los más populares entre los que se emplean para montar probetas metalográficas. Los polvos de moldeo de bakelita se encuentran en el comercio en gran variedad de colores, y esta circunstancia es de interés porque simplifica la identificación y archivo de las mismas. Cuando el moldeo se hace bien se obtienen montajes muy resistentes al ataque por los reactivos ordinarios aunque son descompuestos por la acción de los álcalis y de los ácidos concentrados oxidantes.

Los plásticos termoendurecibles endurecen en el moldeo a la temperatura y presión adecuadas porque sufren un cambio químico. El estado más duro adquirido ya no se altera por la temperatura.

Existen otros materiales que se usan para el montaje de probetas metalográficas pero de menor uso que la bakelita, entre otras mencionaremos: aleación de bismuto 50%, plomo 25%, estaño 12.5%, cadmio 12.5%, conocida como aleación wood, con un punto de fusión de 65.5°C, otra aleación parecida es la denominada aleación lipowitz, variando unicamente los porcentajes de composición y por consiguiente el punto de fusión que es de 70 °C.

Una resina termoplástica conocida como lucite es quizá la que sigue en importancia de uso a la bakelita. Este material tiene más limitaciones que la bakelita debido a que se reblandece con el calor.

ATAQUE DE LAS PROBETAS PARA SU EXAMEN MICROSCÓPICO.— Después de haber tratado lo relacionado con preparación y montaje de las probetas metalográficas — ahora nos dedicaremos a lo relacionado con el ataque químico necesario para hacer visibles sus características estructurales. El examen microscópico de una probeta metalográfica no atacada revela poco ó ningún detalle estructural, a pesar de lo cual es de gran interés porque permite observar detalles que únicamente son visibles antes del ataque, como ocurre con los defectos superficiales, las inclusiones no metálicas, etc.

Puesto que el objeto de la mayoría de las investigaciones metalográficas es determinar las características estructurales verdaderas de la probeta, es necesario que los diferentes constituyentes estructurales queden delineados — con precisión y claridad. Esto se logra sometiendo la probeta a la acción química de un reactivo adecuado en condiciones cuidadosamente controladas.

En las aleaciones compuestas de varias fases los constituyentes se hacen visibles por el ataque diferencial ó el manchado de uno ó varios de dichos constituyentes, como consecuencia principalmente de las diferencias de composición química que traen consigo diferencias de velocidades de disolución. En los metales puros y aleaciones monofásicas el contraste estructural y los límites de grano que presentan diferente orientación cristalográfica respecto a la superficie pulida son atacados con diferente velocidad.

REACTIVOS DE ATAQUE.— En general los reactivos adecuados para el ataque metalográfico se componen de ácidos orgánicos e inorgánicos, álcalis de varias clases y otras sustancias más complejas disueltas en disolventes apropiados — como agua, alcohol, glicerina, glicol ó mezcla de varios disolventes. La actividad y comportamiento general de los distintos reactivos está relacionada con las características siguientes: concentración de iones hidrógeno, capacidad del reactivo para manchar preferentemente uno ó más de los constituyentes estructurales.

Para que el ataque sea perfecto y muestre claramente los detalles estructurales es necesario que la composición del reactivo empleado responda exactamente a la de la probeta y a las distintas fases que la constituyen. Así por ejemplo un reactivo compuesto de NH_4OH y H_2O_2 es ideal para atacar el Cu y el latón alfa pero inadecuado para atacar fierro y acero. El mismo reactivo que va bien en el ataque de los latones alfa monofásicos, no da los mismos resultados

para latones polifásicos (latones alfa - beta).

De los muchos reactivos propuestos para el ataque de cada grupo de metales y aleaciones deben seleccionarse algunos de ellos, teniendo en cuenta las aplicaciones específicas de cada reactivo.

El tiempo de ataque es factor que sigue directamente en importancia a la elección adecuada del reactivo. El aspecto visual de una estructura atacada o la calidad de una fotomicrografía, de ella depende en gran parte de la precisión con que los detalles más delicados hayan sido puestos de manifiesto por el ataque y ello a su vez depende fundamentalmente del tiempo de ataque.

Según el metal atacado y el reactivo empleado, los tiempos de ataque pueden oscilar entre pocos segundos y 30 o más minutos.

Los reactivos de ataque que se pueden emplear para casi todas las aleaciones de cobre son : 1) solución acuosa de persulfato amónico al 10%. Proporciona en el latón un ataque claro y uniforme. La adición de un 25% de amoníaco da a ésta solución mayor rapidez de ataque. 2) solución acuosa ácida de cloruro férrico. Es aconsejable mantener una solución base que contenga 10g. de cloruro férrico, ácido clorhídrico concentrado 30 cc. y agua 120 cc. Esta solución se diluye con agua en las cantidades que se necesite. Para atacar las aleaciones ricas en níquel se necesita la solución concentrada; para las soluciones alfa ricas en cobre da resultados satisfactorios una parte de ésta solución en dos partes de agua.

La multiplicidad de bronce y latones especiales y su resistencia al ataque, en particular el de las aleaciones altas en níquel han obligado a emplear otros reactivos, en los que están incluidos los dos tipos que se mencionan a continuación.

Para ataque a níquel puro y sus aleaciones de elevado contenido de níquel es útil una mezcla de los ácidos nítrico y acético. La solución contiene 50 cc de ácido nítrico, 25 cc. de ácido acético glacial y 25 cc. de agua.

Para los latones complejos, bronce y aleaciones de níquel se obtienen buenos resultados con diferentes soluciones a base de ácido crómico. Se consigue con estas soluciones un ataque limpio y uniforme y si la aleación contiene el componente beta, se puede obtener un contraste mejor por ataque posterior con cloruro férrico. Estas soluciones son: solución acuosa saturada con CrO_3 ó 100 cc. de solución saturada con $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ más 10 cc. de ácido sulfúrico concentrado. Es conveniente agregar a cada una de estas soluciones una gota de ácido clorhídrico concentrado por cada 25 cc. de reactivo en el momento de su empleo.

El teñido por el calor es útil para algunos bronce, en particular para los bronce fosforosos. El ataque electrolítico puede utilizarse convenientemente como continuación del pulido electrolítico.

CAPITULO V

RESULTADOS.-

Las probetas metalográficas usadas en nuestro estudio fueron atacadas con los siguientes reactivos de uso más común en el laboratorio metalográfico:

Reactivo no. 1.- Hidróxido de amonio y peróxido de hidrógeno (NH_4OH 5 P, H_2O_2 al 3% de 2 a 5 P). Este reactivo es de uso general para el Cu y sus aleaciones. El contenido de H_2O_2 es proporcionalmente al contenido del cobre en la aleación que ha de atacarse. Se emplea la inmersión ó un algodón impregnado durante un minuto. El H_2O_2 debe ser nuevo.

Reactivo no. 2.- Solución acuosa de persulfato amónico. Proporciona en el latón un ataque claro y uniforme. La adición de amoníaco da a ésta solución mayor rapidez de ataque (NH_4OH 10 ml. $\text{NH}_4\text{S}_2\text{O}_8$ 20 ml.).

Reactivo no. 3.- Ácido crómico y ácido nítrico (HNO_3 50 cc. H_2CrO_4 20 g., H_2O 30cc.). El ataque se hace por inmersión. Este reactivo se usa para latones complejos, bronce y aleaciones de níquel.

Reactivo no. 4.- Cloruro férrico y ácido clorhídrico. Este reactivo se usa en diferentes proporciones de concentración; para nuestro caso escogimos la siguiente proporción, debido a que es la menos concentrada: FeCl_3 - 3 partes, HCl - 10 partes, H_2O - 100 partes. El ataque se hace por inmersión. Se usa para cobre, latón, bronce, bronce de aluminio; oscurece fase beta en el latón; - aumenta el contraste después del ataque con bicromato y otros reactivos. Se ataca ligeramente varias veces hasta obtener el resultado deseado.

LATON 70-30

Esta probeta metalográfica utilizada para nuestro estudio se atacó con los reactivos 1, 2, 3 y 4. La estructura cristalina de esta aleación observada al microscopio y según micrografías, no. 6, 7, 8 y 9 muestran granos cristalinos deformados del componente alfa, observándose mejor este fenómeno en las microfotografía no. 7 y 9 atacadas con los reactivos 2 y 4.

COBRE AL MANGANESO

Esta probeta metalográfica se atacó con los reactivos 1, 2, 3 y 4 obteniéndose los mejores resultados con el reactivo no. 2, observándose bandas cristalinas pronunciadas de solución alfa y solución gamma, figuras no. 11 y 12. Ver figs. no. 10, 11, 12 y 13.

COBRE ELECTROLITICO

Esta probeta metalográfica después de ser atacada con los reactivos 1, 2, 3 y 4 obtuvieronse resultados de ataque muy similares para cada uno de los reactivos.

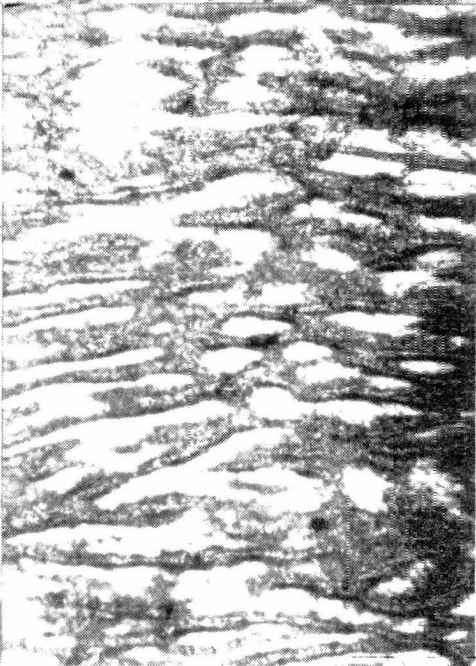
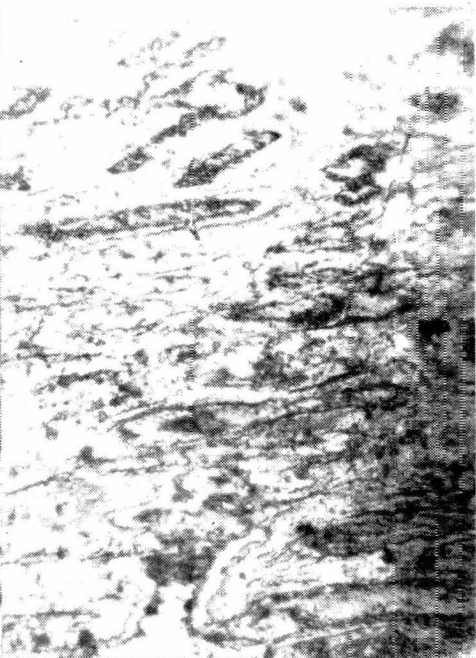
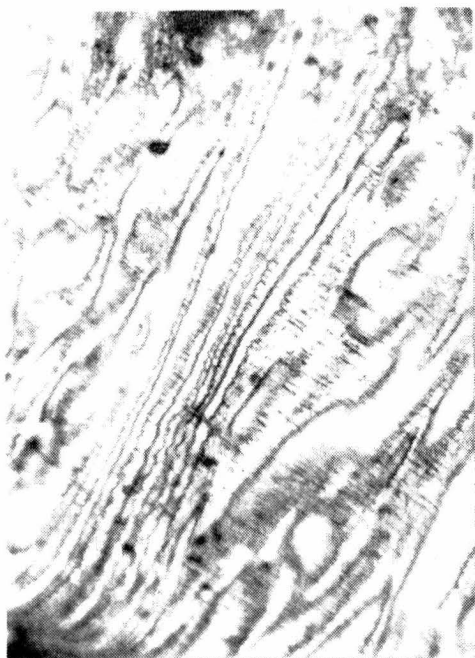


Fig. no.6 (Sup. Izl.)

Fig. no.8 (Inf. Izl.)

Fig. no.7 (Sup. Der.)

Fig. no.9 (inf. Der.)

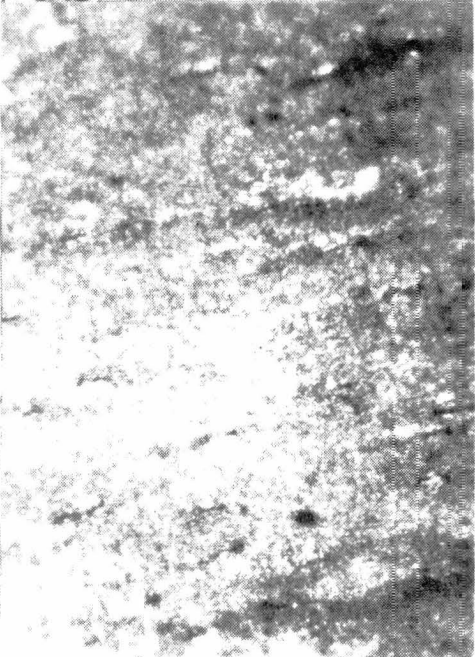
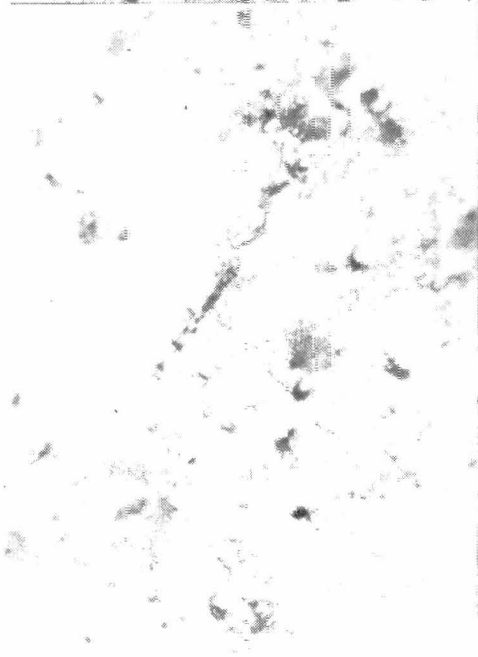
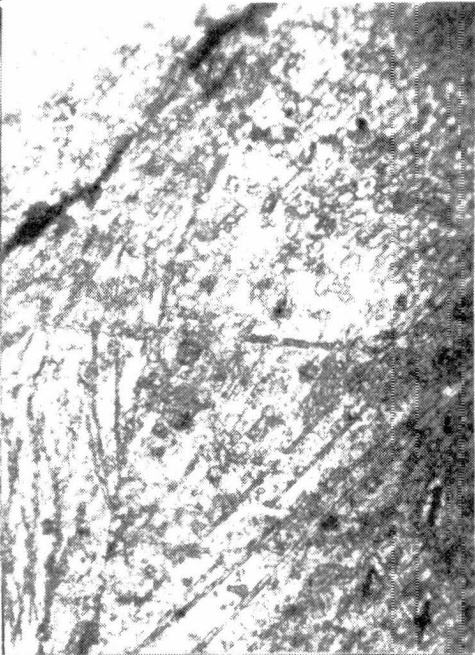


Fig. no. 10 (Sup. Iz.)

Fig. no. 12 (Inf. Iz.)

Fig. no. 11 (Sup. Der.)

Fig. no. 13 (Inf. Der.)

tivos usados según lo muestran las figs. 14 y 15 y 16. La fig. no. 14 muestra una recristalización. Las figs. 15 y 16 atacadas muestran una deformación y recocido posterior.

LATON PARA SOLDADURA

Esta probeta metalográfica fue atacada con los reactivos 1, 2, 3 y 4 y en todos los casos nos dió excelentes resultados, ver figs. no. 17, 18, 19 y 20, observándose claramente la fase beta (color claro) como componente principal y la fase alfa precipitada en las uniones intergranulares. La deformación del metal se observa mejor en la fig. 20.

LATON AL MANGANESO

Recibe también el nombre de latón de alta resistencia. El manganeso está presente del 1 al 2 %. Las figs. no. 21, 22 y 23 fueron atacadas con los reactivos 1, 2 y 3 respectivamente, obteniéndose mejores resultados con el reactivo no. 1. Ver fig. no. 21, en la que se observan dos fases: alfa y beta, ya que el manganeso presente no da origen a una nueva fase.

LATON AL PLOMO

El plomo existe en el Cu y sus aleaciones (latones ó bronce) y en forma de glóbulos ó películas (según contenido de plomo) que rodean a los granos cristalinicos. Forma un eutéctico que contiene menos del 0.1% de Cu. En este caso no mantiene la fragilidad en frío, pero a temperatura por encima del punto de fusión del plomo (328°C) la aleación puede debilitarse. Los dos metales: cobre y plomo (incluyendo a los latones) son casi insolubles entre si en estado sólido y cuando el plomo excede del 38% tampoco son completamente miscibles en el estado líquido. En las mezclas sólidas cobre-plomo de todas las combinaciones las dos fases presentes son cobre con 0.02% de plomo y plomo casi puro que ha permanecido líquido hasta 326°C. Por tanto el material colado está sujeto a la segregación. Figs. 24, 25, 26 y 27, las cuales fueron atacadas con los reactivos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, observándose resultados similares con cada uno de los reactivos empleados. Los materiales para cojinetes sobre-plomo pueden prepararse adecuadamente por la técnica de la pulvimetalurgia. Por este medio es posible asegurar la distribución uniforme de plomo y controlar la composición y el tamaño de grano del producto, de las cuales dependen sus propiedades mecánicas.

BRONCE FOSFORADO

En la fig. no. 2 se muestra la región del diagrama de equilibrio cobre-estaño rica en cobre. A 797°C se forma la fase beta, como resultado de la reac-

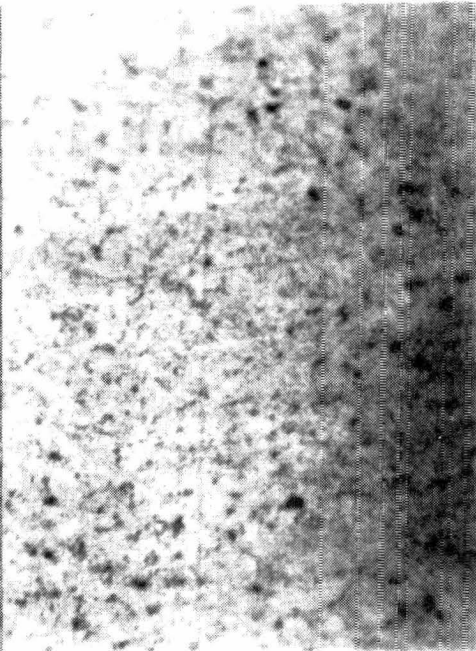
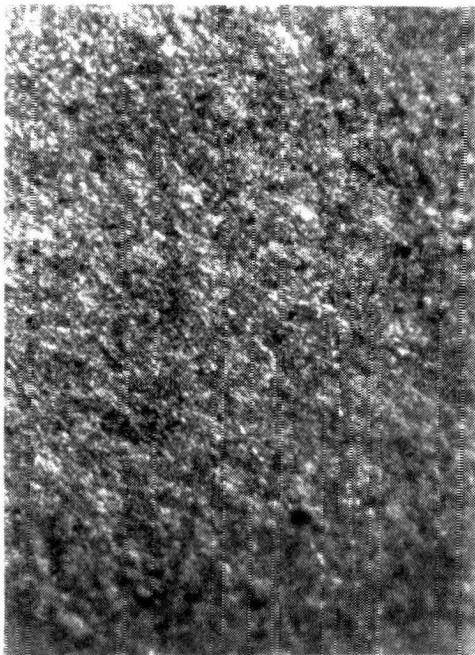


Fig. no. 14 (Sup. Izq.)

Fig. no. 15 (Sup. Der.)

Fig. no. 16 (Inf. Izq.)

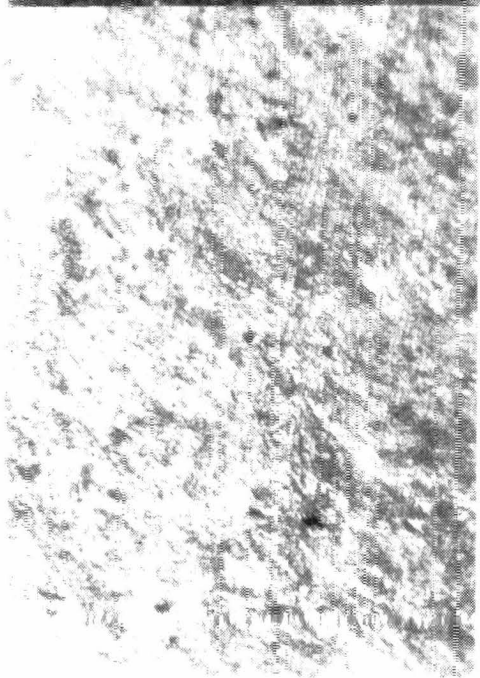




Fig. no. 17 (Sup. Izq.)



Fig. 18 (Sup. Der.)

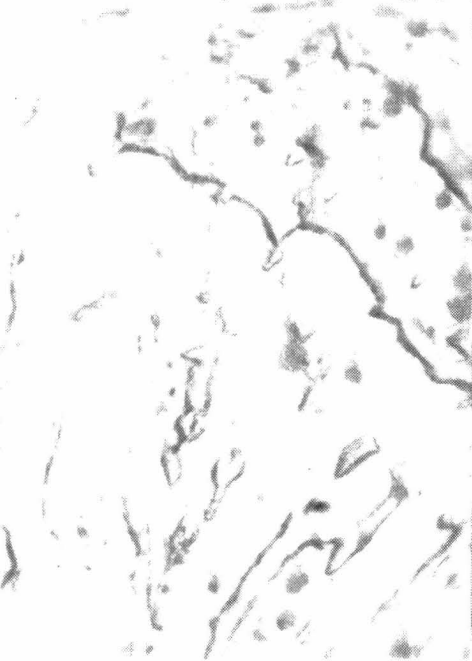


Fig. no. 19 (Inf. Izq.)



Fig. 20 (Inf. Der.)

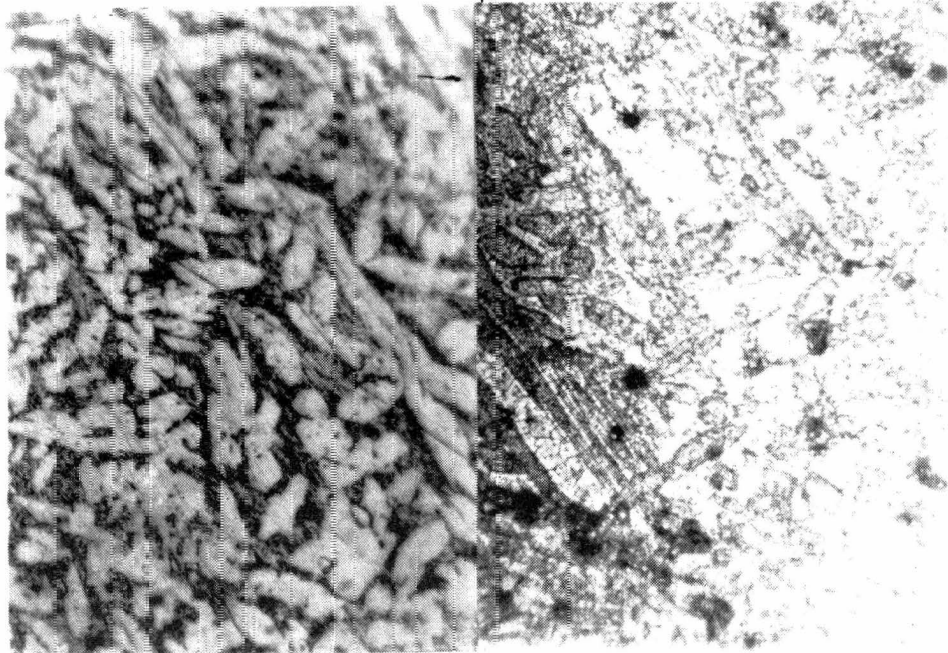


Fig. no. 21 (Sup. Izq.)

Fig. no. 22 (Sup. Der.)

Fig. no. 23 (Inf. Izq.)

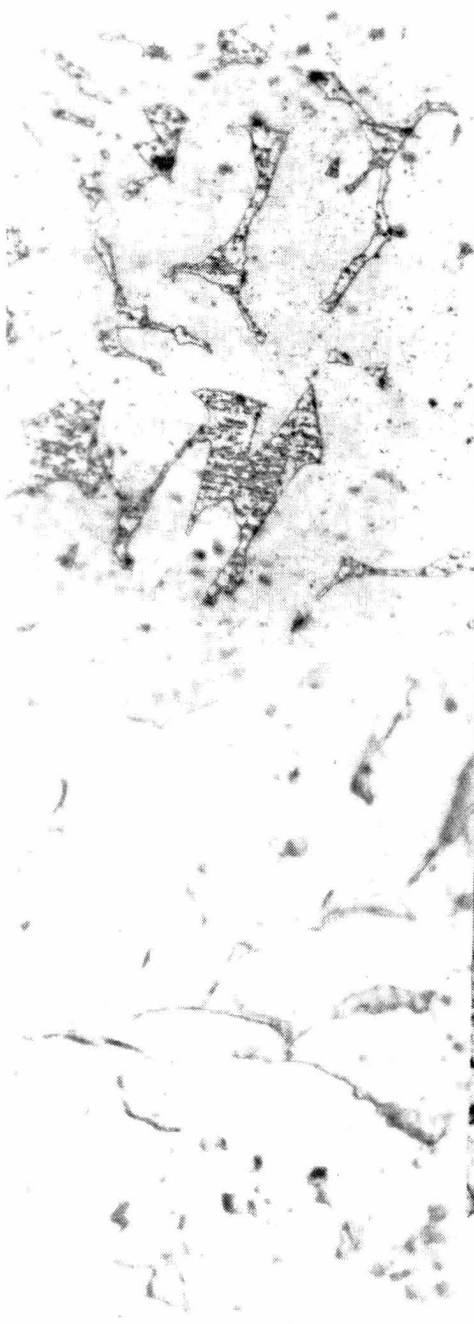


Fig. no. 24 (Sup. Izq.)

Fig. no. 26 (Inf. Izq.)



Fig. no. 25 (Sup. Der.)

Fig. no. 27 (Inf. Der.)

ción peritética. A 585.5°C esta fase se descompone, según la reacción eutéctica, formando la mezcla eutéctica alfa + gamma. A 519°C la fase gamma también se transforma en alfa + delta. A 350°C muestra una nueva transformación eutéctica de la fase delta dando lugar a la mezcla alfa + epsilon. Debido a que esta última reacción requiere mucho tiempo para realizarse, en las aleaciones comerciales no existe epsilon. A temperaturas inferiores a 585.5°C la pendiente de la línea de solubilidad del solidus indica una disminución considerable en la solubilidad del estaño en la fase alfa. Sin embargo, la precipitación de la fase delta + epsilon, originada por esta variación de la solubilidad se lleva a cabo tan lentamente que para las aplicaciones industriales se considera que a temperaturas inferiores a los 585.5°C la línea de solubilidad del solidus coincide con la línea vertical de trazos indicada en el diagrama. Por esta razón las fundiciones de bronce ordinario enfriadas lentamente cuyo contenido de estaño es inferior al 7% están constituidas por una sola fase alfa. Por el contrario, en la mayoría de las fundiciones con un contenido de estaño superior al 7% aparece además de la fase alfa algo de fase delta. La estructura alfa de un bronce fosforado según lo muestran las figs. 28, 29 y 30, las cuales fueron atacadas con los reactivos 2, 3 y 4 respectivamente, obteniéndose mejores resultados de ataque con los reactivos 2 y 4. Ver. figs. 28 y 30 respectivamente mostrando pequeñas partículas de fase delta en una matriz alfa. La fig. no. 30 muestra fase alfa (oscuro) y fase delta (claro).

COBRE AL CADMIO

La adición del cadmio (1% máximo) se usa para mejorar las características de resistencia a la tracción manteniendo casi íntegras las propiedades de conductividad térmica y eléctrica del cobre puro. Esta aleación industrialmente se encuentra en solución alfa como lo muestran las figs. no. 31 (corte transversal) y no. 32 (corte longitudinal) y atacadas con los reactivos 2 y 4 respectivamente. Contenidos mayores de cadmio producen una segunda fase beta, perjudicial para los fines de conductores eléctricos.

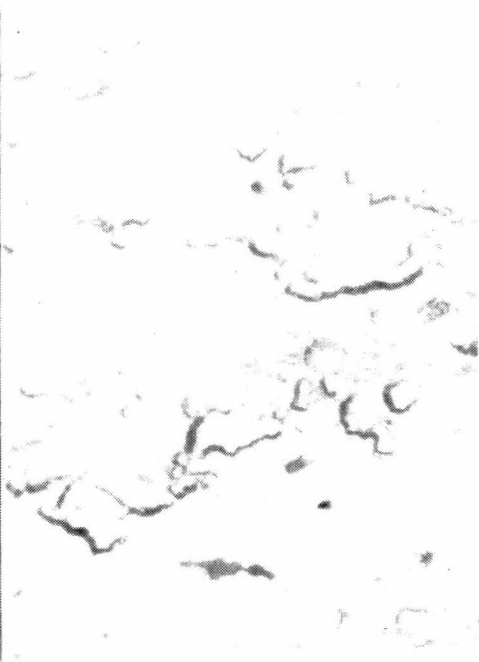
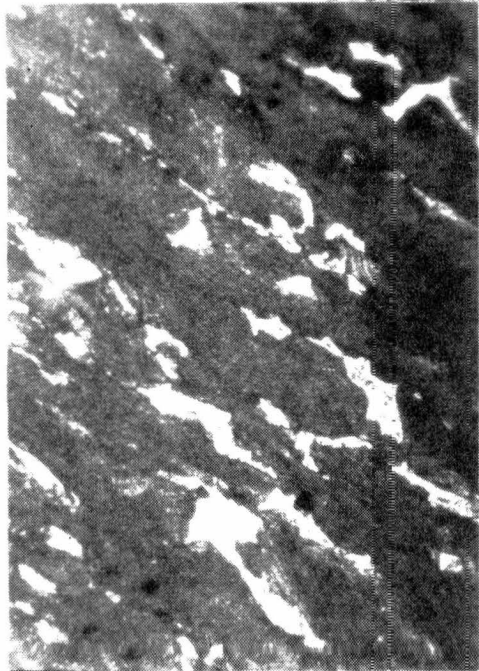


Fig. no. 28 (Sup. Izq.)

Fig. no. 29 (Sup. Der.)

Fig. no. 30 (Inf. Izq.)

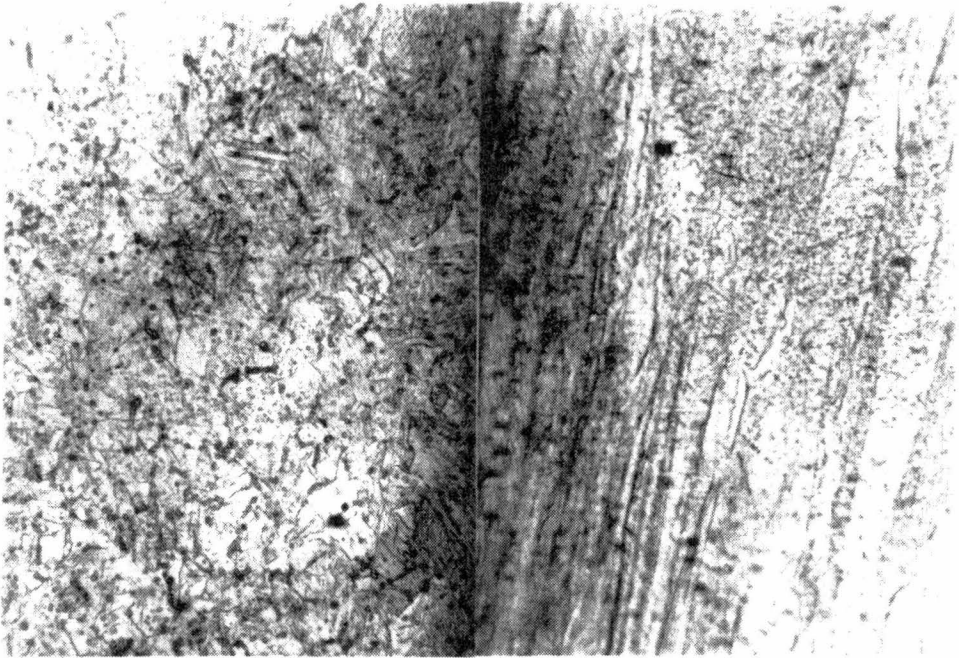


Fig. no. 31

Fig. no. 32

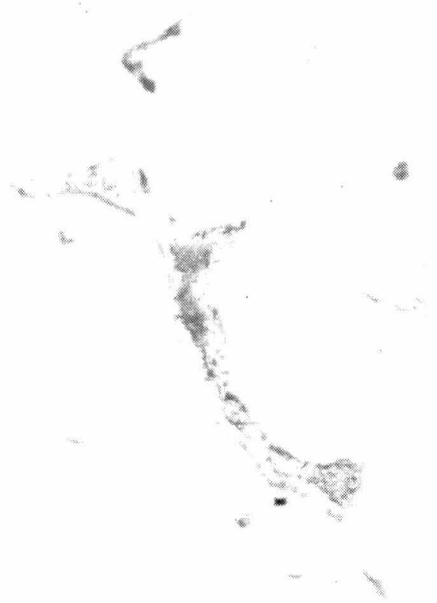
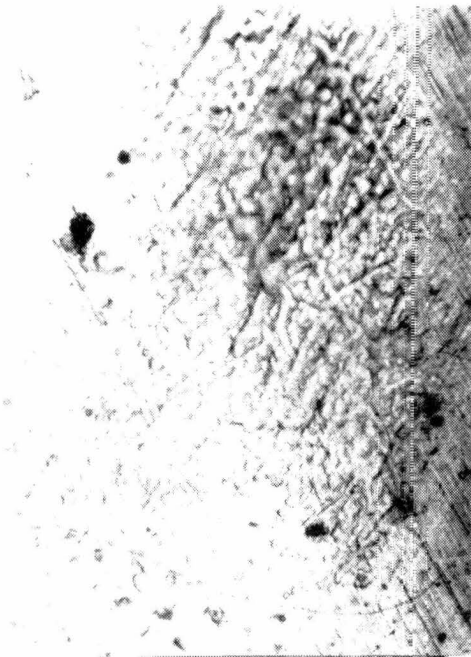


Fig. no. 33 (Sup. Izq.)

Fig. no. 34 (Sup. Der.)

Fig. no. 35 (Inf. Izq.)

CAPITULO VI .

CONCLUSIONES.-

1.- El estudio metalográfico de las muestras standard es muy importante, ya que de su estructura cristalina dependen en gran parte sus propiedades físicas. De aquí la importancia de tener muestras standard metalográficas para su comparación con la producción.

2.- Es indispensable el conocimiento del análisis químico de las muestras standard del Cu y sus aleaciones para poder ubicar y conocer a fondo la metalografía.

3.- Relacionando la composición química, así como otros factores en el proceso de producción de los metales y aleaciones (tales como temperatura de fusión, de colada, condiciones de enfriamiento, deformaciones en frío ó en caliente, tratamientos térmicos, etc) y observando su estructura metalográfica podemos eliminar ó corregir errores en el proceso de fabricación de productos de Cu ó sus aleaciones.

4.- Sería interesante que en tesis subsecuentes se propusieran sistemas y métodos adecuados de análisis químicos y práctica en general para la fabricación de éstas muestras standard de Cu y sus aleaciones, y así ofrecerlas en servicio a la industria, ya que en el mercado nacional sólo existen de importación.

5.- Sería conveniente que al elaborar muestras standard para el Cu y sus aleaciones se proporcionaran con certificado de estudio metalográfico y análisis químico.

6.- Este certificado deberá ser proporcionado de preferencia por un instituto de la UNAM ó de un laboratorio de reconocido prestigio.

BIBLIOGRAFIA

- H. Wright Baker D. Técnicas Modernas del Taller
Tomo II
Tecnología de los Materiales
no Ferrosos.
Ed. River, S.A.
Madrid 1964
- Sidney H. Avner Introducción a la Metalúrgia
Física.
Talleres Gráficos de Ed. Cag
tilla, S.A.
Madrid 1966
- Joan Herenguel Metalúrgia Especial Tomo II
El Cu y sus aleaciones
Ed. Urmo
Bilbao 1971
- Dra. Nora Lindenvald La estructura de los Metales
Ed. Prensa Universitaria
Buenos Aires, Argentina 1968
- George L. Kehl Fundamentos de la Práctica
Metalográfica.
Ed. Aguilar
Madrid 1963
- Richard Henry Greaves Metalografía Microscópica
y Práctica.
Harold Wrighton Ed. Urmo
Bilbao 1966