



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales



**"EL COBRE Y SUS ALEACIONES
EN LA INGENIERIA QUIMICA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

OLGA PATRICIA LOPEZ RAMIREZ

ASESOR: IQM RAFAEL SAMPERE MORALES

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
El Cobre y sus aleaciones en la Ingeniería Química.

que presenta la pasante: Olga Patricia López Ramírez
con número de cuenta: 8754040-6 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Química

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 4 de enero de 1996

PRESIDENTE	<u>I. Q. I. Alvaro del Real</u>	
VOCAL	<u>I. Q. Cecilia González Ibarra</u>	
SECRETARIO	<u>I. Q. M. Rafael Sampedro Morales</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I. Q. C. Eligio Pastor Hivero</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I. Q. M. Elena Quiroz Macías</u>	

**Dedico este trabajo especialmente y con mucho amor,
a las dos personas más importantes de mi vida :
Mi esposa y mi hija.**

AGRADECIMIENTOS

A mi esposo, Luis Antonio Bernabé Quintana, por ser quien, con su amor y comprensión, ha estado junto a mí en todo momento, impulsándome para lograr una de las metas más anheladas de mi vida. Gracias.

A mi hija, Viviana, quien con su cariño y ternura ha sido la fuente de inspiración que me ha motivado a finalizar mis estudios, por compartir los momentos más especiales siempre con una sonrisa.

A mi madre, Guadalupe Ramírez Ruiz, por el amor y apoyo incondicional que me ha brindado hoy y siempre, y por ser parte fundamental de mi desarrollo como persona, enseñándome los valores más bellos de la vida.

A mi padre, Francisco López Solís, por ser para mí un ejemplo de tenacidad y responsabilidad.

A mis hermanos, Susana y Mauricio, por todo lo que hemos compartido juntos y por alentarme a seguir adelante, siempre con tanto amor.

A toda mi familia, por estar siempre conmigo y por el apoyo que me brindaron cuando lo necesite.

Al Sr. Román Falcón Angeles, por estar siempre pendiente de mí y de mi familia.

A la Sra. Teresa Quintana Mercado, por ayudarme siempre que la necesite.

A mis cuñados, por el apoyo que me han dado para la realización de este trabajo, especialmente a Miguel Angel Bernabé Quintana.

A mi asesor de tesis, Ing. Rafael Sampedro Morales, por compartir conmigo sus conocimientos, los cuales fueron de gran utilidad para la realización de esta tesis.

A los compañeros y amigos que han seguido de cerca la terminación de mi carrera.

Y, en general, a todas las personas que han contribuido de una o de otra forma para que yo haya logrado realizar uno de mis más grandes anhelos.

A todos ustedes, gracias.

INDICE.

6

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO I.

- Breve historia del cobre y sus aleaciones.
- Producción nacional.

CAPÍTULO II.

- Estructura y enlace de los metales.
- Estructura atómica.
- Tipos de enlace.
- Estructura cristalina.
- Redes espaciales.

CAPÍTULO III.

- Esfuerzo y deformación.
- Pruebas mecánicas.
 - De tensión.
 - De impacto.
 - De fatiga.
 - De fluencia.
- Trabajo en frío.
- Dureza.
- Efecto de la temperatura en las estructuras metálicas.

CAPÍTULO IV.

- Definiciones relativas a la aleación.
 - Sistema.
 - Componentes.
 - Equilibrio.
 - Solución sólida.
 - Fases.
 - Diagrama de equilibrio.
- Diagramas de fase.
 - Binarios.
 - Regla de la palanca.
 - Para aleaciones polifásicas.
 - Eutectoides.
 - Ternarios.

CAPÍTULO V.

- Aleaciones metálicas.
 - Aleaciones ferrosas.
 - Aleaciones no ferrosas.
 - Metales preciosos.

CAPÍTULO VI.

- El cobre y sus aleaciones.
- Estado del cobre en la naturaleza.
- Propiedades físicas y químicas del cobre.
- Clasificación del cobre y sus aleaciones.
 - Los cobses propiamente dichos.
 - Cobses débilmente aleados.
 - Aleaciones con alto contenido de cobre.
 - Latones.
 - Latones con plomo.
 - Latones especiales.
 - Bronces.
 - Cuproaluminios.
 - Cuproníqueles.
 - Alpacas.
 - Alpacas con plomo.

CAPÍTULO VII.

- Aplicaciones del cobre y sus aleaciones.
- Ejemplo de aplicación del cobre y sus aleaciones.

CONCLUSIONES.**GLOSARIO.****BIBLIOGRAFIA.**

INTRODUCCION

En la actualidad existe gran variedad de materiales empleados en la industria, cada uno de los cuales presenta determinadas características que permiten sus diversas aplicaciones. El uso de cada uno de ellos se ve afectado directamente por diversos factores: económicos, de disponibilidad, utilidad, etc. De tal manera, que algunos materiales suelen ser muy costosos y de uso muy específico. Es por ello que es necesario buscar materiales alternativos que muestren mayor utilidad y diversifiquen sus aplicaciones dentro de la industria, disminuyendo factores negativos en su adquisición y uso.

El objetivo principal de esta tesis es exponer al cobre y a sus aleaciones como una buena alternativa dentro de la selección de materiales. Poniendo a consideración sus propiedades, características y aplicaciones. Lo cual permite ser un soporte bibliográfico a las asignaturas relacionadas con la selección de materiales dentro de la carrera de Ingeniería Química, ya que se tiene la ventaja de presentar información concisa y específica sobre este metal.

Históricamente el cobre fue uno de los materiales de mayor importancia debido a que se encontraba en estado nativo en el suelo. Aunque en la actualidad los yacimientos de cobre metálico están prácticamente agotados y es necesario extraer el cobre de los minerales que lo contienen (generalmente sulfuros y óxidos) y su consecuente refinación para su utilización.

Sin embargo, esto no resta importancia a su uso ya que las propiedades que lo caracterizan lo hacen un material de gran valor.

El cobre exhibe buena resistencia a las atmósferas urbanas, marinas e industriales así como a las acuosas. El cobre es un metal noble y la hidrogenación no es usualmente parte del proceso de corrosión. Por esta razón no es corroído por ácidos a menos que, esté presente el oxígeno u otros agentes oxidantes. Por ejemplo, la reacción entre el cobre y el ácido sulfúrico no es termodinámicamente posible, pero la corrosión procede en presencia de oxígeno y los productos son sulfato de cobre y agua. Este hecho basta para explicar su insustituibilidad en muchas aplicaciones, para las que la resistencia a la corrosión es un factor esencial.

Otra característica importante del cobre es su conductividad eléctrica. Únicamente la plata le supera ligeramente debido al carácter de enlace que presenta cada uno de ellos. Así se explica el formidable aumento de consumo de cobre coincidente con la era de la electricidad. Actualmente casi el 50% del consumo del cobre se debe a la industria eléctrica.

Así mismo, el cobre presenta alta conductividad térmica debido, principalmente, al hecho de que cuenta con electrones de conducción que permiten la transferencia de la energía vibratoria, desde una región de alta temperatura hasta una región de baja temperatura.

Además, el cobre presenta una gran maleabilidad que facilita su trabajo. También la recuperación de chatarras es particularmente fácil y contribuye en una parte importante al abastecimiento del mercado.

Hay que decir, también, que el cobre no se utiliza siempre en estado metálico. Los compuestos de cobre (óxidos y sales) encuentran numerosas aplicaciones en la industria y sobre todo en la agricultura.

Sin embargo, el cobre no puede servir sin más para todos los usos, sobre todo para los que requieren gran resistencia mecánica, buena maquinabilidad, gran resistencia a las temperaturas elevadas, al desgaste, etc.

En estos casos, se puede recurrir a las aleaciones del cobre con porcentajes variables de otros metales tales como : zinc, aluminio, estaño, níquel, hierro, etc. Además de las aleaciones que contienen menos del 50% de cobre, tales como el monel y aleaciones para resistencias eléctricas.

Debemos también señalar el papel del cobre como elemento de adición (centésimas o milésimas) a diferentes metales como el acero, la fundición, el aluminio y el zinc.

Pero, todas estas características del cobre y sus aleaciones habrán de analizarse con mayor profundidad en el presente trabajo.

Primero, se dará una breve reseña histórica del cobre y sus aleaciones, su posible descubrimiento y su uso en diferentes épocas.

En seguida se dará una introducción a las estructuras y enlaces químicos, estableciendo cómo las propiedades de los materiales dependen directamente de ellos así como de la estructura que presentan. Además de analizar el efecto que tienen sobre ellos tanto el esfuerzo como la temperatura, presentando algunos de los ensayos mecánicos más importantes aplicados a los materiales.

Posteriormente, se examinarán los tipos de aleaciones, ferrosas y no ferrosas, el grupo al que pertenece el cobre, así como los diagramas de fases o de equilibrio referentes a estas aleaciones que sirven como una valiosa herramienta para entender el comportamiento de éstas a diferentes temperaturas.

También se presentarán los aspectos generales del cobre y sus aleaciones, una clasificación general y se estudiará a cada uno de los grupos principales por separado, presentando sus propiedades (químicas, físicas y mecánicas) así como sus aplicaciones.

Finalmente, se presentará un ejemplo de las aplicaciones del cobre y sus aleaciones dentro de la Ingeniería Química.

CAPÍTULO I

CAPITULO I

BREVE HISTORIA DEL COBRE Y SUS ALEACIONES.

La historia de los metales y la utilización que el hombre ha hecho de ellos, claramente se ha perdido en el tiempo. Probablemente fue el oro el primer metal que se utilizó, tomando en cuenta su abundancia en la naturaleza. Este metal en estado puro, tiene una gran maleabilidad, es decir es fácil de trabajar. Sin embargo, tiene el inconveniente de que el hombre sólo puede trabajarlo para objetos de adorno, ya que por su gran maleabilidad no se puede trabajar en la fabricación de utensilios y herramientas. Este descubrimiento indujo al hombre a buscar nuevos materiales para hacer objetos ornamentales más resistentes y en su búsqueda encontró al cobre.

El descubrimiento del cobre se remonta a la prehistoria y no se tienen datos de cuando se empezó a usar, se supone que se empezó a trabajar hace unos 7000 años, es decir, en el siglo VI a.C.

Las primeras civilizaciones que conocieron el cobre fueron los sumerios y los egipcios. Se tienen datos del uso del cobre entre los sumerios desde el año 4000 a.C. y de los egipcios desde el año 3200 a.C.. Se sabe que los chinos lo usaron desde el año 3000 a.C. y que los hindúes lo conocieron por lo menos desde el año 2800 a.C.

Los romanos traían su cobre desde Chipre, en donde ya se producía este metal desde el año 2800 A. C. Debido a que los romanos traían este metal desde Chipre lo llamaron "Aes Cyprium" de donde se derivó la palabra latina cuprum y de ésta al inglés copper, al alemán kupfer, al francés cuivre y al español cobre. Es también del latín de donde se derivó el símbolo químico Cu.

En el siglo XIII a.C. los fenicios, que eran un pueblo marino y comerciante, se establecieron en Cádiz donde encontraron la mina de pirita de cobre más grande del mundo. Después de la primera guerra púnica, esas minas pasaron a manos de los romanos.

Los romanos, conocidos por su talento técnico, para explotar los yacimientos del cobre y abrir las minas, calentaban las piedras con fuego y después las enfriaban bruscamente con agua. Con este procedimiento desmoronaban las piedras hasta extraerles el cobre que contenían.

La edad del bronce empezó desde que a algún inventor se le ocurrió añadir un poco de estaño al cobre y se dio cuenta de que el cobre así tratado era más fácil de fundirse y de trabajarse, y que una vez frío era más duro que el cobre puro.

Los primeros que fundieron el cobre fueron los sumerios quienes usaron como combustible carbón vegetal. No se conoce la forma en que se obtenía la temperatura suficiente, pero se puede decir que hacían los hornos de arcilla con una abertura hacia la dirección del viento dominante y se puede suponer que los usados por egipcios eran muy parecidos. Posteriormente se usaron fuelles para crear la corriente de aire. Más tarde estas técnicas las tomaron los romanos, quienes las perfeccionaron y las llevaron a toda Europa; estas técnicas romanas permanecieron inalteradas hasta el siglo XIX, en ese siglo se empezaron a usar en América en donde se desarrolló la fundición en su concepto moderno.

En 1869, la Calumet and Hecla Co. era la primera productora de cobre del mundo, el extraer 6000 Ton./año del metal. En 1877, las minas de Río Tinto (España), consiguieron ponerse al frente de los productores con 25000 Ton./año, manteniéndose en ese lugar hasta que fueron desplazadas en 1892 por la Anaconda Copper Co. (Estados Unidos) que produjo 34000 Ton/año.

A partir de 1892 y gracias al descubrimiento de minas de minerales de baja ley en el Oeste y Suroeste de los Estados Unidos y a su posibilidad de explotación debido a la introducción del proceso de flotación, los Estados Unidos se han mantenido en el primer lugar como productores de cobre, pero si bien la producción norteamericana equivale al 58% de la mundial en 1900 hoy en día esta producción es mucho más baja.

Los grandes yacimientos de mineral existentes en América del Sur, sobre todo en Chile, han permitido que éste país haya conseguido colocarse como segundo productor de cobre en los últimos años. En África, existen también extensos yacimientos, pudiéndose citar como productores importantes del metal a Zambia, Zaire y Sudáfrica.

Debido a la creciente demanda del cobre, el aprovechamiento de la chatarra del cobre se ha vuelto una gran preocupación desde principios de siglo, de manera que entre 1907 y 1943 se recuperaron tan sólo en los Estados Unidos 14 millones de toneladas de cobre, hoy en día grandes cantidades de metales se recuperan de la chatarra y se conocen con el nombre de metales secundarios, que vuelven a encontrar utilidad como metales puros, aleaciones o compuestos químicos. Los metales secundarios han adquirido gran importancia en los últimos años debido a sus implicaciones económicas y su ingerencia en la protección del medio ambiente y los recursos naturales no renovables.

PRODUCCIÓN NACIONAL.

La explotación de minerales del cobre se inicia en México desde la época precortesiana, los antiguos habitantes de México la usaban para la fabricación de numerosos objetos ornamentales.

En la época de la colonia la primera mina que se explotó fue la del "Socavón del Río" (hoy Taxco). En 1598, se descubrió la mina de la Hujula en Durango. En 1768, se descubrió la mina de la cuchilla Dorada en Chihuahua y en 1862 se empezaron a explotar las minas de Boleo y Cananea.

Para el año 1900 la producción de cobre en México era 22473 T. Esta producción aumentó rápidamente hasta el año 1905 cuando la producción del metal rojo fue de 65,449 T. Durante la época de la revolución y de la guerra mundial, la producción disminuyó bruscamente. Posteriormente la producción de este metal se recuperó y alcanzó la cifra de 702000T.

La producción de cobre estuvo fluctuando alrededor de esta cifra con cierta tendencia a aumentar hasta el año 1929 cuando se alcanzó el récord nacional de todos los tiempos al obtenerse una extracción de 86,559 T. La producción promedio de cobre para el periodo de 1900 a 1949 fue de 48,089 T. La producción de cobre tuvo otro pico en 1956 cuando se extrajeron 79,168 T. A partir de esta fecha hubo una pronunciada tendencia a la baja, obteniéndose en 1968 sólo 61,110 T de Cu. El promedio de producción para el periodo de 1950 a 1968 fue de 67,447. Es significativo que en el periodo de 1964 a 1969, el promedio de producción ha disminuido a 56,200 T. Durante el periodo de 1950 a 1968 la tasa de crecimiento anual de la producción de cobre ha sido de 0.52%, lo que indica que se estancó debido a la falta de ampliación de las instalaciones ya existentes y a la falta de nuevas instalaciones que se dedicarían a su explotación.

CAPÍTULO II

CAPITULO II

Como ya se ha comentado las características del cobre son propias del grupo de metales de la familia IB de la tabla periódica. Sus altas conductividades eléctricas y térmicas, su maleabilidad, ductilidad y alta resistencia a la corrosión lo hacen un material de gran importancia industrial.

Pero, para entender a qué se deben estas singulares e importantes características es necesario saber cómo y qué son los metales, qué tipos de enlaces tienen y cómo es la estructura atómica que los conforman.

ESTRUCTURA Y ENLACE DE LOS METALES.

El origen de las propiedades de los materiales provienen directamente de las características de los átomos o moléculas que los integran.

La dependencia de las propiedades a la conformación estructural, es un concepto básico en la Ciencia de los materiales. Una de las ventajas de este nuevo enfoque estructural es la de su mayor simplicidad. Con el enfoque antiguo se pueden buscar las propiedades mecánicas tabuladas en el manual. Sin embargo, si el material va a ser sometido posteriormente a un proceso para fabricar un componente, es bastante más fácil predecir cómo van a cambiar sus propiedades teniendo el conocimiento básico de cómo cambiar esas microestructuras, que de solo tener los datos extraídos de un manual (si esos datos se pudieran hallar). Adicionalmente, se puede obtener información valiosa observando los cambios en la estructura durante su empleo, al analizar el éxito o fracaso de un componente bajo condiciones complejas de uso, entre las cuales pueden estar : el desgaste, el impacto, la fatiga y otros problemas.

Si analizamos el área completa de materiales para Ingeniería, encontramos tres grupos principales :

- 1.- Metales : acero, cobre, hierro fundido, etc.
- 2.- Cerámicos : vidrio, ladrillo, cemento, etc.
- 3.- Plásticos y otros polímeros mayores : polietileno, caucho, etc.

Las diferencias en las características de cada grupo tienen su origen en diferencias básicas que hay en su estructura y en el enlace entre átomos y grupo de átomos.

ESTRUCTURA ATÓMICA

Para poder entender este concepto es útil pensar que el átomo libre está constituido por tres partículas elementales:

- a) Electrones, partículas pequeñísimas de electricidad negativa.
- b) Protones, partículas de electricidad positiva y
- c) Neutrones, partículas eléctricamente neutras.

El átomo consta de un diminuto núcleo de carga positiva, formado de protones y rodeado por un número suficiente de electrones que mantienen al átomo como un todo eléctricamente neutro. Como el electrón y el protón tienen cargas iguales pero eléctricamente opuestas, el átomo neutro debe contener un número igual de electrones y protones.

Las capas de los electrones pueden visualizarse como aureolas concéntricas de electricidad negativa con sus densidades mayores concentradas, aunque no es posible determinar la órbita exacta de un electrón, más bien su posición, se determina por la probabilidad de que se encuentre en cierta región del átomo. Esta probabilidad se representa matemáticamente por cierta función de onda que conduce a cuatro unidades conocidas como los números cuánticos n , l , m , m_s . De éstos, n es el número cuántico principal relacionado con la energía total del electrón en un estado específico y puede tener los valores de $n = 1, 2, 3, \text{etc.}$ El segundo número cuántico l , es la medida de la cantidad de movimiento angular del electrón y puede tener los valores de 0 a $(n-1)$. Las letras s, p, d, f, g y h , han sido introducidas para significar $l = 0, 1, 2, 3, 4$ y 5 de tal modo que el nivel de energía correspondiente a $n = 1$ y $l = 0$ se llama $1s$. El número cuántico m está relacionado con la componente de la cantidad de movimiento angular en una dirección específica y puede tener los valores de $+1$ a -1 , incluyendo cero. El cuarto número cuántico m_s , está relacionado con el espín del electrón sobre su propio eje, puede tener el valor de $0 + - 1/2$, dependiendo de la dirección del espín.

El estado de un electrón queda completamente especificado por los cuatro números cuánticos y no hay dos electrones en un átomo que puedan tener los cuatro números cuánticos iguales. Esto permite agrupar los elementos que muestran semejanzas en sus propiedades.

De tal manera que los elementos químicos puedan clasificarse aproximadamente en tres grupos: metales, metaloides y no metales.

Los elementos considerados como metales se distinguen por varias propiedades características:

- a) En el estado sólido existen en forma de cristales.
- b) Presentan alta conductividad térmica y eléctrica.
- c) Tienen la habilidad de ser deformados plásticamente (maleabilidad).
- d) Tienen alta reflectividad a la luz (lustre metálico).
- e) Son pesados y de alta densidad, que pueden moldearse después de que se han calentado a elevadas temperaturas.

Los metaloides se parecen a los metales en algunos aspectos y a los no metales en otros. Los no metales incluyen a los gases inertes y no cubren las características mencionadas anteriormente.

TIPOS DE ENLACE

La manera en la cual los átomos o moléculas de un sólido se mantienen unidas es mediante enlaces químicos. Existen cuatro tipos de enlaces posibles:

1. Enlace metálico
2. Enlace iónico
3. Enlace covalente
4. Fuerzas de Van Der Waals

1. ENLACE METÁLICO. Anteriormente se estableció que la estructura atómica de cualquier elemento está compuesta de un núcleo cargado positivamente, rodeado por los electrones que giran a diferentes distancias. El número atómico es igual al número de electrones que están alrededor del núcleo. Sabemos además que estos electrones están localizados en diferentes niveles de energía llamadas "capas" o "anillos".

Una característica común a los elementos metálicos es que tienen solamente uno, dos, o tres electrones en la capa externa y están enlazados en forma relativamente libre del núcleo, porque están menos fuertemente unidos y son capaces de moverse a través de la estructura del metal. Así, por ejemplo, cuando colocamos juntos un cierto número de átomos de magnesio, los electrones exteriores abandonan los átomos individuales y forman un "gas de electrones" común (Véase Fig 2.1). Por lo tanto, los átomos se convierten en iones Mg^{2+} . Estos se repelen entre sí pero permanecen en el bloque gracias a la atracción entre los electrones negativos y los iones positivos. El resultado final es que los iones Mg^{2+} se organizan en un patrón regular.

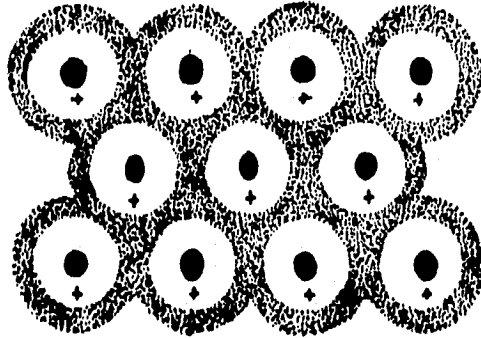


FIG. 2.1 Átomos (iones) en el magnesio sólido rodeados por un gas de electrones

Detengámonos un momento y consideremos cómo este modelo sencillo nos ayuda a entender algunas propiedades metálicas mencionadas anteriormente.

Primero, podemos explicar la alta conductividad eléctrica del cobre y los metales. Si aplicamos un voltaje a través del cristal, los electrones (que están enlazados débilmente) se moverán con facilidad produciendo una corriente. Luego podemos entender la ductilidad o capacidad para deformarse sin fractura hasta cierto límite. Los átomos están empaquetados correctamente en planos. Si aplicamos un esfuerzo cortante, como en el caso de la Fig. 2.2 un plano se desplazará sobre el otro y no se presentará fractura porque las mismas fuerzas interatómicas operan aún después de que se desplaza un diámetro atómico.

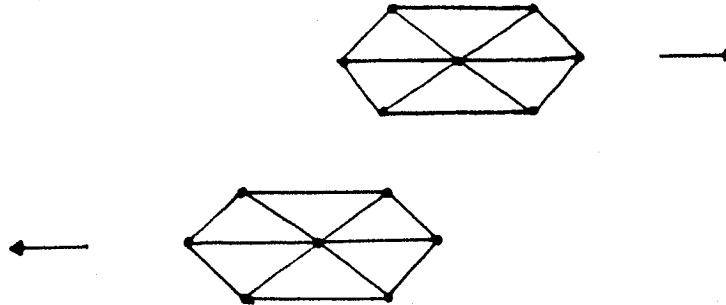


FIG. 2.2 Deslizamiento entre los planos atómicos compactos en el magnesio.

2. ENLACE IÓNICO. Es el enlace interatómico más fácil de describir, el cual resulta de la atracción mutua de las cargas positivas y negativas, ocurre entre elementos metálicos y no metálicos.

Por la química sabemos que en un elemento no metálico la capa exterior contiene un mayor número de electrones que la de un metal. Por ejemplo, la capa externa de un átomo de cloro contiene siete electrones y existe una fuerza motriz muy fuerte para atraer un electrón y formar así un grupo estable de ocho. Cuando reacciona con un sólido que tiene un electrón de valencia, un átomo de sodio por ejemplo, el sodio entrega su electrón para formar una capa exterior estable en el cloro. Esto se denomina enlace iónico porque se forman iones de Na^+ y Cl^- , los cuales se atraen naturalmente debido a sus cargas opuestas. Ver Fig 2.3.

Ya que siempre hay una atracción entre los materiales cargados positivamente y los cargados negativamente, se forma un enlace entre los dos iones vecinos de cargas distintas.

Una carga negativa posee una atracción hacia todas las partículas con cargas positivas, y una carga positiva hacia todas las partículas cargadas negativamente. En consecuencia, todos los iones de sodio se rodean así mismos con tantos iones de cloro como es posible, y los iones de cloro se rodean con el máximo número de iones de sodio positivos, siendo la atracción igual en todas las direcciones. El mayor requisito en un material unido por enlaces iónicos es que el número de cargas positivas sea igual al número de cargas negativas.

Como estas atracciones involucran a todos los vecinos, los materiales unidos por enlaces iónicos pueden ser muy estables, particularmente si están involucrados iones multivalentes. Si se disuelve cloruro de sodio en agua los iones existen independientemente en solución. Sin embargo en un cristal de cloruro de sodio los iones se organizan en una estructura balanceada eléctricamente.

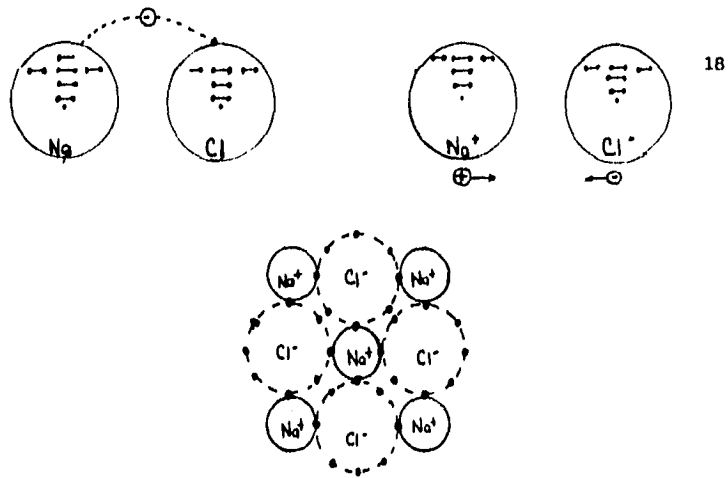


FIG. 2.3 (a) Transferencia de un electrón del orbital externo del sodio al cloro.
 (b) Los iones positivos y negativos resultantes se atraen mutuamente (por fuerzas Coulomb) para formar un enlace iónico.

Comparamos las propiedades de ésta estructura con las de la estructura metálica. La conductividad eléctrica del sólido es menor en varios órdenes de magnitud que la de los metales, debido a que los electrones no están libres en el gas de electrones, sino firmemente sostenidos en su lugar. El cristal se fractura de manera frágil debido a que cuando tratamos de deslizar un plano de iones sobre otro, los campos eléctricos de iones diferentes se oponen. Es más, la fractura sigue planos de ruptura que posee cierta organización iónica.

3. EL ENLACE COVALENTE. Los átomos de algunos elementos pueden alcanzar una estructura electrónica estable al compartir uno o más electrones con átomos adyacentes. En este caso, los iones no se forman, sino que el fuerte enlace se debe a la atracción que efectúan los núcleos positivos sobre los electrones compartidos. El enlace covalente es típico de la mayoría de las moléculas de gas.

El que los enlaces covalentes constituyen fuerzas de atracción fuertes entre los átomos queda evidenciado en el diamante, el cual es el material más duro encontrado en la naturaleza, y el cual es carbono en su totalidad. Cada carbono tiene cuatro electrones de valencia. Estos están compartidos con los átomos adyacentes para formar una red tridimensional unida totalmente por pares covalentes. La fuerza del enlace covalente en el carbono está demostrada no sólo por la dureza del diamante, sino también por la temperatura alta ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) a la cual puede ser calentado antes de que su estructura sea destruida (fundida) por la energía térmica. Al contrario de las atracciones coulombianas, las cuales reúnen a tantos iones desiguales en posiciones vecinas como el espacio lo permita, los enlaces covalentes deben formarse entre átomos específicos, en el diamante de la figura 2.4 el número de vecinos está limitado por el número de enlaces y no por el espacio disponible.

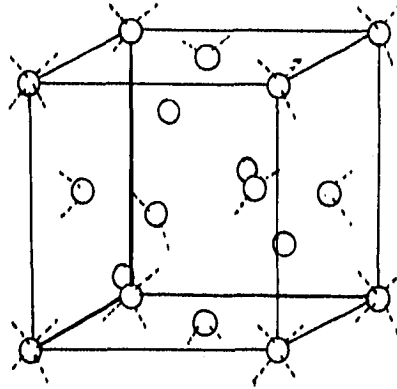


FIG. 2.4 Estructura del diamante. La fuerza de los enlaces covalentes es lo que produce la gran dureza del diamante.

4. EL ENLACE DE VAN DER WAALS. Este tipo de enlace ocurre, hasta cierto punto, en todos los materiales pero es especialmente importante en los plásticos o polímeros mayores.

Dentro de la molécula, los enlaces covalentes son muy fuertes y únicamente se rompen bajo condiciones extremas. Los que tienen gran importancia son los enlaces intermoleculares que acompañan el deslizamiento, y finalmente se rompen. A estos enlaces se les llama "Fuerzas de Van Der Waals".

Aún cuando los enlaces iónicos y covalentes se encuentran presentes, existe algún desequilibrio en la carga eléctrica en la molécula. Por ejemplo, podemos demostrar que en una simple molécula de agua los átomos de hidrógeno están conectados con el oxígeno por medio de enlaces que forman un ángulo de 105° . Esto produce una polaridad positiva en el extremo rico en hidrógeno de la molécula y una polaridad negativa en el otro extremo. Como resultado de esto, las moléculas se atraen unas a otras. Esta es la fuerza que mantiene unidas las moléculas del agua cuando se encuentran en estado líquido, a medida que las moléculas van creciendo, aumenta el total de las fuerzas de Van Der Waals entre las moléculas. Véase la Fig. 2.5

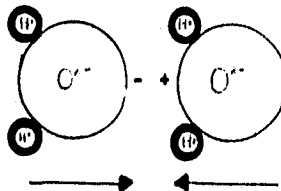


FIG. 2.5 Fuerzas de Van Der Waals entre moléculas de agua.

ESTRUCTURA CRISTALINA

Anteriormente se mencionó que las propiedades de un sólido dependen tanto de la disposición de los átomos como de la fuerza de enlace entre ellos. Se sabe que las estructuras regulares conducen a estructuras sólidas regulares cristalinas, como en el caso de las piedras preciosas, y que los sólidos amorfos no forman estructuras cristalinas.

Entre estos extremos están otras categorías, como los metales, (que en realidad es el área que nos interesa conocer ya que el cobre pertenece a este tipo de materiales) los cuales muestran regularidad en la forma en que sus átomos se empaquetan, formando así, estructuras cristalinas. El concepto que se usa para distinguir la regularidad o irregularidad de empaque de los átomos se llama orden. En consecuencia, en un cristal de diamante hay un orden perfecto debido a que cada átomo está en la misma posición con respecto a sus vecinos.

En contraste, un sólido amorfo no tiene orden (está completamente desordenado). Cada zona de orden de alcance largo o definido, se llama cristalito o grano y el sólido se le llama policristalino. A la separación o frontera entre los cristalitos se le llama frontera de grano. Para distinguir los sólidos en que el orden se extiende completamente, se les llama sólido monocristalino.

Se ha enfatizado en la forma en que la disposición de la estructura del cristal es consecuencia de la consideración de los requerimientos de enlace.

En primer lugar, se debe definir con más cuidado lo que se entienda por orden cristalino. En un cristal es posible elegir un pequeño grupo de átomos que se puede imaginar están contenidos en una caja de lados regulares, a la unidad más pequeña se le llama CELDA UNITARIA. Si se apilan muchas cajas, todas con la misma orientación como ladrillos, automáticamente se colocan los átomos en sus posiciones correctas en el cristal.

La definición formal de celda unitaria es el grupo más pequeño de átomos que mediante la translación repetida en tres dimensiones, forma todo el cristal.

La celda unitaria específica para cada metal está definida por sus parámetros (fig. 2.6) que son la orilla o los bordes de la celda unitaria a , b , c , y los ángulos α (entre b y c) β (entre a y c) y γ (entre a y b).

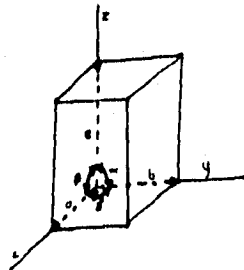


FIG. 2.6 Red espacial que muestra los parámetros reticulares.

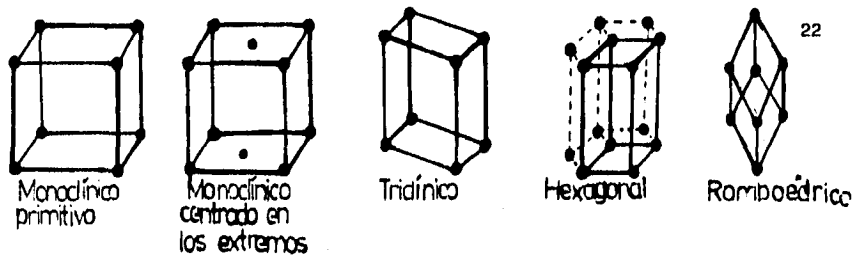
REDES ESPACIALES

Cuando se usan tres dimensiones solo hay catorce tipos posibles de redes espaciales (Fig 2.7) y pueden clasificarse en siete sistemas cristalinos enumerados en la Tabla 2.1

TABLA 2.1

1. TRICLÍNICO	Tres ejes desiguales, sin ser perpendiculares cualesquiera dos de ellos. $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
2. MONOCLÍNICO	Tres ejes desiguales, mutuamente perpendiculares a otro de los restantes. $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
3. ORTORRÓMBICO	Tres ejes desiguales mutuamente perpendiculares. $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4. ROMBOEDRAL (TRIGONAL)	Tres ejes iguales, no a ángulos rectos. $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
5. HEXAGONAL	Tres ejes iguales coplanarios a 120° y un cuarto eje desigual perpendicular a su plano. $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 120^\circ$ $\gamma = 90^\circ$
6. TETRAGONAL	Tres ejes perpendiculares, solamente dos iguales. $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$
7. CÚBICO	Tres ejes iguales, mutuamente perpendiculares. $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

De la figura 2.7 se puede observar que dentro del sistema cúbico existen tres tipos de redes. En toda red cúbica los ejes de la celda unitaria están a 90° , y las dimensiones de la celda unitaria son las mismas. Sin embargo los diferentes puntos equivalentes están distribuidos en forma distinta en cada uno de las tres redes.



22

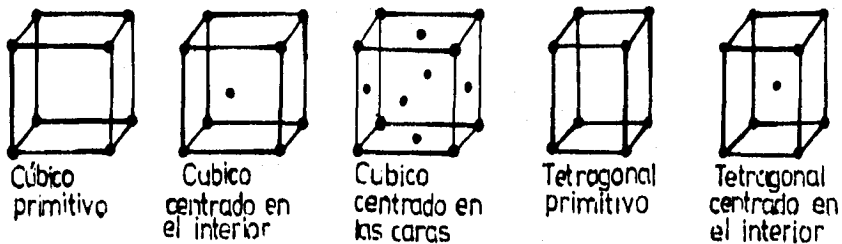
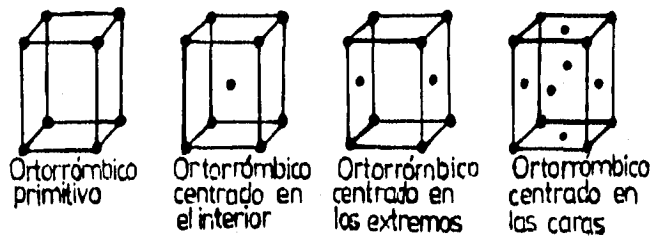


FIG. 2.7 Redes especiales

En el retículo espacial cúbico simple o primitivo (s.c.) hay solo un punto por celda unitaria; dos en la red espacial cúbica centrada en el cuerpo (c.c.c.) y cuatro en la red cúbica centrada en las caras (c.c.c.s.). Estas redes llamadas redes de Bravais, son simplemente arreglos de puntos equivalentes. Esto es, cada punto en una red tridimensional infinita tiene:

1. El mismo número de puntos vecinos.
2. En las mismas direcciones y
3. A las mismas distancias. Sería imposible distinguir un punto de otro sin algún origen y ejes de referencia.

Cuando consideramos metales cúbicos normalmente colocamos el origen y los ejes de modo que los átomos se encuentren en estos puntos de la red. Esto, sin embargo, no es necesario, ya que bien podríamos colocar el origen en un intersticio (o alguna otra parte).

Otras redes caen dentro de otros sistemas cristalinos, como es el caso de la variante de la estructura hexagonal llamada hexagonal compacta (cph).

Los tipos de redes anteriormente señalados son los que habrán de considerarse con mayor detenimiento ya que la mayoría de los metales, entre ellos el cobre, se cristalizan ya sea en los sistemas cúbicos o en los hexagonales.

CRISTALES CÚBICOS

a) **CÚBICO SIMPLE.** Aunque los metales tienen celdas unitarias que son relativamente simples en concepto, no encontramos los elementos metálicos con la red cúbica simple de la Fig. 2.7. Consideremos en forma breve porqué esto es así, colocando un átomo en cada punto de la red de la Fig. 2.8. Cada átomo tiene ocho seis vecinos (NC=6). Recordemos que, cuando los átomos se reúnen se libera energía, un número de coordinación mayor generalmente proporciona una estructura más estable liberando más energía. De tal manera que para metales c.c.c. NC = 8 y para metales c.c.ca y c.p.h. NC = 12. Por regla general, los metales son más estables con estos números de coordinación mayores.

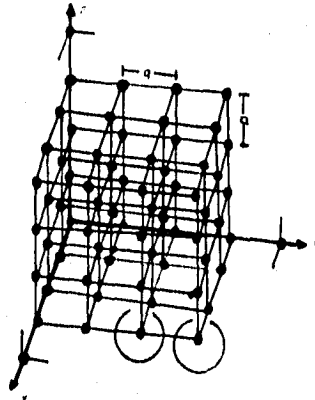


FIG. 2.8 Red cúbica primitiva. El espacio está dividido en tres conjuntos de planos paralelos igualmente espaciados. Los ejes de referencia x, y, y z, son mutuamente perpendiculares. Cada punto de intersección es equivalente.

El concepto de factor de empaquetamiento atómico (FEA) también nos ayudará. La estructura cúbica simple de la fig. 2.8 tiene un promedio de un átomo por celda unitaria. Considerando que los átomos se tocan a un radio R, sólo el 52% del espacio está ocupado ya $a = 2R$

$$\begin{aligned} \text{Factor de empaquetamiento atómico} &= \frac{\text{Volumen de átomos}}{\text{Volumen de la celda unitaria}} \\ &= \frac{4\pi R^3 \chi / 3}{(2R)^3} = 0.52 \end{aligned}$$

Otras estructuras metálicas nos dan factores de empaquetamiento mayores.

b) CÚBICA CENTRADA EN EL CUERPO. Si los átomos se representan como esferas, el átomo del centro toca a cada átomo de las esquinas, pero estos no se tocan entre sí. Como cada átomo de las esquinas lo comparten ocho cubos adyacentes y el átomo del centro no pueda compartirlo ningún otro cubo (Fig. 2.9) la celda unitaria de la estructura c.c.c contiene:

$$\begin{aligned} 8 \text{ átomos en las esquinas} \times 1/8 &= 1 \text{ átomo} \\ 1 \text{ átomo central} &= 1 \text{ átomo} \\ \hline \text{Total} &= 2 \text{ átomos} \end{aligned}$$

El cromo, tungsteno, hierro sika, hierro delta, molibdeno, vanadio y sodio son ejemplos de metales que cristalizan en una estructura c.c.c. La constante de la red a está relacionada con el radio atómico R por:

$$a = 4R / (3)^{1/2}$$

Por lo tanto, el factor de empaquetamiento atómico es 0.68 que es significativamente superior al de una estructura cúbica simple de un metal.

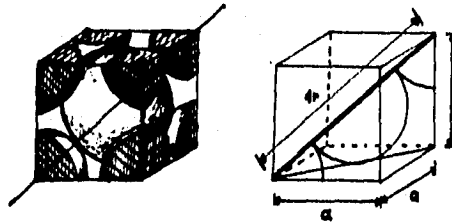


FIG. 2.9 Celda unitaria cúbica centrada en el interior. En un metal la estructura ccc tiene dos átomos por celda unitaria y el factor de empaquetamiento es 0.6

c) **CÚBICO CENTRADO EN LAS CARAS.** El arreglo atómico en el cobre no es el mismo que en el hierro, aunque tienen una estructura cúbica. Además de un átomo en el vértice de cada celda unitaria, hay uno en el centro de cada cara, pero ninguno en el centro del cubo.

La estructura cúbica centrada en las caras (c.c.ca) es un poco más común entre los metales que la estructura cúbica centrada en el cuerpo. El aluminio, el cobre, la plata, y el níquel poseen este arreglo atómico (lo mismo que el hierro a temperaturas elevadas).

Cada átomo de las caras toca los átomos de las esquinas más próximas. Como cada átomo de las esquinas lo comparten ocho cubos adyacentes y cada átomo de las caras es compartido sólo por un cubo adyacente (Ver Fig. 2.10) la celda unitaria contiene:

$$\begin{aligned} 8 \text{ átomos en las esquinas} \times 1/8 &= 1 \text{ átomo} \\ 6 \text{ átomos centrados en las caras} \times 1/2 &= 3 \text{ átomos} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 4 \text{ átomos}$$

La constante de red a está relacionada al radio atómico R por :

$$a = 4R / (2)^{1/2}$$

y un factor de empaquetamiento atómico de 0.74. Esto indica que la estructura c.c.ca está más densamente empaquetada que la estructura c.c.c.

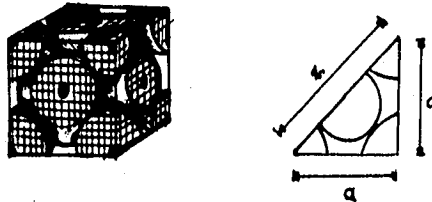


FIG. 2.10 Celda unitaria cúbica centrada en las caras. En un metal la estructura cccca tiene cuatro átomos por celda unitaria.

d) **CRISTALES HEXAGONALES.** La estructura hexagonal está caracterizada por el hecho de que cada átomo en una capa se encuentra colocado directamente encima de o abajo de los intersticios de tres átomos en las capas adyacentes. En consecuencia, cada átomo toca a tres átomos en la capa bajo su plano, seis átomos en su propio plano y tres átomos en la capa superior. En la estructura hexagonal compacta de la Fig. 2.11 hay un promedio de seis átomos por celda unitaria (o dos por celda unitaria si usamos la representación rómbica relacionada).

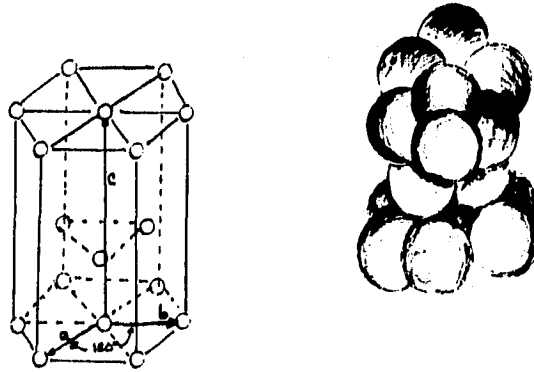


FIG. 2.11 Estructura hexagonal compacta. (a) Vista esquemática mostrando la localización de los centros de los átomos. (b) Modelo hecho con esferas duras.

El factor de empaquetamiento atómico $h.c$ puede calcularse fácilmente y se encuentra que es igual a 0.74. Este es idéntico al factor de empaquetamiento de un metal c.c.c.a, lo cual es predecible ya que cada uno tiene un número de coordinación de 12.

Con el antecedente de los conceptos de las diferentes estructuras cristalinas es posible establecer el porqué de las propiedades características del cobre.

Anteriormente, se estableció que el cobre presenta la estructura cúbica centrada en las caras lo cual, indica que existe un empaquetamiento más denso, lo que permite que se presenten planos cristalográficos sobre los cuales están ordenados los átomos, de tal manera que la permita tener una apreciable conducción eléctrica y térmica.

Ahora es importante saber cual es el comportamiento de las estructuras ante diferentes condiciones tales como el esfuerzo y la temperatura para saber como se modifican las propiedades de los materiales y para ello se dará una explicación en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO III

CAPITULO III.

Como ya hemos descrito la naturaleza de las estructuras metálicas, podemos observar los efectos que tienen sobre ellas el esfuerzo y la temperatura. Analizaremos primero, los efectos del esfuerzo en ellas y se describirán los ensayos mecánicos de los materiales los cuales son útiles para describir las propiedades más importantes de los materiales y por último se analizarán los efectos de la temperatura en las propiedades de los materiales.

ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.

Cuando a un cuerpo se le aplica una fuerza externa que tiende a cambiar su forma o tamaño, el cuerpo se resiste a esa fuerza. La resistencia interna del cuerpo se conoce como **ESFUERZO** y los cambios en las dimensiones del cuerpo que la acompaña se llaman deformaciones o alargamientos. El esfuerzo total es la resistencia interna total que actúa en una sección del cuerpo. Por lo general, la cantidad determinada es la intensidad de esfuerzo o esfuerzo unitario, definida como el esfuerzo por unidad de área. El esfuerzo unitario generalmente se expresa en unidades de libras por pulgada cuadrada (lb/pulg²). La deformación o alargamiento total en cualquier dirección es el cambio total de una dimensión del cuerpo en esa dirección, y la deformación o tensión unitaria es la deformación o alargamiento por unidad de longitud en esa dirección.

1. PRUEBA O ENSAYO DE TENSION.

Una de las propiedades esenciales de un material utilizado en la construcción de un equipo es el de ser mecánicamente seguro, de acuerdo a las condiciones de operación, de ahí la importancia de describir este tipo de ensayo.

Una muestra o probeta preparada específicamente se coloca en las cabezas de la máquina de prueba y se somete a una carga axial por medio de un sistema de carga de palanca, mecánico o hidráulico. La fuerza se indica en un disco calibrado. Si se conoce el área transversal puede calcularse el esfuerzo desarrollado a cualquier carga. La deformación o alargamiento se mide en una longitud establecida, generalmente 2 pulg. por un disco medidor llamado extensómetro. Entonces, la deformación unitaria puede determinarse dividiendo el alargamiento medido entre la longitud original marcada en la probeta. La Fig. 3.1 muestra la relación entre esfuerzo unitario S y deformación unitaria E , encontrada experimentalmente, mediante la gráfica esfuerzo - deformación para un material dúctil y la gráfica de la Fig. 3.2 para un material frágil.

Las propiedades que se pueden determinar con una prueba de tensión se explican en seguida.

LIMITE PROPORCIONAL.

Para muchos materiales estructurales se ha encontrado que la parte inicial de la gráfica esfuerzo - deformación puede ser aproximada por la recta OP de las figuras 3.1 y 3.2. En este intervalo, el esfuerzo y la deformación son proporcionales entre sí de manera que cualquier incremento en esfuerzo resultará de un aumento proporcional a la deformación. El esfuerzo en el límite del punto de proporcionalidad P se conoce como límite de proporcionalidad.

LIMITE ELÁSTICO.

Si se retira una pequeña parte de la carga aplicada sobre la pieza a prueba, la aguja del extensómetro regresará a cero, indicando que la deformación producida por la carga es elástica. Si la carga es aumentada continuamente, es liberada después de cada incremento y se revisa el extensómetro entonces se alcanzará un punto en que la aguja no regresará a cero. Esto indica que ahora el material tiene una deformación permanente, por lo tanto, el límite elástico puede definirse como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente. Para la mayoría de los materiales estructurales, el límite elástico tiene casi el mismo valor numérico que el límite de proporcionalidad.

PUNTO DE CEDENCIA O FLUENCIA.

Conforme la carga en la pieza a prueba aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un nuevo esfuerzo al cual el material continúa deformándose sin que haya incremento en la carga. El esfuerzo en el punto Y de la Fig. 3.1 se conoce como el punto de cedencia o fluencia. Este fenómeno ocurre sólo en ciertos materiales dúctiles. El esfuerzo puede disminuir realmente por un momento, resultando en un punto de cedencia inferior y uno superior. Como el punto de cedencia es relativamente fácil de determinar y la deformación permanente es pequeña hasta el punto de cedencia, constituye en valor muy importante de considerar en el diseño de muchas partes para maquinaria cuya utilidad se afectaría si ocurriera una gran deformación permanente. Esto es válido sólo para materiales que exhiben un punto de cedencia bien definido.

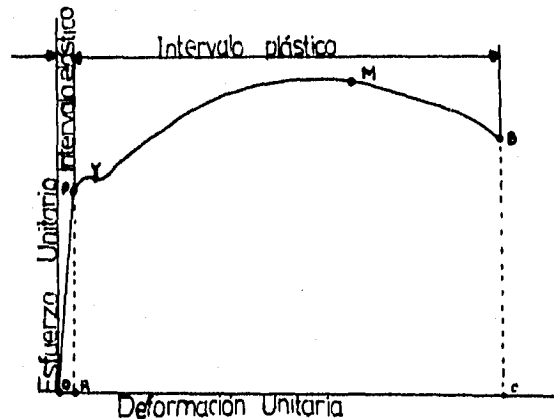


FIG. 3.1 Gráfica esfuerzo-deformación para un acero dúctil.

RESISTENCIA DE CEDENCIA O FLUENCIA.

La mayoría de los materiales no ferrosos y los aceros de alta resistencia no tienen punto de cedencia o fluencia definido. Para estos materiales, la máxima resistencia útil corresponde a la resistencia de cedencia, que es el esfuerzo al cual un material exhibe una desviación limitante especificada de la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación. Por lo general, este valor se determina por el "método de la deformación permanente especificada". En la fig. 3.2, la deformación

especificada OS se marca sobre el eje de la deformación. En seguida se traza la línea XW paralela a OP, localizando de esta manera el punto Y y la intersección de la línea XW con el diagrama esfuerzo - deformación. El valor del esfuerzo en el punto Y indica la resistencia de cedencia o fluencia. El valor de la deformación permanente especificada está generalmente entre 0.10 y 0.20% de la longitud calibrada.

RESISTENCIA LÍMITE.

Conforme aumenta la carga aplicada sobre la pieza a prueba, el esfuerzo y la deformación se incrementan, como lo indica la porción de la curva YM (Fig. 3.1) para un material dúctil, hasta que se alcanza el esfuerzo máximo en el punto M; por tanto, la resistencia límite o la resistencia de tensión es el esfuerzo máximo desarrollado por el material, basado en el área transversal original. Un material frágil se rompe cuando es llevado hasta la resistencia límite (punto B de la Fig. 3.2), en tanto que el material dúctil continuará alargándose.

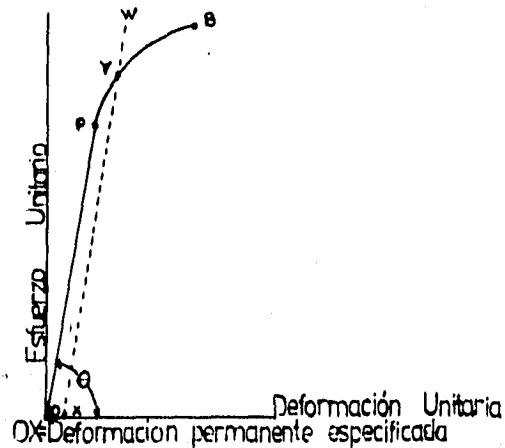


Fig. 3.2 Gráfica esfuerzo-deformación para un material frágil.

RESISTENCIA A LA RUPTURA.

Para un material dúctil, hasta el punto de resistencia límite, la deformación es uniforme a lo largo de la longitud de la barra. Al esfuerzo máximo, la muestra experimenta una deformación localizada o formación de cuello y la carga disminuye conforme el área decrece. Esta elongación en forma de cuello es una deformación no uniforme y ocurre rápidamente hasta el punto en que el material falla. La resistencia a la ruptura (punto B Fig. 3.1) determinada al dividir la carga de ruptura entre el área transversal original, es siempre menor que la resistencia límite. Para un material frágil, la resistencia límite y la resistencia a la ruptura coinciden.

DUCTILIDAD.

La ductilidad de un material se determinará a partir de la cantidad de deformación que le es posible soportar hasta que se fractura. Esta se determina en una prueba de tensión mediante dos mediciones:

Elongación: Se determina juntando, después de la fractura, las partes de la muestra y midiendo la distancia entre las marcas puestas en la muestra antes de la prueba.

$$\text{Elongación (\%)} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

donde

L_f = Longitud de la medida final

L_o = Longitud de la medida original.

Al reportar el porcentaje de elongación, debe especificarse la longitud de la medida original, ya que el porcentaje de elongación variará de acuerdo con la longitud original.

MÓDULO DE ELASTICIDAD O MÓDULO DE YOUNG.

Considérese la porción recta de la curva esfuerzo - deformación. La ecuación una línea recta es $y = mx + b$, donde y es el eje vertical (en este caso, esfuerzo) y x el eje horizontal (en este caso, deformación). La intersección de la recta con el eje y es b , y en este caso es cero, ya que la recta pasa por el origen. La pendiente de la recta es m . Cuando se despeja m de la ecuación, la pendiente es igual a y/x . De esta manera se puede determinar la pendiente de la recta dibujando un triángulo rectángulo cualquiera y encontrando la tangente del ángulo O (Fig. 3.2), que es igual a y/x o esfuerzo/deformación. La pendiente es realmente la constante de proporcionalidad y se conoce como módulo de elasticidad o módulo de Young.

El módulo de elasticidad, indicación de la rigidez de un material, se mide en libras por pulgada cuadrada.

ESFUERZO-DEFORMACIÓN VERDADEROS.

La prueba convencional de tensión descrita antes dará valiosa información hasta aproximarse y llegar al punto de cedencia. Más allá de este punto, los valores de esfuerzo son ficticios, ya que el área transversal real se reducirá considerablemente. El esfuerzo verdadero se determina al dividir la carga entre el área transversal existente a esa intensidad de carga. La deformación real se determina al dividir el cambio en longitud entre la longitud inmediatamente precedente.

MÓDULO DE RECUPERACIÓN O RESISTENCIA.

Es posible dividir el diagrama esfuerzo - deformación en dos partes, como se muestra en la Fig. 3.1. La parte a la izquierda del límite elástico puede definirse como intervalo elástico y la de la derecha como intervalo plástico. El área bajo la curva en el intervalo elástico (área OPR) es una medida

de la energía por unidad de volumen que puede absorber el material sin sufrir deformación permanente. Este valor se conoce como módulo de recuperación o resistencia. La energía por unidad de volumen que puede absorber un material (el área bajo la totalidad del diagrama esfuerzo-deformación) hasta el punto de fractura se conoce como tenacidad. Esta es principalmente una propiedad del intervalo plástico, ya que sólo una pequeña parte de la energía total absorbida es energía elástica que puede recuperarse cuando se suprime el esfuerzo.

2. PRUEBA DE IMPACTO.

Aunque la tenacidad de un material puede obtenerse calculando el área bajo la curva esfuerzo - deformación, la prueba de impacto indicará la tenacidad relativa. Por lo general, para las pruebas de impacto se utilizan muestras tipo muesca.

La máquina de impacto ordinaria tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura estándar. A esta altura, con referencia al tornillo del banco, el péndulo tiene una cantidad definida de energía potencial. Cuando el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea a la muestra. Una parte de la energía del péndulo se utilizará para romper la muestra, provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor que aquella con que inició su movimiento desde ese mismo lado de la máquina. El peso del péndulo multiplicado por la diferencia de alturas indicará la energía, absorbida por la muestra, o sea la resistencia al impacto de la muestra con muesca.

3. PRUEBAS DE FATIGA.

Éstas son pruebas de tipo dinámico que determinan el comportamiento relativo de los materiales cuando se les somete a cargas repetidas o fluctuantes. Procura simular las condiciones de esfuerzo desarrolladas en las partes de una máquina por la vibración que producen las cargas cíclicas. La magnitud del esfuerzo puede establecerse con la máquina, y el tipo de esfuerzo (tensión, compresión, doblamiento, o torsión) lo determinan la máquina y el tipo de muestra probada.

El esfuerzo al que se somete la muestra durante la prueba varía continuamente entre dos valores, de los cuales el máximo suele ser menor que el de la resistencia de cedencia del material. Los ciclos de esfuerzo se aplican hasta que se alcanza la falla de la muestra o un el número de ciclos límite. El límite de aguantar o continuación de cualquier material está definido como el esfuerzo límite por abajo del cual el metal soportará un gran número indefinido de ciclos de esfuerzos sin fracturarse. El término límite de aguantar se refiere a menudo al esfuerzo correspondiente a algún número de ciclos. Las pruebas de fatiga se utilizan ampliamente para estudiar el comportamiento de los materiales no sólo para observarlos bajo distintos tipos e intensidades de cargas fluctuantes, sino para determinar el efecto de la corrosión, las condiciones de superficie, la temperatura, el tamaño y la concentración de esfuerzos.

4. PRUEBAS DE FLUENCIA.

La prueba o ensayo de fluencia determina el cambio continuo en la deformación de un material a temperaturas elevadas cuando está sometido a un esfuerzo inferior al valor de la resistencia de cedencia. Los resultados son importantes en el diseño de aquellas partes para máquinas expuestas a temperaturas elevadas.

TRABAJO EN FRÍO O ENDURECIMIENTO POR TRABAJO EN FRÍO.

Ya hemos tenido una introducción a este fenómeno en la curva esfuerzo - deformación. Para ilustrarlo, tomemos una barra de metal y apliquemos un esfuerzo hasta alcanzar el punto A en la curva, bastante más allá del límite de resistencia a la fluencia pero por debajo de la resistencia a la tracción.

Descarguemos ahora la muestra, sequémosla de la máquina y entreguémosla a otro operario para que la pruebe. Éste obtendrá un límite de fluencia mayor a anterior y aún por debajo de la resistencia a la tracción.

Veamos que es lo que ocurre básicamente. A medida que aplicamos un esfuerzo en la región de deformación plástica, ocurre un deslizamiento en los planos de orientación preferida, produciéndose dislocación y movimiento. Sin embargo, al presentarse más y más deslizamiento, las dislocaciones interactúan, se amontonan y se forma un nudo de dislocación. Esto hace que cada vez sea más difícil el deslizamiento. Todo esto lo muestra la curva creciente esfuerzo - deformación. Para que se produzca mayor deformación, se necesita mayor esfuerzo.

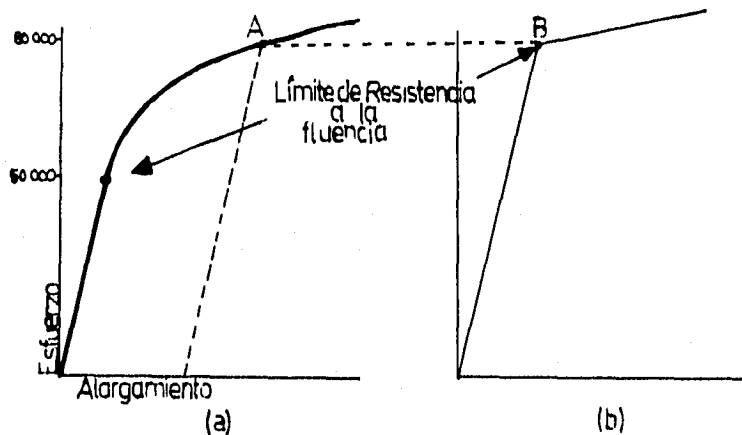


Fig. 3.3 Correlación del endurecimiento por trabajo en frío con la curva esfuerzo - deformación

Cuando se obtuvo el punto a en la Fig. 3.3 (a) todos los planos ya habían sido ocupados, así como los lugares de dislocación que permitían un deslizamiento fácil. Cuando se retiró la carga ésta situación no varió. Por lo tanto cuando se aplicó nuevamente la carga, no era posible obtener una deformación plástica hasta no alcanzar el nivel de esfuerzo del punto A. En consecuencia, encontramos únicamente deformación plástica hasta un nivel mayor que el de la Fig. 3.3 a y el límite de fluencia fue, correspondientemente mayor.

A este fenómeno se le llama "endurecimiento por trabajo", "endurecimiento por deformación" "acritud" y "trabajo en frío". Pronto veremos que el término "frío" es relativo; significa que se trabaja a una temperatura que no altera los cambios estructurales producidos por el trabajo. En otras palabras, el trabajo en frío hace que los átomos se muevan y que se formen nudos de dislocación aunque este efecto puede anularse trabajando a temperaturas más altas.

Dentro de los métodos de endurecimiento por trabajo en frío está el laminado en frío de varillas

o laminas, Extrusión en frío, Formado en frío estampado, Treflado en frío, etc. En todos estos casos la pieza se hace más resistente por medio del trabajo en frío. Otro efecto importante es que la muestra se endurece, y se hace más resistente al desgaste y a la fricción. Puesto que el ensayo de dureza requiere trabajo en frío, esta es una buena oportunidad para apartarnos brevemente del tema y analizar la manera de medir la dureza. Los ensayos de dureza son tan importantes como los ensayos de tensión.

ENSAYOS DE DUREZA.

La dureza se define generalmente como la resistencia a la penetración. Revisemos algunas de las pruebas más comunes que tanto se ajustan a esta definición.

NÚMERO DE DUREZA BRINELL (BHN).

Este es uno de los ensayos más antiguos y todavía es la norma más utilizada. (Fig. 3.4). Se coloca en una prensa la probeta con la superficie superior plana y se presiona dicha superficie con una esfera de acero o de carburo de tungsteno con una carga de 500 a 3 000 KG. La carga más liviana se utiliza para los metales blandos no ferrosos tales como el cobre y aluminio y la carga más pesada se utiliza para el hierro, acero y aleaciones duras. La carga se aplica durante 30 segundos y luego se la quita. En seguida se lee, en milímetros, el diámetro de la impresión por medio de un microscopio de baja resolución con un ocular de filamento (de medición). El observador lee luego en una tabla, de acuerdo con la carga utilizada, el número de dureza brinell para ese diámetro de impresión. El número de dureza Brinell es la relación de la carga en Kg al área en milímetros cuadrados de la impresión, y se calcula de la siguiente manera:

$$BHN = L / (T D^2) (D - D_2 - d_2)$$

Donde:

L: Carga de prueba (kg.)
D: Diámetro de la bola (mm.)
d: Diámetro de impresión (mm.)

Generalmente no es necesario realizar el cálculo ya que existen tablas en donde se lee el número de dureza Brinell. Las tablas se han desarrollado en tal forma que el BHN es el mismo, ya sea que se utilice la carga de 500 o la de 3 000 Kg. aunque, obviamente, el diámetro de la impresión es diferente. La razón por la cual se utiliza la carga más liviana es que en los materiales muy blandos la carga de 3 000 kg. continúa penetrando hasta que la esfera se hunde profundamente.

Para especificar la dureza de un material, primero aparece el número de dureza seguido por el símbolo BHN, diámetro de la bola, la carga y la duración de la carga. Por ejemplo: 80 BHN 10/500/30.

Ensayo	Identador	Forma de la indentación		Carga	Fórmula del número de dureza
		Vista lateral	Vista superior		
Brinell	Esfera de acero o carburo de tungsteno de 10 mm de diámetro			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = 1.72 P/d^2$
Microdureza de Knoop	Pirámide de diamante			P	$KHN = 14.2 P/l^2$
Rockwell					
A C D	Cono de diamante			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ 100 - 500f
B F G	Esfera de acero de 1/16 pulgadas de diámetro			100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ 130 - 500f
E	Esfera de acero de 1/8 pulgadas de diámetro			100 kg	$R_E =$ 130 - 500f

FIG. 3.A Ensayos de dureza.

NÚMERO DE DUREZA VICKERS (VHN).

Este constituye una mejora al ensayo de Brinell. Se presiona una pirámide de diamante contra la probeta, bajo cargas más livianas que las utilizadas en el ensayo de Brinell. Se mide la diagonal de la impresión cuadrada y se obtiene el número de dureza por medio de la fórmula:

$$VHN = 1.854 L / (d^2)$$

L: Carga aplicada.

d: Longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión (mm).

O bien se localiza en una gráfica al número de dureza Vickers (VHN). Como nos lo muestra la fig. 3.5., el VHN es similar al BHN en el intervalo de 250 - 600. Esta figura no muestra que el VHN aumenta a la par con la resistencia en los valores más altos, mientras que el BHN no se utiliza más allá de 750. Las ventajas del ensayo de Vickers están en su capacidad de obtener medidas de dureza en niveles más altos y para medir la dureza de zonas pequeñas. Por otro lado, el BHN nos da un mejor efecto promedio debido a que su impresión es más grande.

NÚMERO DE DUREZA ROCKWELL.

La principal ventaja del ensayo de Rockwell está en que la dureza se lee directamente en una escala. Existen dos tipos de máquinas Rockwell. Una es la de probador normal que se emplea para secciones relativamente gruesas y cuya carga menor es de 10 Kg; y la otra es un probador superficial para secciones delgadas y carga de 3 Kg.

Así mismo existe una gran variedad de marcadores de muescas y cargas, donde cada combinación determina una escala Rockwell específica: De tal forma que los marcadores de muescas incluyen bolas de acero duras de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 de diámetro y un marcador cónico de diamante de 120°. En tanto que las cargas mayores son de 60, 100 y 150 kg. en el probador normal y de 15, 30 y 45 kg. en el probador superficial. Las escalas Rockwell de mayor empleo son la Rb (marcador de bola de 1/16 y 100 Kg. de carga) y la Rc (marcador de diamante y 150 kg. de carga) ambas obtenidas con el probador normal.

El identador para el ensayo Rc es un cono de diamante "bruto" debidamente montado en un soporte. El observador primero acciona una palanca que presiona el cono de diamante a una pequeña distancia establecida dentro de la probeta. Esto se conoce como la "precarga". En seguida se deja actuar la carga Rc normalizada de 150 Kg., que presiona aun más el diamante dentro de la probeta. Luego con la misma palanca se quita la carga. En este momento se lee la dureza Rc en la escala y, luego se descarga la probeta. El principio de este ensayo está en que a través de un sistema de palancas se registra en la escala la profundidad de penetración entre la precarga y la carga de 150 Kg. y se lee directamente en Rc. El Rc es aproximadamente 1/10 de BHN. La escala Rb se utiliza para materiales más blandos, emplea una esfera de 1/16 pulg de diámetro a una carga de 100 Kg. y también es de lectura directa.

La especificación del número de dureza es el siguiente : número de dureza, símbolo R, seguido de la letra que designa la escala, ejemplo: 80 Rb, significa una dureza Rockwell de 80 medida en la escala b.

PRUEBA O ENSAYO DE MICRODUREZA.

Este término es engañoso, ya que podría referirse a la prueba de pequeños valores de dureza cuando en realidad significa el uso de impresiones pequeñas. Las cargas de prueba están entre 1 y 1 000 g. Hay dos tipos de marcadores empleados para la prueba de microdureza : La pirámide de diamante de Vickers de base cuadrada de 136° y el marcador Knoop de diamante alargado.

El marcador Knoop tiene forma piramidal que produce un impresión en forma de diamante, y tiene diagonales largas y cortas a una razón aproximada de 7:1. La profundidad de impresión es como de 1/30 de su longitud. La diagonal más larga de la impresión se mide ópticamente con el ocular de un micrómetro de roca. El número de dureza de Knoop se el resultado de dividir la carga entre el área de la impresión. Por lo general se utilizan tablas para convertir la longitud diagonal medida al número de dureza Knoop (HK), o mediante la fórmula siguiente:

$$HK = 14.229 L / d^2$$

L: Carga aplicada, Kg.

d: Longitud de la diagonal mayor, en mm.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS.

Todos los ensayos de dureza dependen de la resistencia a la deformación plástica. Es por ello que no debe sorprendernos encontrar que la dureza de una barra es mayor después de trabajada en frío, debido a que se han utilizado los lugares para un deslizamiento fácil. Por lo tanto existe una buena correlación entre la dureza y la resistencia. No siempre deseamos máxima dureza y resistencia en los materiales ya que a medida que la dureza aumenta, la ductilidad disminuye. Básicamente, queremos restaurar la estructura original, eliminando el deslizamiento estenoso y los nudos de dislocación. Aquí, debemos recordar que los átomos no están rigidamente fijos sino que pueden difundirse de sus posiciones. La difusión aumenta rápidamente a medida que aumenta la temperatura. Por lo tanto al calentamos la pieza, los átomos de las regiones muy deformadas pueden reagruparse y trasladarse a regiones no deformadas. Este es un ajuste a la deformación en escala microscópica y la pieza parcialmente formada no cambia de dimensión.

En consecuencia, tomamos la muestra trabajada en frío y la sometemos a tratamiento térmico en un horno en el proceso llamado "recocido". Vamos que el metal se ablanda en función de la temperatura de calentamiento y el tiempo transcurrido a esta temperatura. Si observamos la microestructura veremos que se producen cambios radicales. A temperaturas elevadas crecen nuevos y pequeños granos, de dimensiones iguales en todas direcciones, dentro de los antiguos granos distorsionados y en los límites de estos antiguos granos. El tamaño de los granos se mayor a temperaturas más elevadas. La dureza y la resistencia disminuyen con el tamaño del grano, pero la elongación aumenta. Esto puede explicarse desde un punto de vista microscópico. El deslizamiento en un plano determinado cesa cuando alcanzamos el límite de un grano, en donde el límite del grano es un área de gran densidad de dislocación y nudos. Por lo tanto, cuantas más fronteras de grano haya, mayor será la limitación del deslizamiento y mayor la resistencia. La ductilidad (elongación) es menor debido a que el deslizamiento está limitado por la mayor área de fronteras de grano.

Del análisis anterior podemos deducir que es posible controlar el tamaño de grano de la pieza terminada por medio de una combinación de trabajo en frío y recocido. Aunque también es posible trabajar a la temperatura de recocido o por encima de ésta pero presenta como desventaja de la oxidación de la superficie del metal y una vida más corta de las matrices provocada por el calentamiento de las piezas. Con el trabajo en frío se puede producir una mejor superficie, ya que la pieza puede ser recocida en un horno con una atmósfera protectora después de trabajada. Si la pieza es terminada con trabajo en caliente, la resistencia y la dureza serán menores.

Las propiedades de los materiales que hemos analizado hasta aquí serán de gran utilidad para entender porque las estructuras metálicas de mayor resistencia, dureza y resistencia al desgaste están compuestas de dos o más fases en una dispersión bien controlada que los materiales de una sola fase, tales como los metales puros, soluciones sólidas y compuestos intermetálicos.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV

En la práctica son pocos los elementos que se usan comercialmente en forma pura. Generalmente se agregan otros elementos para dar mayor resistencia a la corrosión, para dar mayor resistencia mecánica o simplemente se dejan como impurezas debido al elevado costo de refinación (entre otras cosas).

Todo esto da como resultado el hecho de que exista una gama de miles de aleaciones metálicas de las cuales se pueden entender fácilmente sus propiedades a pesar del casi infinito número de composiciones posibles ya que las aleaciones tienen solo unas pocas estructuras metálicas diferentes.

Pero antes de entrar en lo que son las aleaciones como tal, debemos establecer ciertos conceptos básicos útiles en la comprensión de éstas.

DEFINICIONES RELATIVAS A LA ALEACIÓN

1. SISTEMA :

La palabra sistema se utiliza en dos sentidos, con relación a la aleación; a veces se denomina sistema el cuerpo del material que se está tomando en consideración, desdénando su medio ambiente .

Teóricamente, un sistema es el cuerpo de materia que se está estudiando aislado del medio ambiente. Es un concepto teórico útil que nunca puede obtenerse en la práctica.

También se conoce como sistema una serie de aleaciones compuestas que los mismos ingredientes por ejemplo, el sistema cobre-zinc se refiere a todas las aleaciones posibles de estos dos metales. Así pues, un sistema de aleación puede referirse a todas las combinaciones posibles de metales específicos, sin tomar en consideración la composición específica. El significado de este término se aclara por el modo como se usa.

2. COMPONENTES :

Los componentes de una aleación son los metales puros o los compuestos de que se constituye. En el caso de las aleaciones de cobre y zinc, mencionadas anteriormente, el cobre y el zinc son los componentes. En el caso de las aleaciones de hierro y carbono, puede considerarse que los componentes son, ya sea, carbono y hierro; o bien carburo de hierro y hierro. El que se consideren como componentes a los compuestos o los elementos que los constituyen, es principalmente cuestión de conveniencia.

3. EQUILIBRIO :

Cuando existe en un sistema una condición sin cambios netos se dice que está en equilibrio. Si imaginamos cierta cantidad de agua en una botella parcialmente llena y sellada herméticamente. El espacio situado por encima del agua se compone de aire una pequeña cantidad de vapor de agua. El agua misma contiene una pequeña cantidad de aire disuelto.

Cuando existe un equilibrio, las cantidades y las composiciones de ambas fases, la líquida y la gaseosa, permanecen constantes. Esta no significa que no se condensen. Continúa existiendo cierta cantidad de moléculas de vapor de agua de la fase, gaseosa. En realidad existe condensación, pero también prosigue la vaporización al mismo ritmo y los dos procesos se equilibran, por lo tanto no hay ningún cambio neto en las cantidades de agua líquida y vapor de agua lo mismo puede decirse del aire, o sea, que la cantidad que se disuelve se equilibra con la que sale de la solución y por consiguiente, no hay cambio neto y por un año el

sistema se encuentra en equilibrio. En lo que respecta a las aleaciones, se dice que un sistema se encuentra en equilibrio cuando no hay cambio neto entre las cantidades y las composiciones de las fases presentes, aunque se logra más fácilmente que en el sistema agua aire que acabamos de describir. Los átomos de un metal sólido son relativamente inmóviles, y por lo tanto, al cambiar la temperatura, el alcance del equilibrio tarda más en producirse. Cuanto más baja es la temperatura tanto más tiempo es necesario para alcanzar el equilibrio.

En la mayoría de los metales al acercarse a la temperatura ambiente, las velocidades de reacción se aproximan a cero y, para fines prácticos, las cantidades y las composiciones de las fases no cambian. En esa forma, mediante el enfriamiento rápido de un metal, es más posible retrasar las relaciones de equilibrio y el metal alcanza una condición pseudoequivalente a la temperatura ambiente. En efecto, la condición que existía a una temperatura más elevada (antes del enfriamiento rápido) se "congela", de tal modo que se hace permanente para todos los fines prácticos a la temperatura ambiente. Por supuesto se acerca en realidad al equilibrio a una velocidad cercana a cero.

Entre los conceptos utilizados al analizar la aleación, uno de los más importantes es el de la **SOLUCIÓN SÓLIDA**. Las soluciones sólidas son iguales a las líquidas y las gaseosas en todos los aspectos, con excepción de las diferencias que existen entre los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia. El criterio básico de cualquier solución, ya sea sólida, líquida o gaseosa, es la homogeneidad. Esta característica de las soluciones requiere una distribución al azar y microscópicamente uniforme de los átomos o las moléculas de un tipo sobre las del otro. Esa distribución da como resultado la similitud del aspecto y otras propiedades, en toda la solución, en una escala atómica o molecular la distribución se aparta habitualmente de la uniformidad completa y perfecta. O sea, que las moléculas o los átomos disueltos están distribuidos al azar y no de manera regular en la solución.

Aunque cualquier gas puede disolver una cantidad limitada de otro gas, no sucede lo mismo con la solución de un gas, un líquido o un sólido en un líquido o un sólido dado ya que existe lo que se conoce como límite de solubilidad que está afectado directamente por la temperatura. Existen límites de solubilidad para la mayoría de las soluciones de un metal puro en otro, en estado sólido, siendo excepciones importantes a esta regla las soluciones sólidas de cobre y níquel y las de plata y oro. En las soluciones sólidas los límites de solubilidad son más restringidos que para las soluciones en estado líquido, no obstante, puesto que la mayoría de los metales son sólidos a temperatura ambiente, y ya que la mayor parte de las combinaciones son capaces, al menos, de tener una solubilidad sólida limitada, las soluciones sólidas y sus propiedades tienen un interés considerable.

Para que un sistema de aleación tenga solubilidad sólida limitada deben satisfacerse ciertas condiciones. Estas son conocidas como reglas de Hume-Rothery y son las siguientes:

1. Los átomos de los metales deben ser de tamaño similar, con no más de un 15% de diferencia, en el radio atómico, para minimizar las deformaciones de la red.
2. Los metales deben tener la misma estructura cristalina.
3. Los átomos de los metales deben tener la misma valencia y electronegatividad similares de otra manera se fomenta la formación de compuestos.

Las condiciones de Hume-Rothery deben cumplirse, pero no son suficientes para que dos metales tengan una solubilidad limitada.

El movimiento atómico y molecular (difusión) es muy limitado en el estado sólido, no obstante, las soluciones sólidas tienen una gran importancia práctica, debido a que son comunes, ya que se forman con facilidad por medio de la solidificación de soluciones líquidas, en las que ya existe homogeneidad. La

elevación de la temperatura de las mezclas sólidas, hace que disminuya el tiempo necesario para la solución y la homogeneización, de tal modo que en estado sólido, a temperaturas cercanas a las de fusión la solución se lleva a cabo con mucha rapidez.

Los términos solvente y soluto tienen el mismo significado cuando se aplican a las soluciones sólidas como al se refieren a líquidas o gaseosas. El ingrediente presente en cantidades menores se denomina soluto o la sustancia que se disuelve.

Los dos tipos más importantes de soluciones metálicas sólidas son el intersticial y el sustitucional (Fig. 4.1). Se produce una solución sólida intersticial, cuando los átomos del soluto, con radios atómicos menores a 10^{-8} cm (H, C, B o N), se dispersan en los espacios situados entre los átomos del solvente. La solución sustitucional implica la sustitución de átomos del soluto por otros del solvente. Ambos tipos de solución sólida producen distorsiones de la estructura cristalina, acompañadas generalmente, por un aumento en la resistencia y la dureza, y una pérdida de ductibilidad y conductividad eléctrica y térmica. Las soluciones sólidas se caracterizan por la uniformidad de su aspecto.

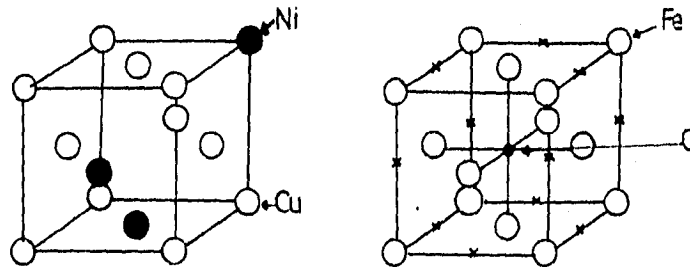


FIG. 4.1 a) Solución sólida de sustitución de níquel en una celda unitaria cúbica de cobre.
b) Solución sólida intersticial de carbono en la forma c.c.c.c. de hierro. Las posiciones marcadas con una x son posiciones de la estructura c.c.c.c. equivalentes a las posiciones $1/2, 1/2, 1/2$.

Para entender la explicación anterior consideremos lo siguiente:

Si tomamos un crisol que contiene 70g de cobre líquido y adicionamos 30g de níquel al tiempo que calentamos para mantener una fundición completamente líquida, obtenemos una solución líquida de cobre y níquel. Si enfriamos lentamente y examinamos los granos, encontramos que tenemos una estructura c.c.c.c. y que el parámetro de la celda unitaria está entre los valores para el cobre y el níquel. Esto es denominada solución sólida de sustitución, porque los átomos del níquel puro han sustituido a los átomos del cobre en la estructura c.c.c.c. (Fig. 4.1a).

En la solución sólida intersticial como se mencionó anteriormente los nuevos átomos están localizados en los intersticios o espacios entre los átomos de la matriz. El carbono, por ejemplo, forma una solución sólida intersticial con el hierro, produciendo el acero. La posición C en la figura 4.1b es una posición intersticial en la forma alotrópica c.c.c.c. del hierro que puede ser ocupada por el carbono.

Todo esto es de gran importancia si consideramos que casi todos los metales y aleaciones en cierto momento de su procesamiento, se encuentran en estado líquido el cual se solidifica cuando se enfría a una temperatura inferior a la de solidificación. El material puede ser utilizado tal como se solidifica o procesarse posteriormente mediante trabajo mecánico o tratarse térmicamente. Las estructuras producidas durante la

solidificación afectan a las propiedades mecánicas e influyen en el tipo de procesamiento subsecuente necesario para lograr las propiedades finales.

Las propiedades mecánicas también pueden ser controladas por la adición de átomos sustitucional e intersticiales, los cuales interfieren con el movimiento o deslizamiento de las dislocaciones. Estos defectos puntuales originan el endurecimiento del material por solución sólida. Sin embargo, los defectos puntuales cambian también la composición del material e influyen en el comportamiento de la solidificación.

Produciendo aleaciones de solución sólida se origina un endurecimiento por solución sólida. En el sistema cobre-níquel, se ha introducido intencionalmente un átomo sustitucional sólido (níquel) en la red original (cobre). La aleación cobre-níquel tiene una resistencia que es mayor que la del cobre puro. De manera similar, añadiendo menos del 40% de Zinc al Cu, el Zinc se comporta como un átomo sustitucional que endurece la aleación cobre-zinc en comparación con el cobre puro.

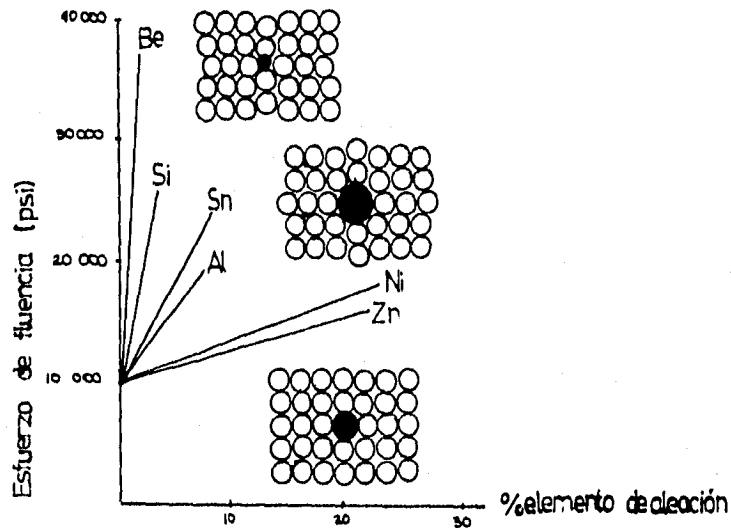


FIG. 4.2 Efecto de varios elementos de aleación en el esfuerzo de fluencia del cobre. Los átomos de níquel de zinc son aproximadamente del mismo tamaño que los átomos de cobre, pero los átomos de berilio y estaño tienen tamaños muy diferentes a los átomos de cobre. Incrementando tanto la diferencia de tamaño atómico como el elemento de aleación se incrementa el endurecimiento por solución sólida.

El grado de endurecimiento por solución sólida depende de dos factores ilustrados en la Fig. 4.2

Primero que hay una gran diferencia en el tamaño atómico entre el átomo original (o solvente) y el átomo añadido (o soluto) por lo que se incrementará el efecto de endurecimiento a través de un efecto de desorden en la red inicial.

Segundo, cuanto mayor sea la cantidad de elemento de aleación añadida, tanto mayor será el efecto de endurecimiento. Por supuesto que si se añade un átomo demasiado grande o demasiado pequeño, el límite de solubilidad puede excederse y producirse un mecanismo diferente de endurecimiento. El endurecimiento por dispersión lo cual modifica las propiedades del material obtenido.

Otros efectos de endurecimiento por solución sólida en las propiedades del material se incluyen en la siguiente lista:

1. El esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tensión y la dureza de la aleación son mayores que para los metales puros.
2. Casi siempre, la ductilidad de la aleación es menor que la del metal puro. Pocas veces ocurre como en las aleaciones de cobre-zinc que el endurecimiento por solución sólida incrementa tanto la resistencia, como la ductilidad.
3. La conductividad eléctrica de la aleación es mucho menor que la del metal puro. El endurecimiento por solución sólida en los cables del cobre o de aluminio utilizados para la transmisión de energía eléctrica no es recomendable debido a éste efecto tan pronunciado.
4. La resistencia a la termofluencia o pérdida de resistencia a temperaturas elevadas se mejora con el endurecimiento por solución sólida. Las temperaturas altas no causan un cambio catastrófico en las propiedades de las aleaciones endurecidas por solución sólida.

Otra definición importantísima dentro de lo que son las aleaciones es el concepto de fase

4. FASES: Una fase se define como una porción homogénea de un sistema, que tiene propiedades físicas y químicas uniformes; por lo tanto, cada solución sólida representa una fase. Sin embargo, no es válido afirmar que las fases son soluciones sólidas; ya que los metales puros son fases, pero no soluciones sólidas. Las fases tienen el mismo aspecto uniforme que las soluciones sólidas. De acuerdo con las sustancias comunes, el agua contenida en un vaso es una fase simple; si se le añade una sal que se disuelve en ella, se forma una solución líquida de fase simple. Cuando se añade sal en cantidades superiores al límite de solubilidad, las partículas sólidas se depositan en el fondo de la fase líquida. Ahora, existen dos fases: una consistente en la sal sólida y la otra en una solución salina. Cada una de éstas representa una porción homogénea individual de un sistema, puesto que la diferencia es tanto física, como química. Se dice que éste sistema es heterogéneo, consiste en más de una fase.

Para establecer una distinción entre ellas, no es necesario que sean diferentes tanto los aspectos físicos, como los químicos de las fases: Por ejemplo, el agua y el hielo, en un vaso constituyen dos fases. En este caso las propiedades físicas de ambas fases son distintas aún cuando su composición sea la misma.

Como ejemplo, consideremos que cuando el carbono y el hierro se alean entre sí a temperaturas inferiores a los 723°C se disuelven en el hierro en cantidades de carbono de hasta un 0.03%, para formar una solución sólida rica en hierro. El carbono que sobrepasa este nivel reacciona con el hierro para formar cementita, o sea, Fe₃C. Este es un compuesto químico que, por consiguiente, es homogéneo y representa una fase simple. Cada forma alotrópica de una sustancia representa una fase diferente.

En resumen, las fases son cuerpos homogéneos de materia físicamente distintos. Cada estado de la materia y cada forma alotrópica de ella, representan una fase diferente.

5. DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO. La relación existente entre la temperatura, las composiciones y las cantidades de las fases, se representa adecuadamente en lo que se conoce como diagrama de equilibrio. Estos diagramas proporcionan información relativa a la relación existente entre las composiciones de los componentes que integran un sistema al alcanzar el punto de equilibrio a una temperatura dada. A dichos diagramas de equilibrio se les llama con frecuencia, diagramas de fases (si se muestran las fases que se encuentran presentes) o diagramas de constitución (si muestran cuales son los constituyentes involucrados).

Los únicos diagramas que se presentan en este trabajo son gráficas dimensionales, en las que se representa la temperatura en función de la composición de los diversos constituyentes o las fases que puedan encontrarse presentes. Las líneas de los diagramas representan los límites entre las fases que existen a ciertas temperaturas y con diversas composiciones, por otra parte, las fases se representan por medio de áreas y éstas últimas llevan siempre inscrito el nombre de la fase que representan.

DIAGRAMAS DE FASE.

Dentro de los diagramas de equilibrio (o de fases) podemos hacer la siguiente clasificación:

- i. Diagramas de fase binarios.
- ii. Diagramas de fase ternarios.

I. DIAGRAMAS DE FASE BINARIOS. Cuando en una aleación están presentes dos elementos. Estos a su vez pueden dividirse en:

- a) Isómeros : Cuando exista una sola fase sólida con solubilidad limitada.
- b) Polfásico : Cuando se tienen aleaciones con dos o más fases.

Dentro de esta tipo se encuentran los diagramas de fase eutécticos, las eutectoides, peritéticos y peritectoides.

II. DIAGRAMAS DE FASE TERNARIOS. Representan las aleaciones que contiene más tres elementos.

Pero, para entender mejor lo anterior analizaremos a cada uno por separado.

DIAGRAMAS DE FASE BINARIOS.

Cuando en una aleación están presentes sólo dos elementos se puede construir un diagrama de fases binario, y cuando existe una fase sólida con solubilidad ilimitada, entonces se puede construir un diagrama de fase binario isomorfo. Puesto que éstos son los sistemas más sencillos de entender son los primeros que vamos a analizar. Enseguida se describirá cómo usar e interpretar un diagrama de equilibrio de este tipo. Aunque no es preciso saber cómo se construyen estos diagramas, esa conocimiento hace que resulte más sencilla su interpretación.

DERIVACIÓN DE UN DIAGRAMA ISOMORFO. Imagínese un cazo de colada que contenga un metal puro fundido, A. La representación de la temperatura en función del tiempo en que el metal se enfría, produce la curva a de la Fig. 4.3a. debe hacerse notar que el enfriamiento se produce con gran rapidez al principio, siguiendo un intervalo de tiempo durante el que no cambia la temperatura. La meseta de la curva representa la solidificación del metal, durante la que se libera el calor latente de solidificación. Después de que la solidificación se hace completa, la gráfica de la temperatura en función del tiempo reanuda su progreso descendente. En este caso, la curva de enfriamiento muestra el punto de congelación del metal. A temperaturas más elevadas que el punto de congelación, el metal puro estará totalmente fundido, y a temperaturas inferiores a dicho punto, el metal estará totalmente en estado sólido. Para otro metal puro B, la curva de enfriamiento es la f de la fig. 4.3a. Las curvas de enfriamiento para las aleaciones de A y B, no tienen una meseta horizontal, ya que se congelan en una gama de temperaturas, más que a una temperatura específica. La curva b de la Fig. 4.3a representa la congelación de una aleación que contiene 20% de B y el resto de A. La aleación se enfría con mucha rapidez, hasta que se inicia la solidificación, momento en que se produce un cambio en la pendiente. Después de concluida la solidificación, se incrementa la velocidad de enfriamiento y hay otro punto de inflexión en la curva. a temperaturas superiores al primer punto de inflexión la aleación es totalmente líquida. A temperaturas inferiores al último punto de inflexión, se encontrará totalmente en estado sólido. Entre estos dos puntos, la aleación es parcialmente sólida y parcialmente líquida.

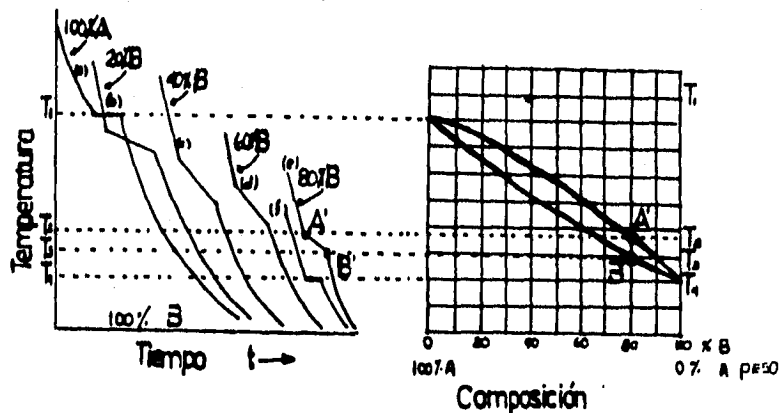


FIG. 4.3 (a) Curvas de enfriamiento para los metales puros A y B y varias de sus aleaciones. (b) Puntos de inflexión en las curvas de (a), que corresponden al comienzo y el fin de la solidificación.

El diagrama de fases (en esta simple ilustración se construyó a partir de las diversas curvas de enfriamiento. Se traza una gráfica en la que la temperatura se representa a escala, a lo largo del eje vertical y la composición en el eje horizontal. Se trazan las temperaturas a las que se inician y terminan las solidificaciones de las diversas composiciones. Si se traza una línea que pase por los puntos de iniciación de la solidificación, y otra por los del final de la congelación, se obtiene la gráfica de la fig. 4.3b. Las aleaciones A y B de cualquier composición, a temperaturas por encima de la línea superior, estarán en estado líquido mientras que las que se encuentran a temperaturas por debajo de la línea inferior, estarán en estado sólido. Las composiciones que se encuentran a temperaturas situadas entre las dos líneas, serán parcialmente líquidas y, en parte, sólidas; por consiguiente, las líneas del diagrama separan las condiciones en las que el sistema se encuentra en la fase líquida o en la sólida. La línea superior por la que encima sólo pueden existir líquido, se conoce como *líquidus*, y la inferior se denomina *sólidus*. Debemos hacer notar que sólo hay una fase sólida y una líquida; esto quiere decir que A y B son mutuamente solubles, uno en el otro, en cantidades limitadas, tanto en el estado líquido como en el sólido. Los sistemas que satisficieran el requisito de solubilidad sólida y líquida se llaman sistemas de aleación.

INTERPRETACIÓN DE UN DIAGRAMA DE FASE DE UNA ALEACIÓN ISOMORFA

Las aleaciones de cobre y níquel forman un sistema isomorfo de aleación, cuyo diagrama de equilibrio se ilustra en la Fig. 4.4. Dicho diagrama puede interpretarse con facilidad, siguiendo unas cuantas reglas simples. Para cualquier temperatura y composición total:

- 1.- Encuentre la intersección de la abscisa con la ordenada. La zona en que se produzca esto, indica la fase o fases presentes (esto es: líquida, sólida o sólida y líquida).
- 2.- Si sólo existe una fase, su composición será la misma que la total.
- 3.- Si se encuentran presentes dos fases, sus composiciones se determinarán, trazando perpendiculares al eje de composición desde la intersección de la ordenada (o sea, la temperatura), con los límites de la región bifásica. Las intersecciones de las perpendiculares con los ejes de composición indican las composiciones de las fases presentes. La perpendicular de la intersección de la línea de *líquidus* con la temperatura indica la composición de la fase líquida. La composición de la fase sólida se determina mediante la perpendicular trazada desde la intersección de la línea *sólidus* con la de la temperatura.
- 4.- Las cantidades de las fases deben ser tales que su composición media sea la misma que la total. Esta es la base para calcular las cantidades de las fases presentes.

Las cuatro reglas simples que se acaban de enunciar, se aplican a la interpretación de todos los diagramas de fases (aunque pueden ser necesarias ciertas modificaciones).

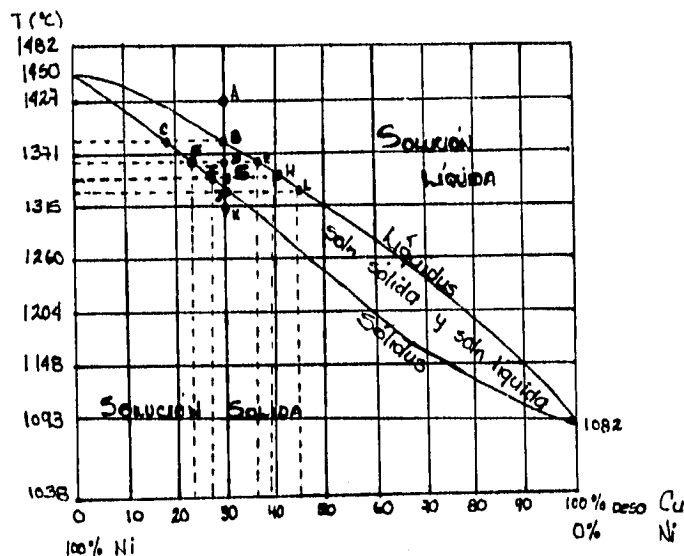


Fig. 4.4. Interpretación del sistema cobre / níquel, para una aleación que contiene 30% de cobre.

De la figura 4.4 pueden obtenerse los puntos de solidificación de los dos componentes puros. El cobre se solidifica a 1082° C y el níquel a 1450° C.

Veamos, a continuación lo que podemos deducir de la Fig. 4.4, sobre el enfriamiento de una aleación que contenga 30 por ciento de cobre e partir de 1427° C. El primer paso consiste en localizar la intersección de la línea de composición con la de isoterma. En este caso particular, esta intersección se encuentra en el punto A. La aleación se encuentra en estado líquido debido a que A está por encima de la línea liquidus en la zona marcada solución líquida. Durante el enfriamiento, no se producen cambios en el sistema hasta llegar a una temperatura de 1383° C. En ese momento, la intersección de la temperatura con la composición cae sobre la línea liquidus, en B, indicando que se entra en la zona bifásica y que, por lo tanto, puede esperarse que se forme cierta cantidad de material sólido.

El diagrama no sólo indica que la aleación comienza a solidificarse en B, si no que muestra, además, que la composición del primer material sólido que se forme contendrá 20 por ciento de cobre y 80 por ciento de níquel. Esto se determina extendiendo la línea de temperatura de B hasta la otra línea limitadora (sólidos) de la región bifásica, y trazando una perpendicular desde esa intersección (punto C) hasta el eje de composición. Por lo tanto a 1383° C, las composiciones de las dos fases que se encuentran mutuamente en equilibrio, se indican por medio de perpendiculares trazadas desde los puntos B y C. La línea que conecta esos dos puntos es una porción de una isoterma que se conoce como línea de interconexión. En la Fig. 4.4 CB, FE, HI y JL, son líneas de interconexión puesto que enlazan las composiciones de dos fases, en equilibrio entre sí.

Si de un líquido con un contenido de 30 por ciento de cobre se cristaliza un sólido que sólo tenga 20 por ciento de ese metal, es evidente que el líquido restante deberá tener una composición más rica en cobre que la del líquido original. La pendiente de la línea liquidus indica que la temperatura a la que se solidifica el líquido restante, debe ser inferior a los 1383° C. Por lo tanto, para que pueda proseguir la solidificación, tiene que disminuir la temperatura.

Cuando se alcanza una temperatura de 1357°C , la intersección de la línea de la composición total con la isoterma se produce en D, bien adentro de la zona bifásica. A esa temperatura, las únicas dos fases que pueden existir en equilibrio mutuo, tienen composiciones correspondientes a E y F, o sea, 36 y 24 por ciento de cobre respectivamente. Puesto que no se han retirado ni se le ha añadido nada al sistema las cantidades de la fase sólida y líquida deben ser tales que produzcan la misma composición total que la original. Esto se produce sólo cuando hay cantidades iguales de las fases sólida y líquida, o sea, la mitad del peso del sistema es sólida, con un contenido de 24 por ciento de cobre, y la otra mitad, es líquida, con un 36 por ciento del citado metal. Si había originalmente 100 kg. de aleación, en una colada debía haber 30 kg. de cobre y 70 kg. de níquel. A una temperatura de 1357°C , con 50 kg. de material sólido y otros 50 kg. de líquido debe haber:

$$50 \times 0.24 = 12 \text{ kg. de cobre en la fase sólida}$$

$$50 \times 0.36 = 18 \text{ kg. de cobre en la fase líquida}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} \\ 30 = \text{total de kg. de cobre}$$

Observe que las longitudes de los segmentos DF y DE la línea de interconexión son iguales. Esto tiene importancia e indica que hay cantidades iguales de material en estado sólido que en el líquido, a la temperatura y con la composición que se toman en consideración. Al disminuir la temperatura, tanto la fase sólida como la líquida se hacen más ricas en cobre. Por ejemplo, a 1383°C , el sólido contiene 20 por ciento de cobre y a 1357°C , el sólido tiene un 24 por ciento de cobre. En la misma gama de temperatura descendente, la composición de la fase líquida pasa de un 30 por ciento a un 36 por ciento de contenido de cobre.

A 1350°C , la intersección de la abscisa con la ordenada se produce en G, en una zona bifásica, la composición de las dos fases puede determinarse tirando coordenadas de I y H. La sólida tiene 27 por ciento de cobre y la líquida un 39 por ciento. Sabiendo esto pueden hallarse las proporciones de la fase sólida y la líquida.

Si X = fracción de sólido; entonces $1.00 - X$ es la fracción del líquido; de donde:

$$0.27 X + 0.39 (1 - X) = 0.3$$

donde el sistema contiene 30 % de cobre y

$$0.12 X = 0.90 \quad X = 0.75$$

O sea, que el 75 % del sistema se encuentra en estado sólido y el 25 % en el líquido.

A 1350°C , la intersección de la composición con la temperatura se produce en el punto J, sobre la línea sólida. En ese caso, el líquido que queda se solidifica (con un contenido de 43 % de cobre). Ahora el sólido contiene 30 % de cobre, lo cual corresponde a la composición original del líquido. Por debajo de esta temperatura no se producen otros cambios de fase.

Así pues, para temperaturas y composiciones cualesquiera, siempre es posible determinar la fase o las fases en equilibrio, las composiciones de éstas y las cantidades de cada una de ellas.

Vemos el calentamiento, en lugar del enfriamiento, de una aleación ISOMORFA. Nuevamente con relación al sistema cobre y níquel a 1320°C , la aleación que contiene 30 % de cobre se encuentra en estado totalmente sólido. Al calentar este sólido, se forma el primer líquido a 1335°C , con un contenido de 43 % de cobre (puntos J y L). El estado sólido restante es más rico en níquel que el cuerpo sólido original, por lo tanto, la fusión sólo puede continuar al aumentar la temperatura a 1350°C , el líquido en equilibrio con el sólido contiene un 39 % de cobre (punto H) y el sólido tiene un 27 % de dicho metal (punto I). Conforme progresa la fusión, tanto el líquido como el sólido se hacen más ricos en el componente de punto más elevado de fusión. A 1363°C , la pequeña cantidad restante de sólido, que contiene un 20 % de cobre se funde, produciendo un líquido con una composición de un 30 % de cobre (puntos B y C). Esto equivale a la composición inicial. Las cantidades de las fases presentes a cualquier temperatura, durante el calentamiento, pueden determinarse por medio del método escrito anteriormente.

LA REGLA DE LA PALANCA PARA SISTEMAS ISOMORFOS.

Por lo común, es más conveniente determinar las cantidades de las fases presentes por métodos gráficos que mediante las matemáticas. El método gráfico incluye lo que se conoce como la regla de la palanca.

Imagínese una aleación, cuya composición es de 30 % de cobre y 70 % de níquel. A 1350°C (de acuerdo a la Fig. 4.4) las cantidades relativas de las fases líquida y sólida se indican por medio de las longitudes relativas de los segmentos de la línea de interconexión IG y GH, en la Fig. 4.4. Así pues :

$$\text{Porcentaje de solución sólida} = \frac{\text{GH}}{\text{IH}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de solución líquida} = \frac{\text{IG}}{\text{IH}} \times 100$$

La medición de las longitudes reales de esos segmentos indican que el 75 % del sistema es sólido y el 25 % se encuentra en estado líquido. Puesto que el eje de composición proporciona una medida conveniente de longitud, las longitudes de los dos segmentos de la línea de interconexión pueden expresarse como porcentajes de composición. La medición real de la longitud es innecesaria. Las cantidades de las soluciones sólida y líquida son :

$$\frac{39 - 30}{39 - 27} \times 100 = 75 \% \text{ sólida}$$

$$\frac{30 - 27}{39 - 27} \times 100 = 25 \% \text{ líquida}$$

Estos porcentajes pueden calcularse de manera aproximada, mediante un simple examen de diagrama. La regla de la palanca, cuyo punto de apoyo se encuentra en la composición total y cuyos brazos llevan pesos (o sea, cantidades relativas de las fases), inversamente proporcionales a la longitud de cada brazo.

DIAGRAMAS DE FASES PARA LAS ALEACIONES POLIFÁSICAS

Hasta aquí sólo hemos visto el caso sencillo pero importante de las aleaciones de una sola fase. En ésta todos los granos de metal tienen la misma estructura cristalina, al mismo análisis y las mismas propiedades. Las aleaciones en las cuales se presentan dos o más fases se denominan aleaciones polifásicas. La mayoría de los materiales metálicos son de este tipo.

Dentro de este tipo de diagramas tenemos los conocidos como diagramas eutécticos los cuales analizaremos primero.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO EUTECTICOS

Este diagrama representa una aleación en la que hay siempre una composición líquida que se solidifica a una temperatura fija, inferior a los puntos de congelación de cualquiera de los componentes puros. Esta composición líquida particular, que se conoce como líquido eutéctico, produce habitualmente dos soluciones sólidas, al congelarse. Una propiedad especial del líquido eutéctico es su punto preciso de congelación.

A este respecto, se comporta como un metal puro, más que como una aleación. En la Fig. 4.5 se ilustra el diagrama del cobre y la plata, que es un ejemplo del sistema eutéctico. Las superficies de ese diagrama tienen inscripciones que indican cuáles son las fases presentes.

Las composiciones de aleaciones que se encuentran por encima de las líneas liquidus, son siempre líquidas, las líneas liquidus se muestran en la Fig. 4.5. A lo largo del eje vertical de mano izquierda, hay una zona monofásica, llamada α (alfa), que es una solución sólida de cobre en plata. Al lado derecho hay otra zona monofásica que, en este caso, se designa como β (beta), y es una solución sólida de plata en el cobre. En los diagramas de fases, las zonas monofásicas están separadas siempre por una región bifásica, que comprende siempre a las dos fases simples que separa. Así, entre la zona de la fase α la fase β , hay una región bifásica, que comprende a + β . Entre la zona α y la líquida y hay una región de α más líquida y entre la zona β y la líquida hay una zona β más líquida.

La isoterma de reacción eutéctica es una línea de temperatura constante y, por lo tanto, paralela al eje de composición. Esa es la temperatura de congelación para el líquido de composición eutéctica. Para el sistema de cobre y plata la temperatura eutéctica es de 779° C. Las líneas sólidas muestran cuándo es completa la solidificación para las soluciones sólidas monofásicas. En la Fig. 4.5 una línea sólida corre desde el punto correspondiente a 960° C y 100 % de plata al punto K. La isoterma de reacción eutéctica es otra línea sólida, y del punto M hasta el punto de fusión del cobre corre la tercera línea sólida, todas las líneas atadas forman una continuación. Las líneas solvas, para las que no existen analogías en los sistemas isomorfos, son en realidad curvas de solubilidad sólida y muestran los límites de solubilidad sólida de la plata en el cobre y viceversa, a distintas temperaturas. Por ejemplo, a 1770° C, la línea solvas indica que la plata puede retener hasta un 8.8 % de cobre en soluciones sólida (a). A 316° C, la solución sólida a, rica en plata, sólo puede disolver un 1 % de cobre (solución sólida b) que varía de 8 % a 770° C, hasta menos de un 1 % a 316° C.

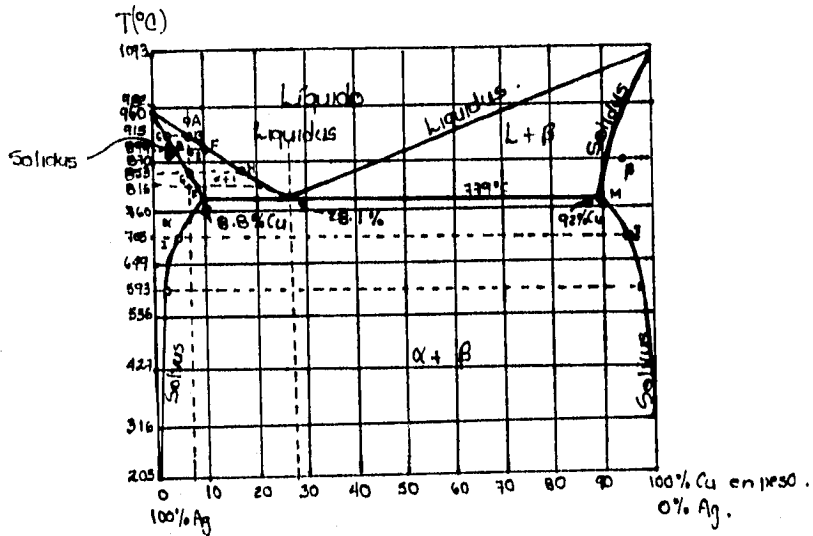


Fig. 4.5 Interpretación del sistema eutéctico de cobre y plata, para los casos de aleaciones que contienen a) 7 % de cobre, b) 28.1 % de cobre, c) 20 % de cobre.

Considérese el enfriamiento de equilibrio de varias aleaciones de plata y cobre, como ejemplos de cómo utilizar el diagrama, se siguen las mismas reglas de interpretación que se dieron en la sección de los Diagramas Isomorfos. Suponga que se trata de una aleación que contiene 7 % de cobre y el resto de plata, a 945° C. La intersección de la abscisa con la ordenada tiene lugar en A y coloca el sistema en la zona líquida. Al enfriarse lentamente el material fundido, se forma el primer material sólido a 815° C, con un contenido de, aproximadamente 2.5 % de cobre, y 97.5 % de plata. Este sólido es la solución sólida α , en la que la plata es el solvente y el cobre el soluto. A unos 899° C, se encuentran presentes cantidades aproximadamente iguales de α y líquido.

A esta temperatura, la solución sólida contiene, más o menos, un 5 % de cobre, y el líquido en equilibrio con ella tiene cerca de un 9 % de cobre. Los porcentajes de material sólido y líquido se determinan mediante la aplicación de la regla de la palanca:

$$\alpha = \frac{EF}{DF} \times 100 = 50 \%$$

$$L = \frac{DE}{DF} \times 100 = 50 \%$$

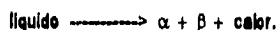
Al disminuir la temperatura, el sólido y el líquido se hacen más ricos en cobre. Finalmente, a unos 853° C, se solidifica la última parte restante del líquido, con un contenido de alrededor de un 14 % de cobre, para formar una solución sólida α , cuya composición es la misma que la inicial del material en fusión. Entre 853° C y 747° C, las intersecciones de las líneas de temperatura y composición se producen en la zona de solución sólida α . Por consiguiente, hasta llegar a los 747° C, no se producen cambios en la estructura de la aleación. A 747° C, se cruza la línea solvus, entrando en una zona bifásica, y se forma la fase β . La línea solvus indica que la solubilidad del cobre en la plata disminuye, y el cobre rechazado forma partículas de solución sólida β . Puesto que ésta última es en realidad una solución de plata en cobre, el cobre rechazado se lleva consigo cierta plata, al precipitarse. La composición de la fase β , a 705° C. Se determina mediante la construcción de la línea de interconexión IJ y el trazado de una perpendicular desde J. A 705° C, β contiene, aproximadamente 5 % de plata disuelta en 95 % de cobre. Al disminuir la temperatura, se forma más β que α . A 593° C, el α , con un contenido de 3 % de cobre, y el β , con 2 % de ese mismo metal, se encuentran en equilibrio. Las cantidades de las dos fases presentes son:

$$\alpha = \frac{98 - 7}{98 - 3} \times 100 = \frac{91}{95} \times 100 = 95.8 \%$$

$$\beta = \frac{7 - 3}{98 - 3} \times 100 = \frac{4}{95} \times 100 = 4.2 \%$$

En el enfriamiento real de esta aleación, en condiciones de no equilibrio, se producen muy pocos cambios estructurales por debajo de 747° C, debido a la lentitud de los cambios en estado sólido y a la velocidad con la que desciende la temperatura.

Analicemos, a continuación, la composición eutéctica, una aleación que contiene 28.1 % de cobre. A 870° C, la composición eutéctica es completamente líquida y al enfriarse, no se producen cambios de fase hasta a los 770° C. En este caso, la intersección de las líneas de composición y temperatura está situada en la intersección de la isoterma de reacción eutéctica con las dos líneas líquidas. La reacción eutéctica, que es un modo especial de solidificación, se efectúa isotérmicamente a 770° C, cuando el medio ambiente extrae el calor de solidificación la expresión general para la reacción eutéctica es la siguiente:



La razón de material sólido a líquido aumenta, a medida que el sistema va cediendo cada vez más calor. Después de concluida la solidificación, la temperatura puede descender nuevamente y el sólido se compondrá de α y β , en una proporción específica, la composición de α le da una perpendicular del punto K, como 8.8 %, mientras que β contiene 92 % de cobre.

Las cantidades de α y β son:

$$\alpha = \frac{63.9}{83.2} \times 100 = 76.8$$

$$\beta = \frac{19.3}{83.2} \times 100 = 23.2 \%$$

La razón fija α y β , formando al congelarse un líquido de composición eutéctica, produce un constituyente característico y reconocible, que se conoce como sólido eutéctico o mezcla eutéctica. En el sistema de aleación que estamos considerando, forman la mezcla eutéctica capas alteradas de fase sólida α y fase sólida β , de acuerdo con la razón fija. Cuando la temperatura del sólido eutéctico desciende por debajo de la temperatura de reacción eutéctica, se precipita α de la solución sólida α . En otras palabras tanto α como β tienden a convertirse en metales puros.

Finalmente, vemos la solidificación de una composición que contenga un 20 % de cobre. A 870° C, esta composición es líquida. Al enfriarse, se forma primeramente solución sólida α a 816° C y contiene, aproximadamente, 7.5 % de cobre. Después de enfriarse lentamente hasta 802° C, el sólido contiene 8 % de cobre y el líquido un 23 % de ese mismo metal. A una temperatura ligeramente mayor que la eutéctica, el líquido contiene 28.1 % de cobre y ha llegado a la composición eutéctica. El líquido eutéctico está en equilibrio con partículas sólidas que flotan en él, y cuya composición es de un 8.6 % de cobre. Las cantidades de esas dos fases son:

$$\text{líquido eutéctico} = \frac{11.2}{19.3} \times 100 = 58 \%$$

$$\text{cristales de solución sólida } \alpha = \frac{8.1}{19.3} \times 100 = 42 \%$$

La congelación del líquido eutéctico se realiza a la temperatura eutéctica. Por debajo de la temperatura eutéctica, la estructura se compone de cristales α , denominados cristales primarios, formados antes de la solidificación eutéctica. Los cristales primarios están rodeados por una mezcla eutéctica sólida y laminar de soluciones sólidas α y β . El porcentaje de sólido eutéctico por debajo de los 779° C es el mismo que el del líquido eutéctico que existía ligeramente por encima de los 779° C y del que se formó la mezcla eutéctica. Por consiguiente, debe haber 58 % de mezcla eutéctica y 42 % de α primario. Como siempre para este sistema de aleación la mezcla eutéctica consiste en 76.8 % de α y 23.2 % de β . El total de α , inmediatamente por debajo de la temperatura eutéctica, equivale al 86.5 % del sistema total. Esto puede determinarse mediante la adición de la cantidad de alfa primaria a la cantidad de alfa proporcionada por la estructura eutéctica. Puesto que el 76.8 % de la estructura final es eutéctica y el 58 % de ella es alfa, el porcentaje de la estructura total que es alfa eutéctica, es $0.58 \times 76.8 = 44.5$ por ciento. Sumando la alfa eutéctica, 44.5 %, a la primaria, 42 % se obtiene la cantidad total de alfa, que es de 86.5 %. La β , que se encuentra en su totalidad en la mezcla eutéctica, corresponde a un 13.5 % del sistema, o sea, $0.58 \times 23.2 = 13.5$. Cuando la temperatura desciende todavía más, por debajo de los 779° C, la fase α precipita β , y la fase β precipita α , como se mencionó antes.

ESTRUCTURAS EUTÉCTICAS TÍPICAS.

Las composiciones eutécticas pueden formar cualquiera de las microestructuras que se muestran en la Fig. 4.6 El sistema del cobre y la plata es típico de los eutécticos con una estructura microlaminar. Otras aleaciones presentan estructuras eutécticas nodulares, de caracteres chinos y aciculares. No hay ninguna regla simple para predecir, a partir del diagrama de equilibrio el tipo de estructura eutéctica que posee un sistema de aleación. Como pudiera esperarse, las estructuras eutécticas nodulares, de caracteres chinos y aciculares se forman con más frecuencia, cuando la composición eutéctica se acerca a la composición de cualquiera de las soluciones sólidas que contiene. En este caso, hay una cantidad mucho mayor de una de las soluciones sólidas en la mezcla eutéctica que de la otra. Se presenta estructuras eutécticas divorciadas, cuando no hay un límite preciso entre una solución sólida primaria y la porción de la misma solución sólida que se presenta como parte de una mezcla eutéctica.

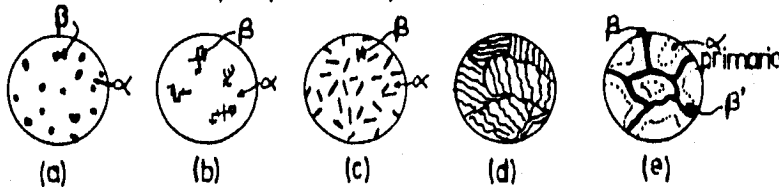


Fig. 4.6 Bosquejo de tipos de estructuras eutécticas: a) Nodular, b) De caracteres chinos, c) Acicular, d) Laminar, e) Divorciadas

DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO EUTECTOIDES

Las reacciones eutectoides y las eutécticas difieren entre sí, en más de un aspecto importante. Las reacciones eutécticas implican el cambio de una fase líquida a dos fases sólidas; mientras que las reacciones eutectoides se efectúan totalmente dentro del estado sólido. La siguiente es una expresión general de la reacción eutectoide:



En donde α , β y γ son fases sólidas y, a menudo, soluciones sólidas.

La reacción eutectoide más importante es la que se produce en los aceros. Es necesario contar con la comprensión definida de las reacciones eutécticas y las eutectoides, para poder entender lo referente a los aceros al carbón y carburo de hierro que es, probablemente, el más importante de todos los diagramas de equilibrio de metales.

Aunque no es el objetivo de esta tesis estudiar estos compuestos se presentará una breve explicación útil solo para ejemplificar este tipo de diagramas.

La Fig. 4.7 se ilustra con un diagrama simplificado del hierro-carburo de hierro, como lo indica el nombre de este diagrama, se considera que los componentes son hierro y carburo de hierro. Sin embargo, es más conveniente representar la composición en relación con el porcentaje de carbono, más que por el de carburo de hierro (Fe_3C). Si el diagrama de hierro-carburo de hierro se divide en dos partes, una superior a $927^\circ C$ y la otra inferior a esta misma temperatura, es evidente que la primera se relaciona con una reacción eutéctica y la segunda, con una reacción eutectoide.

Las fases y los constituyentes que se encuentran en el diagrama del hierro-carburo de hierro, se indican en las áreas correspondientes de la Fig. 4.7

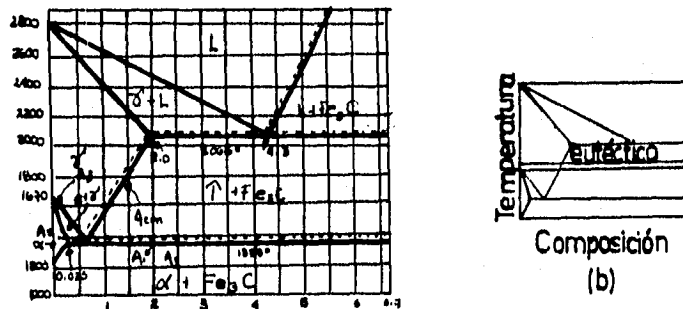


Fig. 4.7 El diagrama hierro - carburo de hierro. Puede considerarse como la combinación de una reacción eutéctica con una eutectoide.

Dentro de los diagramas binarios politéicos están los diagramas peritecticos, los peritectoides, hipereutécticos e hipoeutécticos, los cuales definiremos a continuación.

ALEACIONES PERITECTOIDE : Son reacciones de tres fases en la cual se combinan dos sólidos para producir un tercer sólido durante el enfriamiento.

ALEACIONES PERITÉCTICAS : Reacción de tres fases en la cual se combinan un sólido y un líquido para producir un segundo sólido en el enfriamiento.

ALEACIONES HIPEREUTÉCTICAS : Prefijo que indica que la composición de una aleación es mayor que la composición a la que presenta la reacción de tres fases.

ALEACIONES HIPOEUTÉCTICAS : Prefijo que indica que la composición de una aleación es menor que la composición a la que se presenta la reacción de tres fases.

DIAGRAMAS DE FASE TERNARIOS.

Hasta ahora, hemos examinado solamente sistemas con dos componentes, lo cual nos llevó a los diagramas binarios. En muchas aleaciones, tenemos presentes tres elementos principales. Como por ejemplo, el acero inoxidable 18/8 que contiene 18% de cromo, 8% de níquel y alrededor de 74% de hierro.

Para entender los diagramas ternarios, debemos considerar las tres fases que están en equilibrio y especificar la temperatura. Utilizamos entonces una gráfica triangular (Fig. 4.8)

Primero, consideramos la representación de la composición a temperatura constante y luego la dimensión adicional para la temperatura variable. Quizás la forma más rápida de visualizar la red mostrada es como si fuese un triángulo equilátero.

El punto en la esquina del hierro es 100% hierro. Cualquier punto en la línea del 80% de hierro contiene esa cantidad de hierro. Ahora, coloquemos un acero inoxidable de 18% de cromo, 8% de níquel y 74% de hierro llamado 18/8. Se muestra la línea de 74% de hierro y la composición debe estar en algún sitio a lo largo de la línea.

Luego vemos claramente que la esquina del cromo representa 100% de cromo. Nos alejamos para encontrar la línea del 18% de cromo. El punto donde ésta intercepta la línea de 74% de hierro es 18% de cromo y 74% de hierro. No necesitamos dibujar la línea de 8% de níquel, excepto a manera de verificación, porque el porcentaje de níquel se determina por la diferencia de 100% (esto es $\%Ni = 100 - 74\%Fe - 18\%Cr$).

Para encontrar la composición de una aleación de tres elementos utilizando un gráfico triangular se localizan las líneas apropiadas de isocomposición para cada elemento, que comienza a partir de la esquina del triángulo correspondiente a ese elemento.

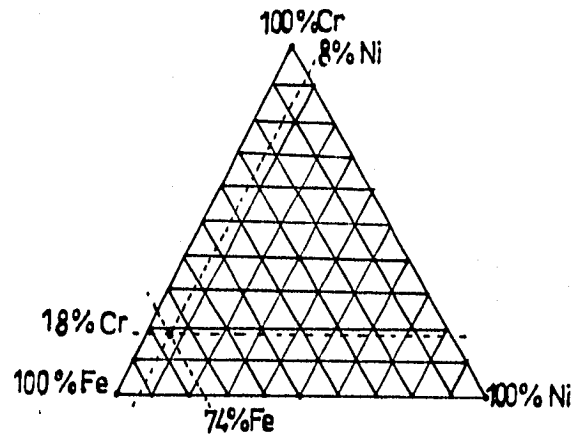


Fig. 4.8 Localización de un punto en el diagrama ternario hierro-níquel-cromo.

En la Fig. 4.9 se muestra un diagrama completo de tres componentes o ternario, a presión constante pero a temperatura variable. Nótese que el liquidus deja de ser una línea como en el caso de un sistema de dos componentes y se convierte en una superficie cuando están presentes tres componentes.

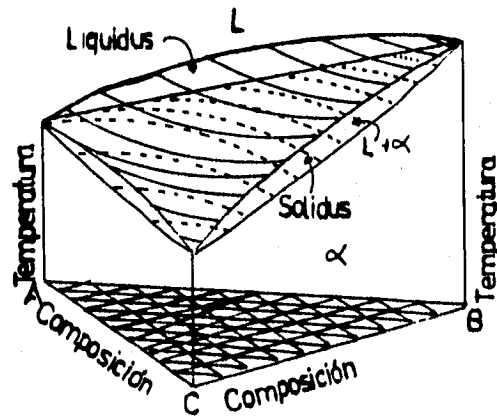


Fig. 4.9 Diagrama espacial temperatura-composición de un sistema ternario.

El diagrama ternario tiene gran importancia al tratar con los metales. Se puede añadir un tercer elemento para bajar el punto de fusión de una aleación, por ejemplo.

Todo lo que se ha estudiado referente a los diagramas de equilibrio tiene su aplicación al hablar específicamente de las diversas aleaciones comerciales que se emplean en la industria y de las cuales es necesario saber su comportamiento para conocer las aplicaciones que podemos dar a cada una de ellas.

De tal manera que ahora serán estudiadas las aleaciones metálicas considerando de antemano que podemos deducir el comportamiento de cada una de ellas al conocer su diagrama de fases.

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V

ALEACIONES METÁLICAS

Iniciemos ahora una nueva parte de este trabajo dedicado a las aleaciones empleadas en la selección de materiales en la Ingeniería Química. Reflexionemos un poco acerca de lo que hemos estudiado y su aplicación en lo que más adelante estudiaremos. Primero, establecimos que para lograr un entendimiento básico de los metales, necesitamos conocer la naturaleza de los diferentes átomos y cómo están organizados en estructuras metálicas. Después, los efectos que tienen el esfuerzo y la temperatura en éstas estructuras. Como resultado de esto, podemos entender las propiedades de los materiales metálicos y aleaciones conformadas por la mezcla de dos o más metales;

Y la razón por la cual podemos hacer esto, es porque las aleaciones tienen sólo unas pocas estructuras metálicas diferentes

Aquí, debemos hacer hincapié en el hecho de que existe una división muy notable en este tipo de materiales:

- Aleaciones Ferrosas
- Aleaciones no ferrosas

La diferencia está, como dice su nombre, en que las primeras están basadas en el hierro y las aleaciones no ferrosas basadas en otros elementos que no sean el hierro. Pero, analizaremos brevemente estas dos clases de aleaciones por separado.

ALEACIONES FERROSAS.

Debido a que no es el objetivo de ésta tesis el analizar las aleaciones ferrosas ya que nuestro tema de estudio es el cobre y sus aleaciones y estas pertenecen al grupo de las aleaciones no ferrosas, no profundizaremos en ellas. Sin embargo, podemos establecer que las propiedades mecánicas de las aleaciones del hierro y el carbono varían ligera y continuamente con los cambios en el contenido de carbono. De hecho, tanto la estructura como las propiedades dependen de dicho contenido de carbono. Al aumentar la cantidad de carbono, se tiene una fase dura y quebradiza. Cuando la composición es tal que la fase continua es blanda y dúctil la aleación también tiende a serlo; por otra parte, una fase continua dura y quebradiza dará una aleación de las mismas características.

Además, tanto la cantidad, como la calidad de la fase continua ejercen un efecto sobre las propiedades. Si aumenta la cantidad de ferrita blanda y dúctil, las aleaciones se hacen más blandas y dúctiles. Estas correlaciones entre las propiedades y la microestructura, han producido una generalización importante aplicable a las aleaciones heterogéneas: Las propiedades de una aleación heterogénea tienden a ser rígidas por las propiedades y la cantidad de la fase continua. Las propiedades reciben también la influencia de la distribución de las fases.

Debemos considerar que el hierro y el acero son tan ampliamente utilizados y tan baratos que la gama más de microestructuras y propiedades se encuentra en la familia de las aleaciones de hierro que comprende desde los aceros de alta resistencia hasta los de menor resistencia. La mayoría de las cargas que soportan carga o transmiten potencia son las aleaciones de hierro.

Considerando las propiedades de este tipo de aleaciones podemos preguntar dado que las aleaciones basadas en el hierro son baratas y tienen una resistencia muy alta, porqué ocupamos de las aleaciones no ferrosas?

El hecho de que nos ocupemos de las aleaciones no ferrosas se debe a que debemos darnos cuenta de que la resistencia es sólo uno de los requisitos que debe cubrir un componente industrial. Un desempeño satisfactorio de éstos depende de la densidad, la resistencia a la corrosión y los efectos de la temperatura, así como las propiedades eléctricas y magnéticas.

Enseguida se dará una semblanza de las aleaciones no ferrosas más importantes dentro de la ingeniería. Para su estudio adoptaremos un enfoque más sistemático: Clasificar las aleaciones en familias, con base en los principales elementos que se encuentran en ellas, tales como las aleaciones de cobre, aluminio, níquel, zinc, magnesio, titanio, etc.

ALEACIONES NO FERROSAS.

ALEACIONES DE ALUMINIO.

Las propiedades extraordinarias del aluminio son su poco peso, la excelente conductividad eléctrica y térmica que posee, y su buena resistencia a la corrosión. El aluminio puro se funde a los 933°C y es un metal blando y dúctil. Las propiedades mecánicas del aluminio son mucho más bajas que las del acero; pero pueden mejorarse por medio de la aleación y el tratamiento térmico. El hecho importante que es preciso recordar es que las propiedades mecánicas ordinarias se basan en tamaños seccionales iguales. La resistencia a la fluencia de las aleaciones de aluminio disminuye bruscamente cerca de los 175°C y, por lo tanto, se utilizan principalmente para aplicaciones que deben someterse a temperaturas bastante bajas.

Pero veamos el efecto que tiene cada metal en la aleación.

El cobre se añade principalmente para formar un sistema de aleación que puede endurecerse por envejecimiento. Aunque el cobre perjudica a la resistencia a la corrosión del aluminio sus efectos dañinos se minimizan por medio de un tratamiento apropiado de solución y precipitación.

El silicio se caracteriza, sobre todo, por mejorar la compactación gaseosa y la fluidez de las piezas de fundición, además, reduce la disminución del tamaño de las piezas de fundición a la mitad del valor correspondiente al aluminio puro. El silicio es perjudicial para la capacidad de labrado a máquina, la ductilidad y la facilidad de trabajo de las aleaciones. Para aumentar la resistencia a la corrosión se puede hacer una aleación con silicio y magnesio.

Las aleaciones de aluminio se utilizan cuando los ahorros de peso estructural hacen posible un aumento de la carga, como en la industria de los transportes. También se utilizan como conductores eléctricos. Combinado con acero es útil para soportar el peso de los cables suspendidos.

ALEACIONES DE MAGNESIO.

La propiedad más sobresaliente del magnesio es su poco peso ya que es el más ligero de los materiales. En general, sus propiedades mecánicas y de servicio son bastante inferiores a las del aluminio. Su blancura y sus características quebradizas hacen que sean más fácil de labrar a máquina, aunque en forma dividida constituye un peligro de incendio, debido a su reactividad química. Cuando se toma el peso en consideración, el magnesio es probablemente superior al aluminio y al acero. Aunque su resistencia a la corrosión en regiones secas de tierra adentro es excelente, aunque no responde muy bien cuando se encuentra expuesto a climas húmedos.

Las aleaciones de magnesio no son de ninguna manera tan numerosas como las del hierro, aluminio o cobre. En realidad, sólo hay una clase importante de aleaciones que pueden endurecerse por precipitación y contienen aluminio.

Se añade zinc como endurecedor de la solución sólida y para hacer aumentar la resistencia a la corrosión. Por lo común las impurezas reducen la resistencia a la corrosión del magnesio.

Las aleaciones de magnesio se utilizan principalmente en maquinaria de alta velocidad, aviones y naves espaciales, maquinaria, herramientas y equipo para el transporte de materiales.

ALEACIONES DE BERILIO.

El berilio es más ligero que el aluminio, pero es más tenaz que el acero. Las aleaciones de berilio tienen altas relaciones de resistencia-peso y mantienen tales propiedades a elevadas temperaturas. Gran cantidad de aplicaciones aeroespaciales y nucleares indican que el berilio es un excelente material para uso en ingeniería.

Desafortunadamente, el berilio es caro, frágil, reactivo y tóxico. Cuando se presenta a la atmósfera a temperaturas elevadas, el berilio se oxida rápidamente produciéndose BeO , el cual es tóxico. En consecuencia deben utilizarse técnicas complicadas de manufactura.

ALEACIONES DE TITANIO

El titanio proporciona resistencia a la corrosión, alta relación resistencia-peso y propiedades favorables a temperaturas altas.

El titanio es alotrópico con una estructura cristalina h.c (a) a bajas temperaturas y una estructura c.c(b) por arriba de los 882°C . Los elementos de aleación combinan la temperatura de transformación alotrópica y pueden dividirse en cuatro grupos.

Ciertas adiciones como las del estaño producen un endurecimiento por solución sólida sin afectar la temperatura de transformación. El aluminio, el oxígeno, el hidrógeno y otros elementos alfa-estabilizadores incrementan la temperatura a la cual α se transforma en β . Los beta-estabilizadores como el vanadio, el tantalio, el molibdeno y el niobio abaten la temperatura de transformación, causando incluso que la fase β sea estable a temperatura ambiente. Finalmente el manganeso, el cromo y el hierro producen una reacción eutectoide, reduciendo la temperatura a la cual ocurre la transformación α - β , y produciendo una estructura bifásica a temperatura ambiente.

Las aplicaciones incluyen intercambiadores de calor, tuberías, reactores, bombas, válvulas para las industrias química y petroquímica.

ALEACIONES DE ZINC.

El zinc se emplea principalmente como recubrimiento para el acero a fin de evitar la corrosión. El zinc puede trabajarse en varias formas y configuraciones mediante métodos comunes de fabricación.

Agregar plomo y cadmio da como resultado mayor dureza rigidez y una reacción uniforme al ataque químico. Se utiliza para burletes, latas soldadas para batería y placas para fotograbado. Para rigidez añadida, buena resistencia a la fluencia y fácil endurecimiento por trabajado, se recomiendan las aleaciones que contengan menos de 1.25% de cobre. Si se agrega titanio se tiene una aleación que tiene relevante resistencia a la fluencia y se utiliza para techos acanalados, guías y canales.

La aleación con aluminio magnesio y cobre se ha empleado en forma de grandes placas laminadas en la industria de aviones y para troqueles en el cortado de láminas de aleación de aluminio y acero delgado.

El zinc se usa principalmente como material estructural en forma de aleaciones para fundiciones de troquel. Las aleaciones de fundición al zinc en troquel son económicas y fáciles de fundir y tienen mayor resistencia que todos los metales de fundición. Se maquinan a bajo costo y su resistencia a la corrosión superficial es adecuada para un amplio intervalo de aplicaciones.

ALEACIONES DE PLOMO.

Entre las principales propiedades del plomo se encuentran su peso elevado, alta densidad, suavidad, maleabilidad, bajo punto de fusión y baja resistencia mecánica. Además, tiene propiedades de lubricación, baja conductividad eléctrica, alto coeficiente de expansión y alta resistencia a la corrosión.

Las aleaciones que tienen como base al plomo se conocen comercialmente como babbits o aleaciones de metal blanco. Un grupo incluye las aleaciones de plomo-estaño-antimonio y generalmente arsénico, mientras que el otro incluye aleaciones de plomo y estaño con pequeños porcentajes de calcio, bario, magnesio y sodio. La microestructura de una aleación que tiene al plomo como base consta de cubos de compuesto primario antimonio-estaño. Estas aleaciones se utilizan para varillas de conexión en automóviles, cojinetes principales y cojinetes para ejes de levas, cojinetes para motores diesel, cojinetes de unión para carros de ferrocarril y muchos cojinetes para motor eléctrico.

ALEACIONES DE ESTAÑO.

El estaño es un metal blanco y suave que tiene resistencia a la corrosión y buenas propiedades a la corrosión y buenas propiedades a la lubricación. Sufre una transformación polimórfica desde la estructura normal tetragonal (estaño blanco) hasta una forma cúbica (estaño gris) a una temperatura de 13.8°C. Esta transformación se acompaña de un cambio de densidad desde y la expansión resultante de lugar a la desintegración del metal a un polvo grueso, sin embargo la transformación es muy lenta y se necesita un considerable subenfriamiento para iniciarla. Las impurezas comunes en el estaño tienden a retrasar o inhibir el cambio, así que, en condiciones ordinarias, la transformación no tiene ninguna importancia práctica.

El plomo se alea con el estaño para producir diversas soldaduras suaves que contienen mayor resistencia que las soldaduras con base de plomo.

Las soldaduras de estaño que contienen antimonio y plata se prefieren para equipo eléctrico, porque tienen mayor conductividad eléctrica que aquellas con alto contenido de plomo.

Los elementos más comunes de aleación para el estaño son el antimonio y el cobre para producir peltre y las aleaciones de babbit a base de estaño que se utilizan para antifriccionantes de alta calidad.

ALEACIONES DE NIQUEL

Las aleaciones de níquel se usan para obtener protección contra la corrosión y para lograr resistencia a la deformación a temperaturas elevadas, aprovechando sus altos puntos de fusión y elevada resistencia mecánica.

Quando se añade cobre al níquel, la máxima resistencia se obtiene alrededor de 60% de níquel. Ciertas aleaciones llamadas metales monel, con aproximadamente esta composición, son empleados por su resistencia mecánica a la corrosión, bajo esfuerzo en agua salada y a temperaturas elevadas. Algunas de las aleaciones tipo monel contienen pequeñas cantidades de aluminio y de titanio. Estas aleaciones se endurecen por envejecimiento mediante la precipitación de Ni₃Al o Ni₃Ti coherente, que casi duplica las propiedades mecánicas a la tensión.

Las superaleaciones contienen grandes cantidades de elementos de aleación con el fin de producir una combinación de alta resistencia a altas temperaturas, resistencia a la termofluencia a temperaturas superiores a los 1000°C, y resistencia a la corrosión. Hay tres categorías de superaleaciones - a base de níquel, a base de hierro-níquel y a base de cobalto - que a menudo tienen nombres peculiares de acuerdo con su aplicación. Las aplicaciones típicas son aspas y álabes para turbinas de gas y motores a reacción, cambiadores de calor, elementos para recipientes de reacciones químicas y equipo para tratamientos térmicos. A fin de obtener resistencias a las cargas y a la termofluencia los elementos de aleación deben producir una microestructura estable a temperaturas altas.

METALES PRECIOSOS.

En el grupo de metales preciosos se incluyen la plata, el oro y los seis metales de la familia del platino: Platino, paladio, iridio, rodio, rutenio y osmio. Este grupo se caracteriza por la suavidad, buena conductividad eléctrica y muy alta resistencia a la corrosión por ácidos y sustancias químicas comunes.

ALEACIONES DE PLATA.

La fotosensibilidad de la plata y de ciertos sales de plata, unida a su facilidad de reducción, son la base de la fotografía. La plata revestida en cobre, latón, níquel y hierro se utiliza para conductores eléctricos, contactos y equipo químico. Un descubrimiento reciente es el uso de recubrimientos de plata sobre vidrio, cerámicas y mica a fin de proporcionar una base de conducción para subsecuente electrodeposición de metales en dispositivos electrónicos. La alta reflectividad y la facilidad de electrodeposición hacen que la plata sea útil en reflectores, vajillas, cubiertos y joyería.

Las aleaciones de plata con cobre son empleadas en la fabricación de monedas y para contactos eléctricos. Las aleaciones de plata-cobre-zinc se conocen como soldaduras de plata o aleaciones de soldadura fuerte de plata. En adición a la plata el cobre y zinc, a menudo contienen cadmio y estaño. En la soldadura fuerte, el mecanismo físico de enlace es similar al de la soldadura suave, excepto que tienen lugar a mayor temperatura. No hay fusión alguna del material que se une y el enlace se lleva a cabo por penetración interfacial de la aleación de soldadura fuerte. La propiedad importante de estas aleaciones es la temperatura a la cual funden y fluyen libremente dentro de la unión. Mediante la adecuada variación de composición es posible obtener aleaciones de soldadura fuerte que funde. Las aleaciones de soldadura fuerte a la plata se emplean a menudo para unir materiales ferrosos y no ferrosos.

ALEACIONES DE ORO.

Además del uso de las aleaciones al oro para acuñar monedas, joyería y productos dentales, tienen muchas aplicaciones industriales. La muy alta resistencia a la corrosión, las características de no decoloración, la buena conductividad eléctrica y la facilidad de electrodeposición hacen del recubrimiento de oro un medio adecuado para aplicaciones eléctricas. El oro electrodepositado se emplea en guías de onda, alambres para rejillas, en contactos en componentes vibratorios y se aplica como una película delgada sobre vidrio, para filtros selectivos de luz. Otras aplicaciones industriales del oro de alta pureza son los fusibles para límites térmicos con fines de protección de hornos eléctricos, como objetivos en los aparatos de rayos X, como patrón de punto de congelación, para revestir equipo químico y como soldadura de alto punto de fusión en soldaduras a presión que impida la pérdida de vacío.

ALEACIONES DE PLATINO.

El platino es el metal más importante y abundante del grupo del platino. Las más importantes propiedades del platino son alta resistencia a la corrosión, elevado punto de fusión, color blanco y ductilidad. Forma extensas soluciones sólidas dúctiles con otros metales. La mayoría de los sistemas importantes de aleación binarios de platino muestran completa solubilidad sólida, por ende, el incremento de dureza y resistencia obtenido por aleación se debe al endurecimiento de la solución sólida.

El rodio es el elemento de aleación preferido para el platino para la mayoría de las aplicaciones a altas temperaturas en condiciones de oxidación. La aleación al 10% de rodio es la más conocida; es el catalizador estándar para la oxidación del amoníaco en la manufactura del ácido nítrico. Esta aleación muestra excelente resistencia al vidrio fundido y se emplea para inyectores en equipo a fin de trabajar el vidrio.

El platino aleado con iridio se emplea para crisoles y otros utensilios de laboratorio. Los contactos eléctricos para un servicio eficaz en magnetos, relevadores y termostatos, contienen una cantidad mayor de iridio.

Las aleaciones más conocidas de este grupo son las que contienen tungsteno. Entre las aplicaciones típicas se incluyen electrodos de bujía para avión, contactos eléctricos, rejillas en tubos de energía para radar, alambres de potenciómetro, medidores de deformación y cojinetes resistentes a la corrosión.

Para un mejor entendimiento de las propiedades de las aleaciones no ferrosas que se analizaron anteriormente, resulta muy útil el consultar las tablas incluidas dentro del apéndice I.

Resumiendo, como se estableció en la introducción, en este capítulo nos dedicamos a explicar cómo las propiedades y aplicaciones de un amplia gama de aleaciones pueden entenderse en términos de sus estructuras.

Las aleaciones no ferrosas toman ventaja de todos los mecanismos de endurecimiento en los materiales. Dependiendo de las características del material base, puede obtenerse una gran variedad de propiedades incluyendo materiales ligeros y resistentes como el aluminio, el berilio, el magnesio y los materiales para alta temperatura, como el titanio, el níquel, el cobalto, entre otros.

Lo anterior confirma el hecho de que las aleaciones no ferrosas son de gran utilidad y presentan una amplia gama de aplicaciones en las cuales los materiales ferrosos quedan en desventaja.

Y como, el objetivo de esta tesis es presentar al cobre y sus aleaciones como una buena alternativa dentro de la categoría de los materiales no ferrosos, aplicables a la Ingeniería Química, las siguientes secciones estarán enfocadas al estudio exclusivo de éstos.

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI

EL COBRE Y SUS ALEACIONES

En esta sección centraremos nuestra atención en el estudio del cobre y sus aleaciones. Se establecerán características generales, propiedades químicas y mecánicas y todo ello con el fin de presentar una alternativa dentro la selección de materiales. Para ello, primeramente, debemos conocer cómo se encuentra el cobre en la naturaleza y todas las propiedades que lo caracterizan.

ESTADO DEL COBRE EN LA NATURALEZA.

El cobre se encuentra muy ampliamente distribuido en la naturaleza, donde se encuentra como tal, en estado libre o en sulfuros, arseniuros, cloruro, carbonatos, óxidos y silicatos.

Desde el punto de vista metalúrgico, las minas de cobre pueden dividirse en tres tipos:

1. Minas nativas.
2. Minas oxidadas.
3. Minas sulfuradas.

El cobre nativo ya no existe en grandes cantidades por la explotación sufrida a través del tiempo. Del cobre nativo sólo se encuentra en Chile, China y Los Estados Unidos.

Los minerales oxidados son característicos de los yacimientos que se encuentran cerca de la superficie, ya que son resultado de la oxidación y descomposición de los minerales sulfurados por las aguas que se filtran por el subsuelo, las que conteniendo anhídrido carbónico, oxígeno y ácido sulfúrico, actúan sobre los sulfuros para transformarlos en óxidos o carbonatos. Aunque son de gran importancia debido a su facilidad de reducción con el carbono o el monóxido de carbono, su abundancia en la actualidad es poca, debido a que fueron los primeros yacimientos explotados.

Los principales minerales oxidados son:

MINERAL	FÓRMULA	%Cu
Azurita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55.1 - 55.3
Crisocola	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36.2 - 37.0
Cuprita	Cu_2O	88.8

Los minerales de cobre más importantes en todo el mundo son los sulfurados, que son mezclas complejas de sulfuros de hierro y cobre, asociados son compuestos de hierro, zinc, arsénico, antimonio, bismuto, selenio, telurio, plata, oro y platino. Las impurezas en estos tipos de compuestos son un factor determinante para el o los tipos de procesos a los cuales son sometidos.

Los principales minerales sulfurados son:

MINERAL	FÓRMULA	%Cu
Calcopirita	$Cu_2SFe_2S_3$ $Cu_2SFe_2S_3$	34.5
Calcoelita	Cu_2F	79.9
Covelita	CuS	66.5
Bornita	Cu_5FeS_4	55.5 - 63.3
Broncañita	$CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$	56.2
Anergita	Cu_3As_4	46.4
Malaquita	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	55.1 - 57.5
Tetrahedrita	Cu_3Sb_3	36.5

Los minerales de cobre varían en su contenido de cobre de 0.5 a 4% siendo el resto del mineral material de otros componentes, por tal motivo se efectúa un proceso de concentración, separando el cobre de los otros componentes antes de fundirlo, para obtener finalmente un balance económico favorable.

Pero, los procesos de obtención y concentración no son el objetivo de este trabajo, por tanto, nos limitaremos a estudiar las propiedades de este metal.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COBRE.

El cobre pertenece al grupo IV de la tabla periódica, junto con la plata y el oro; son características propias de este grupo de metales, sus altas conductividades eléctrica y térmica, su maleabilidad, ductibilidad y alta resistencia a la corrosión.

Existen dos isótopos del cobre, de pesos atómicos 63 y 65. En estado metálico, el cobre presenta una red cristalina cúbica centrada en las caras, con una arista de 3.607 angstroms; no presenta estados alotrópicos.

Como ya se ha comentado, el cobre tiene una buena resistencia a la corrosión, aunque al aire se oxida superficialmente. Caliente al rojo, el cobre reacciona con el oxígeno para dar CuO y a mayores temperaturas se obtiene Cu_2O , con azufre se obtiene Cu_2S , es atacado por los halógenos, pero en ausencia de oxígeno, no lo afectan los ácidos diluidos no oxidantes y no complejantes; en presencia de oxígeno, el cobre se disuelve con relativa facilidad en los ácidos sulfúrico y nítrico. También es soluble en soluciones de amoníaco y de cloruro de potasio, siempre en presencia de oxígeno.

En general el cobre presenta dos estados de oxidación que son +1 y +2, aunque se han sintetizado compuestos en los que presenta el estado de oxidación +3, como el Cu_2O_3 obtenido en 1921 por Scagliarini y Toselli, por lo tanto, es común encontrarlos con sales de Cu(I) y de Cu(II) , sin embargo la existencia del ion Cu^{3+} , está limitada en solución acuosa por el siguiente equilibrio:



Que más bien está desplazado hacia la derecha según la constante de equilibrio ($K_{eq} = 1.2 \times 10^{-6}$).

La estructura atómica del cobre es: $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3p^6, 3d^{10}, 4s^1$. Es importante notar que el electrón exterior $4s^1$ no tiene una capa de ocho electrones debajo de él, como en el caso de aluminio y magnesio. La energía de este electrón es bastante cercana a la de los electrones $3d$ y, por lo tanto, los electrones $3d$ y $4s$ son atraídos hacia el núcleo cargado positivamente. Por esta razón, el cobre en lugar de ser un metal activo semejante al aluminio, se considera noble, o sea, un metal resistente a la corrosión en el mismo grupo vertical en la tabla periódica como la plata y el oro.

El color rojo único del cobre se debe a la absorción selectiva del espectro de la luz blanca por interacción con los electrones $3d$.

Las propiedades físicas del cobre se enlistan en la tabla 6.1 (todas las tablas del capítulo 6 se enlistan en el apéndice I I)

ALEACIONES DEL COBRE. ASPECTOS GENERALES.

Las aleaciones de cobre tienen una combinación especial de características: conductividad térmica y eléctrica alta, alta resistencia a la corrosión, gran ductibilidad en general y maleabilidad y un color llamativo para usos en arquitectura. Son más pesadas que el hierro pero tienen mayor resistencia a la fatiga, a la termofluencia y al desgaste abrasivo que las ligeras aleaciones de aluminio y magnesio.

Las aleaciones de cobre son resistentes a soluciones neutras o ligeramente alcalinas con excepción de las que contienen amoníaco, el cual puede ser causante de la corrosión.

Es importante señalar que las aleaciones de cobre están divididas en dos clases: Aleaciones de una sola fase y aleaciones polifásicas. Es de esperarse que las aleaciones de una sola fase tengan buena ductilidad porque la celda unitaria es c.c.c.a. Los mecanismos para aumentar la resistencia de las aleaciones trabajadas en una sola fase son el endurecimiento por solución sólida y las combinaciones de trabajo en frío y recalcado. En las aleaciones de dos fases se utilizan el endurecimiento por envejecimiento y otros endurecimientos por precipitados o por dispersiones de una segunda fase.

En seguida se presentará una clasificación de las aleaciones de cobre de acuerdo a los elementos con los que se alea al cobre.

CLASIFICACIÓN DEL COBRE Y SUS ALEACIONES.

A primera vista, es fácil confundirse con la gran variedad de aleaciones de cobre. Durante miles de años se han usado indistintamente los nombres de bronce y latón y han aumentado la confusión otros nombres. Pero el cobre y sus aleaciones se pueden clasificar en diferentes grupos cuyas propiedades se indicarán en detalle posteriormente. Los grupos principales son:

- A. Cobre
- B. Cobre débilmente aleados.
- C. Cobre de alta aleación.
- D. Aleaciones cobre-zinc (latones).
- E. Aleaciones cobre-zinc-plomo (latones con plomo).
- F. Aleaciones cobre-zinc especiales (latones especiales).
- G. Aleaciones cobre-estaño (bronces).
- H. Aleaciones cobre-aluminio (cuproaluminios).
- I. Aleaciones cobre-níquel.
- N. Aleaciones cobre-níquel-zinc (alpacas).
- K. Aleaciones cobre-níquel-zinc-plomo (alpacas con plomo).

Hay que citar, además, otras aleaciones que contienen menos del 50% de cobre, tales como el monel y las aleaciones para las resistencias eléctricas. Para dejar completamente claro cuales son las aleaciones del cobre véase la Fig. 6.1.

A. LOS COBRES PROPIAMENTE DICHOS.

TIPOS DE COBRE.

Los tipos de cobre que existen son:

- Cobre refinado "térmico". 99.85% contenido de Cu.
- Cobre refinado térmico de alta conductividad. 99.9% de contenido de Cu.
- Cobre esento de oxígeno. 99.95% contenido de Cu.
- Cobre desoxidado con fósforo:
 - a) Cobre desoxidado con fósforo con alto contenido de fósforo residual, 99.85% de contenido de Cu.
 - b) Cobre desoxidado con fósforo con bajo contenido de fósforo residual, 99.99% de contenido de Cu.

Ahora se dará una más amplia explicación de cada uno de los diferentes tipos de cobre mencionados anteriormente.

Como ya se habla mencionado antes, los yacimientos de cobre metálico están prácticamente agotados; el consumo mundial hace necesaria la explotación de minerales de contenidos cada vez menores, que varían del 5 al 15% e incluso menos.

La descripción de la metalurgia extractiva y la refinación del cobre no entra en el cometido de este trabajo. Sin embargo, debemos decir que los minerales, generalmente sulfurosos, se concentran para obtener una mata rica en cobre y azufre. El azufre se elimina por oxidación al fuego. Se obtiene así el cobre refinado "térmico", que contiene 99.85% de cobre, siendo el resto oxígeno e impurezas.

Su conductividad eléctrica es mediana 85-95% IACS (Una muestra de cobre puro tiene la conductividad de 100% IACS, *International Annealed Copper Standard*). Mejorando las condiciones de refinación es posible reducir el contenido de impurezas y obtener así lo que se denomina cobre refinado "térmico de alta conductividad", cuya conductividad varía entre 100 y 101.5% IACS (contenido de cobre de 99.99%).

De todas formas, generalmente, el cobre refinado "térmico", de relativa impureza, no es utilizado como tal sino que se cuele en ánodos, que se refinan electrofílicamente; los cátodos obtenidos en la electrólisis son refundidos y colados en lingotes, lingote de 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 99.99%.

Sin embargo, este cobre todavía contiene oxígeno (menos del 0.1%) que es perjudicial en ciertos casos. Por este motivo, se ha preparado un cobre "exento de oxígeno", que tiene la misma conductividad eléctrica, pero con un mínimo de cobre de 99.95%. Esta variedad es naturalmente, bastante cara y su empleo se reserva a aplicaciones especiales.

Por otra parte, existen muchas aplicaciones del cobre en las que la conductividad es de importancia secundaria, pero en cambio la presencia de oxígeno (bajo forma de óxido cuproso Cu_2O) es totalmente perjudicial. Para esta el cobre se somete a una 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".

- Cobre "desoxidado con fósforo con alto contenido de fósforo residual" con contenido mínimo del 99.85% de cobre, 0.13 a 0.5 de P y conductividad de 70 a 90% IACS.
- Cobre "desoxidado con fósforo con bajo contenido de fósforo residual" conteniendo 99.99% de cobre 0.005 a 0.012 de P y conductividad de 85 a 98% IACS.

PROPIEDADES FÍSICAS

El cobre tiene un color rosa salmón característico, que se oscurece con la exposición prolongada al aire. Sin embargo el aspecto metálico brillante se puede conservar recubriendo a un barniz apropiado. Por otra parte la exposición prolongada a la intemperie forma una patina verdosa de muy bello aspecto.

A temperaturas elevadas de la conductividad eléctrica del cobre decrece; a 100°C, por ejemplo no tiene más que 76% IACS. A bajas temperaturas, por el contrario, la conductividad aumenta considerablemente a -100°C es de 190% IACS y a -200°C de 800% IACS. Estos valores indican como ejemplo, pero pueden variar según el grado de pureza y el proceso de fabricación de cada cobre.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Hay que distinguir entre las propiedades mecánicas a temperatura ambiente (20°C) y a temperaturas superiores e inferiores. El cobre se caracteriza por la mejora de sus características a baja temperatura. El cobre es, por lo tanto, el metal ideal para las aplicaciones criogénicas. Por el contrario, el empeoramiento de las propiedades a temperaturas elevadas limita el empleo del cobre a aproximadamente 200°C. Para aplicaciones a temperaturas más altas conviene recurrir a ciertas aleaciones de las que hablaremos más adelante.

Ya que las propiedades del cobre permanecen satisfactorias hasta 150°C, o todo lo más 200°C. Por encima de esta temperatura las características mecánicas disminuyen rápidamente y el metal sufre un aumento del tamaño del grano muy perjudicial para su comportamiento en servicio. Por ello para temperatura de servicio mayor a los 200°C conviene recurrir a los cobses aleados, especialmente al cobre con plata.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Vista su posición en la escala electroquímica de los metales, se puede considerar al cobre como un metal "noble", situado inmediatamente después de los metales preciosos: platino, oro y plata. El cobre es, por lo tanto, resistente a la atmósfera, incluso contaminada, el agua limpia y al gran número de agentes químicos.

El cobre resiste en la mayor parte de los casos y sólo son de temer los ácidos fuertes u oxidantes, el amoníaco y sus derivados, así como el acetileno.

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de este tipo de cobres se ilustran en la tabla 6.2 (a y b) del apéndice II.

B. COBRES DÉBILMENTE ALEADOS

TIPOS DE COBRES

Los diferentes tipos de cobres que se estudian en este segmento tienen relativamente pocas propiedades comunes; el motivo de agruparlos en un mismo epígrafe es su bajo contenido (menos de 1%) de elementos de adición. Estos cobres se utilizan cuando una de las propiedades de los cobres propiamente dichos es insuficiente. Se pueden considerar los casos siguientes:

- a) Buena resistencia mecánica a temperatura relativamente elevada, buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad.

En este caso se recurre al cobre con arsénico, siempre que la conductividad eléctrica no sea importante, ya que esta aleación tiene una conductividad baja.

- b) Buena resistencia al reblandecimiento.

El cobre ordinario no se puede utilizar durante largos períodos a temperaturas elevadas ya que a partir de los 200°C se produce, después de algunos días, un fenómeno de recristalización, llamado reblandecimiento, que reduce considerablemente las características mecánicas. Este inconveniente se puede paliar recurriendo al cobre con plata, cuyo punto de reblandecimiento es del orden de 300°C, o sea, unos 100°C más alto que el cobre ETP.

Existen dos variedades de cobre con plata; una conteniendo oxígeno y otra sin oxígeno. Evidentemente sólo se recurrirá a esta última cuando a temperaturas más bajas se hubiese utilizado cobre Cu-OF.

c) Buena maquinabilidad.

Se ha visto que el maquinado del cobre es bastante difícil, puesto que su índice de maquinabilidad es sólo de 20.

Cuando sea necesario un maquinado importante es más económico recurrir a un cobre aleado, como el cobre con azufre o el cobre con telurio, cuya maquinabilidad es mejor (75 y 85 respectivamente).

PROPIEDADES FÍSICAS

El color de estos cobres especiales es similar al del cobre Cu-ETP. En cuanto a las restantes propiedades están indicadas en la tabla 6.3a.

Debemos hacer observar que los valores aquí indicados son los valores típicos a 20°C. Para temperaturas más bajas o más altas hay que efectuar ciertas correcciones.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Como en el caso de los cobres propiamente dichos se observa una mejora de las características a baja temperatura y un claro empeoramiento por encima de los 200°C, salvo en el cobre con plata que las mantienen hasta los 300°C aproximadamente.

La tabla 6.3b. indica las principales características mecánicas de los cobres débilmente aleados. Obsérvese la similitud de valores, excepto para los cobres Cu-S y Cu-Te, a temperatura ambiente.

También para temperaturas de -196°C (temperatura de Nitrógeno líquido).

A temperaturas de 200°C los cobres con arsénico y con plata presentan características bastante satisfactorias a 300°C, e incluso a temperaturas superiores. En cuanto a los cobres de maquinado se aproximan mucho a los cobres propiamente dichos.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Podemos remitirnos a lo indicado para los cobres, propiamente dichos, ya que las propiedades de los cobres débilmente aleados son idénticas, con la única excepción del cobre con arsénico que presenta mejor resistencia a la corrosión frente a los medios relativamente corrosivos. Este comportamiento explica las numerosas aplicaciones del cobre con arsénico dentro de Ingeniería Química.

C. ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE COBRE

TIPOS DE ALEACIÓN

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

Para estas aplicaciones ha sido necesario poner a punto las aleaciones siguientes:

ALEACIONES COBRE - CADMIO Y COBRE - CADMIO - ESTAÑO.

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

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

La conductividad de estas aleaciones varía de 80 a 80% IACS.

ALEACIÓN COBRE-CROMO

Mientras que la forja es el único medio de aumentar la resistencia mecánica de muchas aleaciones, la adición de 0.5 a 1.2% de cromo permite tener resultados análogos por medio de un tratamiento térmico de precipitación de una segunda fase rica en cromo. Este tratamiento es denominado igualmente endurecimiento estructural. Consiste en un temple en agua seguido de un revenido a temperatura media. Después del temple, el cobre con plomo es blando y maleable. El tratamiento de precipitación produce, además, una mejora importante de las características mecánicas.

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

ALEACIONES COBRE - BERILIO Y COBRE - BERILIO - COBALTO

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

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

Cuando se requiere una conductividad eléctrica un poco mejor (50% IACS), se puede recurrir a la aleación con alto contenido de cobalto CuCo_2Be , cuyas características mecánicas son un poco inferiores a las aleaciones de más alto contenido de berilio. Por el contrario, esta aleación soporta temperaturas más elevadas.

Un último aspecto importante de las aleaciones cobre-berilio es un módulo de elasticidad mucho menor que el de los aceros de igual resistencia mecánica. Este hecho permite acumular más energía de deformación en el mismo volumen y es el motivo del éxito de las aleaciones cobre-berilio para la fabricación de muelles y diafragmas de relojes e instrumentos diversos.

ALEACIONES COBRE - NIQUEL - SILICIO

Se caracterizan por una interesante combinación de propiedades, tales como : resistencia mecánica, conformabilidad, armagnetismo y conductividad eléctrica relativamente elevada, cuya importancia relativa se puede adaptar a la aplicación proyectada, haciendo variar bien la composición de la aleación o bien, preferiblemente, los tratamientos térmicos.

ALEACIÓN COBRE - SILICIO - MANGANESO

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

PROPIEDADES FÍSICAS

Las principales propiedades físicas de estas aleaciones se resumen en la tabla 6.4a

Por lo que se refiere a las aleaciones CuCd y CuCdSn hay que hacer notar que su conductividad es evidentemente menor en el estado de forjar; sin embargo, son normalmente utilizadas en este estado, ya que la resistencia mecánica es mayor, como se puede ver en la tabla 6.4a

A propósito de las tres aleaciones con berilio y/o cobalto, hay que hacer observar que la conductividad eléctrica es netamente más elevada después del tratamiento de precipitación.

Y, como se verá en la tabla 6.4a, es en dicho estado cuando las aleaciones presentan las mejores características mecánicas. Este hecho es especialmente ventajoso y los cobs con berilio y/o cobalto son las mejores aleaciones que ofrecen las mejores combinaciones de elevada resistencia mecánica y buena conductividad eléctrica. Esta última es mayor netamente para la aleación CuCo_2Be que para las otras aleaciones.

Con referencia a la aleación CuNi_2Si , se observará igualmente que la conductividad se consigue después del tratamiento de precipitación, que también mejora la resistencia mecánica. Como el níquel está casi totalmente fijado en forma del compuesto intermetálico Ni_2Si , el ferromagnetismo de estas aleaciones es despreciable.

Para las aleaciones con Cr, con Be-Co, y para la aleación con Ni-Si, las diversas combinaciones con tratamientos térmicos y de forja permiten obtener una gran gama de propiedades mecánicas. Además, es posible, con estas aleaciones realizar, en el caso de temple, ciertas piezas que impliquen deformaciones mecánicas importantes, que luego son endurecidas por un revenido apropiado.

Con referencia a la aleación CuSi3Mn, hay que resaltar el escaso valor de su conductividad eléctrica, lo que excluye a esta aplicación de las aplicaciones eléctricas. Por el contrario su baja conductividad térmica es con frecuencia ventajosa, puesto que facilita la soldadura.

PROPIEDADES MECÁNICAS

La tabla 6.4b, resume las características de estas aleaciones a temperatura ambiente.

Se observa que se indican dos series de valores para el cobre con cromo, los cobres con berilio - cobalto y el cobre con níquel - silicio. Para estas aleaciones, endurecibles por tratamiento, los valores indicados en primer lugar (A) se refieren a un estado intermedio entre solubilización y solubilización seguida de endurecimiento por precipitación, en el que la segunda fase está casi completamente disuelta en la matriz. En este estado, las aleaciones tienen mediana resistencia a la tracción pero tienen, por el contrario, buena maleabilidad y son fáciles de trabajar. Los valores citados en segundo lugar (B) se refieren a un estado similar excepto que ha habido deformación en frío antes o después del endurecimiento por precipitación, con lo que el metal alcanza el máximo de sus características mecánicas.

Para todas las aleaciones, se observará además el efecto bien conocido de la forja, efecto que se suma al efecto de la precipitación, en el caso de las aleaciones de endurecimiento estructural.

Los cobres con cadmio conservan aun una excelente resistencia a la fluencia a los 200°C. Sus propiedades mecánicas permanecen satisfactorias hasta cerca de 300°C, para periodos relativamente cortos.

Si la temperatura de servicio se mantiene durante un tiempo prolongado por encima de los 300°C, pero sin sobre pasar los 400°C, es indicado el empleo del cobre con cromo. Un punto débil del cobre con cromo es, sin embargo, la disminución del alargamiento y la estrucción, lo que se traduce por una cierta fragilidad en el intervalo de 300° - 500°C; sin embargo este inconveniente se puede paliar con la adición de circonio.

En cuanto a los cobres con berilio, están sujetos a un fenómeno de sobrevejecimiento cuando se calientan por encima de los 300°C. Este fenómeno es muy marcado en el caso del metal forjado. Por lo tanto, las propiedades en caliente se modificarán en caso de calentamiento prolongado o frecuentemente repetido.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Los cobres con cadmio y cadmio-estaño presentan prácticamente las mismas propiedades que el cobre puro. Por ejemplo, sobre los alambres telefónicos se forma la patina verde. A este respecto hay que tener cuidado con el agua que pueda gotear de un alambre de aleación de cobre sobre un tejado de zinc, aluminio o acero galvanizado; los iones de cobre disueltos por el agua bastan para producir la corrosión de los metales nobles y perforar las chapas.

Respecto al cobre con cromo, se puede decir que su comportamiento a temperatura ordinaria es idéntico al del cobre propiamente dicho. En caliente, esta aleación presenta una buena resistencia a la oxidación, mientras no se sobrepasen los 300°C - 400°C. A temperatura más elevadas se puede producir una oxidación más importante; por ello los tratamientos térmicos se deben realizar preferentemente bajo atmósferas controladas. Hay que señalar igualmente la posibilidad de oxidación selectiva interna del Cr durante los tratamientos térmicos y especialmente durante el calentamiento procede al temple.

Los cobses con berilio y/o cobalto tienen propiedades semejantes a las del cobre. En especial son atacados por el azufre, los productos sulfurados y los ácidos fuertes u oxidantes. Por el contrario, su resistencia a la corrosión por el aire, agua dulce y agua de mar es mejor que la del cobre. Se atribuye esta resistencia a la formación de una película compleja de óxidos de berilio, cobalto y cobre. Por otra parte, estas aleaciones resisten bien a la corrosión figurante bajo tensión y a la corrosión bajo fatiga. La oxidación selectiva interna de Be es posible durante los tratamientos térmicos.

D. LOS LATONES

CARACTERÍSTICAS GENERALES

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

Para mejorar la maquinabilidad, se añade a veces cierto porcentaje de plomo. Se obtienen entonces los latones con plomo, que se estudiarán en la sección siguiente.

Los latones con adición de aluminio, estaño, silicio, hierro o manganeso, presentan características especiales; serán por tanto, objeto de estudio aparte.

La presente sección se limita, por tanto, a los latones binarios Cu-Zn propiamente dichos.

Según su composición, los latones pueden ser bien moldeados o bien trabajados en caliente o en frío. Son utilizados en forma de chapas, de bandas planas o enrolladas, de barra de tubos y alambres. Presentan excelente formabilidad superior a la de la mayoría de las demás aleaciones.

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

DIAGRAMA DE FASES

La parte del diagrama de fases cobre-zinc relativa a los latones está representada en la fig. 6.2. La temperatura de fusión disminuye regularmente al aumentar el contenido de zinc. El intervalo de solidificación es pequeño, lo que permite obtener aleaciones homogéneas. Estas particularidades son índice de buenas propiedades generales de fundición.

A temperatura ambiente, los latones comerciales están constituidos por una sola fase (α) hasta 36% de zinc aproximadamente y por una mezcla de dos fases ($\alpha+\beta$) para contenidos de zinc superiores a este valor. La fase α , solución sólida de zinc en cobre, cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas. Existe a cualquier temperatura inferior al solidus y es maleable en frío; lo que es igualmente en caliente si está exenta de plomo, y tanto más cuanto más rica en cobre.

Sus propiedades están más o menos influidas por el contenido de zinc; las conductividades eléctrica y térmica disminuyen rápidamente con las primeras adiciones de zinc, luego más lentamente. En el campo de la fase α la resistencia a la tracción, el límite elástico, el alargamiento y la dureza aumentan con el contenido de zinc, de modo que la maleabilidad en frío aumenta progresivamente cuando el contenido de zinc pasa de 0 a 30% aproximadamente. La capacidad de embutición, por ejemplo, pasa por un mínimo para los latones con 70 - 72% de Cu. El módulo de elasticidad disminuye lentamente en el campo, y luego más rápidamente en el campo de las dos fases.

La fase β , estable a temperatura ambiente, proviene de la fase β' , estable a temperatura elevada, por una transformación que se produce a los 490°C. La fase β que cristaliza es en sistema cúbico centrado, es maleable; mientras que la fase β' , formada por la interpretación de dos redes cúbicas una de cobre y otra de zinc, es dura y frágil.

Se comprende, por lo tanto, que los latones monofásicos (menos de 36% de zinc) se presentan muy bien al trabajo en frío con recocidos intermedios eventuales, así como el trabajo en caliente. Por el contrario, los latones bifásicos (más de 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 800°C. Los latones con más del 40% de zinc son raramente empleados (varilla de soldar, por ejemplo) porque son excesivamente frágiles y muy difíciles de trabajar en frío.

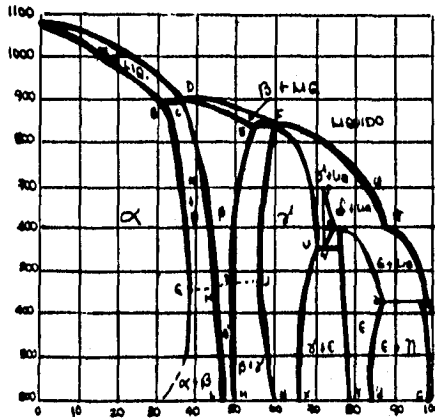


FIG. 6.2 Diagrama de equilibrio Cu - Zn.

COMPOSICIÓN DE LOS LATONES

Los latones binarios se clasifican por orden creciente del contenido de zinc, como se indica a continuación.

CuZn 5	(similar 95)
CuZn 10	(similar 90)
CuZn 15	(similar 85)
CuZn 20	(similar 80)
CuZn 28-30	(latones de embutición latones de cartuchería)
CuZn 33	(latón 67)
CuZn 37	(latón 63)
CuZn 40	(metal Muntz)

PROPIEDADES FÍSICAS

El color de los latones varía del rosa, para los similares, hasta el amarillo dorado, para los latones CuZn28-30. Para contenidos de zinc mayores el color vuelve a ser rojizo; esto es debido a la aparición de la fase β .

Resaltamos nuevamente que la conductividad eléctrica y térmica disminuyen rápidamente con las primeras adiciones de zinc, luego más lentamente.

Las principales propiedades físicas de los latones están indicadas en la tabla 6.5a. Se trata de valores típicos a 20°C. A temperaturas inferiores o superiores se deben efectuar ciertas correcciones, y, salvo especificación contraria, estas especificaciones son relativas al estado de recocido.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las principales propiedades mecánicas a temperatura ambiente están indicadas en la tabla 6.5b.

Obsérvese que las características mecánicas bastante bajas en estado recocido, mejoran claramente con la forja. Nótese 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 templearlos, de modo que conserven en frío una cierta cantidad de fase β fuera del equilibrio, aprovechando el ensanchamiento del campo β a temperatura elevada. Se ve que la disminución de la temperatura se traduce por una elevación de las características mecánicas y prácticamente, los latones ordinarios no deben utilizarse a temperaturas superiores a los 200°C.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas de los latones CuZn5, CuZn10 y CuZn15 difieren poco de las del cobre puro. Su pequeño contenido de zinc los hace poco sensibles a la tenso corrosión, de la que hablaremos más adelante.

Este fenómeno consiste en una fisuración de las piezas con tensiones internas o externas y expuestas a ciertos agentes corrosivos (atmósferas urbanas, amoníaco, por ejemplo). Esta corrosión puede ser favorecida por otros factores, por ejemplo un descenso brusco de la temperatura. Se evita con un recocido de eliminación de tensiones efectuado entre 200°C y 300°C.

DESCINIFICACIÓN

En ciertos medios corrosivos, por ejemplo agua ligeramente ácida contenido cloruros o sulfatos, se produce este fenómeno, que consiste en una disolución local del latón, seguida de reprecipitación de cobre solo, bajo la forma de una masa esponjosa y sin resistencia. Si se teme este fenómeno se puede utilizar fenómenos especiales, descritos en otra sección; la adición de arsénico o de fósforo (0.20 a 0.06%) tiene igualmente efecto favorable.

E. LATONES CON PLOMO

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Se ha visto ya que los latones presentan grandes ventajas sobre todo para la fabricación de piezas de mecánica. Sin embargo, éstas necesitan frecuentemente un maquinado importante, lo que explica que se haya buscado el mejorar la maquinabilidad de los latones. Este resultado se ha obtenido gracias a la adición de reducidos porcentajes (1 a 3%) de plomo. Se consigue así, en los mejores casos, una maquinabilidad de 100 frente a 30 o 40 para los latones sin plomo.

De hecho, desde el punto de maquinabilidad, los latones con plomo están a la cabeza de todas las demás aleaciones, incluidos el cobre con telurio, los aceros con azufre y plomo, etc.

La solubilidad del plomo en los latones, muy débil a alta temperatura (0.20 a 0.7% a 750°C) en el CuZn40, es prácticamente nula en frío (máximo 0.01%). El plomo conserva, pues sus características propias, aislándose bajo forma de inclusiones esféricas que provocan la fragmentación de las virutas de torneado; interviene también como lubricante debido a su diferente punto de fusión, y disminuye así el coeficiente de fricción entre la pieza y la herramienta.

La eficacia de la adición de plomo es función de dos factores principales:

- a) La cantidad de plomo añadida: debe ser tal que de ella resulte la maquinabilidad óptima sin disminución excesiva de las características mecánicas; puede variar de 1 a 3% según la composición del latón base.
- b) El reparto de las partículas de plomo, que deben ser pequeñas y diseminadas en forma homogénea.

Como ya se ha visto, los latones bifsálicos o sea con más del 33% de zinc, son los que presentan la mejor maquinabilidad; por esta razón, la mayor parte de los latones con plomo son latones con alto contenido de zinc, como se verá más adelante. Se consigue así una maquinabilidad óptima reduciendo el desgaste de las herramientas.

Se comprende el interés técnico y económico de este tipo de aleaciones, designadas generalmente con el nombre de "latones de corte".

COMPOSICIÓN DE LOS LATONES CON PLOMO

En un principio, a cada uno de los latones estudiados en la sección anterior podría corresponder, al menos un latón con plomo, y eventualmente tres, con 1, 2 y 3% de Pb. Prácticamente, los latones con plomo más corrientes son los siguientes:

CuZn 9Pb2

CuZn34Pb1

CuZn36Pb2

CuZn36Pb3

CuZn38Pb1

CuZn39Pb2

CuZn40Pb

CuZn40Pb3

CuZn43Pb1

Los tipos normalizados o utilizados corrientemente varían según los países.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de los latones con plomo difieren poco de las de los latones ordinarios correspondientes, salvo la densidad, evidentemente más elevada. La tabla 6.6 resume estas propiedades.

Señalamos que las propiedades mecánicas disminuyen con el aumento de la temperatura, tanto más rápidamente cuanto mayor sea la proporción de la fase β .

PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas de los latones con plomo son únicamente idénticas a las de los latones ordinarios con el mismo contenido de cobre. Esto es válido especialmente para todo lo relativo a la resistencia a la corrosión.

Como los latones, y específicamente los latones básicos, los latones con plomo (con excepción del primero) están predispuestos a la corrosión intergranular o tenaco corrosión y a la corrosión por descalcificación. El primer fenómeno se puede combatir eficazmente con un recocido de eliminación de tensiones, de una a media hora a 250 - 300°C, reconocido que no modifica de manera apreciable las características mecánicas conferidas por la forja.

F. LATONES ESPECIALES.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los latones especiales se obtienen añadiendo uno o más elementos de los latones simples, con objeto de mejorar algunas de las características de estos.

La influencia de los diferentes elementos de adición sobre las propiedades de los latones ha sido objeto de numerosas investigaciones.

Los elementos utilizados industrialmente (además del plomo) 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 tanto por lo que solo pueden ser añadidos en pequeños porcentajes para no sobre pasar el límite de saturación.

Estos elementos de adición tienen dos efectos principales, a saber: el mejoramiento de las propiedades mecánicas y el aumento de las resistencias a ciertas formas de corrosión.

Existe una gran variedad de composiciones de latones especiales, y sólo las más importantes serán estudiadas a continuación.

COMPOSICIÓN DE LOS LATONES ESPECIALES

Los principales latones especiales son los siguientes:

CuZn21Al2 Latón con aluminio.

CuZn28Sn1 Latón almirantazgo.

CuZn38Sn1 Latón naval.

CuZn27 Al5Fe2Mn2

CuZn38AlFeMn

CuZn38FeMnSn

Latones de alta resistencia.

PROPIEDADES FÍSICAS.

Las propiedades físicas de los latones especiales difieren muy poco de las de los latones ordinarios de título equivalente. Sus características se indican en la tabla 6.7a.

PROPIEDADES QUÍMICAS.

CuZn21Al2 o latón con aluminio se protege de la descincificación con la adición de un poco de arsénico. La capa de aluminio que se forma en la superficie es muy resistente a la corrosión-erosión y su velocidad de reconstitución es elevada. La aleación tiene excelente resistencia a las aguas de los ríos, de los estuarios y del mar, incluso para velocidades de circulación de hasta 3m/s.

CuZn28Sn1 o latón almirantazgo se protege igualmente contra la descincificación con la adición de pequeñas cantidades de arsénico. Resiste a la corrosión de las aguas de los ríos o de los estuarios, no contaminadas y que no contengan ni arena ni barro abrasivo en suspensión, y con velocidades de circulación de hasta 2.5 m/S.S. resistencia al agua de mar es un poco inferior a la del latón con aluminio.

CuZn38Sn1 o latón naval es adecuado, como indica su nombre para servicio en contacto con agua de mar; sin embargo, la película protectora que se forma no debe ser erosionada por partículas en suspensión.

Latón de alta resistencia CuZn27Al5Fe2Mn2 El contenido de aluminio de esta aleación puede variar de 3 a 7%. Se utiliza generalmente en forma de productos forjados. Tiene alta resistencia mecánica, buena resistencia al desgaste y ductibilidad moderada, pero no buena resiliencia ni resistencia a la corrosión, debido a su estructura de fase β totalmente. No es recomendable para servicio con agua de mar por su tendencia a la descincificación y tenso corrosión.

Lalones de alta resistencia $\text{CuZn}_{30}\text{AlFeMn}$ y $\text{CuZn}_{30}\text{FeMnSn}$. Estas aleaciones son de composición muy parecida y son aleaciones de forja de resistencia mecánica moderada con mucha más ductilidad y resistencia que los de fase β anteriormente descritos. La aleación $\text{CuZn}_{30}\text{AlFeMnSn}$ tiene mayor resistencia mecánica pero menor resistencia a la corrosión. Para aplicaciones navales se elige generalmente la aleación conteniendo Sn, pero siempre que no esten condiciones que puedan producir desoxidación.

G. BRONCES.

TIPOS DE BRONCES.

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

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

DIAGRAMA DE FASES.

Para comprender mejor las propiedades de los bronce, es necesario considerar el diagrama de fases (Fig. 6.3): En él se observa una fase α , maleable en caliente o en frío. Con alto contenido de estaño aparece una segunda fase δ , dura y frágil; es la fase que de sonoridad a las campanas.

Se comprende pues que, teóricamente, los bronce para forja no puedan tener más del 16% de estaño, para evitar la aparición de la fase δ . En la práctica su contenido de estaño no sobrepasa el 10%. La fase δ se transforma por calentamiento en una fase γ (estable por encima de 520°C), el eutéctico $\alpha+\delta$ se llama comúnmente "compuesto δ' ", probablemente por su gran riqueza de fase δ .

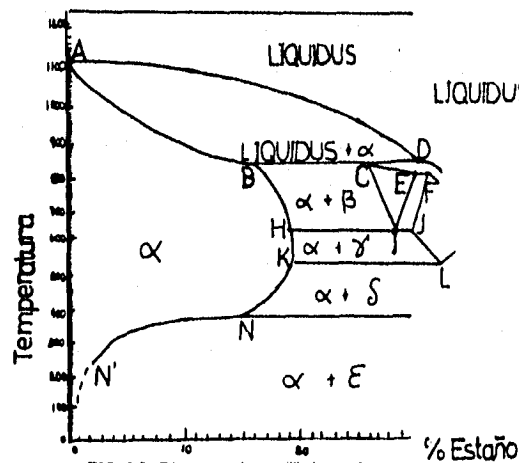


FIG. 6.3 Diagrama de equilibrio Cu-Sn.

COMPOSICIÓN.

Los bronce binarios son llamados también bronce fosforosos a causa del contenido residual es de 0.01 a 0.03%.

Los principales bronce binarios son:

CuSn2	(Forja)
CuSn4	(Forja)
CuSn5	(Forja)
CuSn6	(Forja)
CuSn8	(Forja)
CuSn10	(Forja, moldeo eventualmente)
CuSn12	(Moldeo)
CuSn14	(Moldeo)

Se puede añadir también el metal para campanas:

CuSn20	(aproximadamente moldeo)
--------	--------------------------

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

El zinc, más barato que el estaño, disminuye el precio del costo de los bronce. En el metal líquido, el zinc actúa como desoxidante, facilita el desgasado del baño y mejora la colabilidad, en la aleación solidificada, el zinc disminuye la proporción del "compuesto δ" y aumenta la maleabilidad del bronce, disminuyendo a la vez sus cualidades de fricción. El plomo es insoluble en los bronce y se aloja en forma de glóbulos, cuya finura y homogeneidad de reparto son factores importantes en la calidad de estas aleaciones. Contenidos de plomo inferiores al 7% tienen como efecto principal, mejoras de la maquinabilidad y estanquidad de las piezas coladas. Contenidos de 6 a 30% de plomo permiten resolver la mayor parte de los problemas de fricción en un amplio campo de cargas y velocidades.

Entre los principales bronce complejos, se pueden citar:

CuSn4Zn4	(Forja)
CuSn10Zn2	(Moldeo)
CuSn10Pb5	(Moldeo)
CuSn8Pb15	(Moldeo)
CuSn5Pb20	(Moldeo)

PROPIEDADES FÍSICAS.

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

Las propiedades físicas principales de los bronce binarios y complejos se indican en las tablas 6.8a y b, respectivamente.

Es notable la excelente combinación de conductividad eléctrica (doble o triple de la de un acero de muelles) y pequeño módulo elástico. Esto hace que los bronce sean muy interesantes para la fabricación de resortes de electrónica, ya que además, su resistencia a la corrosión es generalmente muy buena y también son amagnéticos.

Las características mecánicas de los bronce monofásicos aumentan con el contenido de estaño. Estos bronce pueden adquirir por forja (laminación, treflado, estirado en frío) características relativamente elevadas.

En el caso de los bronce bifásicos -los más frecuentes en fundición- las características dependen principalmente del contenido de "compuesto δ "; en general, la carga de ruptura y el alargamiento disminuyen, mientras que el límite elástico y la dureza aumentan sensiblemente. El contenido de "compuesto δ " no depende solamente del contenido de estaño, sino también de los tratamientos térmicos sufridos. En particular, el temple tiene como efecto el aumento del porcentaje del "compuesto δ ".

Las características mecánicas son pues, susceptibles de variaciones bastante grandes. Todas las características mecánicas, incluido el alargamiento, mejoran a bajas temperaturas. En cambio, empiezan a disminuir a partir de los 200° aproximadamente. El alargamiento pasa por un mínimo hacia los 300-400°C. Por lo tanto, hay que evitar ese intervalo de temperaturas en el trabajo en caliente.

PROPIEDADES QUÍMICAS.

Los bronce de estaño son las aleaciones de cobre más resistentes a la corrosión. Como todas las aleaciones de cobre, los bronce son sensibles a la corrosión por los ácidos oxidantes, por las soluciones amoniacales, por el azufre y ciertos compuestos sulfurados, por los cianuros y bases fuertes.

Por el contrario, su resistencia es excelente frente a los diferentes tipos de agua, incluso la de mar, frente a muchos agentes químicos. Con el aire húmedo los bronce se recubren de una patina verde.

La tenaco corrosión sólo es de temer para contenidos de estaño mayores del 5%. Esta excelente resistencia a la corrosión es una de las razones por las que los bronce son elegidos para un gran número de aplicaciones.

H. LOS CUPROALUMINIOS.

Los cuproaluminios son aleaciones de cobre y aluminio con 5-11% 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 solubles, 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 particularmente insensibles a los fenómenos de corrosión intergranular.
- Son amagnéticos, con excepción de las aleaciones con alto contenido de hierro y 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.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO.

Como se ve en el diagrama de equilibrio de la Fig. 6.4, la fase α o solución sólida de aluminio en el cobre, llega hasta el 9.4% Al. Más allá aparece una segunda fase llamada γ_2 . Por lo tanto, las aleaciones con menos del 9.4% Al son monofásicas, las que tienen más del 9.4% Al son bifásicas. Sin embargo, en la práctica, raramente se consiguen las condiciones ideales de equilibrio, del modo que el límite se sitúa hacia el 8% Al.

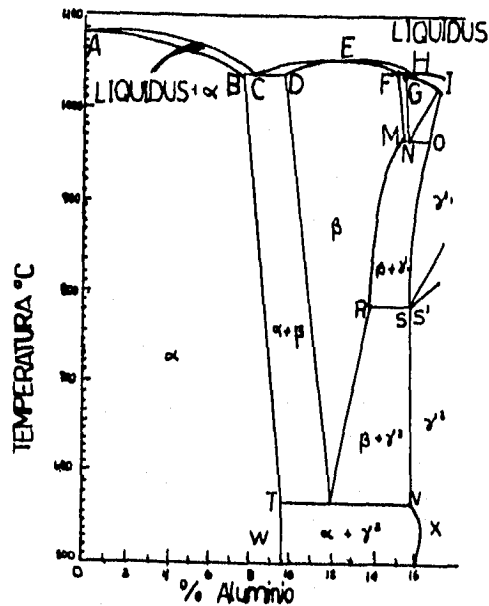


Fig.6.4 Diagrama de equilibrio Cu-Al.

Se observa igualmente que la fase estable a temperatura elevada, por encima del campo $\alpha+\gamma_2$, es la fase β , estando situada a temperatura de transformación a 566°C . Por temple, sin embargo, es posible mantener la fase β a temperatura ordinaria, y después dejar que se efectúe la transformación por revenido. Se obtiene así una estructura $\alpha+\beta$, finalmente dispersa y con buena resistencia mecánica.

Las aleaciones en cuestión son, pues, aleaciones binarias Cu-Al. Sin embargo, en muchos casos precede a la adición de hierro, níquel o manganeso, obteniendo así cuproaluminios complejos.

Examinemos al efecto de los diferentes aleantes.

El hierro frena la velocidad de transformación y permite obtener una estructura $\alpha+\gamma_2$ fina y resistente. Además, mejora la resistencia a ciertos tipos de corrosión y aumenta la resistencia a la fatiga y al desgaste.

El níquel tienen un efecto semejante al del hierro, en lo que se refiere a la microestructura y a la resistencia a la corrosión y aumenta la resistencia a la fatiga y al desgaste.

El manganeso finalmente, afina la estructura y, por lo tanto, mejora las características mecánicas. Estabiliza la fase β 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 de lugar a la formación de una nueva fase α , frecuentemente dispersa en la matriz β , lo que contribuye igualmente a mejorar la resistencia mecánica.

En conclusión, se deduce que existen cuatro grupos de aleaciones, a saber:

- Los cuproaluminios binarios monofásicos.
- Los cuproaluminios binarios bifásicos o polifásicos.
- Los cuproaluminios complejos monofásicos (sin interés).
- Los cuproaluminios complejos bifásicos o polifásicos.

COMPOSICIÓN

La distinción entre aleaciones binarias y complejas se basa evidentemente en un simple examen de la composición. Por el contrario la distinción entre aleaciones monofásicas y bifásicas no depende solo de la composición, si no también del tratamiento térmico que puede desplazar el límite entre α y $\alpha + \gamma_2$.

Aclarado esto, indicamos a continuación algunos de los cuproaluminios más corrientes, elegidos entre otras muchas aleaciones para forja o modelo.

CuAl5	(Forja)
CuAl8	(Forja)
CuAl5Fe3	(Forja)
CuAlMn2	(Forja)
CuAl10Fe3	(Forja o Modelo)
CuAl10Fe5Ni5	(Forja)
CuAlNi5Fe3	(Forja)
CuAl1Ni5,5Fe3	(Modelo)
CuAlMn5,5Ni1,5	(Modelo)

PROPIEDADES FÍSICAS

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

Como se verá en las tablas 6.9 a y b, la densidad y las conductividades eléctricas y térmica disminuyen con el aumento del contenido de aluminio.

PROPIEDADES MECÁNICAS

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

La dureza aumenta regularmente con el contenido de aluminio. El alargamiento aumenta regularmente y alcanza el máximo hacia el 7.5% Al, después disminuye.

La resistencia a la tracción y el alargamiento conservan valores elevados hasta muy bajas temperaturas, y ciertamente hasta -235°C . Hay que hacer notar que la resistencia es grande, incluso a estas temperaturas.

Las características mecánicas de los cuproaluminios no disminuyen sensiblemente hasta sobrepasar la temperatura de 300°C . Los tipos que contienen hierro y níquel son especialmente interesantes desde ese punto de vista.

Esta propiedad es aprovechada gracias a la buena resistencia a la oxidación en caliente, por otra parte.

PROPIEDADES QUÍMICAS

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

En especial, los cuproaluminios resisten bien a la corrosión en atmósferas marinas, agua mar, aguas contaminadas, ácido fosfórico, ácido sulfúrico aireado, ácido acético, sales alcalis, con excepción del amoníaco. Además, la resistencia a la oxidación en caliente es satisfactoria hasta 800°C . Igualmente es excelente la resistencia a la cavitación.

Tenemos que mencionar el fenómeno de la dealuminización o disolución preferencial del aluminio, que deja un depósito pulverulento de cobre.

Hay que decir ante todo que en los cuproaluminios metálicos no existe este tipo de ataque. Sin embargo, como una frecuencia se prefiere utilizar cuproaluminios bifásicos, por su mejor soldabilidad y mayor resistencia mecánica, ha sido necesario buscar el medio de combatir este fenómeno de corrosión. La solución consiste en añadir cierto porcentaje de hierro y níquel, con lo que resulta además un beneficio afino del grano y un equilibrio de los potenciales electroquímicos de las dos fases en presencia (α y $\gamma 2$), lo que impide la corrosión preferencial de la fase $\gamma 2$. Se aconseja igualmente evitar el enfriamiento lento de la aleación, que produce la transformación

$\beta = \alpha + \gamma 2$. Por otra parte, los cuproaluminios con alto contenido de hierro (más del 3%) y sin níquel están sujetos a la oxidación de las partículas ferrosas denominadas "rosetas". Este inconveniente desaparece en presencia del níquel, que aumenta la solubilidad del hierro en el cuproaluminio.

Como se ve en el diagrama de equilibrio (Fig. 6.5) el cobre y el níquel son mutuamente solubles en todas proporciones. Por consiguiente se puede obtener una gama muy extensa de aleaciones, desde las que sólo contienen un pequeño porcentaje de níquel hasta las formadas principalmente por este.

Convencionalmente, se designa con el nombre de cuproniqueles a las aleaciones con menos del 50% de níquel. Entre las aleaciones con más del 50% de Ni (que no estudiaremos) hay que mencionar sobre todo el monel, que presenta excelentes propiedades de resistencia a la corrosión, y diversas aleaciones para resistencias eléctricas.

Los cuproniqueles propiamente dichos tienen contenidos de níquel que varían del 5 al 44%. De un modo general, los cuproniqueles se utilizan por su excelente resistencia a la corrosión, resistencia que aumenta con el contenido de níquel. Sin embargo, como el costo aumenta paralelamente, se ha logrado poner a punto aleaciones con contenidos de níquel bajos pero al mismo tiempo suficientemente resistentes a la corrosión.

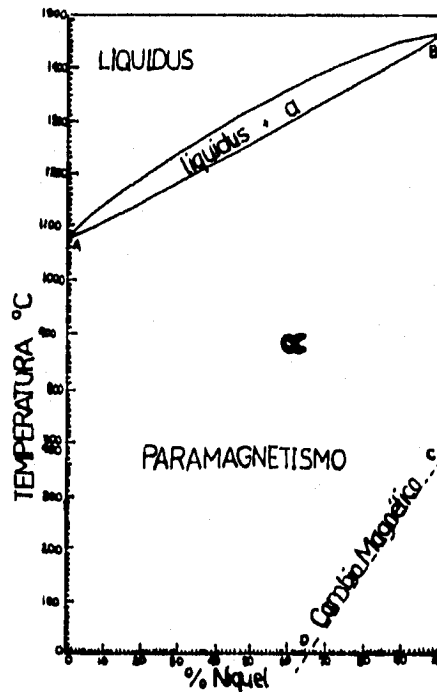


FIG. 6.5 Diagrama de equilibrio Cu-Ni

COMPOSICIÓN.

En primer lugar se deben citar los cuproniques binarios hay una gama completa, cuyas aleaciones más importantes son :

CuNi10

CuNi20

CuNi25

CuNi30

Otros tipos tienen 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.

Se deben citar aquí las aleaciones :

CuNi5Fe1Mn

CuNi10Fe1Mn

CuNi20Mn1Fe

CuNi30Mn1Fe

CuNi44Mn1

Los elementos sin índice tienen un contenido nominal inferior al 1%. La última de las aleaciones resiste especialmente bien a la corrosión-erosión.

El manganeso facilita la desoxidación del cuproniquel y mejora su conformabilidad.

Se ha propuesto igualmente otros elementos de adición para mejorar la resistencia mecánica, como: silicio, cromo, estaño, aluminio, zinc, niobio, molibdeno, titanio, cobalto, berilio y fósforo. Como las aplicaciones de estos tipos especiales son todavía bastante limitadas no trataremos más de ellos.

Las composiciones de aleaciones binarias o complejas citadas anteriormente corresponden esencialmente a productos forjados, las principales composiciones para moldeos corresponden a:

CuNi10Fe

CuNi30

CuNi30Fe

PROPIEDADES FÍSICAS.

Los cuproniquelas con menos del 40% de níquel son paramagnéticos a todas las temperaturas. Por el contrario, las aleaciones con más del 40% presentan un ferromagnetismo que desaparece con el calentamiento, como se ve en el diagrama de equilibrio (Fig. 6.5)

El níquel influye mucho sobre el color de las aleaciones, cuyo tinte rosado palidece con el aumento del porcentaje de níquel, llegando a ser prácticamente blanco hacia el 15% Ni. Con contenidos de 40 a 50% Ni el color y el aspecto son prácticamente idénticos a los de la plata, al menos mientras el metal no está oxidado. Esto se aprovecha para ciertas aplicaciones decorativas.

Al aumentar el contenido de níquel aumenta también el intervalo de fusión. Las conductividades eléctrica y térmica, el coeficiente de conductividad y el coeficiente de dilatación disminuyen al aumentar el contenido de níquel. Como se puede ver en la tabla 6.10, las conductividades eléctrica y térmica, de los cuproniquelas son bastante inferiores a las del cobre puro. Este hecho carece de importancia real en lo referente a las haces tubulares de los cambiadores de calor. En efecto, la mayor resistencia al flujo térmico no se debe a la pared metálica sino más bien a las películas (gaseosas o líquidas) que se pegan a ésta. La excelente resistencia a la corrosión-erosión de los cuproniquelas permite aumentar la velocidad de circulación de los fluidos, lo que contribuye a reducir el espesor de éstas películas y disminuye la posibilidad de formación de una capa de productos de corrosión.

PROPIEDADES MECÁNICAS.

Las propiedades mecánicas a temperatura ambiente son netamente superiores a las del cobre puro. Por otra parte la resistencia a la tracción, el límite elástico, la dureza, la resistencia a la fatiga y la resiliencia aumentan con el contenido de níquel, alcanzando el máximo hacia el 65% de Ni, composición aproximada del metal monel, que no estudiaremos aquí. Las adiciones de un tercer o cuarto elemento producen generalmente un aumento sensible a la resistencia a la tracción, del límite elástico y de la dureza, con una disminución relativamente pequeña del alargamiento.

Conviene señalar que los cuproniquelas de endurecimiento estructural (conteniendo silicio, berilio o cromo) presentan mejores características mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los cuproniquelas mejoran con la disminución de la temperatura. En el caso de los cuproniquelas con acritud, el aumento del alargamiento es, generalmente, más importante que para las aleaciones recocidas.

La resistencia en caliente del cobre mejora ya con las pequeñas adiciones de níquel. Por este motivo, entre las aleaciones del cobre, los cuproniquelas presentan mejores características a temperatura elevada. En particular, la resistencia de los cuproniquelas con hierro y con manganeso es especialmente grande porque estos elementos retrasan la aparición de la recristalización.

PROPIEDADES QUÍMICAS.

La resistencia a la corrosión frente a las aguas más diversas (potables, tratadas químicamente, cloradas de río, salinas, industriales, etc.) es buena, incluso a temperaturas elevadas, a condición de elegir en cada caso el tipo adecuado. De modo general, se puede decir que la resistencia a la corrosión aumenta con el contenido de níquel. Para obtener la mayor resistencia a la erosión-corrosión y cavitación hay que añadir pequeñas cantidades (0.5 - 1.5%) de hierro y manganeso, elementos que están siempre presentes en los cuproníqueles utilizados para condiciones de servicio en medios agresivos. La resistencia en presencia de bacterias reductoras, que producen hidrógeno, es bastante buena así como la resistencia a la corrosión bajo depósitos (aireación diferencial). La cloración del agua, naturalmente dentro de los límites, no aumenta la velocidad de corrosión.

El peligro de corrosión bajo depósito, o por aireación diferencial, se puede presentar cuando el agua está cargada de impurezas sólidas que forman depósitos locales. En este caso la adición del hierro desempeña un papel muy beneficioso para impedir la formación de picaduras.

Una característica ventajosa de los cuproníqueles es la ausencia de peligro de tensocorrosión. La formación de una capa de óxido por encima de 250°C es sobre todo notable en el caso de las aleaciones ricas en níquel.

La aleación con 30% Ni, 2% Fe y 2% Mn es especialmente resistente a la cavitación y a la corrosión-erosión producida por las partículas en suspensión. La resistencia al vapor de agua es, generalmente, buena.

El CuNi30Mn1Fe es muy resistente a los condensados que contienen ácidos o amoníaco (condensados de azúcares). La resistencia a los ácidos y soluciones salinas no oxidantes es generalmente buena pero depende de distintos factores: concentración, aireación, temperatura. La resistencia a las soluciones alcalinas aumenta con el contenido de níquel; es satisfactoria para los cuproníqueles con más del 20%.

El CuNi30Mn1Fe presenta buena resistencia a los productos petrolíferos que contienen sulfuro de hidrógeno, ácido clorhídrico o ácido sulfuroso. Así mismo, es generalmente satisfactoria la resistencia a una gama de productos orgánicos tales como: carburantes, aceites lubricantes, disolventes, fluidos refrigerantes, ácidos orgánicos, etc. En aire seco los cuproníqueles conservan su color plateado, se oxidan bastante rápido con el aire húmedo especialmente en atmósferas cargadas de productos sulfurados. Los gases secos, como el cloro, CO₂, SO₂, HF, no atacan a los cuproníqueles a temperatura ambiente. Por el contrario, los halógenos producen una corrosión rápida en medio caliente y húmedo.

L. ALPACAS.

Las alpacas son esencialmente aleaciones de cobre, níquel y zinc, en diversas proporciones. Para facilitar el maquinado, a veces se añade plomo. Se obtienen así las alpacas con plomo, que se estudiarán más adelante.

Al principio, las alpacas se empleaban principalmente para fines decorativos, por su bello color blanco, parecido al de la plata. Vinieron en seguida las aplicaciones industriales, basadas sobre todo, en la resistencia a la corrosión. En la actualidad el empleo de las alpacas es muy variado.

Las aleaciones temerarias se dividen según su composición fisicoquímica, en dos grandes clases: Las monofásicas (α), 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. No estudiaremos éstas por su menor importancia práctica.

COMPOSICIONES.

Las principales composiciones de aleación de forja son las siguientes:

CuNi10Zn27

CuNi12Zn24

CuNi15Zn21

CuNi18Zn27

CuNi20Zn18

CuNi25Zn15

Las principales aleaciones de moldeo son las siguientes:

CuNi13Zn28

CuNi18Zn22

CuNi22Zn22

PROPIEDADES FÍSICAS

De manera general, para contenido de cobre constante, el níquel aumenta la densidad y disminuye las conductividades eléctrica y térmica de las aleaciones. Las principales propiedades físicas se indican en la tabla

PROPIEDADES MECÁNICAS

La adición de níquel a una aleación cobre-zinc aumenta su resistencia mecánica. La forja tiene el efecto habitual sobre las propiedades mecánicas para un contenido dado de cobre, la acritud es más notable cuanto menor es el contenido de cobre. Las propiedades mecánicas de las aleaciones mejoran con las bajas temperaturas. Sin embargo, apenas presentan propiedades interesantes en caliente, con excepción, sin embargo, de las de contenido de níquel superior al 20%. En la práctica, éstas conservan sus propiedades mecánicas hasta los 300°C, aproximadamente. Como regla general, las aleaciones se utilizan sólo para aplicaciones que no requieren una temperatura superior de los 200°C.

PROPIEDADES QUÍMICAS.

Las alpacas no sufren descalcificación en medios acuosos, como sucede con ciertos latones, por el contrario, están sujetas a tenaco corrosión en presencia de productos amoniacales. Un fenómeno similar, pero que es producido sin la presencia de ningún agente corrosivo, es la fragilidad al fuego. Es también un fenómeno debido a las tensiones internas. Se presenta cuando un objeto de metal forjado es sometido bruscamente a una temperatura elevada. Para evitar la fragilidad al fuego es necesario eliminar las tensiones de las piezas, calentándolas a 200°C, durante una o dos horas. Después podrán ser calentadas rápidamente hasta la temperatura necesaria para el recocido o la soldadura, sin inconvenientes.

Las alpacas presentan buena resistencia a los agentes corrosivos suaves y medianamente agresivos, resistencia que es tanto mayor, cuanto mayor sea el contenido de níquel. Resisten bien a las atmósferas interiores; una ligera limpieza de vez en cuando es suficiente para mantener el brillo del metal. En exteriores la oxidación es más o menos rápida según las atmósferas y, por lo tanto, es necesario una limpieza más frecuente, o el empleo de un barniz protector.

Las alpacas presentan buena resistencia a la acción de los diversos ácidos orgánicos. Por ello se pueden poner en contacto con los alimentos y con las bebidas. Sin embargo, hay que distinguir entre las alpacas con 10-15% de níquel y las otras. Las primeras son satisfactorias en el caso de medios corrosivos poco activos (bebidas y productos alimenticios). Por el contrario, las aleaciones con 20-25% de níquel son prácticamente inalterables, particularmente en atmósferas marinas. En presencia de ácidos orgánicos el acético, el láctico, etc. Las alpacas con alto contenido de níquel tienen una resistencia satisfactoria, dentro de ciertos límites de concentración y temperatura.

Los ácidos oxidantes atacan rápidamente a las alpacas. La acción de otros ácidos, como el sulfúrico y el clorhídrico depende de su contenido de oxígeno. Los álcalis, (excepto el amoníaco) las corroen ligeramente. Las soluciones salinas (incluidos los cloruros), neutras o alcalinas atacan muy poco a las alpacas.

En general, los productos orgánicos sólo tienen débil acción corrosiva sobre las alpacas. Tal es el caso, principalmente de los alcoholes, del éter de los cetonas, de los aldehídos, de los hidrocarburos clorados de los lubricantes y carburantes con bajo contenido de azufre.

M. ALPACAS CON PLOMO.

Como hemos visto, las alpacas presentan una maquinabilidad relativamente baja. Es por tanto, lógico mejorar esta propiedad de las alpacas con la adición de plomo, exactamente igual que en el caso de los latones.

COMPOSICIÓN.

Entre las numerosas composiciones existentes, retendremos las siguientes:

CuNi10Zn25Pb

CuNi10Zn42Pb2

CuNi12Zn30Pb

CuNi14Zn23Pb

CuNi18Zn10Pb1

PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS.

Las propiedades físicas de las alpacas con plomo no difieren apenas de las de las alpacas propiamente dichas.

Las propiedades mecánicas de estas aleaciones son prácticamente las mismas que las de las alpacas sin plomo. El alargamiento es, sin embargo, un poco menor. No se dispone de datos relativos a las propiedades a bajas y a altas temperaturas.

Las propiedades químicas de estas aleaciones son prácticamente las mismas que las de las alpacas sin plomo. Sin embargo, las aleaciones bifásicas (CuNi10Zn45Pb y CuNi12Zn30Pb) tienen una resistencia a la corrosión un poco menor que las aleaciones monofásicas. Su contenido de zinc las hace susceptibles a la desincificación en caliente.

CAPÍTULO VII

CAPITULO VII

APLICACIONES DEL COBRE Y SUS ALEACIONES

En toda esta segunda parte hemos de analizar las aplicaciones que tiene el cobre y sus aleaciones además presentaremos ejemplos prácticos de su uso dentro de la industria de tipo eléctrico, químico, térmico, arquitectónico y electroquímico.

El orden en que se presentará esta información será la misma que tenía cada grupo en la clasificación que se dió en la sección anterior.

A. COBRES PROPIAMENTE DICHO.

CARACTERÍSTICAS DE UTILIZACIÓN.

COBRE ELECTROLITICO TENAZ, Cu - ETP.

El cobre electrolítico tenaz se caracteriza por las propiedades siguientes :

- Excelente conductividad eléctrica : de ella se derivan las aplicaciones eléctricas.
- Buena resistencia a la corrosión : de ella derivan las aplicaciones químicas y algunas aplicaciones arquitectónicas (tuberías, tejados).
- Excelente conductividad térmica : de ella derivan no solamente las aplicaciones químicas sino también las relacionadas con el calor y las demás aplicaciones térmicas.
- Atractivo color rojo y patina verdosa : de ella derivan las aplicaciones decorativas y arquitectónicas.
- Facilidad de conformación en caliente y en frío : Esta característica se aprovecha en la mayor parte de las aplicaciones anteriormente indicadas y en otras más, tales como tuberías de cobre para agua caliente y fría y para gas.
- Aptitud para electrodeposición : De ella derivan los numerosos procedimientos de cableado que permiten recubrir otro metal, menos noble y menos costoso, con una delgada capa de cobre. El cableado no se limita a los metales sino que es aplicable igualmente a las materias plásticas, por ejemplo.

El cobre puede ser estrado fácilmente en forma de alambres, incluso de muy pequeño diámetro. Por ello el cobre es indispensable para los conductores eléctricos, cables, catenarias, líneas telefónicas, bobinados de motores, de generadores, de transformadores y de aparatos diversos que contengan especialmente alambres esmaltados. Se utiliza así mismo para las barras colectoras y numerosos elementos de aparatos eléctricos (contactos, interruptores, etc.).

Muchos depósitos, serpentines, calderas, etc., se realizan con cobre Cu-ETP. Es especialmente indicado para las industrias alimenticias, sobre todo cervecerías. En efecto, las trazas de cobre que se disuelven, lejos de ser perjudiciales para la salud, tienen efecto benéfico. Sin embargo, se recurre con frecuencia a los cobres fosforosos, a pesar de su menor conductividad, porque ofrecen mejor conformabilidad, mayor resistencia a la corrosión y mejor resistencia al recocido.

Las calderas de calefacción central, los calentadores de agua y, en general, todos los aparatos térmicos que funcionan a temperaturas y presiones moderadas pueden ser realizados con Cu-ETP. Otra aplicación térmica importante es la de los radiadores de automóvil.

Para las aplicaciones térmicas se utilizan igualmente con ventaja los cobres fosforosos, por los motivos ya expuestos anteriormente.

Entre las aplicaciones arquitectónicas podemos utilizar el aspecto decorativo del cobre (tejados, revestimiento de fachadas, accesorios diversos).

Dentro de las aplicaciones electroquímicas nos referimos a los recubrimientos galvánicos de cobre sobre otros materiales, metálicos o no, desde el punto de vista sea estético, sea de resistencia a la corrosión.

COBRE TÉRMICO DE ALTA CONDUCTIVIDAD, Cu-FRHC

El cobre térmico de alta conductividad sólo se distingue del cobre electrolítico por el método de fabricación.

Prácticamente posee las mismas propiedades: Alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia a la corrosión, facilidad de conformación en caliente y en frío, color y aspecto atractivo, posibilidad de electrodeposición.

Sus aplicaciones son prácticamente las mismas que las del Cu-ETP.

COBRE TÉRMICO TENAZ, Cu-FRTP.

Son prácticamente idénticas a las de los dos cobres precedentes, pero con diferencia sensible con respecto a la conductividad, tanto eléctrica como térmica, bastante menores como consecuencia de los contenidos mayores de diversas impurezas.

Este cobre sólo es adecuado para las aplicaciones eléctricas que no requieran una conductividad muy alta.

Además se utiliza para tejados, canalones y elementos decorativos.

Distintos útiles estampados, embutidos o torneados, cilíndricos de imprimir, juntas para motores de automóviles, etc., se realizan con este tipo de cobre.

COBRE EXENTO DE OXIGENO, Cu-OF

Este cobre se parece a los cobres con fósforo por la ausencia de oxígeno en su composición, pero se diferencia de ellos por su conductividad, que es excelente y similar a la del cobre electrolítico, o sea superior a 100% IACS. El cobre exento de oxígeno se distingue, sin embargo, del cobre electrolítico en que este contiene aún óxido cuproso. El cobre-OF es elegido, por lo tanto, para todas aquellas aplicaciones eléctricas en las que la presencia del oxígeno es perjudicial, es decir, siempre que las condiciones de fabricación o procedimiento de fabricación entra en algún contacto con gases reductores calientes. Por ello este cobre es especialmente indicado para realizar soldaduras cobre-vidrio perfectamente sanas, puesto que el metal está exento de trazas de fósforo, que tendría efecto perjudicial. Sin embargo, su elevado costo limita las aplicaciones a los casos donde es realmente indispensable.

Este cobre encuentra una gran gama de aplicaciones, tales como : ánodos para tubos de vacío, soldaduras vidrio-metal en electrónica, y gran número de elementos para electrónica, el radar, etc. Se utiliza igualmente para válvulas termostáticas, conductores para motores de generadores y grandes motores, conductores flexibles y guías de ondas, diversos aparatos eléctricos que funcionen a temperatura relativamente elevada en presencia de gases reductores, etc.

COBRE DESOXIDADO CON FÓSFORO, CON BAJO CONTENIDO DE FÓSFORO RESIDUAL, Cu-DLP

Este cobre ha sufrido una desoxidación con fósforo, pero el contenido de fósforo residual no sobrepasa el 0.012%. Su conductividad eléctrica es evidentemente, un poco menor que la del cobre OF, también exento de oxígeno. Hay que hacer notar, sin embargo, que, si bien la conductividad eléctrica no es un factor crítico, la presencia de trazas de fósforo puede ser beneficiosa, por proteger al metal de una posible reoxidación, por ejemplo durante la soldadura en atmósfera ligeramente oxidante.

Las aplicaciones eléctricas de este cobre quedan, por lo tanto, limitadas a casos muy especiales. En todos los demás campos, por el contrario, este cobre ofrece todas las ventajas del cobre Cu-OF, a precio más bajo. Esto explica su utilización en diversos campos de la química, de la mecánica y de la industria de la construcción.

Por su buena soldabilidad, este cobre se utiliza para fabricación de calderas, depósitos, autoclaves, etc., para contener productos químicos relativamente poco corrosivos, líquidos refrigerantes o gases.

Este cobre es adecuado para aparatos que deben soportar calentamiento en presencia de gases reductores, tanto en fabricación como en servicio, tales como: evaporadores, cambiadores de calor, tuberías de vapor de agua o de aceite, radiadores de automóvil, etc.

Las instalaciones de edificios ya sea para agua caliente o fría, gas o calefacción central pueden utilizar cobre desoxidado con fósforo. Los acondicionadores de aire son otra aplicación interesante. Citemos además, las cisternas, depósitos y recipientes diversos.

COBRE DESOXIDADO CON FÓSFORO, CON ALTO CONTENIDO DE FÓSFORO RESIDUAL, Cu-DHP.

Este cobre es similar al anterior, salvo que el contenido de fósforo es mayor y está comprendido entre 0.013 y 0.05%. Como su conductividad eléctrica es baja, no puede ser utilizado para usos eléctricos. Por el contrario, por su excelente soldabilidad y maleabilidad es el metal ideal para un gran número de aplicaciones arquitectónicas, mecánicas y químicas.

Se pueden considerar como una aplicación electroquímica los ánodos de galvanización y electromoldeo en baños sulfatados ácidos o en baños cianhídricos.

En el campo químico propiamente dicho, hay que mencionar las calderas, depósitos, y autoclaves, etc. para contener productos relativamente poco corrosivos, líquidos refrigerantes o gases.

Además de las tuberías para agua caliente y fría, gas, calefacción central y evacuación, hay que citar todo lo referente a los tejados, revestimiento de fachadas (muros cortina) techos, paredes, etc.

Además sus aplicaciones mecánicas son las mismas que para el cobre con bajo contenido de fósforo residual.

B. COBRES DÉBILMENTE ALEADOS

COBRE DESOXIDADO CON FÓSFORO, CON ARSÉNICO, Cu-DPA.

Gracias a la desoxidación con fósforo, este cobre es fácilmente soldable; por otra parte, la presencia del arsénico aumenta la temperatura de reblandecimiento y mejora la resistencia a la corrosión en ciertos medios. Esto hace que esta aleación se utilice para la fabricación de aparatos diversos en aplicaciones químicas y mecánicas.

El cobre desoxidado con arsénico se utiliza para aparatos y tuberías para líquidos y gases relativamente poco corrosivos, a temperaturas moderadamente elevadas.

Gran número de aparatos que requieran un trabajo importante de forja y/o soldadura se realizan en cobre con arsénico. En tre ellos : Tubos y placa tubulares para condensadores que trabajen con agua dulce y pura, autoclaves, tuberías diversas, etc.

COBRE TENAZ CON PLATA, Cu-STP.

Este metal se diferencia del cobre electrolítico (también de alta conductividad) por su mejor resistencia al reblandecimiento y a la fluencia, lo que permite su utilización hasta 250°C.

Por dicho motivo este cobre se presta ventajosamente a la construcción de elementos de máquinas eléctricas rotativas (platinas para bobinado, delgadas de colectores) que trabajan a temperaturas bastante elevadas.

Se utilizan igualmente para barras colectoras, contactos e interruptores, bobinados de inducción, circuitos impresos.

La resistencia al reblandecimiento y la buena conductividad se aprovechan en los casos de los radiadores y otros cambiadores de calor; otra aplicación son las placas de fotograbado que hayan de tener larga vida.

COBRE EXENTO DE OXIGENO CON PLATA, Cu-OFS.

Este cobre se utiliza exactamente en las mismas condiciones que el cobre con plata ordinario, salvo que la ausencia de óxidos permite el calentamiento en atmósfera reductora (por ejemplo, para la soldadura).

En la práctica, se emplea en la electrónica, para las uniones vidrio-metal, para bases de transistores, para bobinados de máquinas rotativas, deltas de colectores, barras colectoras e interruptores.

COBRE CON AZUFRE, CuS.

La conductividad relativamente buena y la excelente maquinabilidad de este cobre lo hacen especialmente indicado para la fabricación de todos los elementos de electrotecnia que requieran un maquinado de cierta importancia. Además, este cobre, no es susceptible de fragilización por el hidrógeno.

Dentro de sus aplicaciones eléctricas se pueden citar los terminales torneados para transformadores y disyuntores, 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 sino por su resistencia a la corrosión y su bonito aspecto. Algunas de estas aplicaciones, tales como remaches, tuercas, tornillos, etc., que necesitan un maquinado importante, recurren al cobre con azufre.

COBRE CON TELURIO, CuTe.

Esta aleación tiene una maquinabilidad mejor aunque la del cobre con azufre. Su conductividad es igual a la de los cobres correspondientes, ya sea el electrolítico, ya sea el desoxidado con bajo contenido de fósforo. Se utiliza, por tanto, para fabricar piezas de cobre que requieran un maquinado importante, así como para aplicaciones eléctricas y otras.

Entre las piezas que requieran un maquinado importante hay que citar las terminales de transformadores y de disyuntores, contactos y conexiones diversas.

En las aplicaciones mecánicas están la fabricación de remaches, tornillos y tuercas de cobre también se fabrican por maquinado a partir de barras de cobre con telurio.

C. COBRES DE ALTA ALEACIÓN.

COBRES CON CADMIO Y CADMIO-ESTAÑO.

El efecto del cadmio sobre las características físicas y mecánicas se traduce en el aumento de la temperatura de reblandecimiento y del límite de fluencia. Además, el cadmio confiere al cobre una resistencia mecánica excepcional después de una forja por estrado. Los hilos de alambres pueden alcanzar 85 Kg/mm² de resistencia a la tracción, con una resistencia a la fatiga superior a 50% a la del cobre puro.

El cobre con cadmio-estaño tiene características semejantes, pero su resistencia a la tracción es aun mayor, lo que lo hace muy interesante para las líneas telefónicas.

Se pueden citar además como características interesantes del cobre con cadmio su resistencia al desgaste y a las cargas eléctricas, lo que justifica su empleo para las delgas de colectores y para los electrodos de soldadura por resistencia.

Digamos, finalmente, que el cadmio tiene un efecto desoxidante muy favorable, lo que facilita la soldadura; de ahí el empleo del Cu-Cd para fabricar joyas de ardilla para motores.

Una aplicación característica, son los conductores de líneas de ferrocarriles eléctricos. Entre las demás aplicaciones importantes hay que citar, sobre todo, las líneas telefónicas. Se pueden mencionar igualmente los cables los electrodos, los mordazas para máquinas de soldar por resistencia, etc.

COBRE CON CROMO.

Por la excelente resistencia al reblandecimiento a temperaturas relativamente altas, esta aleación es utilizada en todas las aplicaciones que requieran simultáneamente alta resistencia mecánica, buena conductividad eléctrica y buena resistencia al reblandecimiento. Si son necesarias soldaduras es preferible realizarlas sobre el metal templado y efectuar seguidamente el revenido de precipitación. Sin embargo se puede adoptar el procedimiento inverso, sin más inconvenientes que una pequeña disminución de la resistencia mecánica. Es necesario, naturalmente, trabajar lo más rápidamente posible y evitar todo recalentamiento inútil de piezas.

Aplicaciones típicas son los electrodos y rodamientos para máquinas de soldar por resistencia; en este caso, la buena conductividad eléctrica, la buena resistencia mecánica en caliente y la excelente resistencia a la oxidación y a la abrasión justifican la aplicación.

Entre otras aplicaciones se pueden citar los rotores de generadores eléctricos, elementos de ciclotrones, piezas para soldaduras por resistencia, etc.

COBRES CON BERILIO Y CON COBALTO.

Los cobres con berilio poseen (al menos después del tratamiento térmico apropiado) características mecánicas muy elevadas, similares a las de los aceros de alta resistencia. Presentan, además las siguientes ventajas:

- Conductividad eléctrica y térmica medias para los cobres con berilio y bastante alta para los cobres con cobalto-berilio.
- Módulo de elasticidad menor que el de los aceros para muelles, lo que permite almacenar más energía de deformación con el mismo volumen.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Excelente aptitud para el moldeo.
- Propiedades antichispa.
- Amagnetismo.

Para ciertos trabajos, en presencia de materiales explosivos o inflamables, es necesario recurrir a herramientas y piezas que no produzcan chispas, tal es el caso de las herramientas y las piezas de cuproberilio.

La elasticidad de los cuproberilios se aprovecha para membranas y muelles diversos, de todos tamaños. La buena resistencia en caliente, la excelente resistencia al desgaste y la buena conductividad térmica se aprovechan en el caso de matrices para plásticos.

Entre otras aplicaciones podemos citar: Desincrustadores, guías de ondas, poleas de trole, etc.

COBRE CON NÍQUEL-SILICIO.

El endurecimiento estructural confiere a esta aleación una excelente resistencia mecánica después del tratamiento térmico. Hay que hacer notar que este resultado se obtiene recurriendo a elementos de adición relativamente baratos: Silicio y Níquel. Además, esta aleación es absolutamente insensible a la corrosión bajo tensión y posee buena conductividad. Por estos motivos, el CuNi₂Si encuentra aplicaciones cada vez más numerosas principalmente en electroscencia, para la construcción de piezas para la tracción eléctrica.

Piezas varias de contactos eléctricos, obtenidas por moldeo o por corte de perfiles. Entre las demás aplicaciones se deben citar los soportes de aisladores, cables portadores y de puesta a tierra, así como tornillos de alta resistencia.

COBRE CON SILICIO-MANGANESO.

Esta aleación posee interesantes características: alta resistencia mecánica, excelente resistencia a la corrosión, buena soldabilidad, etc. Se utiliza ampliamente en la Ingeniería Química, para ciertos recipientes y calentadores de agua, así como para diversos artículos en contacto con agua de mar, aguas ácidas o atmósferas corrosivas.

Se utilizan en fundas para conductores eléctricos que deben ir empotrados en hormigón armado. En cajas y accesorios para la industria eléctrica, evaporadores, condensadores, así como para depósitos en las instalaciones de destilación entre otras cosas.

D. LATONES.

LATÓN CuZn5.

Este latón se trabaja fácilmente en frío y en caliente: adquiere un buen brillo por pulido. Por esta razón se emplea mucho en bisutería de fantasía.

El pequeño contenido de zinc hace que sea especialmente apto para el esmalte, ya que evita los problemas debidos a la evaporación de este metal durante el calentamiento. Se utiliza igualmente en la fabricación de discos para monedas e insignias.

LATÓN CuZn10.

Sus aplicaciones son muy semejantes a las del anterior. Siendo algo superiores sus propiedades mecánicas, es empleado con frecuencia para bisutería de fantasía, quincallería, arquitectura y cartuchería.

LATÓN CuZn15.

Este latón tiene un color muy parecido al del oro, de donde el nombre de "almilor". Además, es muy maleable y ofrece excelente resistencia a la corrosión por agua.

Por su color este latón, se utiliza para bisutería de fantasía y decoración, pero por su conformabilidad y resistencia a la corrosión es adecuado para muchas aplicaciones industriales, tales como: guías de ondas, casquillos de lámparas, aparatos eléctricos tubos de intercambiadores de calor, tubos flexibles etc.

LATÓN CuZn20.

El latón CuZn20 se trabaja fácilmente y posee características mecánicas bastante interesantes. Estos son los motivos que explican sus numerosas aplicaciones, entre las que citaremos: ciertos artículos de decoración, instrumentos musicales, fuelles, membranas manométricas, talas metálicas, etc.

LATÓN CuZn28-30.

Existen de hecho dos tipos, uno con 28%, otro con 30% de Zn, cuyas propiedades son muy parecidas. Entre los latones, estas dos aleaciones son las que ofrecen los máximos de maleabilidad en frío y de resistencia mecánica.

Si a ello se añade su atractivo aspecto, se comprende que estas aleaciones sean muy usadas para la fabricación de estuches y de casquillos para artillería e infantería, para radiadores de automóvil, tubos para cambiadores de calor, etc.

LATONES CuZn40.

Como este latón se puede trabajar fácilmente en caliente y bastante bien en frío, y ofrece además buena maquinabilidad encuentra numerosas aplicaciones en arquitectura, cerrajería y se utiliza con frecuencia para la fabricación de placas de condensadores y cambiadores de calor.

D. LATONES CON PLOMO.**LATÓN Cu8Pb.**

Esta aleación se suministra generalmente en forma de barras para obtener por maquinado piezas para la industria eléctrica. En efecto, posee buena maquinabilidad y conductividad eléctrica bastante buena.

Entre sus numerosas aplicaciones están las piezas roscadas para electrotécnica, conexiones, machos y hembras para circuitos eléctricos, etc.

LATÓN CuZn34Pb1.

Este latón posee a la vez buena conformabilidad y maquinabilidad. Por ello es utilizado para la fabricación de engranes, remaches, tornillos, tuercas, piezas para instrumentos de precisión, relojería, cerrajería, etc.

LATÓN CuZn36Pb2.

Este latón más rico en zinc que el anterior, tiene maquinabilidad netamente superior, por su contenido de plomo. Además puede soportar deformaciones en frío bastante importantes es adecuado, por lo tanto, para la fabricación por estampación en frío, con maquinado, y para las uniones por engastado. Por otra parte, la maquinabilidad se puede mejorar forje, lo que explica, la gran variedad de estados en que se suministrara esta aleación.

Entre las numerosas aplicaciones se puede citar las tuercas de radios y válvulas para bicicletas, tornillo de cabeza embutida, piezas de relojería, terminales de baterías, cuadrantes, etc.

LATÓN CuZn36Pb3.

Con la extrusión en prensa, que ha sustituido a la laminación en caliente, se ha podido elevar al 3% el contenido de plomo, limitado al 2% en el procedimiento antiguo. La maquinabilidad es así mejor, conservando sin embargo la aleación cierta deformabilidad en frío.

Las aplicaciones se encuentran en el campo de la mecánica y engloban todas las piezas producidas en tornos automáticos de gran velocidad: tuercas, tornillos, pellers, cojinetes, casquillos, ejes, arandelas, etc.

LATÓN CuZn38Pb1.

Este latón tiene buena maquinabilidad y se emplea sobre todo para la fabricación de elementos maquinados tubulares que no requieran deformación en frío.

Entre sus aplicaciones, se puede citar las piezas para relojería, etc.

LATÓN CuZn38Pb2.

Muy semejante al precedente, pero tiene mejor maquinabilidad, debido a su mayor contenido de plomo. Es utilizado, por lo tanto, para numerosos accesorios obtenidos por torneado automático.

LATÓN CuZn38Pb2.

La composición de este latón permite responder a exigencias de fabricación diversas : torneado automático, fresado, brochado, estampación en caliente, pequeñas deformaciones en frío.

Se emplea, pues ampliamente para la fabricación de piezas que requieran estampación en caliente, tales como : accesorios para instalaciones sanitarias y carpintería, piezas de válvulas, elementos mecánicos diversos, piezas para automóviles y relojería, y finalmente accesorios decorativos.

LATÓN CuZn40Pb.

Este latón posee aptitud media para la deformación en frío y en caliente, así como maquinabilidad satisfactoria.

Entre las propiedades principales hay que mencionar : placas tubulares para condensadores, remaches para frenos, accesorios decorativos, etc.

LATÓN CuZn40Pb3.

Por su alto contenido de plomo y la gran exposición de segunda fase, esta aleación tiene excelente maquinabilidad y es el latón de corte por excelencia; posee también buena aptitud para la forja en caliente.

En mecánica, se emplea para todas las piezas maquinadas a partir de la barra en tornos automáticos rápidos : tuercas, tornillos, palieres, cojinetes, arandelas, ejes, etc.

Los perfiles estruados sirven para fabricar marcos de puertas, ventanas, vitrinas, y otros accesorios arquitectónicos.

En electricidad hay que citar : los machos de fichas y terminales de interruptores.

LATÓN CuZn43Pb1.

Por su buena deformabilidad en caliente, este latón se suministrara generalmente en forma de perfiles estruados, utilizados en gran escala en arquitectura.

Citemos solamente : marcos de puertas, ventanas, vitrinas, rieles para cortinas.

F. LATONES ESPECIALES.**LATON CON ALUMINIO, CuZn21Al2.**

Su excelente resistencia a la corrosión en las circunstancias más diversas (aguas saladas, contaminadas, estancadas, circulando a gran velocidad) explica el empleo generalizado de este latón para los tubos de condensadores, de evaporadores y de cambiadores de calor.

LATON ALMIRANTAZGO, CuZn28Sn1.

Sus características de resistencia a la corrosión son próximas a las del latón con aluminio, pero peores si el agua está contaminada o contiene partículas abrasivas.

Las aplicaciones de ambas aleaciones son esencialmente las mismas.

LATON NAVAL, CuZn38Sn1.

Ofrece elevada resistencia mecánica, buena resistencia a la corrosión y además, buena maquinabilidad, especialmente en el caso del tipo que contiene plomo. Por esto, es lógico utilizarlo para todas las piezas maquinadas que deban resistir a la corrosión, especialmente por el agua de mar.

Se utiliza, por lo tanto, en quincallería naval, en la construcción de arboles de apoyo de husillos o vástagos de válvulas, de placas tubulares para condensadores.

Como una aplicación especial, se puede citar las varillas de soldadura destinadas a servir de metal de aportación para la soldadura de otros latones de menor contenido de zinc.

LATON DE ALTA RESISTENCIA, CuZn27Al15Fe2Mn2.

Se utiliza para piezas sometidas a grandes esfuerzos y/o desgaste, tales como engranes, cojinetes, para baja velocidad y grandes cargas, placas guía para bancos de tréfilar.

LATONES DE ALTA RESISTENCIA CuZn38AlFeMn Y CuZn38FeMnSn.

Entre las aplicaciones típicas de estos latones están: ejes de hélices, turbinas de bombas, husillos de válvulas, bombas miniaturs para agua, tuberías para aire comprimido e hidráulicas, piezas forjadas varias, perfiles estruidos y piezas maquinadas, como tuercas y tornillos. También en perfiles arquitectónicos.

G. BRONCES

BRONCES BINARIOS.

BRONCES FORJADOS.

Los bronce binarios se utilizan en forma de bandas, alambres, perfiles a veces tubos, para la fabricación de alambres para telas metálicas, tubos flexibles, tubos ondulados, fuelles, piezas embutidas, tubos para cambiadores de calor, tornillos y remaches formados en frío, muelles planos o espirales, membranas, tubos Bourdon, capillos.

Las propiedades aprovechadas para estas aplicaciones son : buena maleabilidad, resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas y elásticas.

BRONCES MOLDEADOS.

Vista su excelente aptitud para el moldeo y su buena resistencia a la corrosión, estos bronce se utilizan para la fabricación de accesorios para líquidos, vapores y gases, hasta 225°C aproximadamente. Citamos igualmente piezas para fricción, cuerpos y rotores de bombas para servicio con aguas agresivas o de mar, selentos para compuertas, cilindros de calandrias, abrigos para arboles para hélices de barcos, cadenas, elementos de fijación y de conexión, anillos de contacto en electrónica, etc. Las aleaciones más ricas en estaño son apropiadas igualmente para la piezas de fricción con grandes cargas.

Finalmente, los bronce con 18-24% Sn se utilizan para la fabricación de campanas. Estos bronce deben su sonoridad a la presencia de un gran porcentaje de "compuesto ".

Los bronce de campanas se utilizan también para ciertos cojinetes de fricción con grandes cargas y para goznes de puertas giratorias.

BRONCES COMPLEJOS.

BRONCES CON ZINC.

Los bronce con zinc tienen más o menos las mismas aplicaciones que los bronce binarios del título correspondiente salvo que su maleabilidad en caliente es mejor y que sus características de fricción son algo peores.

Los bronce con zinc son especialmente indicados para las aplicaciones navales así como para la fabricación de accesorios en contacto con vapores o productos químicos.

BRONCES CON PLOMO

Estas aleaciones son, ante todo, excelentes metales antifricción, bien en forma de bujes o de cojinetes macizos, bien en una combinación con una capa soporte de acero. Algunos de estos cojinetes no se obtienen por moldeo, sino por procedimientos pulvimetalúrgicos.

Una aplicación muy distinta es la de los bronce con alto contenido de plomo (15 a 20%) que, por este motivo, resisten muy bien a la corrosión en las instalaciones que producen o utilizan ácido sulfúrico.

H. CUPROALUMINIOS

Los cuproaluminios poseen una gran gama de cualidades, muy frecuentemente todavía poco conocidas. Se pueden enumerar como siguen:

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

Vamos a revisar algunas de las aplicaciones principales, derivadas de estas excelentes características.

APLICACIONES BASADAS EN LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.

En el campo de aplicación de las aleaciones monofásicas, se encuentran los tubos para cambiadores de calor, especialmente en la industria química. Estos tubos se utilizan igualmente en las refinerías de azúcar y otras industrias de la alimentación.

Las aleaciones de forja o moldeo (bifásicas) se utilizan para las placas tubulares de condensadores y de cambiadores de calor, así como en la construcción naval para cuerpos de bombas, hélices, cadenas y accesorios diversos. Se puede también citar piezas para compuertas esclusas.

La resistencia a los ácidos sulfúrico, clorhídrico y otros justifica las numerosas aplicaciones en la industria química, así como en los talleres de desapeado; cadenas, ganchos, rotores de bombas, etc. están fabricados corrientemente con cuproaluminios.

Por su buena resistencia a las lejías de sulfito y a los agentes blanqueadores, los cuproaluminios se utilizan en la industria papetera.

Tuberías diversas se fabrican igualmente con cuproaluminios. Entre los ejemplos más característicos se pueden citar los tubos para sondeos de gas natural, las tuberías para oxígeno y cambiadores para la industria petroquímica.

APLICACIONES DERIVADAS DEL BUEN COMPORTAMIENTO EN CALIENTE.

Por su buena resistencia mecánica en caliente, hasta 300-400°C, y su buena resistencia a la oxidación, los cuproaluminios se utilizan en los casos siguientes: Asientos de válvulas, tuberías de gases de escape, cambiadores de calor y accesorios diversos para turbinas de gas, inserciones para bloques motores de aleaciones ligeras, mordazas para máquinas de soldar por resistencia, conexiones para hornos eléctricos, rejillas para hornos de gas, etc.

Mencionaremos aquí un cuproaluminio complejo, con cobalto y níquel, INCRAMET-800, especialmente desarrollado para moldes para envases de vidrio.

Se pueden utilizar con cuproaluminio gran número de piezas diversas para aparatos para trabajar a bajas temperaturas y especialmente para intercambiadores de calor.

APLICACIONES BASADAS EN LAS CARACTERÍSTICAS DE FRICCIÓN.

Se construyen ventajosamente de cuproaluminio los engranes y tornillos sin fin sometidos a grandes cargas, a choques, a abrasión y con engrane insuficiente.

Las mismas consideraciones conducen a utilizar los cuproaluminios para los vástagos de las compuertas esclusas y embalses, para los cojinetes de laminadores, los rodamientos y apoyos giratorios para grúas y dragas, para piezas de puentes y máquinas diversas.

A veces se utiliza un cuproaluminio con 10% de plomo, con el fin de mejorar las características de fricción.

APLICACIONES BASADAS EN EL AMAGNETISMO.

Gran número de elementos, como cadenas, anclas, se realizan con cuproaluminio cuando están destinadas a dragas para minas o para barcos de investigación científica. En edificios que deben ser armagnéticos se utilizan armaduras de cuproaluminio para el hormigón armado.

APLICACIONES BASADA EN LAS AUSENCIA DE CHISPAS.

En las industrias que trabajen con materiales explosivos o inflamables, polvorines, refineries de petróleo, fábricas de pinturas y barnices, se utilizan muchas herramientas sin chispas de cuproaluminio.

APLICACIONES BASADAS EN LA SOLDABILIDAD

Aunque otras características desempeñen también su papel (resistencia a la corrosión y resistencia mecánica principalmente), se puede decir que la soldabilidad es el motivo esencial para realizar en cuproaluminio elementos como: Ruedas Francis y Pelton, álabes de turbinas para centrales mareométricas, rotores de bombas, cuerpos de condensadores, placas tubulares, etc.

I. LOS CUPRONIQUELES.

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

- Facilidad de conformación en frío y en caliente.
- Facilidad de moldeo.
- 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 decorativo.
- Buena resistencia a la corrosión.

CuNi10FeMn.

Este cuproniquel se emplea desde hace mucho tiempo para conducir agua de mar, limpia o contaminada, estancada o con circulación rápida. Se utiliza para los condensadores de los barcos o en las centrales fijas refrigeradas por agua de mar, así como en las instalaciones de desalación.

El cuproniquel se elabora igualmente en forma de placas tubulares y de piezas moldeadas, tales como cuerpos de válvulas y de bombas. Citemos igualmente piezas para azucareras e industrias químicas.

Entre las utilizaciones relativamente recientes del CuNi10FeMn, hay que citar la protección de maderas (pilares de estacadas, muelles y puentes). Este cuproniquel se utiliza igualmente para el enfundado de cables sumergidos o expuestos a atmósferas corrosivas.

CuNi20Mn1Fe.

Este cuproníquel se utiliza en forma de tubos para condensadores, así como en electrónica y para piezas embutidas, estampadas o forjadas. Se presta muy bien a grandes deformaciones, lo que justifica su empleo en la construcción de instrumentos de música y vainas de proyectiles.

Una variedad que contiene silicio, y que es susceptible de endurecimiento estructural, se utiliza en forma de piezas moldeadas, como cojinetes, portafundas para árboles de apoyo para barcos.

CuNi25.

Esta aleación se utiliza sobre todo para la acuñación de monedas y medallas.

CuNi30Mn1Fe.

Para velocidades de circulación mayores, hasta 5 m/s, conviene usar esta aleación para los tubos de los condensadores. Lo mismo ocurre cuando el agua contiene en suspensión partículas abrasivas. Además, esta aleación es una de las que mejor resiste a las aguas muy contaminadas y muy cargadas de H₂S. Además, las aguas de salinidad elevadas o las bastante calientes no tienen influencia nociva sobre esta aleación, sobre la que por otra parte, la fijación de los organismos marinos es pequeña.

CuNi30Mn2Fe2.

Esta aleación resiste a la corrosión aún mejor que la precedente, en especial en aguas muy contaminadas o que contengan materias sólidas en suspensión.

CuNi44FeMn.

Esta aleación se emplea para resistencias de presión, para aparatos de medida, regulación fina, etc. así como para bombas negativas de termoelementos. Se utiliza igualmente en electrónica y para aparatos de calefacción.

J. ALPACAS Y ALPACAS CON PLOMO.

Las aplicaciones de las alpacas son muy diversas. Están basadas esencialmente en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Entre las principales utilizaciones, se deben citar las piezas para equipos de telecomunicaciones, a las que las alpacas aportan inoxidabilidad, resistencia mecánica elevada y facilidad de elaboración.

Casi todos los cubiertos de metal plateado son de alpaca cuando, al cabo de los años, el plateado se desgasta, un nuevo baño de plata les devuelve el aspecto primitivo. Entre tanto, la alpaca al descubierto presenta sensiblemente el mismo color de la plata, y por lo tanto, no se nota.

Las aleaciones son especialmente interesantes en decoración y arquitectura por su brillo atractivo y poco alterable. Hay que citar, finalmente, los instrumentos de precisión, de relojería y para industrias químicas y alimenticias.

TELECOMUNICACIÓN

Durante más de cuarenta años, las aleaciones se han utilizado para los muelles de contactos, redes y demás piezas de centrales telefónicas.

La aleación $\text{CuNi}_{15}\text{Zn}_{21}$, y sobre todo la $\text{CuNi}_{18}\text{Zn}_{27}$, son de las más empleadas, por su resistencia a la corrosión y su aptitud para la deformación en frío.

Como el objetivo de esta tesis es presentar las aplicaciones del cobre y sus aleaciones en la Ingeniería Química; en seguida se presentará una tabla que a manera general dará algunas de las aplicaciones principales de estos materiales.

EJEMPLO DE APLICACION DEL COBRE Y SUS ALEACIONES EN LA INGENIERIA QUIMICA.

Debido a que el objetivo de esta tesis es presentar al cobre y a sus aleaciones como una alternativa más dentro de la selección de materiales en la ingeniería Química; En seguida se presentará un lista que permite ejemplificar, en forma muy general, algunas aplicaciones que se le pueden dar al cobre y a sus aleaciones dentro de la ingeniería Química.

INGENIERIA QUIMICA

APLICACIÓN	MATERIALES
- Cambiadores de calor, incluidas tuberías de condensadores y placas tubulares.	Cobre desoxidado Cobre con arsénico Cuproaluminio. Cuproaluminio con manganeso Cuproníquel Latón con aluminio Latón almirantazgo Latón naval (forja)
- Cestas, cadenas y ganchos para decapado	Cuproaluminio Cuproníquel Latón con silicio Monel
- Depósitos, vasijas, cadenas, autoclaves y calderería en general	Bronce fosforeo Cobre desoxidado Cobre desoxidado con arsénico Cuproaluminio Cuproníquel Latón con silicio Monel
- Industria papelera, incluidas telas metálicas Fourdrinier	Bronce Cuproaluminio con manganeso Latón Latón con silicio
- Piezas fundidas tales como placas tubulares para cambiadores de calor para aplicaciones en condiciones de no fuerte corrosión.	Bronce con zinc Cuproaluminio Cuproaluminio con manganeso Latón alta resistencia Latón naval

- Piezas fundidas para bombas, válvulas, etc. resistentes a la corrosión y al desgaste.	Bronce con zinc Bronce con zinc Cuproaluminio Cuproaluminio con manganeso Latón con silicio Monel
- Tuberías para líquidos y gases poco corrosivos	Cobre desoxidado Cobre con arsénico
- Tuberías y accesorios para salmueras y soluciones similares	Cuproaluminio Cuproniquel Latón con aluminio Latón con silicio Monel
- Tuberías para refrigeración	Cobre
- Piezas de bombas y válvulas, boquillas de aspiración.	Cuproaluminio Bronce Bronce con zinc Bronce con níquel Latón alta resistencia Monel
- Tubos y placas de condensadores	Cuproaluminio Cuproniquel Latón con aluminio
- Tuberías y accesorios para agua de mar.	Bronce Bronce con zinc Cuproaluminio Cuproniquel Latón con aluminio Latón con silicio
- Calderas y calentadores de agua	Cobre (preferentemente desoxidado) Latón con silicio
- Tuberías para agua fría y caliente, gas y calefacción, vistas o empotradas. Tuberías de desagüe.	Cobre (preferentemente desoxidado) Latón rojo (Zn15)

INDUSTRIAS PAPELERA, DE IMPRESIÓN Y TEXTIL.

- Bombas, válvulas, barras batidoras, piezas fundidas o forjadas en general, resistentes a la corrosión	Bronce Bronce con zinc Bronce con níquel Cuproaluminio Latón con silicio Monel.
- Cilindros y placas para impresión de papel y tejidos.	Cobre
- Tintas metálicas	Povos de bronce y latón

INSTRUMENTACIÓN.

- Bobinados y discos de Foucault	Cobre de alta conductividad
- Calibres de deformación, incluidos tubos Bourdon y fuelles	Alpaca Bronce fosforoso Cobre-berilio Monel
- Piezas pequeñas de precisión o maquinadas	Cobre con telurio Latón con plomo
- Piezas, ruedas dentadas y otras piezas para relojes, contadores e instrumentos similares.	Latón (de relojería)
- Resistencias eléctricas constantes	Alpaca Cuproníquel Cuproníquel con manganeso
- Termopares y conductores compensadores	Cuproníquel
- Tubos capilares	Cobre Cuproníquel

REFINERÍAS DE PETROLEO

- Canales para conductores eléctricos	Latón con silicio
- Partales	Latón CuZn40 Latón naval
- Placas tubulares	Latón (CuZn40) con plomo Latón naval Cuproaluminio con níquel
- Tuberías de bombas	Latón (bajo Zn)
- Tuberías y Tuberías de fangos	Latón (bajo Zn)
- Tubos de condensadores y cambiadores de calor	Latón almirantazgo Latón con aluminio Latón (bajo Zn) Cuproaluminio Cuproníquel.

CONCLUSIONES

La gran variedad de aplicaciones que tienen el cobre en la industria química se debe principalmente a sus notables propiedades físicas y químicas como es, sobre todo, su resistencia química al ataque corrosivo que es bien conocida así como, entre otras cosas, su alta conductividad térmica y eléctrica.

Si se desea tener una buena conductividad eléctrica, no hay como el empleo del cobre en su forma más pura para conseguirlo. Sin embargo, cuando se requiere de materiales resistentes mecánicamente hablando y resistentes a la corrosión el cobre se alea con materiales que le den dichas propiedades. Así pues, los factores químicos y mecánicos determinan el empleo del cobre puro o aleado, destacando los bronce, los cuproaluminios y los cuproniquel como las aleaciones más importantes en la industria química.

Todo lo anterior es posible entenderlo si se considera la estructura cristalina de cada material, mediante la cual se pueden determinar las propiedades mecánicas, físicas y químicas de los materiales. Cuando se forman aleaciones, las propiedades de las mismas varían en función del tamaño del grano, temperatura, mezcla de los componentes y, en consecuencia del número de fases que se obtenga.

De tal manera, que al tener un conocimiento adecuado de lo que ocurre a nivel estructural, podemos entender fácilmente las modificaciones que sufren las propiedades de los materiales al cambiar las condiciones de temperatura y composición de las aleaciones; mediante el uso adecuado de los diagramas de fase.

Esto es muy importante en el campo de la selección de materiales, ya que es posible entonces tener elementos suficientes para obtener gran variedad de materiales de acuerdo a la diversidad de aplicaciones, es decir, podemos crear aleaciones en donde la propiedad principal sea la resistencia mecánica a bajo costo, o bien, aumentar la resistencia a la corrosión, así como la conductividad eléctrica y térmica de un metal puro; entre otras propiedades.

La importancia de lo anteriormente expuesto estriba en el hecho de que en la actualidad ya no es necesario adecuarse a sólo un determinado grupo de materiales metálicos, como es el caso de las aleaciones ferrosas. Ya que ahora contamos, como se analizó a lo largo de este trabajo, con aleaciones no ferrosas, en el caso específico de las aleaciones del cobre, las cuales son una opción más dentro del área de selección de materiales en la ingeniería química.

Como se analizó en su momento, las diferentes aleaciones del cobre, presentan características y propiedades tan importantes como son: La resistencia a la corrosión (mayor que la de ciertas aleaciones ferrosas) como la que caracteriza a los cuproaluminios. Excelente resistencia mecánica a temperatura ambiente como el caso de los bronce. Buena resistencia mecánica a bajas temperaturas como al caso de las alpacas. Buena maleabilidad, amagnetismo y comportamiento antichispa de los cuproaluminios. Facilidad de moldear y propiedades eléctricas especiales de los tipos de aleaciones con alto contenido de níquel, etc.

Lo anterior sólo es una muestra de las variadas e importantes propiedades que caracterizan a las aleaciones no ferrosas de cobre y permiten presentarlas como una buena alternativa dentro los materiales metálicos.

Esto es de gran utilidad si se considera que los estudiantes o egresados de la carrera de ingeniería química no cuentan con suficiente información en cuanto a los diversos tipos de materiales con los que ellos puedan contar en el momento de realizar una selección de los materiales a emplear en un proyecto.

De tal manera que este trabajo se presenta como una base bibliográfica útil tanto para el estudiante que cursa la carrera de Ingeniería Química como para el egresado de la misma. Ya que en este puede encontrar desde los fundamentos teóricos necesarios para entender el comportamiento y las propiedades de los materiales no ferrosos, específicamente el cobre y sus aleaciones; hasta las aplicaciones de cada una de ellas.

ANEXO I

TABLA 1.0 SISTEMA DE DESIGNACION PARA LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.	
ALEACIONES PARA FORJA	
1xxx Alum. comercialmente puro	No envejecido.
2xxx Al-Cu	Endurecible por envejecimiento.
3xxx Al-Mg	No envejecido.
4xxx Al-Si y Al-Mg-Si	Endurecible por envejecimiento si hay magnesio presente.
5xxx Al-Mg	No envejecido.
6xxx Al-Mg-Si	Endurecible por envejecimiento.
7xxx Al-Mg-Zn	Endurecible por envejecimiento.
ALEACIONES FUNDIDAS	
1xx.x Alum. comercialmente puro	No envejecido.
2xx.x Al-Cu	Endurecible por envejecimiento.
3xx.x Al-Si-Cu o Al-Mg-Si	Algunas son endurecibles por envejecimiento.
4xx.x Al-Si	No envejecido.
5xx.x Al-Mg	No envejecido.
7xx.x Al-Mg-Zn	Endurecible por envejecimiento.
8xx.y Al-Sn	Endurecible por envejecimiento.

TABLA 2.0 SISTEMA DE CLASIFICACION PARA LAS ALEACIONES DE MAGNESIO.	
A. DOS LETRAS INDICAN LOS ELEMENTOS DE ALEACION PRINCIPALES.	
A-Al	Q-Ag
E-Ca	S-Si
H-Th	T-Sn
K-Zr	Z-Zn
N-Nb	
B. DOS Y A VECES TRES NUMEROS INDICAN LAS CANTIDADES APROXIMADAS DE ELEMENTOS DE ALEACION REDONDEADAS AL PORCENTAJE ENTERO MAS PROXIMO.	
C. UNA LETRA FINAL INDICA VARIACIONES DE LA ALEACION NORMAL.	

TABLA 4.0 COMPOSICIONES, PROPIEDADES Y APLICACIONES DE ALGUNAS ALEACIONES DE NI Y Co.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA TENSION (PSI)	ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)	ELONGACION (%)	APLICACIONES
Ni puro (99.9%) Recocido Trabajado en frio	50,000 95,000	16,000 90,000	45 4	Resistencia a la corrosion
Monel 400 (Ni-31.5% Cu)	70,000	39,000	37	Valvulas, bombas cambiadore de calor
Superalaciones de Ni Hastelloy B-2 (Ni-20% Mo)	130,000	60,000	61	Resistencia a la corrosion
INVAR (Ni-10% Co-9% Cr-10% W +Ti,Al,Ta)	140,000	125,000	5	Motores de reaccion
DS-Ni01 (Ni-2% TiAl)	71,000	40,000	14	Turbinas de gas
Superalaciones de Fe-Ni Incoloy 800 (Ni-46% Fe-21% Cr)	89,000	41,000	37	Cambiadore de calor
Superalaciones de Co Hastelloy C (50% Co-20% Cr-15% W-10% Ni)	135,000	65,000	60	Motores de reaccion
Stellite 6B (60% Co-30% Cr-4.5% W)	177,000	103,000	4	Resistencia al desgaste por abrasion

ANEXO II

TABLA 6.1 PROPIEDADES FISICAS DEL COBRE	
SÍMBOLO	Cu
NÚMERO ATÓMICO	29
CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA	$3d^{10}, 4s^2$
COLOR	Rojizo
PESO ATÓMICO	63,54 g/gmol
DENSIDAD (a 25°C)	8,94 g/cm ³
DUREZA (escala de Mohs)	3
PUNTO DE FUSIÓN	1 083 °C
PUNTO DE EBULLICIÓN	2 310 °C
CALOR ESPECÍFICO	5,85 cal/g
CALOR DE VAPORIZACIÓN	1 146 cal/g
COEF. DE DILATACIÓN LINEAL	$16,5 \times 10^6$
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	0,94 cal/cm ² /cm/s
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	1,72 microhms/cm
ELECTRONEGATIVIDAD	1,9
RADIO METÁLICO	1,278 Å
RADIO COVALENTE TETRAÉDRICO	1,35 Å
RADIO IÓNICO M ⁺	0,93 Å
RADIO IÓNICO M ²⁺	0,72 Å

MATERIAL			C _U ELECTROLITICO	C _U TERMICO ALTA CONDUCTIBILIDAD	C _U TERMICO TENAZ	C _U EXENTO DE OXIGENO	CU DESOX. CON FOSFORO BAJO CONT. DE FOSFORO RESIDUAL	CU DESOX. CON FOSFORO ALTO CONT. DE FOSFORO RESIDUAL
DESIGNACION			Cu-E1P	Cu-FRHC	Cu-FR1P	Cu-0F	Cu-D1P	Cu-DHP
MAÑNITUD	UNIDAD	E						
Densidad	g/cm ³		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 (ln. (25-100 C))	°C		0.0000168	0.0000168	0.0000168	0.0000168	0.0000168	0.0000168
Calor específico (20 C)	cal/g C		0.0921	0.0921	0.0921	0.0921	0.0921	0.0921
Conductividad térmica (20 C)	cal/cm s C		0.94	0.94	0.80-0.90	0.94	0.80-0.93	0.70-0.87
Conductividad eléctrica	m/mm ²	R	58.0-58.9	58.0-58.9	49-55 ¹	58.0-58.9	49-57	41-51 ¹
	%IACS	R	100.0-101.5	100.0-101.5	85-95 ¹	100.0-101.5	85-98	70-90 ¹
Resistividad eléctrica	Ω cm	R	1.7241-1.70	1.7241-1.70	2.0-1.8 ¹	1.7241-1.70	2.0-1.70	2.5-1.9 ¹
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (-100 a +200 C)	°C ⁻¹	R	0.00333 (100% IACS)	0.00333 (100% IACS)	0.00334 ² (85% IACS)	0.00333 (100% IACS)	0.00334 (85% IACS)	0.00375 ² (70% IACS)
Modulo de elasticidad (20 C)	kg/mm ²	R	12000	12000	12000	12000	12000	12000
		F	12000-13500	12000-13500	12000-13500	12000-13500	12000-13500	12000-13500
Modulo de rigidez (20 C)	kg/mm ²	R	4500	4500	4500	4500	4500	4500
		F	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000

E1: R = Recocido
F = Forjado

¹ - Estados forjado o recocido
² - @ - 100 °C

TABLA 6.2 b PROPIEDADES MECANICAS DEL COBRE ELECTROLITICO A DIFERENTES TEMPERATURAS.				
DESIGNACION		INTERVALO TEMPERATURA		
MAGNITUD	UNIDAD	BAJA -196°C	AMBIENTE 20°C	ALTA 200°C
Resistencia a la traccion	kg/cm ²	36	22	16
Límite elástico	kg/cm ²	7	5	6
Alargamiento	%	57	48	57

TABLA 6.3 a PROPIEDADES FISICAS DE LOS COBRES ALEADOS							
MATERIAL		COBRE DESOX. CON FOSFORO CON ARSENICO	COBRE TENAS CON PLATA	COBRE EXENTO DE OXIGENO CON PLATA	COBRE CON AZUFRE	COBRE CON TELURIO	
DESIGNACION		Cu-DPA	Cu-LSTP	Cu-OFS	Cu-S	Cu-Te	
MANIFITUD	UNIDAD	E					
Densidad	g/cm ³		8.9	8.9	8.9	8.9	
Punto de fusion	°C		1853-1882	1882	1882	1867-1879	1851-1881
Coefficiente de dilatacion lin. (20-100 °C)	°C		0.000017	0.000016	0.000168	0.000017	0.000017
Calor especifico (20 °C)	cal/g		0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Conductividad termica (20 °C)	cal/cm s °C		0.35-0.45	0.94	0.94	0.89	0.88
Conductividad electrica	m/mm ²	R	20-26	57.4-58.6	57.4-58.6	55.1	56.8
	%IACS	F	35-45	99-101	99-101	95	98
Resistividad electrica	u cm	R	4.9-3.8	R 1.74-1.71	R 1.81	1.81	1.76
		F					
Coefficiente termico de la resistencia electrica (0 a 100 °C)	°C ⁻¹	R	0.0014-0.0018	0.00393	0.00393	0.0037	0.0039
		F					
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	R	12000	12000	12000	1200	12000
		F	12000-13500	12000-13500	12000-13500	1200-13500	12000-13500
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	R	4500	4500	4500	4500	4500
		F	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000

E: R = Recocido
F = Forjado

TABLA 6.3 B PROPIEDADES MECANICAS DEL COBRE DESOXIDADO CON FOSFORO, CON ARSENICO.						
DESIGNACION		INTERVALO TEMPERATURA				
MAGNITUD	UNIDAD	BAJA -196°C	AMBIENTE 20°C		ALTA 200°C	
Resistencia a la traccion	kg/mm ²	40	R	22	R	18
			F	27-38	F	-
Limite elastico	kg/mm ²	38	R	5	R	-
			F	18-34	F	-
Alargamiento	%	21.4	R	48	R	41
			F	25-6	F	-

TABLA 6.4 a PROPIEDADES FISICAS DE LAS ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE COBRE.									
MATERIAL	COBRE CON CADMIO	COBRE CON CADMIO- ESTANO	COBRE CON CROMO	COBRE CON BERILIO	COBRE CON BERILIO	COBRE CON COBALTO BERILIO	COBRE CON NIOQUEL SILICIO	COBRE CON SILICIO MANGA- NESES	
DESIGNACION	CuCd1	CuCdSn	CuCr1	CuBe1, 7Co1	CuBe2 Co1	CuCo2Be4	CuNi2Si	CuSi3 M1	
MAGNITUD	UNIDAD	E							
Densidad	g/cm ³	8.9	8.9	8.9	8.25	8.25	8.75	8.9	8.55
Intervalo de fusión	°C	1010 1000	980 1070	1070 1000	870 990	865 905	1000 1075	1040 1060	910 1030
Coefficiente de dilatación (ln. (20-100 °C))	°C	0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000018	0.000014	0.000017
Calor específico (20 °C)	cal/ g °C	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm cm ² °C	0.75 0.85	0.50 0.60	0.40 0.02	0.20 0.31	0.20 0.30	0.30 0.40	0.20 0.45	0.085
Conductividad eléctrica	% IACS	R 80-92 75-87	R 60-75 55-70	35-65 ^a	10-32 ^a	17-30 ^a	22-52 ^a	17-40 ^a	7
	μ/mm ²	R 46-53 44-50	R 35-44 32-41	20-49 ^a	10-19 ^a	10-17 ^a	12-30 ^a	10-23 ^a	4
Resistividad eléctrica	U cm	R 2.2-1.9	R 2.9-2.3	4.9-2.0 ^a	9.6-5.4 ^a	70-5.7 ^a	7.0-3.3 ^a	10-4.3 ^a	25 ^a
	F	2.3-2.0	3.1-2.5						
Coeficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-100 °C)	°C ⁻¹	R 0.0031- 0.0036	R 0.0024- 0.0030	0.0014 ^a 0.0015 ^a	0.0007 ^a 0.0013 ^a	0.0007 ^a 0.0012 ^a	0.0006 ^a 0.0008 ^a	0.0007 ^a 0.0016 ^a	0.0017 ^a
	F	0.0030- 0.0034	0.0022- 0.0028						
Módulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	R 12700	R 12700	13000 ^a 13000 ^a	13000 ^a 13000 ^a	13000 ^a 13000 ^a	13000 ^a 13000 ^a	14000 ^a	10500 ^a
	F	13000	13000	13000 ^a 13000 ^a	13000 ^a 13000 ^a	13000 ^a 13000 ^a	13000 ^a 13000 ^a	14000 ^a	10500 ^a
Módulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	R 4700	R 4700	4500 ^a 4500 ^a	4500 ^a 4500 ^a	4400 ^a 4400 ^a	4300 ^a 4300 ^a	5000 ^a	3900 ^a
	F	4800	4800	4500 ^a 4500 ^a	4500 ^a 4500 ^a	4400 ^a 4400 ^a	4300 ^a 4300 ^a	5000 ^a	3900 ^a

E: R = Recocido
F = Forjado

1 - Los valores indicados en primer lugar
se refieren al estado en solución.
Los valores indicados en segundo lugar
refieren al estado de precipitación.

a - Los valores indicados son válidos
para cualquier estado.

TABLA 6.4 b. PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE COBRE A T. AMBIENTE.

MATERIAL		COBRE CON CADMIO	COBRE CON CADMIO- ESTANO	COBRE CON CROMO	COBRE CON BERILIO	COBRE CON BERILIO	COBRE CON COBALTO BERILIO	COBRE CON NIQUEL SILICIO	COBRE CON SILICIO MANGA- NEO			
DESIGNACION		CuCd1	CuCdSn	CuCr1	CuBe1, Co1	CuBe2 Co1	CuCo2Be	CuNi2Si	CuSi3 Mn1			
PROPIEDADES	UNIDAD	E		E				E				
Resistencia a la Traccion	Kg/mm ²	R1	25	26	A	24-42	40-110	50-127	31-63	30-50	R1	40
		R2	26	28							R2	40
		F1	34-42	45-52	B	30-55	52-133	55-142	36-76	44-75	F1	50-65
		F2	52-70	58-75							F2	55-85
Limite elastico	Kg/mm ²	R1	0	9	A	10-30	20-100	23-110	12-50	12-520	R1	16
		R2	0	10							R2	16
		F1	27-30	40-49	B	10-51	37-120	40-127	28-70	40-65	F1	35-60
		F2	40-69	55-74							F2	42-86
Alargamiento	%	R1	45	45	A	30-15	50-3	50-3	25-33	35-14	R1	55
		R2	35	35							R2	45
		F1	20-7	7-3	B	14-2	30-1	30-1	12-3	12-10	F1	30-10
		F2	3-1	2-1							F2	13-2
Dureza		R1	55	55	A	65-110	95-350	105-375	56-100	70-170	R1	75
		R2	--	--							R2	--
Brinell		F1	100-120	120-140	B	110-160	135-385	135-410	105-220	120-190	F1	130-180
		F2	--	--							F2	--
Resistencia a la Cizalladura	Kg/mm ²	R1	10	19	A	--	--	--	22-33	--	R1	30
		R2	19	21							R2	30
		F1	24-27	31-34	B	--	--	--	25-44	--	F1	35-42
		F2	20-35	32-39							F2	32-44

A = Estado intermedio entre solubilizacion y solubilizacion seguida de endurecimiento por precipitacion.

R1 = Recocido (Chapa, banda para CuCd1 y CuSi3Mn1, barra para CuCdSn).

B = Similar a A, excepto que ha habido deformacion en frio antes o despues del endurecimiento por precipitacion.

R2 = Recocido (alambre).

F1 = Forjado (Chapa, banda para CuCd1 y CuSi3Mn1, barra para CuCdSn).

F2 = Forjado (alambre).

TABLA 6.5 a		PROPIEDADES FISICAS DE LOS LATONES.								
DESIGNACION			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn25	CuZn30	CuZn37	CuZn40
MAGNITUD	UNIDAD	E								
Densidad	g/cm ³		8.85	8.80	8.75	8.65	8.55	8.50	8.45	8.40
Intervalo de fusión	°C		1055 1070	1025 1045	1000 1025	970 1010	910 965	902 940	902 940	895 900
Coefficiente de dilatación (25-100 °C)	°C		0.000017	0.000018	0.000018	0.000019	0.000019	0.000019	0.000019	0.00002
Calor específico (20 °C)	cal/g		0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm/om s °C		0.56	0.45	0.38	0.33	0.29	0.29	0.30	0.30
Conductividad eléctrica	%IACS	R	56	44	37	32	28	28	26	28
	M/mm ²	R	32	26	21	19	16	16	15	16
Resistividad eléctrica	V/cm	R	3.1	3.9	4.7	5.4	6.2	6.6	6.6	6.2
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-100 °C)	°C ⁻¹	R	0.0023	0.0019	0.0016	0.0015	0.0015	0.0016	0.0017	0.0020
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	R	13000	12700	12400	12100	11700	11400	11100	10400
		F	13000 13000	12700 12700	12400 12400	12100 12100	11700 11700	11400 11400	11100 11100	10400 10400
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	R	4750	4650	4550	4400	4150	4050	4000	3900
		F	4750 4750	4650 4650	4550 4550	4400 4400	4150 4150	4050 4050	4000 4000	3900 3900

E: R = Recocido
F = Forjado

TABLA 6.4 b. PROPIEDADES MECANICAS DE LOS LATONES A TEMPERATURA AMBIENTE (PRODUCTOS PLANOS).										
DESIGNACION			CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn25, 30	CuZn33	CuZn37	CuZn40
PROPIEDADES	UNIDAD	E								
Resistencia a la Traccion	Kg/mm ²	R	27	28	31	32	35	36	36	38
		F	34-43	32-40	34-40	42-57	38-60	39-63	39-63	45-52
Limite elastico	Kg/mm ²	R	10	10	13	13	14	14	14	16
		F	24-30	20-42	25-42	30-40	23-55	25-57	25-57	32-45
Alargamiento	%	R	45	40	40	51	57	55	53	40
		F	20-4	30-5	30-10	50-5	40-5	30-2	35-2	25-0
Dureza Brinell		R	65	60	60	60	60	60	60	65
		F	85-120	75-125	85-135	115-155	95-160	100-165	100-165	125-145
Resistencia a la Cizalla dura	Kg/mm ²	R	20	21	23	24	26	27	27	29
		F	24-26	22-29	24-31	29-32	27-33	28-34	28-34	32-34
PROPIEDADES MECANICAS DE LOS LATONES (BARRAS) A BAJA TEMPERATURA -195 °C.										
Resistencia a la Traccion	Kg/mm ²	R	30	39	43.5	x	51.5	53.7	--	47
		F	--	--	--	x	82	72.3	52	61
Limite elastico	Kg/mm ²	R	9.6	9.3	11.5	y	13.2	--	--	--
		F	--	--	--	x	48.2	--	--	--
Alargamiento	%	R	--	86	89	x	74	51	--	55
		F	--	--	--	x	20	10	53	24
Resiliencia	Kg/cm ²	R	--	19.4	13.5	x	13.6	14.2	--	--
		F	--	--	--	x	2.7	--	--	--
PROPIEDADES MECANICAS DE LOS LATONES (BARRA) A TEMPERATURA ELEVADA 300 °C.										
Resistencia a la Traccion	Kg/mm ²	R	17	19	22	x	25	33	31	32
		F	27	47	37	y	34	53	38	43
Limite elastico	Kg/mm ²	R	3.7	5.3	7.5	x	--	--	--	--
		F	25	43	--	x	--	--	--	--
Alargamiento	%	R	--	--	--	x	32	35	50	49
		F	13	9	5	x	4	4	20	20

R = Estado Recocido

F = Estado de Forja

DESIGNACION		CuZn9Pb2	CuZn34 Pb1	CuZn36 Pb2	CuZn36 Pb3	CuZn38 Pb1	CuZn39 Pb2	CuZn40Pb	CuZn40 Pb3	CuZn43 Pb1
MAGNITUD	UNIDAD									
Densidad	g/cm ³	8.8	8.5	8.5	8.5	8.4	8.4	8.4	8.5	8.4
Intervalo de fusión	°C	1010 1040	885 925	885 910	885 900	885 900	880 895	885 900	875 890	870 885
Coefficiente de dilatación lin. (20-100 °C)	°C	0.000018	0.000019	0.000019	0.000019	0.000020	0.000020	0.000020	0.000021	0.000021
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm s °C	0.43	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.26
Conductividad eléctrica	M/ mm ²	24	15	15	15	16	16	16	16	18
	% IACS	42	26	26	26	27	27	27	28	31
Resistividad eléctrica	μ cm	4.1	6.6	6.6	6.6	6.4	6.4	6.4	6.2	5.5
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-100 °C)	°C ⁻¹	0.0018	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0019
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	11.900	10.500	10.200	10.100	9.900	9.800	10.000	9.750	8.500
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4.400	3.900	3.800	3.700	3.700	3.600	3.700	3.600	3.100

TABLA 6.7 PROPIEDADES FISICAS DE ALGUNOS LATONES ESPECIALES.							
DESIGNACION		CuZn21Al2	CuZn20Sn1	CuZn30Sn1	CuZn27Al5 Fe2In2	CuZn39Al FeIn	CuZn39Fe InSn
MAGNITUD	UNIDAD						
Densidad	g/cm ³	8.35	8.55	8.40	7.75	8.3	8.3
Punto de fusión	°C	935-1010	890-920	885-915	950-1030	860-880	865-890
Coefficiente de dilatación lin. (25-100 °C)	°C ⁻¹	0.000018	0.000019	0.000020	0.000018	0.000020	0.000021
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0.09	0.09	0.09	0.098	0.09	0.09
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm s °C	0.24	0.26	0.28	0.14	0.23	0.26
Conductividad eléctrica	M/mm ²	13	14	15	7.4	14	14
	XIACS	23	25	26	13	24	24
Resistividad eléctrica	Ω cm	7.5	6.9	6.6	12.5	7.2	7.2
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (-100 a +200 °C)	°C ⁻¹	0.0013	0.0013	0.0010	0.00040	0.00094	0.00094
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	11200	11200	10500	10500	10500	10500
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4100	4100	3900	3900	3900	3900

TABLA 6.8 a PROPIEDADES FISICAS DE LOS BRONCES BINARIOS (BRONCES FOSFOROSOS).									
DESIGNACION		CuSn2	CuSn4	CuSn5	CuSn6	CuSn8	CuSn10	CuSn12	CuSn14
MAGNITUD	UNIDAD								
Densidad	g/cm ³	8.9	8.85	8.85	8.80	8.80	8.80	8.9	8.9
Intervalo de fusión	°C	1000 1000	950 1070	930 1060	900 1050	860 1040	830 1020	820 990	800 970
Coefficiente de dilatación (25-100 °C)	°C	0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000017	0.000019	0.000019
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm s °C	0.35 0.55	0.15 0.28	0.15 0.23	0.11 0.16	0.11 0.15	0.1-0.12	0.14	0.21
Conductividad eléctrica	XIACS	25-50 ^a	15-25	13-18	11-15	10-14	10-12	11.5	6.0
	M/ mm ²	15-25 ^a	8.7-15	7.5-10	6.4-8.7	5.8-8.1	5.8-7	6.5	5
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-20 °C)	°C ⁻¹	0.0013 ^a	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006			
		0.0029	0.0013	0.0009	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0005
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12.5	11.2 12.2	10.8 12.4	9.0 12.0	9.0 11.4	8.4 11.0	9.5	9.2
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4.60	4.15 4.5	4.00 4.60	3.30 4.50	3.30 4.20	3.10 4.10	--	--

^a = Dentro del intervalo de composición indicado. El contenido de estano influye notablemente sobre la conductividad y la resistividad eléctricas.

TABLA 6.8 b PROPIEDADES FISICAS DE LOS BRONCES COMPLEJOS.						
DESIGNACION		CuSn4Zn4	CuSn10Zn2	CuSn10Pb5	CuSn8Pb15	CuSn5Pb20
MAGNITUD	UNIDAD					
Densidad	g/cm ³	8.82	8.8	8.9	9.1	9.2
Intervalo de fusión	°C	975-1045	840-1000	845-1000	875-1025	930-1050
Coefficiente de dilatación lin. (20-100 °C)	°C	0.0000183	0.0000188	0.000185	0.000019	0.0000193
Color específico (20 °C)	cal/g °C	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm s °C	0.21	0.13	0.14	0.15	0.17
Conductividad eléctrica	M/mm ²	11	6	6.5	7	8.5
	XIACS	19	10.5	11.2	12	14.6
Resistividad eléctrica	Ω cm	9.07	16.42	14.7	14.4	11.8
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0 a 20 °C)	°C ⁻¹	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0012
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12200	9200	8700	8200	8000

TABLA 6.9 a PROPIEDADES FISICAS DE LOS CUPROALUMINIOS BINARIOS.			
DESIGNACION		CuAl5	CuAl8
MAGNITUD	UNIDAD		
Densidad	g/cm ³	8.2	7.8
Intervalo de fusión	°C	1050-1060	1035-1045
Coefficiente de dilatación lin. (25-100 °C)	°C	0.000017	0.000016
Calor específico (20 °C)	cal/g °C	0.10	0.10
Conductividad térmica (20 °C)	cal/cm s °C	0.10-0.20	0.15-0.17
Conductividad eléctrica	%IACS	15-18	13-15
	m/mm ²	8.7-10	7.5-8.7
Resistividad eléctrica	μ cm	17-70	13-11
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-100 °C)	°C ⁻¹	0.0008-0.0009	0.0008
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	11,000-12,050	1,350-12,600
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4350-4750	420-4650

TABLA 6.9 b PROPIEDADES FISICAS DE LOS CUPROALUMINIOS COMPLEJOS.								
DESIGNACION		CuAl ₈ Fe ₃	CuAl ₉ Hn ₂	CuAl ₁₀ Fe ₃	CuAl ₁₀ Fe ₃ Ni ₉	CuAl ₉ Ni ₆ Fe ₃	CuAl ₁₁ Ni ₉ Fe ₆	CuAl ₈ Ni ₅ Ni ₁₁ Fe ₃
MAGNITUD	UNIDAD							
Densidad	g/cm ³	7.8	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.5
Intervalo de fusión	°C	1045 1110	1045 1110	1045 1090	1060 1075	1050 1070	--	--
Coefficiente de dilatación lín. (20-100 C)	°C	0.000016	0.000016	0.000016	0.000015	0.000016	0.000017	0.000017
Calor específico (20 C)	cal/g °C	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	--	--
Conductividad térmica (20 C)	calcm/cm s °C	0.14 0.17	0.14 0.16	0.14 0.16	0.09 0.11	0.09 0.11	0.08	0.06
Conductividad eléctrica	XIACS	12-14	12-14	12-14	7-9	7-9	7	5
	m/mm ²	7.0-8.1	7.0-8.1	7.0-8.1	4.1-5.2	4.1-5.2	4	3
Resistividad eléctrica (20 C)	u cm	14-12	14-12	14-12	25-19	25-19	24	34
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-20 C)	°C ⁻¹	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0005	--	--
Modulo de elasticidad (20 C)	kg/mm ²	12.5	10.500	12.000	12.000 14.000	12.000 14.000	--	--
Modulo de rigidez (20 C)	kg/mm ²	4550	3900	4450	4750 5200	4750 5200	--	--

DESIGNACION		CuNi5Fe1Mn	CuNi10Fe1Mn	CuNi20Mn1Fe	CuNi25	CuNi30Mn1Fe	CuNi44Mn1
MAGNITUD	UNIDAD						
Densidad	g/cm ³	8.90	8.90	8.95	8.95	8.95	8.9
Punto de fusión	°C	1090-1125	110-1145	1130-1190	1150-1220	1170-1240	1225-1300
Coefficiente de dilatación (25-100 °C)	°C ⁻¹	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 s °C	0.15	0.12	0.09	0.08	0.07	0.05
Conductividad eléctrica	M/ mm ²	0.7	5	3.5	3	3	2.0
	% IACS	14	9	6	5	5	3.5
Resistividad eléctrica	μ cm	12	19	29	34	34	49
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (-100 a +200 °C)	°C ⁻¹	0.0012	0.0007	0.0004	0.0002	0.00005	0.00004
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12400	13000	13600	14100	14600	16000
		13500	13000	14000	14900	15500	16000
Modulo de rigidez (20 °C)	kg/mm ²	4600	4800	5050	5200	5400	5900
		5000	5100	5500	5500	5750	6200

TABLA 6.11		PROPIEDADES FISICAS DE LAS ALPCAS						
DESIGNACION		CuNi10 Zn27	CuNi12 Zn24	CuNi15 Zn21	CuNi18 Zn20	CuNi18 Zn27	CuNi20 Zn18	CuNi25 Zn15
MAGNITUD	UNIDAD							
Densidad	g/cm ³	8.60	8.65	8.70	8.75	8.70	8.75	8.75
Intervalo de fusión	°C	980 1035	1000 1060	1040 1090	1060 1110	1000 1070	1000 1150	--
Coefficiente de dilatación (20-100 °C)	°C	0.000015	0.000015	0.000015	0.000015	0.000016	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 °C	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
Conductividad eléctrica	m/mm ²	4.9	4.6	4.1	3.5	3.2	2.9	2.8
	% IACS	8.5	8	7	6	5.5	6	5
Resistividad eléctrica (20 °C)	u cm	20	22	25	29	31	31	34
Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (0-20 °C)	°C ⁻¹	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	--	0.0003
Modulo de elasticidad (20 °C)	kg/mm ²	12000	12300	12700	13300	13400	--	14000

GLOSARIO.

ALEACIÓN: Sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o más elementos químicos de los cuales por lo menos uno es un metal elemental.

- Binaria. Aleación que contiene dos elementos componentes.
- elementos de. Elemento agregado a un metal para efectuar cambios en las propiedades y que permanece dentro del metal.
- hipereutéctica. Cualquier aleación binaria cuya composición esté a la derecha del eutéctico en un diagrama de equilibrio y que contiene alguna estructura eutéctica.
- hipoeutéctica. Cualquier aleación binaria cuya composición esté a la izquierda del eutéctico en un diagrama de equilibrio y que contienen alguna estructura eutéctica.

AMORFO: Que no tiene estructura cristalina; no cristalino.

AUTODIFUSIÓN: Movimiento espontáneo de un átomo a un nuevo sitio de un cristal de su propia especie; por ejemplo un átomo de cobre dentro de un cristal de cobre.

BRONCE: Aleación de cobre - estaño rica en cobre con o sin pequeñas proporciones de otros elementos, como zinc y fósforo.

CALENTAMIENTO SELECTIVO: Calentar sólo ciertas porciones de un objeto, de manera que tengan las propiedades deseadas después de enfriar.

CEDENCIA, PUNTO DE: Primer esfuerzo de un material, generalmente menor que el máximo esfuerzo que se puede obtener, en el que ocurre un incremento de deformación sin aumento de esfuerzo. Sólo ciertos metales exhiben un punto de cedencia. Si hay un decremento de esfuerzo después de la cedencia, se puede establecer la diferencia entre los puntos superior e inferior de cedencia.

CEDENCIA, RESISTENCIA A LA: Esfuerzo en el que un material exhibe una desviación específica, de la proporcionalidad existente entre el esfuerzo y la deformación. Una compensación del 0.2% se utiliza para muchos metales.

CORROSIÓN: Deterioración de un metal mediante reacción química o electroquímica con su ambiente.

- anódica. Desintegración de un metal que actúa como ánodo.
- electroquímica. Corrosión que ocurre cuando la corriente fluye entre áreas catódicas y anódicas en superficies metálicas.
- esfuerzo de. Presencia de fisuras que resultan de los efectos combinados de la corrosión y del esfuerzo interno. Término generalmente aplicado a la presencia de fisuras por esfuerzo de corrosión del latón.
- por fatiga. Efecto de la aplicación de esfuerzos repetidos o fluctuantes en un ambiente corrosivo, caracterizado por una vida menor que la que se obtendría como resultado de esfuerzos repetidos o fluctuantes solos o del ambiente corrosivo solo.
- por fragilización. Pérdida severa de ductilidad de un metal resultante del ataque corrosivo, generalmente intergranular y a menudo no apreciable a simple vista.
- galvánica. Corrosión asociada con la corriente de una celda galvánica que consta de dos conductores no semejantes en electrolitos no semejantes. Donde los dos metales no semejantes están en contacto, la reacción semejante es referida como una acción par.
- intergranular. Corrosión que ocurre de preferencia en las fronteras de grano.
- por grieta. Tipo de corrosión por concentración de celda, corrosión de un metal que es causada por la concentración de sales disueltas, iones de metal, oxígeno u otros gases similares, en grietas o cavidades lejanas del flujo principal del fluido, con la resultante de una formación de celdas diferenciales que causan finalmente la aparición de pequeños agujeros superficiales profundos.
- por rozamiento. Acción que causa daño de la superficie, especialmente en un medio corrosivo, cuando hay movimiento relativo entre superficies sólidas en contacto bajo presión.
- subsuperficial. Formación de partículas aisladas de productos de corrosión debajo de la superficie de un metal. Esta resulta de la acción preferencial de ciertos constituyentes de aleación mediante difusión hacia dentro del oxígeno, nitrógeno y azufre.

CORTE: a) Tipo de fuerza que causa o tiende a causar que dos piezas contiguas del mismo cuerpo se deslicen una en relación con la otra en una dirección paralela en su plano de contacto. b) Tipo de herramienta de corte con la que un material en forma alambre, lámina, placa o varilla es cortado entre dos hojas opuestas.

- ángulo de. Ángulo que hace el plano de corte, en el corte de metales, con la superficie de la pieza.
- fractura de. Fractura en la que un cristal (o masa policristalina) se ha separado por deslizamiento o rasgamiento bajo la acción de esfuerzos de corte.
- resistencia de. Esfuerzo requerido para producir fractura en el plano de sección transversal, cuyas condiciones de carga son tales que las direcciones de fuerza y de resistencia resultan paralelas y opuestas, aunque sus trayectorias son no paralelas una cantidad mínima específica.

CRISTAL: Sólido compuesto de átomos, iones o moléculas arreglados en un patrón que es repetitivo en tres dimensiones.

- homopolar. Cristal caracterizado por enlazamiento covalente, el tipo de enlace atómico resultante del comportamiento de electrones por átomos vecinos.
- iónico. Cristal en que el enlace atómico resulta de las fuerzas electrostáticas atractivas entre iones positiva y negativamente cargados; por ejemplo, cloruro de sodio. Este tipo de enlazamiento atómico, también conocido como enlace polar, es característico de muchos compuestos.

DEFORMACIÓN: Medida del cambio en la forma o tamaño de un cuerpo, referido a su forma o tamaño original.

DEFORMACIÓN CRÍTICA: Apenas suficiente para causar el crecimiento de granos muy grandes durante el calentamiento donde no tiene lugar transformación alguna.

- elástica. Cambio de dimensiones que acompaña al esfuerzo en el intervalo elástico; las dimensiones originales se restauran al suprimir el esfuerzo.
- por endurecimiento. Incremento en dureza y resistencia causado por deformación plástica a temperaturas inferiores que las del intervalo de recristalización.
- permanente especificada. Distancia a lo largo de la coordenada de deformación entre la proyección inicial de una curva esfuerzo-deformación y una línea paralela que interseca la curva esfuerzo-deformación en cierto valor de esfuerzo que se utiliza como medida de la resistencia de cedencia.
- plástica permanente. Deformación plástica que permanece al suprimir el esfuerzo que produce la deformación.

DESLIZAMIENTO: Deformación plástica mediante el deslizamiento irreversible cortante (traslación) de una parte de un cristal en relación con otra en una dirección cristalográfica definida y generalmente en un plano cristalográfico específico.

DESCINFICACIÓN: Corrosión de algunas aleaciones al cobre-zinc que implica pérdida de zinc y la formación de un cobre poroso y esponjoso.

DIAGRAMA DE CONSTITUCIÓN: Representación gráfica de los límites de temperatura y composición de campos de fase en un sistema de aleación como realmente existen bajo las condiciones específicas de calentamiento o enfriamiento (sinónimo de diagrama de fase).

DIFUSIÓN: a) Esparcimiento de un constituyente en un gas, líquido o sólido, tendiente a uniformizar la concentración de todas las partes. b) Movimiento espontáneo de átomos y moléculas a nuevos sitios dentro de un material.

- Coeficiente de. Factor de proporcionalidad que representa la cantidad en gramos de la sustancia que se difunde de una parte a otra en un área de 1 cm^2 a través de un gradiente de concentración unitario en 1 seg. de tiempo.

DISLOCACIÓN: Defecto lineal en la estructura de un cristal. Se reconocen dos tipos básicos, pero las combinaciones y dislocaciones parciales predominan más. "Una dislocación de borde" corresponde a la fila de átomos mal apareados a lo largo de un borde recto formado por un plano extraparcial de átomos dentro del cuerpo del cristal, es decir, por un plano de área menor que cualquiera otra sección paralela en el cristal. Una "dislocación de tornillo" corresponde a la red altamente deformada adyacente al eje de una estructura de espiral caracterizado por una distorsión que ha unido planos paralelos conjuntamente para constituir una rampa continua en forma de hélice, envolviéndose respecto a la dislocación como un eje con un paso de una distancia interplanar.

- DUCTILIDAD:** Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, medida por la elongación o reducción de área en una prueba tensil.
- falta de. Forma de fragilidad en el metal; se designa como fría, caliente y roja para indicar el intervalo de temperatura en el que ocurre la fragilidad.
 - en frío, falta de. Condición de fragilidad existente en algunos metales a temperaturas inferiores a la de recristalización.
- DURALUMINIO:** Término en desuso, inicialmente aplicada al tipo de aleaciones al aluminio cobre endurecibles por envejecimiento que contienen manganeso, magnesio o silicio.
- DUREZA:** Resistencia del metal a la deformación plástica generalmente por indentación; sin embargo, el término puede referirse también a rigidez o temple o a la resistencia al rayado, la abrasión o al corte. La dureza a la indentación puede medirse por varias pruebas de dureza, como Brinell, Rockwell o microdureza.
- a la indentación. Resistencia de un material a la indentación. Es el tipo usual de ensayo de dureza en que un indentador puntado o redondeado se presiona dentro de una superficie bajo una carga sustancialmente estática.
 - a la lima. Dureza de acuerdo con lo determinado por la utilización de una lima de dureza estandarizada, suponiendo que un material que no puede ser cortado por la lima es tan duro como la lima o más que ella. Se pueden utilizar limas que abarcan gran variedad de durezas.
 - Knoop. Microdureza determinada por la resistencia del metal a la indentación mediante un indentador piramidal de diamante, cuyos ángulos en los bordes son de $172^{\circ}30'$ y 130° , que dejan una impresión romboidal con una diagonal mayor y una menor. La diagonal mayor se mide microscópicamente para determinar el NDK (número de dureza de Knoop).
 - al rayado. Dureza de un metal determinada por el ancho de un rayado hecho por una punta de corte que recorre una superficie bajo una presión dada.
 - Vickers. Microdureza determinada desde la resistencia de un metal a la indentación por un indentador piramidal de diamante a 136° , que deja una impresión cuadrada.
- ELASTICIDAD:** Propiedad de un material en virtud de la cual tiende a recuperar su tamaño y forma originales después de la deformación.
- ELÁSTICO LÍMITE.** Esfuerzo mínimo al que un material puede someterse sin que resulte ninguna deformación permanente después de la liberación completa de esfuerzos.
- ELONGACIÓN:** En una prueba tensil, incremento en la longitud calibrada de la muestra, medida después de la fractura de la muestra en algún punto dentro de la longitud calibrada de la muestra, generalmente expresada como porcentaje de la longitud original de la muestra.
- ENCOGIMIENTO POR SOLIDIFICACIÓN:** Disminuir el volumen de un metal durante la solidificación.
- ENDURECIMIENTO:** Incrementar la dureza mediante un tratamiento adecuado, generalmente incluyendo calentamiento y enfriamiento. Cuando es aplicable, deben utilizarse los siguientes términos, más específicos: endurecimiento por envejecido, endurecimiento de superficie, endurecimiento por flama, endurecimiento por inducción, endurecimiento por precipitación y endurecimiento por temple.
- capacidad de. En una aleación ferrosa, propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza inducida al templear.
 - por inducción. Endurecimiento por temple en que el calor se genera por inducción eléctrica.
 - por flama. Endurecimiento por temple en que el calor es aplicado directamente por una flama.
 - por precipitación. Endurecimiento producido por la precipitación de un constituyente desde una solución sólida sobresaturada. Endurecimiento por envejecido.
- ENERGÍA DE ACTIVACIÓN:** Energía necesaria para iniciar una reacción metalúrgica, por ejemplo, flujo plástico, difusión, reacción química.
- ENERGÍA DE IMPACTO:** Cantidad de energía requerida para fracturar un material, generalmente medida por medio de una prueba Izod o Charpy. El tipo de muestra y condiciones de prueba afectan los valores y, por tanto, se deben especificar.
- ENFRIAMIENTO, TENSIONES POR:** Tensiones residuales resultantes de la distribución no uniforme de temperatura durante el enfriamiento.
- ENLACE COVALENTE:** Enlace entre dos o más átomos resultante de completar capas mediante el reparto de electrones.

- ENSAYO BRINELL DE DUREZA:** Ensayo para determinar la dureza de un material forzando una bola dura de carburo o de acero de diámetro específico dentro del material mediante la aplicación de una carga dada. El resultado se expresa como el número Brinell de dureza, el cual es el valor que se obtiene al dividir la carga aplicada en kilogramos entre el área de la superficie de la impresión resultante en milímetros cuadrados.
- ENSAYO DE DUREZA CON DIAMANTE PIRAMIDAL:** Ensayo de dureza por indentación mediante un indentador piramidal de diamante y la aplicación de cargas variables; permite la utilización de una escala de dureza para todas las variaciones de dureza que van desde plomo muy suave hasta carburo de tungsteno.
- ENSAYO DE DUREZA SUPERFICIAL ROCKWELL:** Forma de ensayo de dureza Rockwell mediante cargas relativamente ligeras que producen penetración mínima. Utilizando para determinar la dureza superficial o la dureza de secciones delgadas o piezas pequeñas, o donde una gran impresión de dureza podría ser perjudicial.
- ENSAYO ESFUERZO-RUPTURA:** Ensayo de tensión realizado a una carga y temperatura constantes, siendo la carga mantenida a tal nivel la que causa la ruptura. También se conoce como ensayo fluencia-ruptura.
- ENVEJECIDO:** En un metal o aleación, un cambio de propiedades que generalmente ocurre con lentitud a temperatura ambiente y con más rapidez a temperaturas superiores.
- artificial. Envejecido superior a la temperatura ambiente. Tratamiento térmico por precipitación.
 - endurecimiento po. Endurecer por envejecido, generalmente después de un enfriamiento rápido o de trabajo en frío.
 - progresivo. Envejecer incrementando la temperatura en pasos o continuamente durante el ciclo de envejecido.
- ENVEJECIDO INTERRUPTIDO:** Envejecer a dos o más temperaturas por etapas, enfriar hasta la temperatura ambiente después de cada etapa.
- ENVEJECIMIENTO NATURAL:** Envejecimiento espontáneo de una solución sobresaturada sólida a temperatura ambiente.
- EQUILIBRIO:** Condición dinámica de balance entre movimientos atómicos en los que la resultante es cero y la condición de reposo en vez de una de cambio.
- diagrama de. Representación gráfica de los límites de temperatura, presión y composición de los campos de fase en un sistema aleado, según como existen bajo condiciones de equilibrio completo. En sistemas de metales, la presión generalmente se considera constante (sinónimo de diagrama de fase).
- ESFUERZO:** Fuerza por unidad de área, a menudo pensada como la fuerza que actúa en una pequeña área dentro de un plano. Puede dividirse en componentes, normal y paralela al plano, llamadas esguerzo normal y esfuerzo cortante, respectivamente.
- residual. Esfuerzo presente en un cuerpo libre de fuerzas o gradientes térmicos externos.
- ESTIRAMIENTO:** a) Formado de piezas escalonadas al forzar el flujo plástico de metal en dados. b) Reducir la sección transversal de alambre o tubo tirando de éste a través de un dado.
- capacidad de. Medida de la capacidad de trabajo de un metal sujeto a un proceso de estiramiento. Término que se utiliza para indicar la capacidad de un metal para ser estirado suavemente.
- ESTRUCTURA DE RED:** Estructura en la que un constituyente se forma sobre todo en las fronteras de grano, envolviendo de este modo parcial o completamente los granos de los otros constituyentes.
- EUTÉCTICO:** a) Reacción isotérmica reversible en que una solución líquida se convierte en dos o más sólidos, íntimamente mezclados al enfriar, cuyo número de sólidos formados es el mismo que el de los componentes que integran el sistema. b) Aleación que contiene la composición indicada por el punto eutéctico en un diagrama de equilibrio. c) Estructura aleada a base de constituyentes intermezclados sólidos formados por una reacción eutéctica.
- EUTECTOIDE:** a) Reacción isotérmica reversible en la que una fase sólida (generalmente una solución sólida) se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar, cuyo número de sólidos formados es el mismo que el número de componentes del sistema. b) Aleación que tiene la composición indicada por el punto eutectoide en un diagrama de equilibrio. c) Estructura aleada de constituyentes intermezclados sólidos, formados por una reacción eutectoide.

FASE: Porción físicamente homogénea y distinta de un sistema de un material.

- continua. En una aleación o porción de una aleación que contiene más de una sola fase, la fase que forma la base o matriz en que la otra fase o fases están presentes como unidades aisladas.
- intermedia. Es una aleación o un sistema químico, fase distinguible homogénea cuyo rango de composición no se extiende a ninguna de las componentes puras del sistema.
- Terminal. Solución sólida representada por un área, en cualquiera de los lados extremos de un diagrama binario

FATIGA: Fenómeno que origina la fractura bajo esfuerzos repetidos o fluctuantes, con un valor máximo menor que la resistencia tensil del material. Las fracturas por fatiga son progresivas, empezando como fisuras diminutas que crecen bajo la acción del esfuerzo fluctuante.

- Límite de. Esfuerzo máximo debajo del cual un material puede, presumiblemente, soportar un número infinito de ciclos de esfuerzo. Si el esfuerzo no se revierte por completo, se debe establecer el valor del esfuerzo medio, el esfuerzo mínimo o la razón de esfuerzo.
- resistencia a la. Esfuerzo mínimo que puede soportarse para un número específico de ciclos sin que haya falla, cuyo esfuerzo es completamente revertido en cada ciclo, a menos que se establezca otra cosa.
- térmica. Fractura resultante de la presencia de gradientes de temperatura que varían con el tiempo en tal forma que producen esfuerzos cíclicos en una estructura.
- vida de. Número de ciclos de esfuerzo que pueden soportarse antes de que se presente la falla para una condición de prueba establecida.

FISURA POR CALOR: Fractura formada en un metal durante la solidificación debida a la contracción obstruida.

FISURAS DE ENCOGIMIENTO: Fisuras por calor asociadas con las cavidades de encogimiento.

FLUENCIA: Deformación dependiente del tiempo que ocurre bajo la aplicación de esfuerzo. La deformación por fluencia que ocurre a una rapidez disminuyente se llama fluencia primaria; la que sucede a una rapidez mínima y casi constante, fluencia secundaria; la que ocurre a una rapidez acelerante, fluencia terciaria.

- resistencia a la. a) Esfuerzo constante nominal que causará cierta cantidad de fluencia en un tiempo dado a temperatura constante. b) Esfuerzo constante nominal que causará una rapidez específica de fluencia a temperatura constante.

FORJADO: Deformación plástica de un metal, por lo general caliente, en las formas deseadas, con fuerza compresiva, con o sin troqueles.

FORMABILIDAD: Facilidad relativa con la que un metal puede conformarse mediante la deformación plástica.

FORMADO EN CALIENTE: Diversas operaciones de trabajado, como combedo, estiramiento, forjado, punzonado, presionado y encabezado realizado a una temperatura superior a la de recristalización del metal.

FRACTURA, ENSAYO DE: Ruptura de una muestra y examen de la superficie fracturada. A simple vista o con un microscopio de baja resolución para determinar, por ejemplo, la composición, el tamaño de grano, la profundidad de la proyección exterior, la solidez o la presencia de defectos.

FRACTURA, ESFUERZO DE: a) Máximo esfuerzo verdadero en la fractura. Generalmente se refiere a muestras tensiles no muescadas. b) Esfuerzo verdadero (hipotético) que producirá fractura sin deformación ulterior a cualquier esfuerzo de deformación dado.

FRACTURA GRANULAR: Tipo de superficie irregular producido cuando se rompe el metal; caracterizado por una apariencia áspera tipo grano, a diferencia de una apariencia uniforme y sedosa o de tipo fibroso. Se puede subclasificar en las formas transgranular e intergranular. Este tipo de fractura frecuentemente se llama fractura cristalina, pero la inferencia de que el metal ha cristalizado no está justificada.

FRACTURA SEDOSA: Fractura de un metal en que la superficie del metal roto tiene una textura fina generalmente de apariencia opaca. Característica de metales tenaces y fuertes.

FRAGILIDAD: Calidad de un material que da lugar a la propagación de fisuras sin deformación plástica apreciable.

- en caliente. Fragilidad del metal en el intervalo de formado en caliente.

GRANO: Cristal individual en un cristal o aleación policristalina.

- Crecimiento de. Incremento en el tamaño de granos en un metal policristalino, generalmente efectuado durante el calentamiento a elevadas temperaturas. El incremento puede ser gradual o brusco, causando granos uniformes o no uniformes, después de que el incremento ha cesado. Una mezcla de granos no uniformes algunas veces se llama duplicada. El crecimiento anormal de grano (crecimiento exagerado de grano) implica la formación de granos excesivamente grandes, uniformes o no uniformes.
- refinador de. Material agregado a un material fundido para conseguir granos más finos en la estructura final.
- tamaño de. Para metales, medida de mas áreas o volúmenes de granos en un metal policristalino, generalmente expresada como promedio cuando los átomos individuales son bastante uniformes. Los tamaños de grano se reportan en función del número del tamaño de grano derivado de las mediciones de área.

IDENTADOR "BRALE": Penetrador de diamante en forma específica esfero-cónica utilizado con un probador Rockwell de dureza para metales duros. Este penetrador se utiliza para las escalas A, C, D y N.

INTERCRISTALINO: Entre los cristales o granos de un metal.

ION: Átomo o grupo de átomos, que ha ganado o perdido uno o más electrones exteriores y que de este modo lleva una carga eléctrica. Los iones positivos o cationes son deficientes en electrones exteriores, en tanto que los iones negativos o aniones tienen exceso de electrones exteriores.

ISOTROPÍA: Cualidad de tener propiedades idénticas en todas direcciones.

LAMINACIÓN: Rolado. Reducir el área de la sección transversal de una barra de metal, o conformar productos de metal, mediante el empleo de rodillos en rotación.

LATÓN: Aleación que consiste principalmente en cobre (superior al 50%) y zinc, a la cual se le pueden agregar menos cantidades de otros elementos.

LÍMITE PROPORCIONAL: Esfuerzo máximo al que la deformación permanece directamente proporcional al esfuerzo.

LÍQUIDUS: En un diagrama de constitución o de equilibrio, el lugar geométrico de todos los puntos que representan las temperaturas a las que diversas composiciones en el sistema empiezan a congelar al enfriar o terminan de fundir al calentar.

MACROESTRUCTURA: Estructura de metales revelada por examen de la superficie atacada químicamente de una muestra pulida a una ampliación que no exceda de diez diámetros.

MALEABILIDAD: Característica de los metales que permite una deformación plástica en compresión sin ruptura.

METAESTABLE: Estado de pseudo equilibrio que tiene una energía libre mayor que la del estado verdadero de equilibrio, pero que no cambia espontáneamente.

METAL: A) Sustancia química elemental opaca y lustrosa que es un buen conductor del calor y de la electricidad y, cuando se ha pulido, es un buen reflector de la luz. La mayoría de los metales elementales son maleables, dúctiles y, en general, más pesados que las otras sustancias elementales.

b) Respecto a la estructura, los metales pueden distinguirse de los no metales por sus enlaces atómicos y disponibilidad de electrones. Los átomos metálicos tienden a perder electrones de las capas exteriores, cuyos iones positivos así formados se mantienen unidos por la nube de electrones producida por la separación. La capacidad de estos electrones libres para aportar una corriente eléctrica, y el hecho de que la potencia conductora disminuya conforme la temperatura aumenta, establece una de las principales distinciones de un sólido metálico.

- base. a) Metal presente en la mayor proporción en una aleación; por ejemplo, el latón es una aleación de base cobre; b) Metal que se cortará o soldará, y c) después de soldar, aquella parte del metal que no se fundió.

MICRODUREZA: Dureza determinada al usar un microscopio para medir la diagonal de la impresión dejada por un indentador Knoop o Vickers. La dureza es igual a la carga dividida entre el área de la impresión.

MICROESTRUCTURA: Estructura de metales pulidos y atacados químicamente, revelada por un microscopio a una ampliación mayor de diez diámetros.

MÓDULO DE ELASTICIDAD: Medida de la rigidez de un metal; razón del esfuerzo, dentro del límite proporcional, a una deformación correspondiente.

MÓDULO DE YOUNG: Módulo de elasticidad.

- NEUTRÓN:** Partícula elemental nuclear con masa aproximadamente igual que la de un átomo de hidrógeno y eléctricamente neutra.
- NUCLEACIÓN:** Inicio de una transformación de fase en sitios discretos, creciendo la nueva fase sobre los núcleos.
- NÚCLEO:** a) Primera partícula estructuralmente estable, capaz de iniciar la recristalización de una fase o el crecimiento de una nueva fase que posee una interfase con la matriz. El término también se aplica a una partícula extraña que inicia tal acción. b) Pesado centro de un átomo, en el que se concentra la mayor parte de la masa y de la carga positiva total.
- ORDENAMIENTO:** Formación de una super red.
- ORIENTACIÓN PREFERIDA:** Condición de un agregado policristalino en el que las orientaciones cristalinas no son al azar.
- OXIDACIÓN:** Reacción en la que existe un incremento en valencia resultante de una pérdida de electrones.
- PERITÉCTICO:** Reacción isotérmica reversible en la que una fase líquida reacciona con una fase sólida al enfriar.
- PERITECTOIDE:** Reacción isotérmica reversible en la que una fase sólida reacciona con una segunda fase sólida para producir aún una tercera fase sólida al enfriar.
- PIEZA FUNDIDA:** Objeto en forma, o casi terminada, obtenido por solidificación de una sustancia en un molde.
- PLANO BASAL:** Plano perpendicular al eje c , o principal, en una estructura tetragonal o hexagonal.
- PLANO CÚBICO:** Plano perpendicular a cualquiera de los tres ejes cristalográficos del sistema cúbico (isométrico).
- PLASTICIDAD:** Capacidad de un metal para deformarse no elásticamente sin ruptura.
- POLICRISTALINO:** Se refiere a un compuesto sólido de muchos cristales.
- POROSIDAD:** Finos orificios o poros de un metal.
- PRECALENTAMIENTO:** Calentamiento previo a un tratamiento térmico o mecánico. Para algunas aleaciones no ferrosas, calentado a alta temperatura por largo tiempo, a fin de homogeneizar la estructura antes del trabajo.
- PRECIPITACIÓN DISCONTINUA:** Precipitación, principalmente en las fronteras de grano de una solución sobresaturada sólida, acompañada por la aparición de dos parámetros reticulares: el de los átomos de soluto aún en solución y el de precipitado.
- PROPIEDADES MECÁNICAS:** Propiedades de un material que revelan su comportamiento elástico e inelástico cuando se aplica una fuerza, indicando de este modo su adaptabilidad para las aplicaciones mecánicas; por ejemplo módulo de elasticidad, resistencia tensil, elongación, dureza y límite de fatiga.
- PRUEBA DE CARGAS APLICADAS CON IMPACTO:** Prueba para determinar el comportamiento de los materiales cuando se someten a altas rapidez de aplicación de cargas, generalmente en el combado, tansión o torsión. La cantidad medida es la energía absorbida al romper la muestra por un sólo golpe.
- PUNTO CRÍTICO:** a) Temperatura o presión a que ocurre un cambio en estructura cristalina, fase o propiedades físicas. Igual que la temperatura de transformación. b) En un diagrama de equilibrio, este valor específico de composición, temperatura y presión, o combinaciones de estos, en que las fases de un sistema heterogéneo están en equilibrio.
- PUNTOS DE FUSIÓN:** Temperatura a la que un metal puro, compuesto o eutéctico cambia de sólido a líquido; temperatura a la que el líquido y el sólido están en equilibrio.
- RECOCIDO:** Calentar y mantener a una temperatura adecuada y luego enfriar a una rapidez apropiada, para reducir la dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajo en frío, producir una microestructura deseada u obtener las propiedades deseadas mecánicas, físicas u otras.
Cuando se aplica a aleaciones ferrosas, el término recocido, a secas, implica recocido total. Cuando se aplica a aleaciones no ferrosas, el término implica un tratamiento térmico preparado para suavizar una estructura trabajada en frío por recristalización o crecimiento de grano subsecuente o para suavizar una aleación endurecida por envejecido, dando lugar a una precipitación casi completa de la segunda fase en forma relativamente gruesa.
Cualquier proceso de recocido generalmente reducirá los esfuerzos, pero si el tratamiento se aplica sólo para tal liberación, debe designarse como reductor de esfuerzo residual.

- intermedio. Aquel al que se someten los metales forjados en una o más etapas durante la manufactura y antes del último tratamiento.
 - de recristalización. Recocido del metal trabajado en frío para producir una nueva estructura de grano sin cambio de fase.
- RECRISTALIZACIÓN:** a) Cambio de una estructura cristalina a otra, como ocurre al calentar o al enfriar a través de una temperatura crítica. b) Formación de una estructura nueva, de grano libre de deformaciones a partir de la cual existe en el metal trabajado en frío, generalmente llevada a efecto por calentamiento.
- RECUPERACIÓN:** Reducción o remoción de los defectos del endurecimiento por trabajado, sin movimiento de fronteras de grano de gran ángulo.
- RED DE TRANSICIÓN:** Configuración cristalográfica intermedia e inestable que se forma durante las reacciones del estado sólido, como precipitación a partir de una solución sólida y descomposición eutectoide.
- REDUCCIÓN DE ÁREA:** a) Comunmente, diferencia expresada como porcentaje del área original, entre el área de la sección transversal medida después de la separación completa. b) Diferencia expresada como porcentaje del área original, entre el área de la sección transversal original y la que resulta después de deformar la muestra.
- RESISTENCIA TENSIL:** En los ensayos tensiles, razón de carga máxima aplicada al área original de sección transversal. También se llama resistencia última.
- RESISTENCIA ÚLTIMA:** Máximo esfuerzo convencional - tensil, compresivo o de corte - que un material puede soportar.
- REVENIDO:** En tratamiento térmico, recalentar acero endurecido o hierro fundido endurecido a alguna temperatura inferior que la eutectoide, a fin de disminuir la dureza y aumentar la tenacidad. El proceso se aplica también algunas veces al acero normalizado.
- fragilidad de. Fragilidad que resulta cuando algunos aceros se conservan dentro de cierto intervalo de temperatura inferior al intervalo de transformación, o se enfrían lentamente a través de él. La fragilidad es revelada por ensayos de cargas aplicadas con impacto sobre una barra muescada en la temperatura ambiente o por debajo de ella.
- SOBRECALENTAMIENTO:** Calentar un metal o aleación a tan alta temperatura que sus propiedades se dañan, cuando las propiedades originales no pueden restaurarse mediante tratamiento térmico ulterior por trabajado mecánico, o una combinación de trabajado y tratamiento térmico, el sobrecalentamiento se conoce como quemadura.
- SOBREENVEJECIMIENTO:** Envejecimiento bajo condiciones de tipo y temperatura mayores que las requeridas para obtener cambio máximo en cierta propiedad, de manera que la propiedad se altera en la dirección del valor inicial.
- SÓLIDUS:** En un diagrama de constitución o de equilibrio, lugar geométrico de todos los puntos que representan las temperaturas a las cuales las diversas composiciones terminan de congelar al enfriar o empiezan a fundir al calentar.
- SOLUBLE:** Componente de una solución sólida o de una solución líquida presente en una extensión menor o más pequeña; componente disuelto en el solvente.
- SOLUCIÓN SÓLIDA:** Fase cristalina, única sólida y homogénea, que contiene dos o más especies químicas.
- intersticial. Aquella en que los átomos de soluble ocupan posiciones dentro de la red del solvente.
 - sustituta. Aleación sólida en la que los átomos del soluble se localizan en alguno de los puntos reticulares del solvente, siendo la distribución al azar.
- SOLVENTE:** Componente de una solución líquida o de una solución sólida que está presente en una extensión mayor o más grande; componente que disuelve al soluble.
- SOLVUS:** En un diagrama de fase o de equilibrio, lugar geométrico de todos los puntos que representan las temperaturas a las que las diversas composiciones de las fases sólidas coexisten con otras fases sólidas, es decir, los límites de solubilidad sólida.
- SUPERALEACIÓN:** Aleación desarrollada para servicio a muy alta temperatura en la que se encuentran esfuerzos relativamente altos (tensiles, térmicos, vibratorios y de choque) y frecuentemente se requiere resistencia a la oxidación.

- SUPERENFRIAMIENTO:** Enfriamiento por debajo de la temperatura a la que tiene lugar una transformación de fase-equilibrio sin obtener realmente la transformación.
- SUPERFICIE ENDURECIDA:** En una aleación ferrosa, la porción exterior que se ha hecho más dura que la anterior, o núcleo por endurecimiento de la superficie. Los procesos típicos utilizados para endurecer superficies son carburación, cianuración, carbonitruración, nitruración, endurecimiento por inducción y endurecimiento por flama.
- SUPER-RED:** Arreglo ordenado de átomos en una solución sólida para formar una red sobrepuesta sobre la red normal de solución sólida.
- TAMAÑO DE LA PARTÍCULA:** Control de la dimensión lineal de una partícula individual, conforme a lo determinado por el análisis con cribas u otros instrumentos apropiados.
- TEMPERATURA DE RECRISTALIZACIÓN:** Temperatura mínima aproximada en la que ocurre recristalización completa de un metal altamente trabajado en frío dentro de un tiempo especificado, generalmente una hora.
- TEMPERATURA DE TRANSFORMACIÓN:** Temperatura a la que ocurre un cambio de fase. El término algunas veces se utiliza para denotar la temperatura límite de un intervalo de transformación.
- TEMPERATURA DE TRANSICIÓN:** a) Temperatura arbitrariamente definida dentro del intervalo de temperatura en el que las características de fractura del metal, determinadas generalmente por ensayos muestreados, cambian con rapidez; por ejemplo, desde fractura fibrosa principalmente (corte) hasta cristalina (civaje). Algunas veces también se emplea para denotar la temperatura arbitrariamente definida en un intervalo en el que la ductilidad cambia en forma rápida con la temperatura.
- TEMPLADO:** Enfriamiento rápido. Cuando sea aplicable, deben utilizarse los términos siguientes: templado directo, templado interrumpido, templado selectivo, templado por rociado, y templado por tiempo.
- directo. Templado de piezas carburizadas directamente desde la operación de carburación.
 - interrumpido. Templado en que el objeto de metal que se temple es removido del medio del temple, estando el objeto a una temperatura sustancialmente mayor que la del medio de temple.
 - por rocio. Templar en un rocío del líquido.
 - selectivo. Templar sólo ciertas porciones de un objeto.
 - por tiempo. Templado interrumpido en el que se controla el tiempo en el medio del temple.
- TENACIDAD:** Capacidad de un metal para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse. Generalmente es medida por la energía absorbida en un ensayo de cargas aplicadas con impacto sobre una barra muestreada, pero el área bajo la curva esfuerzo-deformación en el ensayo tensil también es una medida de tenacidad.
- TORSIÓN:** Acción de torcimiento que resulta en esfuerzo de corte y deformaciones.
- TRABAJO EN CALIENTE:** Acción de deformar plásticamente un metal a una temperatura y rapidez que no ocurra el endurecimiento por deformación. el límite inferior de temperatura es la temperatura de recristalización.
- TRABAJO EN FRÍO:** Deformación plástica de un metal a una temperatura inferior a la de recristalización.
- TRANSFORMACIÓN ATERMICA:** Reacción que procede sin ayuda de fluctuaciones térmicas; es decir, no se requiere de activación térmica. Tales reacciones se producen sin difusión y pueden tener lugar con gran velocidad cuando la fuerza de impulso es suficientemente alta. En contraste, una reacción que se produce a temperatura constante es una transformación isotérmica; en este caso, la activación térmica es necesaria y la reacción procede como función del tiempo.
- TRATAMIENTO EN FRÍO:** Enfriar a una temperatura baja a menudo cercana a -100°F, con el fin de obtener condiciones o propiedades deseadas tales como estabilidad dimensional o estructural.
- TRATAMIENTO TÉRMICO:** Calentar y enfriar un metal o aleación sólida en tal forma que se obtengan las condiciones o propiedades deseadas. esta definición no incluye el calentar con el sólo propósito de trabajar en caliente.
- TRATAMIENTO TÉRMICO POR PRECIPITACIÓN:** Envejecimiento artificial en el que un constituyente precipita desde una solución sólida sobresaturada.
- TRATAMIENTO TÉRMICO DE SOLUCIÓN:** Calentar una aleación a una temperatura adecuada, manteniéndola a esa temperatura durante un tiempo lo suficientemente largo para permitir que uno o más constituyentes entren en solución sólida, y luego enfriar lo suficientemente rápido para mantener los constituyentes en solución. La solución se deja en un estado sobresaturado e inestable.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- James A. Jacobs/Kirkuff, ENGINEERING MATERIALS TECHNOLOGY, U.S.A., Ed. Prentice Hall Inc., 1985.
- 2.- Fontana Mars/ Greene Norbert, CORROSION ENGINEERING, Materials Science and Engineering Series Mc. Graw Hill, U.S.A., 1978.
- 3.- G. Anderson, CIENCIA DE LOS MATERIALES, Ed. Limusa, México, 1988
- 4.- Keyser Carl A. CIENCIA DE LOS MATERIALES PARA INGENIERÍA, Ed. Limusa, 1988
- 5.- Amer, METALURGIA FÍSICA, Editorial Trillas, S.A. México, 1988.
- 6.- A.G. Guy, FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES, Ed. John Wiley and Sons, 1987
- 7.- Lawrence H. Van Vack, MATERIALES PARA INGENIERÍA, Ed. Continental S.A. de C.V., México, 1985
- 8.- Zbigniew D. Jastrzebski, THE NATURE AND PROPERTIES OF ENGINEERING MATERIALS, Ed. John Wiley and Sons, 1987.
- 9.- George Krauss, DEFORMATION PROCESSING AND STRUCTURE, ASM Materials Science Seminar, Ed. American Society for Metals, U.S.A., 1984.
- 10.- Smith, STRUCTURE AND PROPERTIES OF ENGINEERING ALLOYS, Ed. Mc Graw Hill, 1981.
- 11.- ASM, METAL REFERENCE BOOK, Manual de datos sobre metales y sus aleaciones, American Society for Metals, 1981.
- 12.- Bray, John L. METALES NO FERROSOS, John Wiley and Sons, México, 1984.
- 13.- Newcomb, Elsvorth, METALES MARAVILLOSOS, Libreros Mexicanos Unidos.
- 14.- Kirk, Raymond E. ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA, Mc. Graw Hill