

11
2Ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES - CUAUTITLAN



Departamento de Exámenes Profesionales

"Materiales Metálicos y su Selección Dentro del Diseño en Ingeniería"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :
FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

I.	INTRODUCCION	
1.1	Generalidades -----	1
1.2	Breve bosquejo histórico de la Metalurgia-----	5
II	CLASIFICACION DE LOS MATERIALES-----	13
III	PRODUCCION DE MATERIALES METALICOS	
3.1.	Generalidades -----	19
3.2	Producción de metales ferrosos -----	21
3.2.1	Producción de hierro primario o arrabio -----	21
3.2.2	Producción de acero -----	23
3.2.3	Producción de fundición -----	30
3.3	Produccion de metales no ferrosos -----	33
3.3.1	Producción de aluminio -----	33
3.3.2	Producción de cobre -----	35
3.3.3	Producción de magnesio -----	36
3.3.4	Producción de estaño -----	37
3.3.5	Producción de titanio -----	37
3.3.6	Producción de plomo -----	38
3.3.7	Producción de cinc -----	39
IV	PROPIEDADES	
4.1	Generalidades -----	40
4.2	Propiedades físicas -----	41
4.2.1	Resistencia eléctrica -----	42
4.2.2	Materiales magnéticamente blandos -----	43
4.2.3	Calor específico -----	46
4.2.4	Conductividad térmica -----	49

4.2.5	Dilatación térmica -----	51
4.3	Propiedades mecánicas -----	54
4.3.1	Propiedades tensiles -----	57
4.3.2	Resistencia al impacto -----	64
4.3.3	Dureza -----	65
4.3.4	Resistencia a la fatiga -----	66
4.3.5	Resistencia al desgaste -----	72
4.3.6	Resistencia mecánica a temperaturas elevadas -----	74
4.3.7	Resistencia a bajas temperaturas -----	78
4.4	Resistencia a la corrosión y a la oxidación -----	81
4.4.1	Resistencia a la corrosión -----	81
4.4.2	Resistencia a la oxidación -----	95
V	ALEACIONES FERROSAS	
5.1	Generalidades -----	99
5.2	Diagrama de equilibrio hierro-carbono -----	103
5.3	Clasificación de los aceros por su composición química.	107
5.3.1	Aceros al carbono -----	107
5.3.2	Aceros aleados -----	108
5.3.3	Aceros inoxidables -----	118
5.4	Clasificación de los aceros por su aplicación -----	129
5.4.1	Aceros estructurales -----	131
5.4.2	Aceros para maquinaria -----	133
5.4.3	Aceros para herramientas -----	134
5.4.4	Aceros para la industria automotriz -----	138
5.4.5	Aceros para la industria de la construcción -----	138
5.5	Fundiciones de aceros -----	139

5.6	Fundiciones de hierro -----	141
5.6.1	Hierro fundido blanco -----	143
5.6.2	Hierro fundido gris -----	145
5.6.3	Hierro fundido nodular -----	149
5.6.4	Hierro fundido maleable -----	151
5.6.5	Hierro fundido aleado -----	154
5.7	Modificación de las propiedades de las aleaciones ferrosas -----	154
5.7.1	Trabajo en frío -----	155
5.7.2	Trabajo en caliente -----	156
5.7.3	Tratamientos térmicos -----	157
5.7.4	Tratamientos superficiales y termoquímicos -----	176
VI	ALEACIONES NO FERROSAS	
6.1	Generalidades -----	188
6.2	Aluminio y sus aleaciones -----	188
6.3	Cobre y sus aleaciones -----	199
6.4	Magnesio y sus aleaciones -----	209
6.5	Níquel y sus aleaciones -----	216
6.6	Plomo y sus aleaciones -----	225
6.7	Estaño y sus aleaciones -----	230
6.8	Cinc y sus aleaciones -----	233
6.9	Titanio y sus aleaciones -----	240
6.10	Otros metales -----	247
6.11	Modificación de las propiedades de las aleaciones - no ferrosas -----	248
6.11.1	Trabajo en frío -----	248
6.11.2	Recocido -----	249

6.11.3	Endurecimiento por precipitación -----	252
VII	SELECCION DE MATERIALES METALICOS	
7.1	Factores que influyen en la selección de un material metálico -----	256
7.2	Selección de materiales en base a un caso práctico--	271
VIII	CONCLUSIONES -----	287
	Apéndice A -----	289
	Bibliografía -----	299

I.- INTRODUCCION

1.1.- Generalidades.-

A través de la historia de la humanidad, el hombre ha tenido que satisfacer sus más elementales necesidades, así fue desde su aparición sobre la faz de la tierra, para ello, fueron utilizando los elementos que la misma naturaleza le proporcionaba, pero al ir evolucionando fueron surgiendo más requerimientos, los cuales no se podían satisfacer fácilmente; así el hombre descubrió la posibilidad de utilizar otros materiales además de los que la naturaleza le proporcionaba de manera casi directa y que le servían para elaborar armas, utensilios, etc.

Al hombre neolítico le correspondió hacer estos descubrimientos, que de otra manera no hubieran hecho posible el desarrollo de la humanidad.

El cobre parece ser el primer metal que el hombre usó por los descubrimientos arqueológicos que se han hecho, su uso data de unos 9000 A.C.; el combinarlo con otros elementos hizo posible la aparición del bronce y por último descubrió el hierro. Fue tal la importancia del uso de estos metales que a estos períodos de la historia se les conoce respectivamente como Edad del Cobre, Edad del bronce y Edad del hierro; aunque muchos aseguran que el uso del oro y la plata fue anterior al del cobre no se han encontrado bases para demostrarlo. Cabe mencionar que los períodos de tiempo en los cuales estos materiales se usaron varían mucho de una cultura a otra.

Ahora bien, durante miles de años el hombre trabajó en frío el cobre en estado puro, martilleándolo y cincelándolo; más tarde descubrió que podía obtener parte del mineral por fusión, observando posiblemente las huellas de cobre que quedaban al cocer -- los polvos de óxido de cobre con los que los alfareros pintaban sus obras para teñirlas de azul.

El moldeado en caliente del metal obtenido le permitió realizar herramientas más eficaces y elaboradas. Poco a poco, los hombres aprenden a colar el bronce en moldes que permitían dejar un agujero en el instrumento a fabricar (para obtener por ejemplo -- hachas con hueco en el mango) e inventan el procedimiento para -- cera perdida. El avance de la metalurgia va unido al perfeccionamiento de los hornos indispensables para alcanzar las temperaturas necesarias para el trabajo de los metales. En este perfeccionamiento no hay que desprestigiar el papel que tuvieron los alfareros.

Hasta finales del siglo XVIII, es decir, al principio de la Revolución Industrial, los materiales se obtenían y se manufacturaban en forma artesanal, pero la necesidad de una mayor producción, llevó a obtenerlos de una manera más eficiente, esto fue posible con la utilización del carbón de piedra y la máquina de vapor.

Ahora bien, la obtención del hierro en grandes cantidades, es decir, tonelajes altos se logró hasta los años 1861-1862, con el convertidor Clayton.

A finales del siglo pasado hace su aparición el aluminio, obtenido casi en forma simultánea por el norteamericano Hall y el francés Heroult por medio de electrolísis, sin embargo, no es disponible en forma comercial hasta bien entrado el presente siglo.

En lo relativo a plásticos, la ebonita y el hule duro fueron descubiertos por Charles Goodyear en 1839 y el descubrimiento del celuloide en 1869 por J. W. Hyatt marcaron el nacimiento de esta industria. Sin embargo, no fue sino hasta 1909 cuando uno de los materiales más importantes, la resina de fenolformadehído, fue desarrollada por el doctor Baekland y sus colegas.

En el presente siglo, ha habido muy importantes avances en la obtención de materiales diversos, desde, como ya se dijo polímeros, aceros especiales, superaleaciones, materiales semiconductores, cerámicas, carburos, etc.

Todos ellos vienen a cubrir una necesidad en el diseño de una máquina, herramienta o sistema, además, como ha ocurrido, algún nuevo material puede ser utilizado en forma más eficaz y económica en la manufactura de algún producto.

El presente trabajo tiene como objetivos principales los siguientes:

- Definir las propiedades de los materiales metálicos con un lenguaje claro y sencillo.
- Proporcionar un panorama amplio de los materiales metálicos existentes en la actualidad, tanto ferrosos como no ferrosos.

- Exponer los diversos factores que afectan la selección de un metal u otro en un proyecto específico.

Los temas de los que consta el presente trabajo y que servirán para cubrir los objetivos anteriores son los siguientes:

Para concluir el presente capítulo se hará un pequeño bosquejo histórico sobre la obtención, refinamiento y bibliografía sobre metales.

En el siguiente capítulo se hará una pequeña clasificación de los materiales existentes actualmente; en el capítulo tercero se hará un resumen sobre los métodos de obtención de los principales materiales metálicos; en el capítulo cuarto se tratarán las principales propiedades de los metales y que sean de interés para el diseño mecánico y eléctrico; en el capítulo quinto se hablará sobre las propiedades, designación y usos de los materiales ferrosos; en el capítulo sexto, idem que en el anterior pero, de metales no ferrosos, en el capítulo séptimo se expondrán los factores que afectan la selección de materiales metálicos en una aplicación específica y se hará como ejemplo la selección de materiales para un proyecto escogido, y por último, el capítulo octavo se dedicará a las conclusiones obtenidas después de realizar éste trabajo.

Se espera que el trabajo realizado le sea útil a alguien durante la práctica.

1.2.- Breve Bosquejo Histórico de la Metalurgia.

A continuación se hace un breve bosquejo histórico sobre descubrimientos de metales, métodos de obtención, refinación, así como obras técnicas que se han escrito, desde la aparición del hombre hasta principios del presente siglo.

Período Prehistórico y clásico.-

Hasta 4000 A.C.

Fundido y refinado.- Oro y cobre natural y hierro meteorítico -- usado ocasionalmente sin fundirlo.

Aleaciones y trabajado.- Martillando para formar y endurecer; cobre recocido cerca del año 4000 A.C.

Del año 4000 al 3000 A.C.

Fundido y refinado.- Reducción de óxidos de cobre y plomo, plata natural es usada; aleación de cobre arsénico por fundición de -- una mezcla natural de minerales; seguido de bronce, estos de -- una mezcla intencional de minerales de cobre y estaño.

Aleaciones y trabajado.- Fusión y fundición de cobre casi puro, - cobre-arsénico y aleaciones cobre-estaño; moldes permanentes de piedra y metal; proceso a la cera perdida; aleaciones naturales de oro y plata; soldadura con cobre-oro y plomo-estaño.

Del año 3000 al 2000 A.C.

Fundido y refinado.- Tostado y fundido de sales naturales de cobre; producción experimental de hierro esponja; fundición de estaño (quizá un poco antes); empieza una importante comercialización de los metales; copelación de plomo para extraer plata, y de oro y plata para purificación.

Aleaciones y trabajado.- Se usan las técnicas joyeras conocidas antes del año 2500 A.C. como son: estampado, repujado, riveteado, soldado, granulado, alambre por corte de placa (tal vez estimado pero muy rudimentario).

Del año 2000 a 1000 A.C.

Fundido y refinado.- Oro refinado por cementación; fuelles usados en hornos por el año 1800; empieza a tener importancia el hierro forjado hacia el año 1600.

Aleaciones y trabajado.- Bronce, de estaño y cobre (tal vez más antiguos); bronce plomado para estatuas; bronce al alto plomo (metal especulum) para espejos; latón de óxidos minerales de cobre y cinc, acero por carburación en platea y parece ser que se endurecía por templado hacia el año 1200.

Del año 1000 a 1 A.C.

Fundido y refinado.- Hierro fundido (sólo en China); acero Wootz en la India, oro refinado obtenido de un proceso sulfuroso; - - amalgamación de sales de oro.

Aleaciones y trabajado.- Gran expansión de producción de hierro-

cobre y plata; acero y hierro soldado empleado en la construcción de herramientas y armas; estampado de monedas; dorado de bronce y plata con amalgama de oro; prueba por copelación, golpe de piedra y por densidad.

La era cristiana hasta el año 1800.-

Del año 1 al 1000 D.C.

Fundido y refinado.- Cinc fundido en China e India.

Aleaciones y trabajado.- Acero a partir de hierro forjado y fundición de hierro (en China antes del año 600); acero por soldado repetido y forja; control de carbono por flujo (Japón, antes del siglo VIII); espadas de acero "Damasco" (acero Wootz forjado a baja temperatura) muy empleado en los países Islámicos; en Europa, probablemente aún acero por carburación en platea; conjuntos soldados comunes, por ejemplo, empuñaduras soldadas en espadas de francos y vikingos.

Del año 1000 al 1500.-

Fundido y refinado.- Alto horno para carburación y hierro fundido (1380); alto horno para reducción de mineral de hierro para hierro fundido (cerca de 1440); refinación de hierro fundido para producir hierro forjado (cerca de 1440); no hubo reemplazo del proceso directo hasta el siglo XIX; desplateado del cobre por licuación con plomo y copelación (cerca de 1470); bismuto fundido (siglo XV); partiendo de oro y plata con ácido nítrico (siglo XV).

Aleaciones y trabajado.- Grandes hornos de reverbedero para fundir bronce (siglo XV); metales tipo (cerca de 1440, usando esta-

ño como base se usa como peltre; siendo desplazado por una aleación plomo-antimonio en el siglo XVII); grabado al aguafuerte de armaduras (siglo XV).

Literatura Metalúrgica.- Theophilus, De Diversis Artibus (1130), con descripciones de procesos metalúrgicos, incluyendo endurecimiento, estirado de alambre, fundición de campanas, trabajo de herrero sobre oro y plata, metalurgia de polvos metálicos, ensayo de peltre por densidad.

Del año 1500 a 1600.-

Aleaciones y trabajado.- Primer cañón de hierro fundido (1509), taller de laminación para reducir flejes de aleaciones para acuñación de monedas; se extiende el uso de potencia hidráulica para trabajar los metales.

Literatura metalúrgica.- Resultados impresos de métodos de ensaye cuantitativos; técnicas de fundido y refinado para metales -- preciosos, cobre y plomo (poco sobre el hierro); Proberbuchlein (1524), Biringuccio (1540), Agrícola (1556), Ercher (1574).

Del año 1600 a 1700.-

Fundido y refinado.- Plomo y cobre fundidos en horno de reverberero con carbón de piedra, pruebas hechas con carbón de piedra - en altos hornos para producir hierro; cinc recuperado como condensado en hornos de fundición de plomo (1617).

Aleaciones y trabajado.- Acero cementado (cerca del año 1600, po

siblemente mucho antes); balas de plomo de caída libre; aleación Newton de bajo punto de fusión; latón a partir de cobre y cinc metálico (antes de 1627); cortadores para acero; sistema de tres rodillos para laminar secciones grandes; chimeneas para el escape de humo de los hornos (1648).

Literatura metalúrgica.- Teorías de elasticidad (Galileo, 1638; Hooke 1660); densidad de aleaciones estudiadas (Glauber, 1648), primeras observaciones de microestructuras (Power, 1664; Hooke - 1665); empieza el análisis sobre el flujo en tuberías (Kunckel, - 1679); la expansión del acero durante el temple es notada (Pe - rrault, 1688); primer libro que describe los procesos de conformado del metal con total detalle; trabajo sobre acero fino - - - (Jousse, 1627); operaciones en minas (Buizard, 1696); y fundición de armas (St. Remy, 1697).

Del año 1700 a 1800.-

Coque para fundir hierro, fundición de cinc (cerca de 1740); procesos de mezcla para hierro forjado (1783).

Aleación y trabajado.- Hierro fundido maleable (1722); acero de crisol (1740); metalurgia de polvos con el platino (1781); extrusión de tubos de plomo

Literatura metalúrgica.- Teoría de reducción metálica (Sthal, -- 1703); tablas de afinidad química de los metales (Geoffroy, - - 1718); teoría de los aceros basados en su composición y estructura (Reámur, 1722); observación de tres diferentes estructuras en

las aleaciones cobre-cinc (Geoffroy, 1723); pruebas de tensión sistemáticas (Musschenbroek, 1729); estudio sistemático de las aleaciones de platino (Lewis, 1763); principios de análisis químico (Bergman y continuando otros, 1770); observación de residuos carbónicos en soluciones ácidas de hierro fundido (Rinman, 1774); estudios sobre la cristalización del acero (Grignan, 1775); pirómetros para altas temperaturas (Wedwood, 1782); Teoría refutada por Lavoisier (1783); teoría del carbono en los aceros claramente enunciada (Vardemonde, 1786); estudio comprensivo de propiedades físicas de posibles aleaciones (Achard, 1788); reducción electroquímica del cobre y aceros.

- Siglo XIX.-

Fundido y refinado.- Estufa de flujo caliente (Neilsen, 1823); licuación y desplatao del plomo (Pattinson, 1833); acero neumático (Kelly, 1851); convertidor Bessemer (1855); desoxidación con manganeso del acero (Mushet, 1856); horno regenerativo calentado por gas, para acero (Siemens, 1856); Estufa de flujo caliente de tipo regenerativo (Cowper, 1857); refinación electrolítica del cobre (Elkington, 1865); proceso Bessemer ácido (Thomas, 1875); fundido del cobre pirítico (Holloway, 1879); fundición Bessemer para el cobre mate (1880); aluminio electrolítico (Hall, Heroult en 1886); proceso de cianurado para el oro (Mc. Arthur y Forrest en 1887); proceso carbónico para el níquel (Monel, 1892) ferroaleaciones aluminotérmicas (Vautin, 1898).

Aleaciones y trabajado.- Horno de oxígeno-hidrógeno (Hare, 1801); duplicado verdadero del acero "Damasco" (Breant, 1823); aleacio-

nes níquel-plata (Frick, 1823); aceros al níquel (Fisher, 1825); chapas de acero galvanizado (1836); electrotipos (Jacobi, 1838); piezas hechas por metalurgia de polvos (Ossan, 1841); metales para cojinetes (Babbit, 1839); trenes de laminación para acero - - (Carlslund, 1856); bronce al aluminio (Debray, 1856); aceros al tungsteno (Mushet, 1868); níquel maleable (Fleitman, 1879); aceros al manganeso (Hadfield, 1882); obtención de tubos sin costura (Mannesman, 1885); endurecimiento por precipitación de aleaciones de paladio (Paillard, 1886); tratamiento térmico de acero de alta velocidad (Taylor y White en 1898); acero al silicio - - (Hadfield, 1899).

Ciencia y literatura metalúrgica.- Sodio electrolítico (Davy, -- 1808); estructura de los meteoritos revelada por ataque (Thomson Widmanstätten, 1808); investigaciones sobre aceros aleados (Stoddart y Faraday, 1820); descubrimiento de la termoelectricidad -- (Seebeck, 1821); reducción del aluminio (Oersted, 1825); puntos de fusión del oro, plata y aleaciones de platino (Princep, 1828) curvas de enfriamiento de aleaciones (Rudberg, 1829); pruebas de impacto repetido (Hodkinson, 1843). Ley de Wiedemann-Franz - - (1853); resistencia eléctrica de aleaciones (Matthiesen, 1859); pruebas de fatiga hechas por Wöhler (1860); microestructura del hierro y el acero (Sorby, 1864); teoría estructural del hierro - endurecido (Jullien, 1865); puntos críticos observados en el acero (Tschernoff, 1868); recalcencia del acero (Gore, 1869); puntos de fusión en el diagrama cobre-plata (Roberts-Austen, 1875); fractura y estado químico del carbono en el acero en relación al punto crítico (Brinell, 1885); teoría cristalina del acero - - -

(Osmod, 1885); prácticas termoeléctricas del pirómetro (Le Chate-
lier, 1887); bandas de deslizamiento observadas (Charpy, 1896);-
microradiografía (Heycock, 1897); diagrama de constitución hie--
rro-carbono (Roberts-Austen, 1899); regla de las fases aplicadas
a aleaciones (Roozeboom, 1899).

II.- CLASIFICACION DE LOS MATERIALES

Se puede ver que todas las cosas que nos rodean están conformadas por materiales diversos y que estos poseen distintos aspectos y propiedades; sin embargo, a todos se les puede clasificar en tres grupos principales, a saber:

- 1.- Metales
- 2.- Cerámicos
- 3.- Plásticos y otros polímeros mayores.

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

Existen cuatro tipos de enlace que son los que van a proporcionar sus propiedades principales a cada grupo de materiales; dichos enlaces se describen a continuación:

a) Enlace metálico.- Se basa en la capacidad de los átomos metálicos de donar electrones de valencia a un grupo común de ellos, llamado nube o gas de electrones. La estructura atómica resultante consiste en iones positivos con una capa externa completa y una nube de electrones de carga negativa distribuida con uniformidad en toda la estructura (fig. 2.1), como ésta rodea a cada uno de los iones positivos que forman la estructura cristalina tridimensional ordenada, hay una potente atracción eléctrica que mantiene unido al metal.

Los electrones cedidos son los más lejanos del núcleo y se mue-

ven libremente dentro de la estructura metálica, lo que ocasiona que sean susceptibles de atracción por otros átomos, esto es lo-

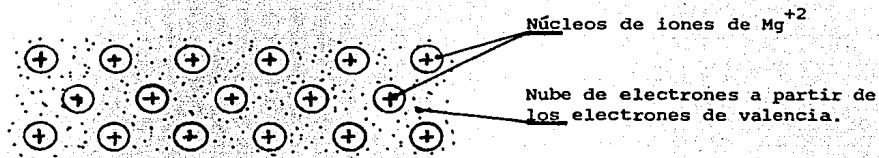


Fig. 2.1.- Átomos (iones) en el magnesio sólido rodeados por una nube de electrones.

que proporciona a los metales sus propiedades de elevada conductividad térmica y eléctrica.

b) Enlace iónico.- Este enlace se lleva a cabo sólo en compuestos formados entre átomos de elementos diferentes.

Los electrones son transferidos de los átomos de un elemento a los átomos del otro, de tal manera que cada átomo adquiere una configuración electrónica estable, y como consecuencia quedan eléctricamente cargados, por ejemplo, el átomo de cloro necesita un sólo electrón de valencia para tener una configuración electrónica estable (Fig. 2.2), si se acerca este átomo a un átomo de sodio que tiene un sólo electrón de valencia, el sodio donará el electrón de valencia al cloro y se logrará una configuración electrónica estable.



Fig. 2.2.- Molécula de cloruro de sodio (sal común) con enlace iónico.

Como se observa en la figura 2.2, después de que el átomo de cloro acepta el electrón de valencia, se vuelve ion negativo. A la inversa, el sodio que dona el electrón de valencia se convierte en ion positivo. La atracción eléctrica creada por la condición iónica de los átomos los une para formar una molécula mediante un fuerte enlace llamado enlace iónico. También es posible tener más de dos átomos con enlace iónico para formar moléculas, como podría ser la molécula de óxido de sodio. La mayoría de los materiales con enlace iónico son duros, buenos aislantes, tienen elevados puntos de fusión y son resistentes a la corrosión y al calor. Entre los materiales con enlace iónico se cuentan la sal común (cloruro de sodio) y cerámicas.

c) Enlace covalente.- El enlace covalente es un importante enlace fuerte basado en la compartición de electrones de valencia. Ocurre cuando uno o más electrones de valencia son compartidos por átomos adyacentes para formar una estructura electrónica estable.

En la Fig. 2.3 se ilustra la compartición de electrones por los átomos en las moléculas de cloro (izquierda) y de metano (derecha), para formar un enlace covalente. La molécula de cloro sólo tiene siete electrones de valencia, pero necesita ocho para lograr una configuración electrónica estable.

Muchos de los materiales con enlace covalente son fuertes, de dureza relativa y resistentes a la corrosión. Entre éstos se pueden encontrar algunos tipos de plásticos, madera, algunas clases

de cerámicos, las moléculas diatómicas de oxígeno, hidrógeno y nitrógeno y otros compuestos orgánicos.

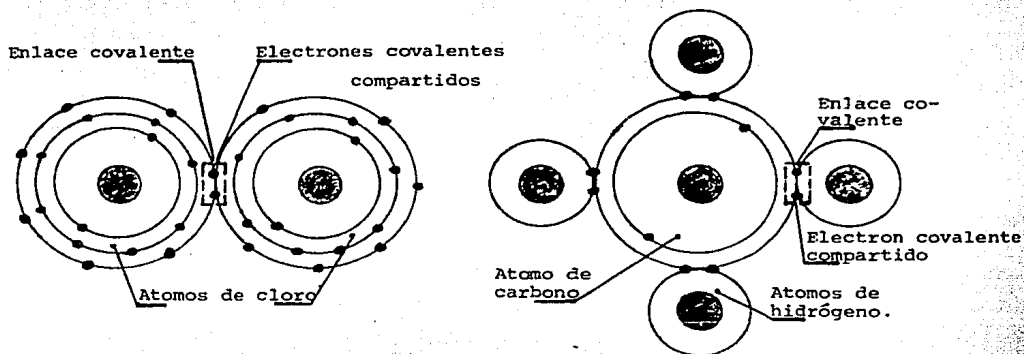


Fig. 2.3.- Formación del enlace covalente de la molécula de cloro (izquierda) y de la molécula de metano (derecha).

d) Enlace de Van der Waals.- Este tipo de enlace lo poseen los gases raros especialmente, aunque éste enlace está presente en todos los átomos, son relativamente débiles y son sólo importantes cuando otras fuerzas de enlace están ausentes, por ejemplo entre átomos con configuración electrónica estable o entre moléculas, las cuales han sido formadas por compartición de electrones para proporcionar una configuración electrónica estable a la molécula. Las fuerzas de Van der Waals son también apreciables entre largas moléculas orgánicas y son responsables para la cohesión completa de largas cadenas de polímeros.

Porque las fuerzas son pequeñas, las sustancias que dependen de ellas son usualmente gases sometidos a considerables bajas temperaturas. Las fuerzas de Van der Waals se derivan del hecho

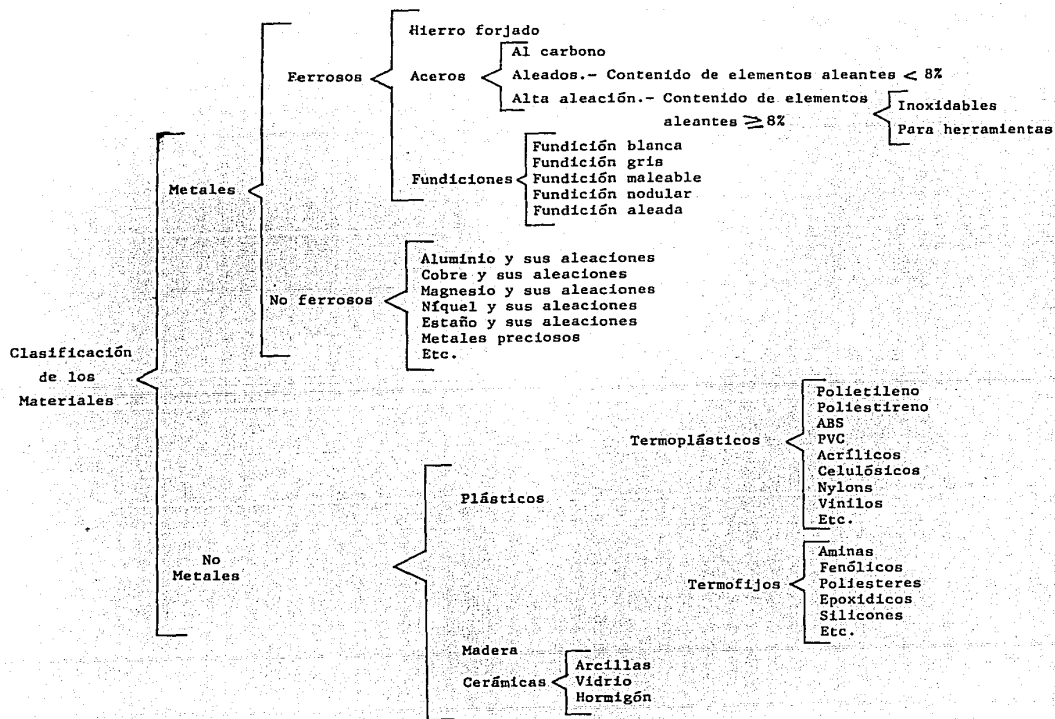
que los átomos actúan como pequeños dipolos. En un porcentaje - de tiempo la distribución espacial de los electrones en un átomo son simétricos cerca del núcleo, y en algún instante el centro - de la carga negativa puede no coincidir con la carga positiva -- del núcleo. La interacción entre los dipolos resultantes da lugar a una fuerza, la cual es la componente activa en el enlace - de Van der Waals.

La interacción está, además reforzada por el hecho de que la presencia de un dipolo en un átomo, tiende a inducir un dipolo en - el átomo más cercano a él. Como ya se dijo, la componente repulsiva tiene lugar cuando los átomos están tan cercanos que su nube de electrones empieza a traslaparse.

Realmente para efectos del presente trabajo, el enlace mas importante es el metálico y en mucho menor medida el enlace iónico; - ya que como se mencionó anteriormente el enlace metálico va a -- proporcionar a los metales sus principales características como son: ductilidad, conductividad térmica y eléctrica, etc., y que tan importantes son para su uso en Ingeniería.

Para concluir este capítulo se hará una clasificación general de los materiales más usados hoy en día y aparecen en la tabla 2.1.

TABLA 2.1.- CLASIFICACION DE LOS MATERIALES



III.- PRODUCCION DE MATERIALES METALICOS

3.1.-Generalidades

En la antigüedad, como ya se dijo, los metales se obtenían directamente de la naturaleza, o en su defecto con un mínimo de proceso.

Al aumentar las necesidades de materiales metálicos a partir de la Revolución Industrial se creó la necesidad de aumentar la producción de aquellos de tal manera que se cubrieran los requisitos existentes, así que en el siglo XIX se crearon procesos más eficientes para la obtención de metales, dichos procesos se han perfeccionado hasta nuestros días.

Si se hace un análisis sobre la composición química de la superficie terrestre se obtendrán los resultados siguientes:

ELEMENTO	CONTENIDO MEDIO DE LA SUPERFICIE TERRESTRE (%)	ELEMENTO	CONTENIDO MEDIO DE LA SUPERFICIE TERRESTRE (%)
Oxígeno	46.6	Tungsteno	0.005
Silicio	27.7	Cinc	0.004
Aluminio	8.1	Plomo	0.002
Hierro	5.0	Cobalto	0.001
Calcio	3.6	Berilio	0.001
Magnesio	2.1	Molibdeno	0.0001
Titanio	0.63	Estaño	0.0001
Manganeso	0.10	Antimonio	0.00001
Cromo	0.037	Cadmio	0.00001
Circonio	0.026	Mercurio	0.00001
Níquel	0.020	Bismuto	0.000001
Vanadio	0.017	Plata	0.000001
Cobre	0.010	Platino	0.0000001
Uranio	0.008	Oro	0.0000001

Tabla 3.1.- Abundancia relativa de elementos de la corteza terrestre.

De lo anterior se puede establecer que si la corteza terrestre - tuviera una composición homogénea sería muy difícil obtener metales de una forma económica, póngase como ejemplo al plomo, si se quisiera obtener 1 kg. de dicho metal se tendrían que remover -- 50000 Kg. de tierra o ganga, pero afortunadamente el proceso geológico ha actuado de tal forma que la concentración en determinados lugares hace posible la obtención de materiales de una manera más económica y sencilla, tal es el caso del mineral donde se obtiene el plomo, ya que llega a tener una concentración del 5% lo cual definitivamente no tiene comparación con lo calculado anteriormente.

Para llegar a obtener un metal que sea útil comercialmente se -- tienen que aplicar ciertos procesos en varias etapas, dichas etapas aunque no se lleven a cabo en todos los metales si se pueden tomar como un parámetro general para la obtención de ellos; estas etapas son las siguientes:

- 1.- Enriquecimiento por medios mecánicos, magnéticos o químicos del mineral original.
- 2.- Obtención del metal con un alto grado de impurezas.
- 3.- Refinación y afinado de la composición química del metal obtenido.

Cabe mencionar que algunos metales se obtienen como producto de refinación de otros, por ejemplo oro y plata al obtener cobre.

A continuación se hará un breve explicación del proceso a -

seguir para la producción de los metales más usados en el diseño en Ingeniería.

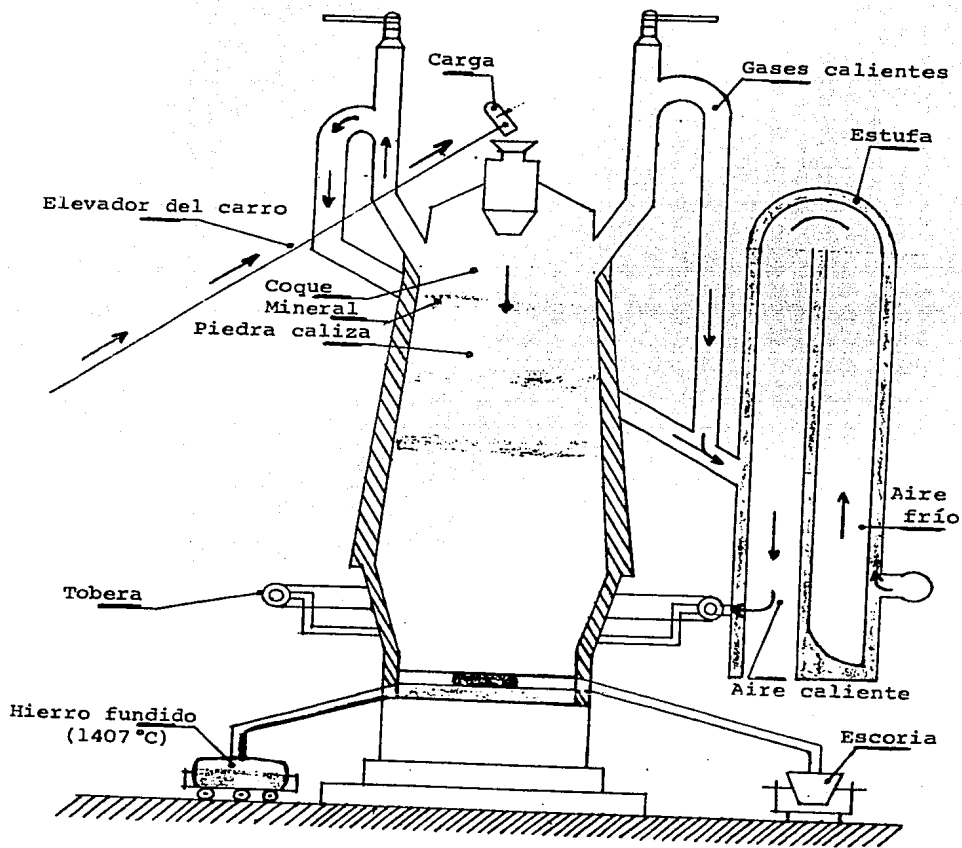
3.2.- Producción de Metales Ferrosos.-

3.2.1.- Producción de hierro Primario o arrabio.- Los metales ferrosos se extraen de los yacimientos de mineral de hierro que suelen estar a poca profundidad, muchas veces a cielo abierto. Los minerales de hierro más importantes son la hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), limonita (Fe_2O_3) y siderita ($FeCO_3$). Después de extraerlo se beneficia el mineral de hierro con métodos de concentración, a fin de aumentar el porcentaje de hierro con la eliminación de impurezas. Para prolongar la duración de los yacimientos ricos en hierro, la industria minera ha creado métodos para el uso económico de minerales de baja ley como la taconita y el jaspe. El mineral concentrado se transporta en carro de ferrocarril, lanchones o buques hasta las plantas siderúrgicas donde se funde en un alto horno para convertirlo en arrabio (Fig. 3.1). El mineral de hierro, mezclado con el coque y la piedra caliza en determinadas proporciones se carga con un carro viajero en el alto horno.

El aire caliente de los quemadores se insufla cerca del fondo del horno y ocasiona que el coque arda a unos $1649^{\circ}C$ y funda la carga del horno.

El hierro fundido cae al fondo del alto horno, desde donde se sangra y se cuela en lingotes que pesan 45 Kg y se transportan en unos carros especiales a la acería. El arrabio tiene la com-

Fig.3.1.-Corte esquemático de un alto horno.



posición química siguiente:

Aprox:

De 3 a 4% de carbono

De 0.06 a 0.10% de azufre

De 0.10 a 0.50% de fósforo

De 1.0 a 3.0% de silicio

y algunas impurezas.

El arrabio se utiliza para producir hierro fundido (colado) y -- acero. En la gráfica de la Fig. 3.2 se muestra el procedimiento a seguir en forma simplificada para obtener hierro fundido en -- sus diferentes tipos, así como aceros al partir del arrabio.

3.2.2.- Producción de acero.-

Aunque se detallará posteriormente, se puede anticipar que se de nomina acero a una aleación hierro-carbono con un contenido de -- este último de 0.05 a 2% con cantidades menores de otros elementos; el acero es el más importante de los materiales ferrosos y -- se produce en forma básica, a partir de arrabio y chatarra de -- acero.

La producción de acero incluye eliminar las impurezas, ajustar -- el contenido de carbono y facilitar la edición de los elementos -- de aleación requeridos en el acero; este en la actualidad se pro duce con los siguientes procesos industriales:

- a) Proceso de hogar abierto (Proceso Martín-Siemens)
- b) Proceso Bessemer

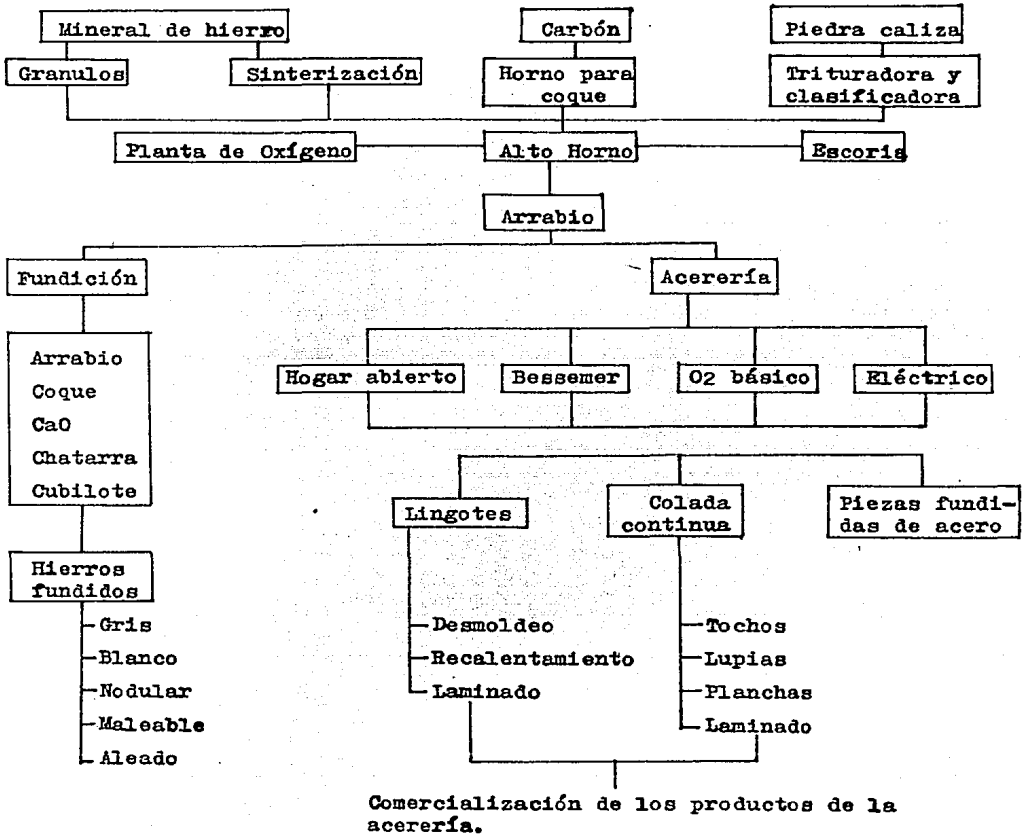


Fig.3.2.- Gráfica de flujo que muestra las diversas etapas en la producción de acero y fundición.

- c) Proceso de Oxígeno básico
- d) Proceso por horno eléctrico

En términos de toneladas de acero producidas, los procesos principales son los de oxígeno básico y el de hogar abierto seguidos por el convertidor Bessemer y por último el proceso de horno eléctrico, siendo este último el preferido para producir aceros altamente aleados y de buena calidad.

a) Producción de acero con hogar abierto (Proceso Martín-Siemens). - El proceso de hogar abierto ha estado en uso por más de un siglo y es el más importante para producir acero al carbono. El horno de hogar abierto es una caja rectangular, de poca profundidad, de unos 27 m de longitud y de 9 m de anchura, en el cual el metal está abierto al paso de las llamas a través del hogar. El proceso de hogar abierto se divide en proceso ácido y básico, según el revestimiento utilizado en el hogar. El proceso ácido se usa más para hacer piezas fundidas de acero, el proceso básico es para otros tipos de acero. El hogar está revestido con ladrillos refractarios que puedan soportar las altas temperaturas y presiones de operación.

Una carga del horno se llama hornada (calda). Las hornadas varían en tamaño de 60 a 100 toneladas, según la capacidad del horno. Los materiales utilizados para el acero de hogar abierto son arrabio, chatarra de acero, piedra caliza, mineral de hierro combustible (gas, petróleo o coque metalúrgico), oxígeno y aire. La piedra caliza se utiliza como fundente, la cual se combina --

con las impurezas para formar la escoria. La chatarra de acero que constituye alrededor del 50% de la hornada, se carga en frío el arrabio se carga en lingotes o todavía fundido. El oxígeno - sirve para reducir el contenido de carbono por oxidación y aumentar la temperatura de las llamas a unos 1649°C el oxígeno se introduce en metal fundido en el hogar a alta presión con un tubo-retráctil llamado la lanza.

El ciclo promedio desde la carga hasta el sangrado (purga) necesita entre 8 y 10 horas. Después de que concluyen la fusión y la refinación se descarga la hornada a una cuchara para colada - en lingotes. El proceso de hogar abierto se utiliza más para -- producir aceros al carbono; pero, también se ha empleado para obtener algunos aceros de aleación.

b) Producción de acero por el procedimiento Bessemer.-

En la fabricación de acero por este procedimiento, el arrabio -- fundido se coloca en un recipiente en forma de pera denominado -- convertidor y las impurezas se oxidan y se remueven por insuflado de aire a través de la masa fundida. Esta masa constituida -- generalmente por unas 10 o 15 Tm de arrabio fundido es vertida -- en el convertidor cuando éste se halla en la posición horizontal; entonces el aire comprimido es insuflado en la caja de viento de -- su base cuando el convertidor se coloca en forma vertical. El -- aire tiene suficiente presión (alrededor de 20 lb/plg² o sea -- 1.41 Kg/cm²), para evitar que el metal fundido penetre en las to -- beras de aire. Las corrientes de aire pasan a través del metal -- fundido, quemando el carbono, etc. Un soplado suele durar apro -- ximadamente de 9 a 10 minutos. El metal del interior es enton--

ces hierro forjable líquido. Se vuelve a colocar el convertidor en posición horizontal, se cierra el soplado y se le añade una cantidad adecuada de fundición especular (spiegleisen) o de ferromanganeso en forma líquida para dar el acero la cantidad adecuada de carbono y manganeso para darle la composición deseada. Luego el acero líquido se vierte en lingoteras y los lingotes -- obtenidos mientras están calientes, se laminan en tochos, palanquillas y raíles sin recalentamiento inicial, excepto un corto período en pozos de empapado de calor.

c) Producción de acero con oxígeno básico.-

El proceso de producción de acero con oxígeno básico es uno de los más recientes; en la actualidad produce alrededor de una tercera parte del acero del mundo, con perspectivas de sustituir -- por completo al hogar abierto en el futuro. Su ventaja principal es el corto tiempo del ciclo (unos 55 minutos) para la hornada, en comparación con 8 a 10 h. en el hogar abierto. La eficiencia del horno de oxígeno básico se debe al oxígeno de alta pureza (99.0%) utilizado como único agente oxidante en la refinación. La hornada consiste en arrabio fundido chatarra de acero, piedra caliza y oxígeno.

El horno es un recipiente de acero periforme (en forma de pera), revestido con ladrillo refractario en su interior y montado sobre muñones que permiten inclinarlo a 180°. Primero se inclina el horno y se carga la chatarra de acero, seguida por el arrabio. Se eleva el horno a la posición vertical y se introduce el oxígeno mediante una lanza retráctil enfriada por agua, el oxígeno puro, al entrar en contacto con el arrabio, reacciona con violen--

cia y se combina con el carbono de la carga para formar monóxido de carbono. El carbono arde y los gases escapan por la parte superior del horno. Durante esa oxidación violenta se genera una gran cantidad de calor y se eleva la temperatura de la carga a unos 1649°C. Mientras avanza la oxidación se agrega cierta cantidad de piedra caliza para limpiar el metal en fusión y formar la escoria; en forma posterior, se inclina el horno para descargarlo en una cuchara de colada. Los elementos para aleación se pueden agregar en la cuchara. El horno de oxígeno básico se usa primordialmente para producir acero al carbono, aunque también se hacen algunos aceros aleados. La capacidad varía entre 35 y 200 toneladas o sea la producción horaria del horno.

d) Producción de acero con horno eléctrico.-

El horno eléctrico se utiliza para producir grados especiales de acero, tal como los aceros para herramientas y los inoxidable y resistentes al calor. Se suele usar corriente trifásica en este horno y el calor que se genera con el arco producido por la corriente eléctrica (Fig. 3.3). El calor se puede generar entre los electrodos y la carga o sólo entre los electrodos. Por tanto, el acero de horno eléctrico es el más limpio de todos.

El horno eléctrico puede ser de dos tipos: de arco o de inducción, pero la mayoría del acero se produce con horno de arco. El horno de arco es una envolvente de acero, circular en forma de taza o cóncavo, con refractarios en el interior. El horno se monta en balancines a fin de poder inclinarlo y descargar el acero fundido.

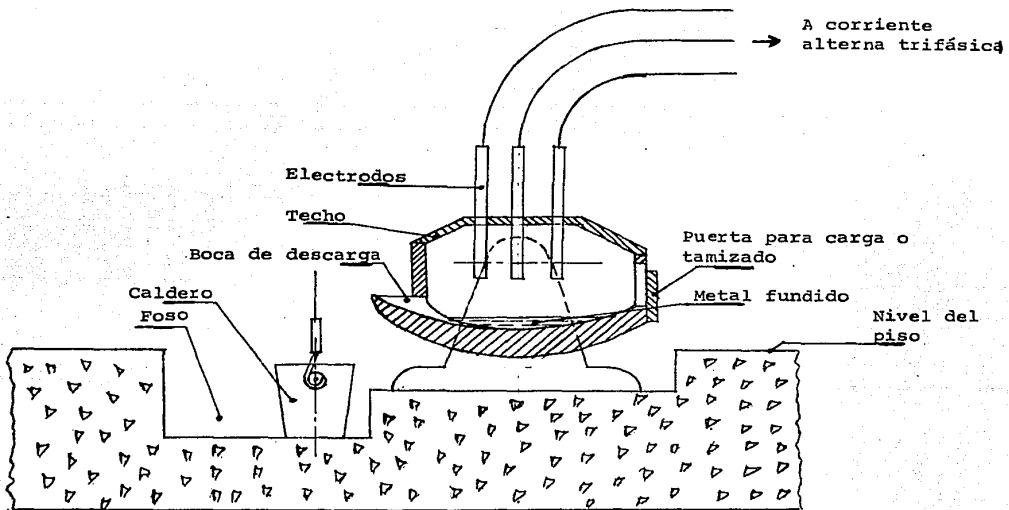


Fig.3.3.- Diagrama esquemático de un horno eléctrico trifásico de arco.

La capacidad de los hornos de arco eléctrico varía entre 2 y 200 toneladas. El tiempo del ciclo por hornada varía entre 3 y 6 horas, según el monto de la carga y el tipo de acero por producir. La carga consiste en chatarra de acero muy seleccionada, piedracaliza y recortes de laminado, que se cargan por la puerta giratoria en la parte superior del horno. Se agregan pequeñas cantidades de elementos en la cuchara; las cantidades grandes se agregan en la carga. Se utilizan los métodos ácido y básico; el ácido suele ser para piezas fundidas y el básico para aceros especiales. El horno de arco eléctrico produce altas temperaturas, un control muy preciso de la composición y mínima contaminación, pero, debido a la cantidad de electricidad que consume, este horno es más costoso en su operación que los de otros procesos para producción de acero.

3.2.3.- Producción de hierro fundido (fundición).-

El hierro fundido es una composición de hierro, carbono, silicio y otros elementos en cantidades insignificantes. Se diferencia del acero porque tiene un contenido de carbono que va del 2 al 6.67%, aunque comúnmente este contenido se restringe del 3 al 4.5% para que sea útil en diferentes aplicaciones.

Los tres tipos primarios de hierro fundido que son hierro fundido gris, fundición blanca y hierro nodular o dúctil se producen en el horno de cubilote, cabe señalar que en los tipos anteriores la diferencia estriba en la forma en que el carbono se encuentra en su microestructura, tal como se verá posteriormente; los tipos secundarios de hierros fundidos son el maleable y el aleado, que se producen por tratamiento térmico y aleación a par

tir de los primarios. El horno de cubilote (Fig. 3.4), consiste de un tubo vertical de acero revestido con ladrillo refractario o material refractario adosado, todo ello montado sobre una placa de base, soportada por cuatro columnas de acero. Los cubilotes modernos, son generalmente del tipo de fondo abierto, éstos, tienen una puerta abisagrada en la placa de base, que se puede bajar para permitir la remoción del residuo del horno al final de la fundición.

La carga metálica consiste de hierro en lingotes (arrabio), pedacería de fundición y algunas veces pedacería de acero, esta última se usa principalmente, en la producción de hierro de servicio especial; además de coque y piedra caliza.

Como se puede observar en la Fig. 3.4, el aire insuflado entra al cubilote por medio de toberas situadas a una altura de unos 90 cm. sobre la puerta de fondo y se conectan al ventilador de aire, por medio de una caja de aire, que circunda al horno. El número de toberas dependerá del tamaño del horno y en general, se tiene una tobera por cada 15 cm. de diámetro interno, a la altura de las toberas.

Antes de cargar el cubilote, se construye una cama de arena de unos 15 cm. de grueso en el fondo removible, dándole una pendiente hacia la salida del metal. Además se deja un orificio (escoriadero) a unos 15 cm. abajo de las toberas, para la remoción de la escoria, misma que se realiza a intervalos adecuados durante la fusión.

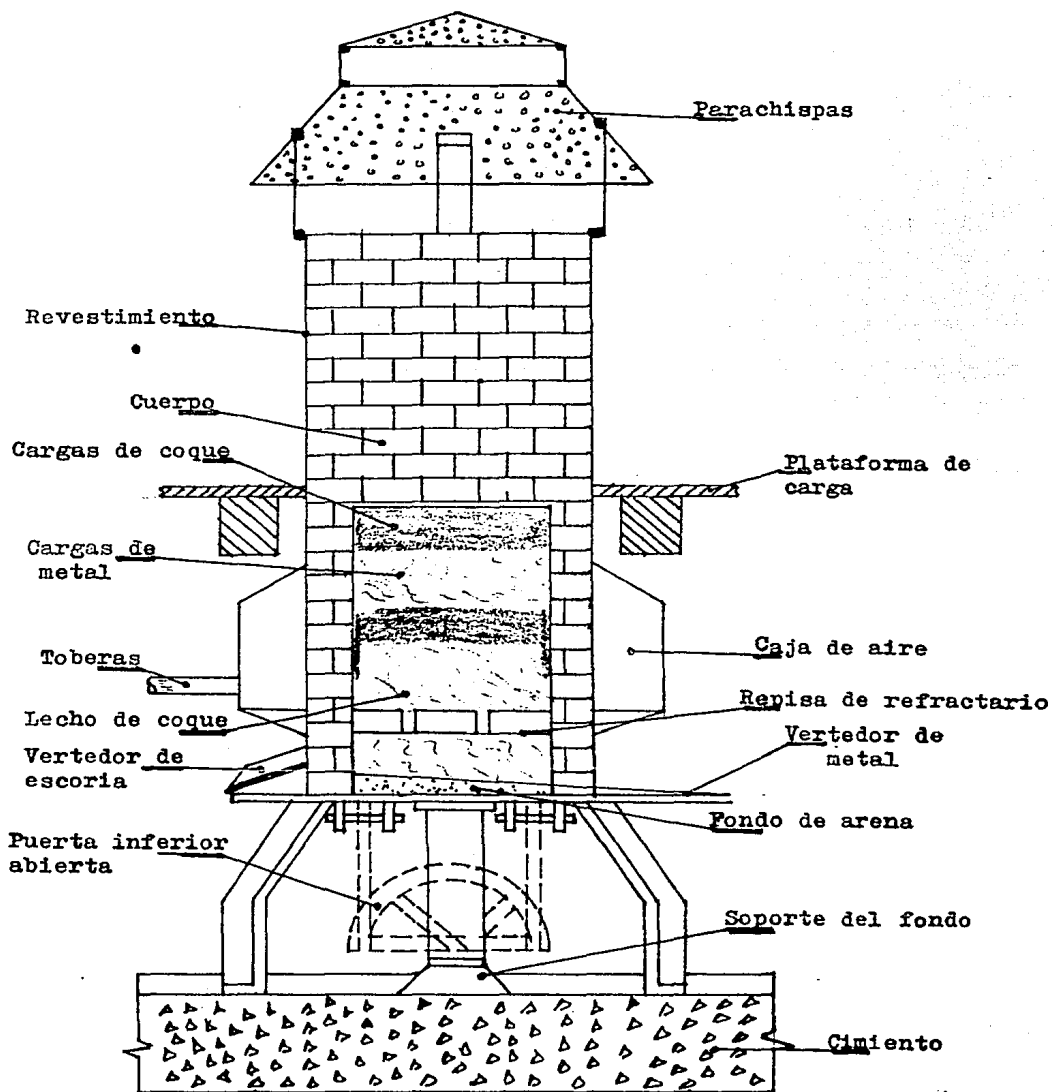


Fig.3.4.- Corte esquemático del horno de cubilote

Tanto los cubilotes de aire frío como los de aire caliente están en uso. En estos últimos, el aire de entrada se precalienta en alguna forma de recuperador, utilizando los gases calientes del cubilote.

El recuperador puede ser una unidad externa o puede consistir de tubos verticales construídos en el propio cubilote.

Ocasionalmente se emplea un tipo de cubilote pequeño para fundir cobre, con esta excepción, el uso del cubilote está confinado a la fundición de hierro.

Como se dijo anteriormente, los tres tipos primarios se producen de una manera similar, las diferencias entre ellos consisten en la forma en que ocurre su enfriamiento al obtenerlo fundido del cubilote, por último, se puede señalar que al hierro nodular se le agregan inoculantes para favorecer la grafitización, o sea la formación de nódulos de grafito.

3.3.- Producción de metales no ferrosos.-

3.3.1.- Producción del aluminio.-

El aluminio se ha convertido en el metal no ferroso más importante para el hombre. Después del hierro y el acero, el aluminio es el metal más consumido y los ha sustituido en muchas aplicaciones.

El mineral de bauxita, del cual se obtiene el aluminio, está distribuído ampliamente en todo el mundo. Este material, $Al_2O_3 \cdot NH_2O$, contiene impurezas, óxido de hierro, silicio y titanio. Es bara-

to y la mayor parte del costo del aluminio es el transporte del mineral y la electricidad usada en el proceso de producción, aunque es fácilmente reciclable.

A causa de la alta temperatura de fusión de la alúmina, 2085°C no puede reducirse por las técnicas usuales de horno utilizadas para el hierro y cobre. Por lo tanto el aluminio fue una curiosidad de laboratorio hasta que Charles M. Hall, en 1886, descubrió que si se disolvía Al_2O_3 en criolita fundida, el aluminio podía ser depositado en el cátodo por electrólisis.

Hoy en día el aluminio se produce casi exclusivamente por electrólisis de la alúmina obtenida de la bauxita previamente purificada (proceso Bayer). Este proceso consiste en la extracción del mineral (bauxita), la que se tritura y mezcla con agua, sosa y cal para disolver y separar la alúmina se disuelve en un baño de criolita fundida y se somete a electrólisis a temperatura elevada (900 a 950°C) en hornos eléctricos formados por un recipiente de hierro revestido interiormente de bloques de grafito aglomerado, que forman el polo negativo (de modo que el recipiente mismo haga de cátodo); un haz de electrodos de grafito, sumergido en la masa fundida, hace las veces de polo positivo (ánodo). Por efecto de la electrólisis, el aluminio metálico se deposita en el cátodo en estado líquido y después se extrae por los orificios de salida de la colada. En el ánodo se libera oxígeno que en una parte se dispersa y en parte se combina con el carbono de las barras. Después de ser refundido para eliminar las impurezas no metálicas, -

este aluminio alcanza una pureza de 99.0 a 99.9% y está en condiciones de ser utilizado para la producción de las abundantes aleaciones comerciales. Por medio de un segundo tratamiento electro-lítico se obtiene aluminio de 99.99% de pureza. Las impurezas -- que en mayor cantidad se presentan son el silicio y el hierro que proporciona mayor dureza al metal.

3.3.2.- Producción del cobre.-

El cobre es el segundo material metálico no ferroso en orden de importancia por tonelaje consumido y variedad de aplicaciones. El cobre se obtiene usualmente de minerales de sulfuro de bajo grado que contienen menos del 2% del metal; ya que el mineral tiene tan bajo porcentaje de cobre, el primer paso de la producción es un proceso de concentración, que normalmente proporciona un producto que contiene un 50% de cobre.

El concentrado luego se calcina para reducir el azufre y el arsénico. Luego se derrite con coque y fundente en un horno de reverbero para producir nata, que es una mezcla de sulfuros de cobre y de hierro con aproximadamente un 40% de cobre. El derretido también elimina parte del hierro presente en el mineral. Luego la mata fundida se coloca en un covertedor similar a los usados para hacer acero Bessemer. Soplando aire a través de la mata fundida se oxida y se expelle al azufre. El hierro también se oxida y va a parar a la escoria. Este proceso convierte la mata en cobre negro y que contiene de un 97 a 98% de cobre más óxido de cobre.

El cobre negro se pone en un horno de reverbero para una posterior refinación y a continuación se funde en barras con las que se hacen los ánodos para el proceso de refinamiento electrolítico, durante la electrolisis se forma cobre esponjoso en los cátodos; este cobre de los cátodos se funde y en este proceso se trata de reducir los óxidos antes de verterlo en moldes. Un método común de reducir los óxidos es agitar el cobre fundido con leños verdes. El producto resultante contiene alrededor del 0.07% de O_2 y es llamado cobre electrolítico (tough pitch); cuando el cobre fundido no se agita se utiliza para aleaciones donde no es necesario un contenido muy bajo de oxígeno.

El cobre con bajo contenido de oxígeno también puede obtenerse por otros dos métodos: el primero es usar una atmósfera de gas inerte en un horno de reverbero. El producto de este método es lo que se conoce como cobre libre de oxígeno.

El segundo procedimiento es la desoxidación con un agente reductor fuerte tal como el fósforo o el silicio. Este método tiene la desventaja que la conductividad eléctrica se reduce de un 10 a un 20%.

El uso de calcio, litio o boro como agente reductor también causa merma de la conductividad.

3.3.3.- Producción del magnesio.-

El magnesio es el más liviano de los metales comercialmente importantes; tiene un peso relativo de alrededor de 1.75.

Es producido por electrolisis del cloruro de magnesio anhidro fundido.

El cloruro de magnesio puede obtenerse procesando diversos materiales del yacimiento o procesando agua de mar, que contiene aproximadamente un kilogramo por metro cúbico.

3.3.4.- Producción del estaño.-

Se produce a partir de la casiterita, un mineral de óxido de estaño que se calienta a más de su punto de fusión en un horno de hogar inclinado. El estaño fundido precipita en el hogar inclinado y deja atrás las impurezas.

3.3.5.- Producción de titanio.-

Aún cuando es, por su abundancia, el cuarto metal en la superficie terrestre, el titanio se ha convertido de importancia comercial sólo a partir de la Segunda Guerra Mundial.

El titanio es difícil de producir. Un método involucra la reducción del tetracloruro de titanio con magnesio en una atmósfera de helio. El cloruro de magnesio y el magnesio libre resultante se eliminan con lejía con ácido clorhídrico, dejando titanio esponjoso o en polvo. La esponja o polvo se mezcla en un recipiente al vacío y se congela para formar metal sólido. Otro método involucra la reducción con sodio del tetracloruro de titanio. Ambos métodos son complejos y caros. Sin embargo, se están realizando esfuerzos para encontrar procesos de producción menos onerosos y cabe esperar que se reduzca su precio de venta y extienda su uso.

3.3.6.- Producción de plomo.

El proceso para la obtención del plomo es bastante complejo; sin embargo, se tiene la ventaja de que se pueden recuperar algunos otros elementos tales como oro, plata, cinc, arsénico, antimonio, cobre, cadmio y ácido sulfúrico.

El plomo se obtiene a partir de un concentrado que contiene del 65 al 80% del metal, debiéndose tostar para eliminar los sulfuros. En seguida se mezcla piedra caliza, mineral de hierro, arena y escoria granulada con el concentrado de plomo, antes de aglomerarlos. El dióxido de azufre expulsado como consecuencia del sintetizado se hace ácido sulfúrico y el material aglomerado se transfiere a un alto horno, cuyo calor es proporcionado por el coque como combustible. Los gases y el polvo expulsado contiene cloruro de cadmio que se puede procesar para obtener cadmio. Se espuma el metal, la espuma flotante de cobre se combina con el azufre para provocar la separación del cobre de la espuma y la mezcla de plomo líquido se oxida en un horno conocido como horno ablandador.

La escoria que se quita como nata en el horno ablandador contiene antimonio y arsénico. Se añade cinc a la mezcla de plomo en una olla para desplatar y cualquier cantidad de oro y plata que estén presentes se disolverán en el cinc. La aleación de cinc se desnata y se lleva a una retorta. Los vapores de cinc se condensan para producir cinc sólido y cualquier líquido residual se descompone electrolíticamente en oro y plata. Al plomo proveniente de la olla se le hace mayor limpieza, quitándole el cinc antes de combinarlo con sosa caústica. Esto se hace proyectando una peque

ña corriente de plomo caliente en una cámara al vacío lo que ocasiona que vaporice el cinc. Las impurezas son eliminadas químicamente en la operación final de la olla y el plomo se moldea en barras de 25 kg. o en bloques de 900 Kg. El proceso queda limitado por la producción del horno que rara vez excede de 270 Mg.

3.3.7.- Producción de cinc.

El cinc se produce a partir de minerales de óxido de cinc y sulfuro de cinc por fusión (método pirometalúrgico) y con procesos - - electrólíticos.

Para concluir con este capítulo, se puede decir en forma breve -- que la producción de los demás metales, tales como el níquel, cromo, vanadio, platino, boro, oro, plata, etc.; se obtiene mediante procesos muy complejos que sería difícil tratar de explicar aquí, o bien como elementos acompañantes de algunos otros materiales como aluminio, plomo, etc.

4.1.- Generalidades.-

Al hacer el estudio de la selección de materiales para un proyecto específico lo más importante es conocer las propiedades y características de dichos materiales. En este capítulo se tratará en forma general las diferentes propiedades de los materiales metálicos y su comportamiento de diferentes condiciones de operación.

Las propiedades de los metales están íntimamente relacionadas con su estructura y, por tanto, con la solución de los problemas que se presentan en la ingeniería.

Estras estructuras son las siguientes:

- a) Estructura atómica
- b) Estructura cristalina
- c) Estructura fásica o de fases

Como se vió anteriormente, la estructura atómica va a definir las diferencias entre cada tipo de materiales.

La estructura cristalina influye en forma determinante en las propiedades mecánicas de los materiales.

Y la estructura fásica es la responsable de la microestructura de metales puros y sus aleaciones tal y como se verá en el siguiente capítulo.

Sin embargo, existen solamente unos pocos aspectos de la estructu-

ra que se han de determinar para cada aleación, mientras que el número de propiedades es casi ilimitado. Es por tanto, extraordinariamente práctico utilizar la información obtenida del conocimiento de la estructura como guía preliminar a las propiedades de ingeniería, con el fin de reducir el número de investigaciones de laboratorio y servicios de ensayos requeridos.

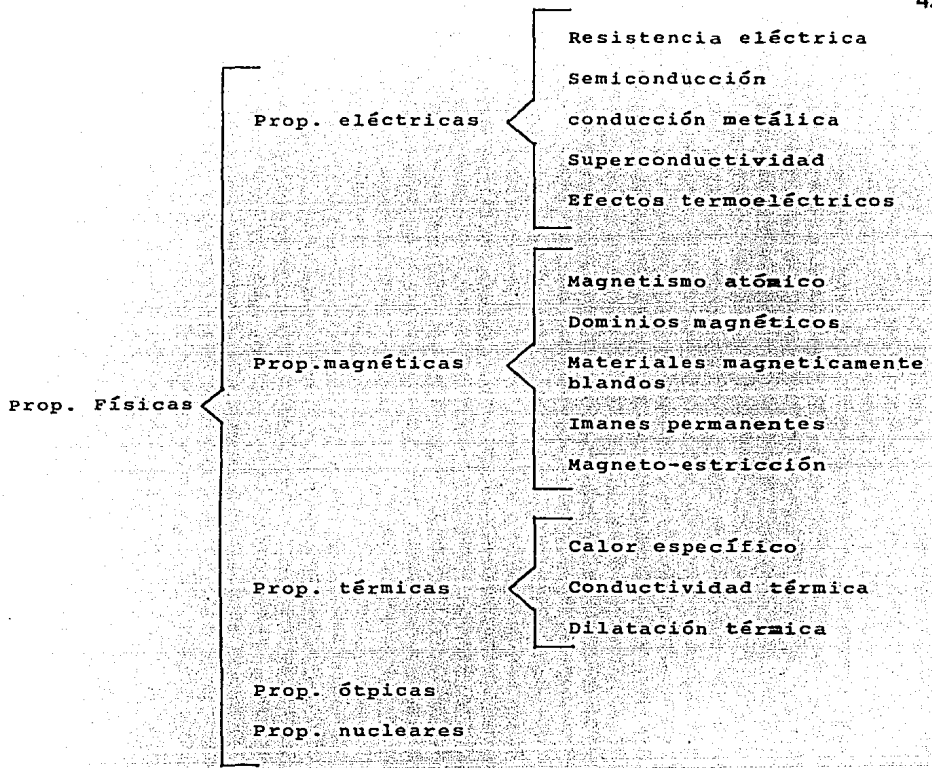
Las propiedades requeridas de los materiales, especialmente de los metales que son de interés en este trabajo, van a variar con cada aplicación que se les vaya a dar; puesto que existen muchas aplicaciones diferentes, se han investigado un gran número de propiedades que se dividen normalmente en las siguientes categorías:

- a) Propiedades físicas
- b) Propiedades mecánicas
- c) Propiedades químicas
- d) Propiedades de resistencia a la corrosión y a la oxidación

Las propiedades metalúrgicas adicionales como las respuestas de los metales al trabajo (deformación) en frío y a los diversos tratamientos térmicos, se considerarán en forma independiente en el siguiente capítulo, puesto que por lo general dependen de las propiedades enunciadas anteriormente.

4.2.- Propiedades físicas.-

A continuación se muestra la clasificación de las propiedades físicas de los metales y posteriormente se dará una explicación de las que tienen más importancia en diferentes aplicaciones.



4.2.1.- Resistencia eléctrica.-

En ciertas aplicaciones se necesitan metales de una resistencia eléctrica elevada, como en el elemento calentador de un tostador, mientras que, en utilizaciones como las líneas de transmisión a larga distancia, es esencial una resistencia eléctrica muy pequeña. En cualquier caso, se precisa tener una medida cuantitativa de ésta propiedad con fines de diseño. La resistencia real depende de la forma del metal y de su resistividad. La siguiente ecuación es válida en todo conductor de sección transversal constante:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde:

R = Es la resistencia en ohms

L = Es la longitud en cm.

A = La sección transversal en cm^2

ρ = La resistividad en $\Omega\text{-ohms-cm}$

Puesto que el valor real de la resistividad en un metal dado está influido en gran medida por muchos factores, a menudo es preciso considerar la naturaleza de éstas influencias.

4.2.2.- Materiales magnéticamente blandos.-

En elementos como núcleos de transformadores, rotores de motores eléctricos, relevadores, etc.; es conveniente que la imantación del material siga estrechamente cualquier variación del campo magnético, ésto se describe adecuadamente por medio de un diagrama general B-H (fig.4.1a). Si a una muestra, inicialmente no imantada, se le somete a una fuerza magnetizante H (densidad de flujo), que va aumentando en intensidad, su imantación B aumentará a lo largo de la línea punteada. El grado de imantación alcanza finalmente, un valor esencialmente constante B_{max} , denominado imantación de saturación. Si la saturación de la fuerza magnetizante se hace disminuir hacia cero, B disminuye a lo largo de la curva de trazo continuo hasta alcanzar el valor B_r que es la imantación remanente (muy útil en la construcción de generadores autoexcitados de c-d), cuando $H=0$. Al aumentar la fuerza magnetizante en la dirección opuesta, B continua decreciendo hasta hacerse cero cuando la fuerza magnetizante de signo contrario es igual a H_c que es la fuerza coercitiva.

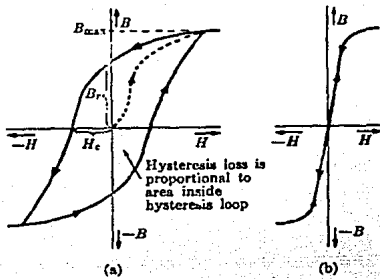


Fig.4.1 Curvas B-H en las que se muestran algunas de las importantes propiedades de los materiales magnéticos. (a) Diagrama B-H generalizado (b) Diagrama B-H ideal de un material magnéticamente blando.

Si se continua aumentando la fuerza magnetizante en sentido contrario, la imantación se hace también negativa y alcanza finalmente un valor $(-B)_{max}$. Se obtiene la otra mitad de la curva de trazado continuo cuando se invierte de nuevo el signo de la fuerza magnetizante y al aumentar ésta en sentido positivo.

El comportamiento ideal de un material magnéticamente blando se muestra en la fig. 4.1b en comparación con el diagrama general B-H.

En particular, los valores de las siguientes propiedades pueden ser de especial interés, dependiendo de la aplicación exacta:

- a) Imantación de saturación B_{max} . - Esta cantidad (corriente mente, este valor se define como inducción magnética de saturación, $(B-H)_{max}$) determina el grado de imantación que se puede lograr en un material magnético. Casi siempre es conveniente un valor de B_{max} elevado.

- b) Permeabilidad.- La permeabilidad se define como $\mu = B/H$.

cuanto mayor sea el valor de μ , menor será la fuerza magnetizante H requerida para producir una implantación dada. Una permeabilidad inicial grande es esencialmente importante en aplicaciones en las que sólo se dispone de fuerzas magnetizantes débiles.

c) Fuerza coercitiva H_c . - Esta cantidad representa la fuerza magnetizante de dirección opuesta que se necesita para eliminar la imantación remanente B_r . La fuerza coercitiva deberá ser pequeña en materiales magnéticamente blandos.

d) Pérdidas totales de núcleos. - Esta cantidad constituye la pérdida total de energía (Watts por kilogramo de aleación) en condiciones determinadas. Es la suma de las pérdidas por histéresis (que dependen en gran parte de H_c) y las pérdidas por corrientes parásitas.

La tabla 4.1 ofrece estos datos y las aplicaciones de varias aleaciones magnéticamente blandas. Se puede apreciar que la composición química ejerce una influencia importante sobre las propiedades magnéticas.

Tabla 4.1
PROPIEDADES DE VARIOS METALES Y ALEACIONES MAGNÉTICAMENTE BLANDOS

Material	$(H-H)_{sat}$, inducción de saturación, gauss/cm	μ , permeabilidad		H_c , inducción remanente, gauss/cm	H_{cr} , línea crítica de coexistencia*	Medida por histéresis en un ciclo [†]	Pérdidas totales de núcleos, vatios/h 60 ciclos, 10.000 gauss, chapa de 0,35 mm)	Hie- bilidad, ohm-cm	Aplicaciones (Ejemplos)
		inicial	máxima						
Puro (Fe 99,99%)	21.600	4.000	100.000	8.000	0,05	150	---	10×10^{-6}	
Lingote de hierro (Fe 99,9%)	21.600	250	7.000	11.000	1,0	5.000	---	11×10^{-6}	
Aceero al silicio, 1%	21.600	300}	6.000	9.000	0,9	---	1,2	30×10^{-6}	Pequeños motores CA
Aceero al silicio, 2,5%	20.500	900}	6.000	8.000	0,8	---	1,0	40×10^{-6}	Motores de inducción
Aceero al silicio, 4,25%	19.500	1.500}	9.000	7.000	0,4	3.500	0,80	60×10^{-6}	Transformadores de energía
Aceero al silicio, 3% (de grano orientado)	---	7.500}	40.000	---	0,15	750	0,4	67×10^{-6}	Transformadores de energía
Supermalloy Ni 79%, Fe 16%, Mo 5%	7.000	100.000	1.000.000	5.000	0,002	8	---	60×10^{-6}	Transformadores telefónicos
Hypemik Ni 50%, Fe 50%	16.000	4.500	100.000	8.000	0,05	100	---	80×10^{-6}	Transformadores de radio
Permalvar Ni 45%, Co 25%, Fe 30%	15.500	400	2.000	6.000	1,2	2.500	---	19×10^{-6}	(Permeabilidad constante a campos bajos)

* Determinado para la inducción de saturación $(H-H)_{sat}$.

† Determinado para $B = 100$, en vez de hacerlo para $B = 0$.

4.2.3.- Calor específico.-

En algunas aplicaciones lo esencial es que con una pequeña cantidad de calor aplicada a un cuerpo éste sufra un apreciable incremento de temperatura (caso del tostador eléctrico); en otras, por el contrario es importante que suceda exactamente lo contrario.

Ahora bien, las sustancias difieren unas de las otras en la cantidad de calor que se necesita para producir una elevación de temperatura dada a una masa determinada. La relación de la cantidad de calor ΔQ (incremento de calor) aplicada a un cuerpo a su correspondiente elevación de temperatura ΔT (incremento de temperatura), se llama capacidad calorífica del cuerpo, ésto es:

$$C = \text{capacidad calorífica} = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

La palabra "capacidad" puede ser engañosa porque sugiere la afirmación esencialmente sin sentido de "la cantidad de calor que puede contener un cuerpo" siendo en realidad que lo que se trata de dar a entender es simplemente la cantidad de calor suministrada por -- unidad de elevación de temperatura.

La capacidad calorífica de un cuerpo por unidad de masa, llamada calor específico, es característica del material de que está compuesto el cuerpo:

$$c = \frac{\text{capacidad calorífica}}{\text{masa}} = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

Correctamente se habla, por una parte, de la capacidad calorífica de una moneda pero, por otra parte, del calor específico del cobre.

Ni la capacidad calorífica de un cuerpo ni el calor específico de un material es constante, sino que depende del intervalo de temperaturas en que se realice el análisis.

En forma general, la cantidad de calor que debe proporcionarse a un cuerpo de masa m , cuyo material tiene una capacidad calorífica específica c , para elevar su temperatura de T_i a T_f es:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$

siendo c función de la temperatura. A temperaturas ordinarias y en intervalos de temperatura ordinarios, los calores específicos se pueden considerar como constantes.

Las ecuaciones anteriores no definen el calor específico en forma única. Debemos especificar también las condiciones bajo las cuales se agrega el calor ΔQ al material. Tratándose como en el presente caso, que son en forma exclusiva metales, se da por hecho -- que son bajo presión atmosférica normal, aunque tratándose de -- otros elementos pueden ser a volumen constante, etc.

En la tabla 4.2 se dan los calores de c_p a presión atmosférica (c_p) de algunos metales.

Tabla 4.2.-Valores de c_p para los principales metales

Metal	c_p (w/kg $^{\circ}$ K)
Aluminio (puro)	896
Duraluminio	883
Hierro (puro)	452
Acero	470
Fundición de hierro	420
Plomo	130
Cobre (puro)	383
Bronce	343
Latón rojo	385
Magnesio	1000
Níquel	445
Plata	234
Cinc	384
Estaño	226

Valores obtenidos a una temperatura de 20°C.

4.2.4.- Conductividad térmica.-

Sin lugar a dudas esta es una de las propiedades más importantes de los metales. Un ejemplo de ello son las paredes de las camisas de enfriamiento de los motores de combustión interna.

De otra manera, la transmisión de energía calorífica que proviene de la diferencia de temperatura entre las partes adyacentes de un cuerpo se llama conducción del calor.

Para ejemplificar lo anterior, a continuación se considera el caso de una pared de material cuya sección transversal es A y su espesor Δx , en la que sus caras se mantienen a temperaturas diferentes tal como se puede apreciar en la Fig. 4.2. Se mide la cantidad de calor ΔQ que fluye perpendicularmente a las caras durante un tiempo Δt .

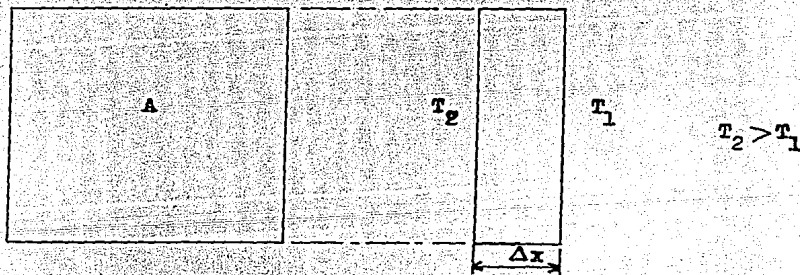


Fig. 4.2 pared de área A expuesta a una diferencia de temperaturas.

Los experimentos demuestran que ΔQ es proporcional Δt a al área A de la sección transversal, para una diferencia de temperaturas ΔT y además ΔQ es proporcional a $\Delta T/\Delta x$ para una Δt dada y una A determinada, con tal que ΔT y Δx sean pequeños, ésto es:

$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{dT}{dx}$$

En esta ecuación, dQ/dt es la rapidez de transmisión de calor a través del área A , dT/dx es el gradiente de temperatura, y K es una constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica.

Si se escoge la dirección del flujo del calor en dirección de la x creciente, como el calor fluye en la dirección de la T decreciente habrá que introducir un signo menos en la ecuación anterior, a fin de que dQ/dt sea positiva cuando dT/dx sea negativa.

Una sustancia que tiene una gran conductividad térmica K es un buen conductor del calor; otra con pequeña conductividad térmica K , es un mal conductor del calor, o un buen aislante térmico. El valor de K depende de la temperatura aumentando ligeramente al elevarse ésta. Pero, se puede considerar como prácticamente constante en toda la extensión de una sustancia si la diferencia de temperaturas entre sus partes no es demasiado grande. Además, tal como la conductividad eléctrica, a medida que se añaden aleantes, la conductividad térmica decae rápidamente, a menudo hasta un valor de únicamente un décimo del metal puro.

En la tabla 4.3 se establecen los valores de K para diversas sustancias. Se puede observar que los metales en conjunto son mejores conductores del calor que los no metales, y que los gases son malos conductores del calor.

Tabla 4.3.-Valores de conductividad térmica para diversos materiales.

Material	K (W/m °K)	Material	K (W/m °K)
Aluminio	204	Cinc	112
Duraluminio	164	Estaño	64
Hierro	73	Agua	0.597
Acero	54	Freón	0.073
Fundición de hierro	52	Glicerina	0.286
Plomo	35	Aceite mineral	0.145
Cobre	386	Aire	0.0262
Bronce	26	Asbestos	0.18
Latón rojo	61	Bakelita	0.232
Magnesio	171	Concreto	0.9
Níquel	90	Hule (duro)	0.151
Plata	419	Vidrio	0.76

Valores obtenidos a una temperatura de 20°C.

4.2.5.- Dilatación térmica.

Los efectos comunes de cambios de temperaturas son cambios de tamaño y cambios de estado de los materiales. Aquí se considerará en forma única los cambios de tamaño sin cambios de estado. Como ejemplo se puede considerar un modelo simple de un sólido cristalino en el que los átomos están colocados en el espacio, en un ordenamiento regular mediante fuerzas de origen eléctrico. Las fuerzas entre los átomos son similares a la que ejercería un conjunto de resortes que unieran los átomos, de manera que se puede imaginar al cuerpo sólido como un colchón de muelles (Fig. 4.3).

Estos "resortes" son muy rígidos y hay aproximadamente 10^{22} resortes por cada cm^3 . Cuando aumenta la temperatura se incrementa la distancia media entre los átomos. Esto conduce a una dilatación de todo el cuerpo sólido conforme se eleva la temperatura. El cambio de cualquiera de las dimensiones lineales del sólido tales como su longitud, ancho o espesor, se llama dilatación lineal. Si la longitud de esta dimensión lineal es L , el cambio de longitud, producido por una variación de temperatura ΔT , es ΔL . Experimentalmente se encuentra que, si ΔT es suficientemente pequeña, este cambio de longitud ΔL es proporcional al cambio de temperatura ΔT y a la longitud original L , por consiguiente, se puede establecer:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

en la ecuación anterior, α , que se denomina coeficiente de dilatación lineal, tiene diferentes valores. Escribiendo de otra manera esta fórmula obtenemos:

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

o sea que se puede interpretar a α como la fracción de cambio de longitud por cada grado que varía la temperatura.

Estrictamente hablando, el valor de α depende de la temperatura a la que éste el cuerpo y de la temperatura de referencia que se escoge para determinar a L . Sin embargo, su variación ordinariamente es insignificante comparada con la exactitud con que es necesario hacer las mediciones en ingeniería. Con toda confianza se puede tomar como constante para un material dado, independientemente de la temperatura.

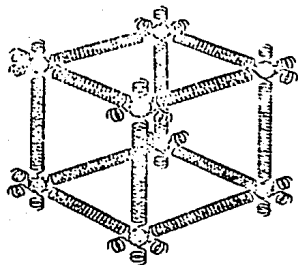


Fig. 4.3.-Un sólido se comporta desde muchos aspectos como si fuera un "colchón de muelles" microscópico, en el cual las moléculas están sostenidas entre sí mediante fuerzas elásticas.

En la tabla 4.4 se establece una lista de los valores experimentales del coeficiente medio de dilatación lineal de algunos sólidos comunes. Para todas las sustancias que se encuentran en la lista, el cambio de tamaño consiste en una dilatación al elevarse la temperatura, porque es positivo.

Tabla 4.4.- Algunos valores de α .

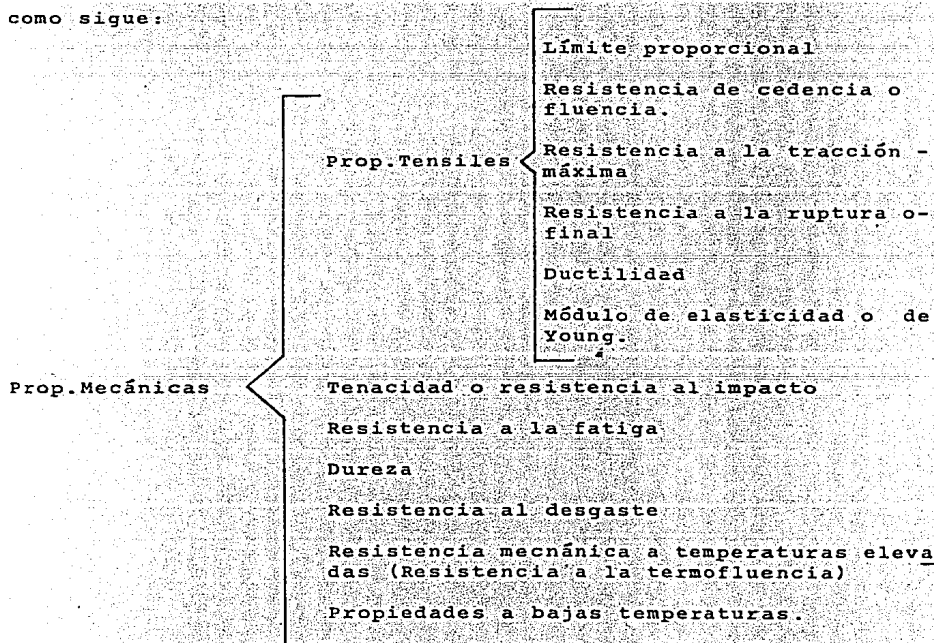
Material	(por $^{\circ}\text{C}$)	Sustancia	(por $^{\circ}\text{C}$)
Aluminio	23×10^{-6}	Estaño	23×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}	Níquel	13.3×10^{-6}
Latón	19×10^{-6}	Cinc	39.7×10^{-6}
Hierro	11.7×10^{-6}	Titanio	8.4×10^{-6}
Acero	11×10^{-6}	Platino	8.9×10^{-6}
Magnesio	27.1×10^{-6}	Invar	0.7×10^{-6}
Oro	14.2×10^{-6}	Goma dura	80×10^{-6}
Plomo	29×10^{-6}	Vidrio (Pyrex)	3.2×10^{-6}
Hielo	51×10^{-6}	Vidrio ordinario	9×10^{-6}

Valores obtenidos entre los límites de 0 y 100°C ; excepto -10 y 0°C para el hielo.

4.3.- Propiedades mecánicas.-

Sin lugar a dudas, uno de los aspectos más importantes a considerar al diseñar o al rediseñar una máquina, son los esfuerzos a los que va a estar sometida cada una de las piezas que lo conforman, por lo tanto, es de suma importancia definir el comportamiento de cada material bajo condiciones de cargas o esfuerzos.

A las características propias de cada material se les conoce comúnmente como propiedades mecánicas, y se les puede clasificar como sigue:



Si bien es cierto, que dichas propiedades van a variar aún en materiales con la misma composición, éstas proporcionan al ingeniero una idea general del comportamiento del material bajo ciertas

condiciones de esfuerzos y temperatura.

4.3.1.- Propiedades Tensiles.-

Tradicionalmente, para el estudio de las propiedades mecánicas se utilizan los datos obtenidos experimentalmente y tabulados en la llamada curva esfuerzo-deformación; comunmente, éste diagrama se traza para muestras normalizadas (establecidas en Normas) sometidas a fuerzas de tracción, por lo que se puede definir al esfuerzo y a la deformación como sigue:

El esfuerzo S va a ser igual a:

$$S = \frac{F}{A}$$

Donde;

F = Fuerza de tensión aplicada a la probeta

A = Sección transversal de la muestra o probeta.

Y la deformación ϵ va a ser igual a:

$$\epsilon = \frac{L_n - L_o}{L_o}$$

Donde:

L_n = Longitud de la probeta para cada valor del esfuerzo aplicado.

L_o = Longitud inicial de la probeta.

En la fig. 4.4 se muestra un diagrama de deformaciones para un acero dúctil. El esfuerzo en etapas de 70 Kg/cm^2 (1000 psi) se indica en el eje vertical (ordenada de la gráfica). La deformación en cada punto de 70 Kg/cm^2 de esfuerzo se indica en el eje horizontal (abcisa) de la gráfica.

Cabe mencionar que no todas las fuerzas a las que va a estar sometido el elemento de una máquina van a ser de tracción, pueden ser también de compresión, torsión, flexión ó una combinación de ellas, sin embargo existen fórmulas y relaciones que hacen que la resistencia a la tracción sea la más útil para relacionar a las demás.

De la curva esfuerzo-deformación se puede determinar lo siguiente:

Límite proporcional.- Es el punto en el cual la deformación ya no es proporcional a la carga. De las Figs. 4.4 y 4.5, vemos que corresponde a las rectas OP. Es decir, a lo largo de dicha recta los materiales tienen un comportamiento elástico, lo cual quiere decir que no hay deformación permanente observable, por tanto, cuando se deja de aplicar la carga, el material en teoría vuelve a su condición original. Esto se denomina Ley de la Elasticidad de Hooke o simplemente Ley de Hooke.

Si se sigue aplicando carga a la probeta se llega a lo que se denomina punto de cedencia o de fluencia.

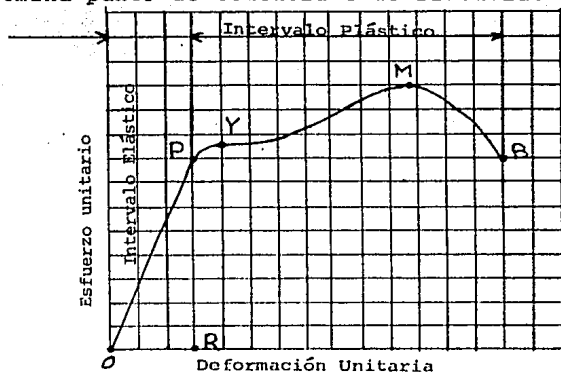


Fig. 4.4.- Gráfica Esfuerzo-deformación para un acero dúctil.

Conforme la carga aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un esfuerzo al cual el material continua deformandose sin que haya incremento de la carga. El esfuerzo en el punto Y de la Fig. 4.4, se conoce como punto de cedencia ó fluencia. Este fenómeno sólo ocurre en ciertos materiales dúctiles. El esfuerzo puede disminuir, realmente por un momento, resultando en un punto de cedencia superior y en uno inferior. Como el punto de cedencia es relativamente fácil de determinar y la deformación es pequeña hasta el punto de cedencia, se toma el esfuerzo aplicado en este punto como resistencia de cedencia o fluencia del material ensayado, y, ésto constituye un valor importante en el diseño de muchas partes de maquinaria, cuya utilidad se afectaría si ocurriera una gran deformación permanente. Esto es válido para materiales que exhiban un punto de cedencia bien definido.

Ahora bien, la mayoría de los metales no ferrosos y aceros de alta resistencia, no tienen un punto de cedencia definido, entonces para hallar la resistencia a la cedencia se usa el método de la "deformación permanente especificada" y se determina de la siguiente manera:

En la Fig. 4.5, la deformación especificada ox se marca sobre el eje de la deformación; a continuación, se traza la línea xw paralela a OP , localizando de esta manera el punto Y en la intersección de la línea xw con el diagrama esfuerzo deformación. El valor de la deformación permanente especificada esta generalmente entre 0.10 y 0.20% de la longitud calibrada.

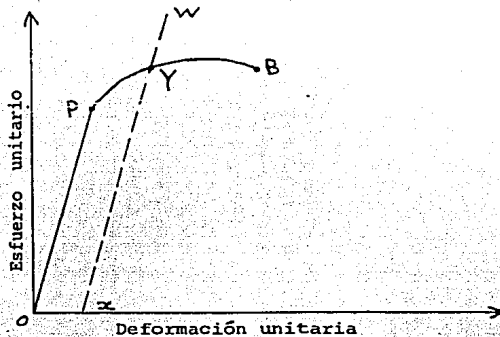


Fig. 4.5.-Gráfica esfuerzo-deformación para un material frágil.

Resistencia límite a la tracción o resistencia final.- Conforme aumenta la carga aplicada sobre la probeta, el esfuerzo y la deformación se incrementan, como lo indica la porción de la curva YM (fig. 4.4) para un material dúctil, hasta que se alcanza el esfuerzo máximo en el punto M, por tanto, la resistencia límite o la resistencia a la 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. 4.5), en tanto que el material dúctil continuará alargándose.

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 de cuello es una deformación no uniforme y ocu--

rre rápidamente hasta el punto en que falla el material. La resistencia a la ruptura, punto B, Fig. 4.4, se determina al dividir la carga de ruptura entre el área transversal original y es siempre menor que la resistencia límite. Para un material frágil, la resistencia límite y la resistencia de ruptura coinciden.

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

La elongación se determina juntando, después de la fractura, las partes de la muestra y midiendo la distancia entre las marcas -- puestas en la probeta antes de la prueba.

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

Donde:

L_f = longitud final de la probeta

L_o = Longitud inicial de la probeta, generalmente 2 plg. (50 mm).

Es importante que 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.

A la reducción de área también se le conoce como estricción y -- también se determina a partir de las mitades rotas de la probeta sometida a la prueba de tensión, midiendo para ello el área --

transversal mínima y con la fórmula:

$$(\%) \text{ Reducción de área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

Donde:

A_o = Area transversal original

A_f = Area transversal final.

Se puede considerar dúctil un material si puede sufrir una deformación plástica (deformación permanente) de más del 6% sin fracturarse. Módulo de elasticidad o módulo de Young. - Se sabe que la ecuación de una recta que pasa por el origen es $y = mx$, si se considera la porción recta de la curva esfuerzo-deformación de la Fig. 4.5, se puede decir que si el eje "y" es el esfuerzo y "x" es la deformación entonces m es la pendiente de la recta; si se despeja ésta de la ecuación tenemos que m 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 en el punto 0 (Fig. 4.5) que es igual a y/x ó esfuerzo/deformación. La pendiente es realmente la constante de proporcionalidad entre esfuerzo y deformación cuando está abajo del límite de proporcionalidad y se conoce como módulo de elasticidad o módulo de Young.

Se recordará que el módulo de Young interviene en la Ley de Hooke

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

relacionando la deformación con el esfuerzo.

El orden de tamaño de los valores del módulo de Young de las

aleaciones comerciales se da en la tabla 4.5 y se aprecia que cu
bren un amplio intervalo.

Tabla 4.5.-
PROPIEDADES ELÁSTICAS DE ALGUNOS METALES
Y ALEACIONES POLICRISTALINOS

Material	Módulo de Young E a 20°C (68°F)		Coeficiente de temperatura dE/dT en el intervalo 0-100°C	
	lb./pulg. ²	kg./mm ²	lb./pulg. ² /°C	kg./mm ² /°C
Aluminio	10 × 10 ⁶	7 × 10 ³	-4,4 × 10 ³	-3,1
Berilio	37 × 10 ⁶	26 × 10 ³	-5,8 × 10 ³	-4
Cobalto	30 × 10 ⁶	21,1 × 10 ³	-7,4 × 10 ³	-5,2
Cobre	16 × 10 ⁶	11,2 × 10 ³	-5,5 × 10 ³	-3,3
Hierro	30 × 10 ⁶	21,1 × 10 ³	-8,0 × 10 ³	-5,6
Plomo	2,6 × 10 ⁶	1,8 × 10 ³	-3,7 × 10 ³	-1,9
Magnesio	6,3 × 10 ⁶	4,4 × 10 ³	-2,6 × 10 ³	-1,8
Molibdeno	47 × 10 ⁶	33 × 10 ³	-6,3 × 10 ³	-4,4
Níquel	30 × 10 ⁶	21,1 × 10 ³	-10 × 10 ³	-7
Osmio	80 × 10 ⁶	56,2 × 10 ³	—	—
Titanio	15 × 10 ⁶	10,5 × 10 ³	-10 × 10 ³	-7
Volframo	60 × 10 ⁶	42,2 × 10 ³	-8,0 × 10 ³	-4,2
Carbono-interizado (WC 94%, Co 6%)	100 × 10 ⁶	70,3 × 10 ³	-4,7 × 10 ³	-3,3
Elivar Ni 36%, Cr 3% - W, el resto Fe	24 × 10 ⁶ límite de fluencia: 65.000	16,8 × 10 ³ 45,7	0	
Invar Ni 36%, el resto Fe	21 × 10 ⁶ límite de fluencia: 50.000	14,7 × 10 ³ 35,1	+10 × 10 ³	
Ni-Si-Mn-C (Ni 42%, Cr 5,5%, Ti 2,5%, el resto Fe)	27 × 10 ⁶ límite de fluencia: 150.000	19 × 10 ³ 126,5	0	

En algunas aplicaciones, como en el caso de aeroplanos o naves -
espaciales, en los que la ligereza o poco peso de los materiales
aplicados es importante, en el factor de diseño apropiado inter-
viene la densidad del material.

$$\text{Rigidez específica} = \frac{\text{Módulo de Young}}{\text{Densidad}} = \frac{E}{\rho}$$

En la tabla 4.6 se dan los valores de rigidez específica para al-
gunos metales importantes.

Tabla 4.6.-

COMPARACIONES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ

MATERIAL	En unidades inglesas		En unidades métricas	
	$\frac{s_u}{\rho} \left(\frac{\text{ksi}}{\text{lb/pulg}^3} \right)$	$\frac{E \times 10^{-6}}{\rho} \left(\frac{\text{ksi}}{\text{lb/pulg}^3} \right)$	$\frac{s_u}{\rho} \left(\frac{\text{kg cm}^2}{\text{kg dm}^3} \right)$	$\frac{E \times 10^{-11}}{\rho} \left(\frac{\text{kg cm}^2}{\text{kg dm}^3} \right)$
Magnesio (AZ61 A-F extruido)	693	100	1737	253
Aluminio (2024-T4)	694	108	1739	274
Acero C1020, recocido	200	105	507	266
Acero 9255, OQT 1000	635	105	1610	266
Fundición de hierro gris, ASTM 40	150	61	380	155
Acero inoxidable 303, recocido	314	98	796	248
Bronce de aluminio (B148, fundido)	290	62	736	157
Bronce amarillo, 1/2 duro	200	49	507	124
Titanio (B265, duro)	1060	94	2686	238

No se conoce ningún método para incrementar de forma apreciable el Módulo de Young de un material dado, pues E sólo varía sensiblemente en presencia de texturas o modificando mucho la composición.

El aumento de la temperatura de trabajo también tiende a disminuir el Módulo de Young, como se muestra en la Fig. 4.6. Este efecto de la temperatura puede ser de importancia en dispositivos como los manómetros de Bourdon y en los muelles de precisión. En estos casos, se utilizan aleaciones especiales con coeficientes de temperatura dE/dT pequeños, por ejemplo de los tipos Elinvar y Ni-Span-C (tabla 4.5).

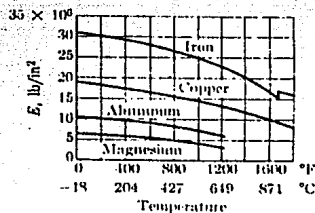


Fig. 4.6.- Efecto de la temperatura sobre el módulo de Young.

La magnitud de la variación del Módulo de Young con la temperatura en el hierro, se ilustra mediante el ejemplo siguiente: entre 0 y 100°C (32 y 212°F) el módulo de Young disminuye en:

$$100 \times -\frac{dE}{dT} = 100 \times 5.6 = 560 \text{ Kg/mm}^2$$

Mientras que los valores de las aleaciones Elinvar y Ni-Span-C son esencialmente constantes en éste intervalo de temperaturas.

Esfuerzo-deformación real o 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 de longitud entre la longitud inmediatamente precedente.

El diagrama esfuerzo-deformación real (Fig. 4.7) da información útil concerniente al flujo plástico y la fractura de los metales

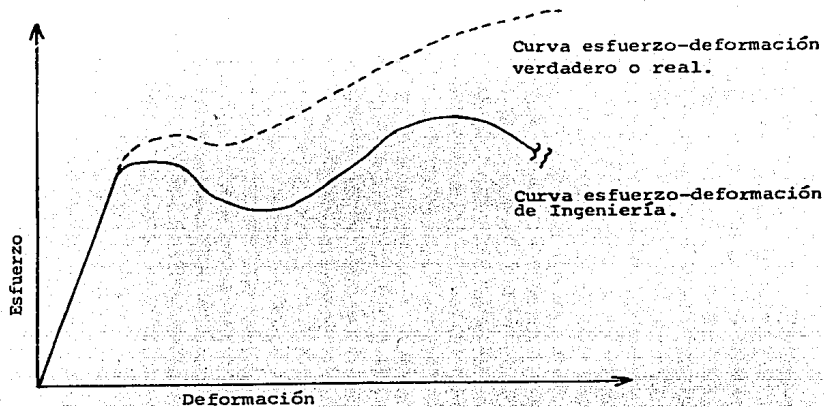


Fig.4.7.- Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo deformación con convencionales (ingenieril) para un acero dúctil.

4.3.2.- Tenacidad o resistencia al impacto.-

También se le conoce como resiliencia, la tenacidad de un material puede obtenerse calculando el área bajo el diagrama esfuerzo-deformación (área OPR, Fig. 4.4.), es decir, una medida de la energía por unidad de volumen que puede absorber el material sin sufrir deformación permanente. Sin embargo, en las pruebas comunes de impacto lo que se obtiene es una tenacidad relativa, por lo tanto, tenacidad es la capacidad de un material para soportar una carga de impacto o choque sin romperse.

Las pruebas comunes que son las pruebas de Charpy y la de Izod, aunque no son medidas absolutas, dan bases para evaluar la tenacidad.

Antiguamente se tomaba como medida de tenacidad la energía necesaria para escindir en dos una probeta normalizada sometida a --

tracción, pero esta cantidad no es representativa a causa del efecto del trabajo en frío de la probeta durante el ensaye a baja velocidad.

Un metal puede ser muy duro (y por lo tanto, probablemente, muy resistente, ésto es, tener una resistencia a la tracción muy elevada) y, no obstante, no ser adecuado para aplicaciones en las que esté sometido a impactos muy intensos. Las unidades comunes son lb-plg y Joules y kg-m.

4.3.3.- Dureza.- La dureza de un material es una medida de su resistencia a la indentación o penetración localizada, y constituye una de las propiedades más importantes a causa que, correctamente interpretada, da información acerca de la condición o estado del metal. Las escalas más comunes son la Brinell, Rockwell, Vickers y la Shore. Los números asignados a los grados de dureza, o índice de dureza, aumentan con ésta.

En la fig. 4.8 se muestra la correlación entre las diferentes escalas.

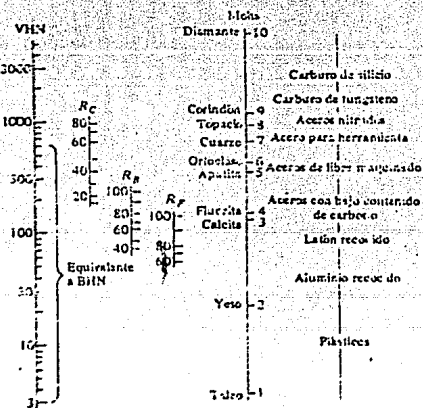


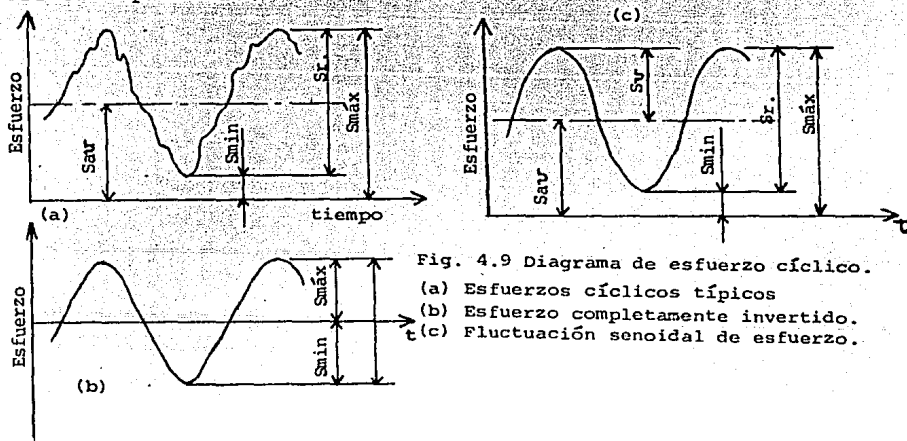
Fig. 4.8 Interrelación de diferentes escalas de dureza (Las lecturas de los carburos se obtuvieron con indentaciones especiales)

4.3.4.- Resistencia a la Fatiga.-

Resistencia a la fatiga es la reacción favorable de un material a cargas aplicadas más de una vez, es decir, el límite de fluencia es una base apropiada para los diseños en los que hay implicadas cargas estáticas, pero para cargas que se aplican y se retiran repetidamente se precisa una medida diferente de la resistencia.

Las partes componentes tales como cigueñales, bielas, engranes, resortes y bastidores están sujetas a esfuerzos combinados así como esfuerzos repetidos en ciclos.

Un registro del esfuerzo, en algún punto de una parte de máquina trazado en combinación con el tiempo en un diagrama, se verá muy similar a la curva en la Fig. 4.9a. Aún cuando esta curva es puramente un producto de nuestra imaginación podemos estar seguros que el esfuerzo cíclico real, cualquiera que éste sea, se repetirá. Para propósitos de análisis podemos decir que el esfuerzo que fluctúa consiste de varios esfuerzos sobrepuestos sobre un esfuerzo promedio.



A fin de estudiar el comportamiento de los materiales bajo cargas cíclicas, los ingenieros usan una máquina de prueba de fatiga que imparte una carga senoidal a la probeta y da un diagrama esfuerzo-tiempo, como se muestra en la Fig. 4.9b. Esto se hace colocando una carga flexionante de una sola dirección sobre una flecha giratoria.

El esfuerzo en la flecha fluctuará entonces entre los valores -- iguales de tensión y compresión mientras que la flecha está girando.

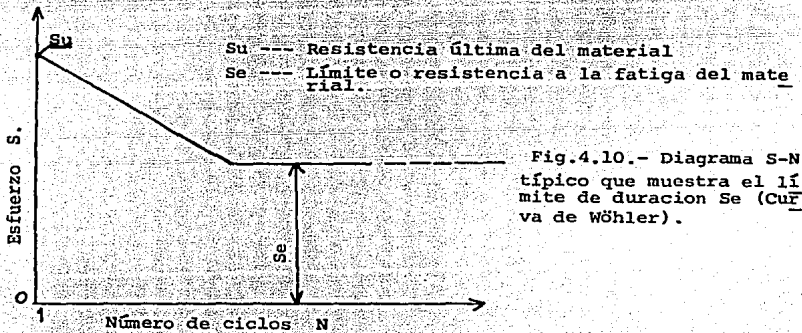
Existen medios apropiados para usar los resultados de estas pruebas completamente invertidas a fin de sintetizar un ciclo de esfuerzo tal como se indica en la Fig. 4.9c.

El esfuerzo máximo S_{max} y el rango de esfuerzo $S_r = S_{max} - S_{min}$ puede ajustarse de tal manera que el material no vaya a fallar -- bajo carga cíclica.

Supóngase que la viga giratoria que se está probando fue cargada de tal manera que el esfuerzo estaba muy próximo al punto de cendencia del material. Se encontrará que con un esfuerzo de esta magnitud bastarán relativamente pocos ciclos para causar la falla.

Sin embargo, si otra probeta se probará con un esfuerzo más bajo encontraríamos que el número de ciclos necesario para romper la probeta aumentaría considerablemente.

Una curva característica del esfuerzo S contra el número de ciclos N (curva de Wöhler) para un material dúctil se muestra en la Fig. 4.10, de ahí se puede ver que si el esfuerzo se mantiene abajo de un cierto valor S_e , llamado límite de duración o resistencia a la fatiga, el número de ciclos puede aumentarse indefinidamente sin causar falla. Se supuso originalmente que el diagrama S-N en realidad no llegaba a hacerse horizontal sino que



simplemente llegaba a ser lo suficientemente plano para todos los propósitos prácticos. Sin embargo, investigaciones continuadas durante muchos años han convencido a los ingenieros que existe un límite de duración y que si el esfuerzo se mantiene debajo de él no ocurrirá la falla por fatiga. Para fines prácticos, se puede relacionar con la resistencia a la tensión de la siguiente forma:

a) Relación en ciclos de flexión:

$$\text{Para el acero: } S_e = 0.5 S_u$$

$$\text{Para el hierro fundido: } S_e = 0.4 S_u$$

$$\text{Para los metales y aleaciones no ferrosas: } S_e = 0.3 S_u$$

b) Esfuerzo cíclico tracción-compresión:

Para el acero: $S_e = 0.425 S_u$

Para el hierro fundido: $S_e = 0.34 S_u$

Para metales y aleaciones no ferrosas: $S_e = 0.255 S_u$

c) Torsión cíclica (límite de duración al corte)

Para el acero: $S_{es} = 0.5 S_e$
 $= 0.25 S_u$

Para el hierro fundido: $S_{es} = 0.8 S_u$

Para metales y aleaciones no ferrosas: $S_{es} = 0.2 S_u$

También es práctico tomar los valores de S_e (límite de duración a flexión invertida) de gráficas como la de la Fig. 4.11

De la misma figura se puede observar que los metales no ferrosos no poseen un límite de duración, pero sí deben usarse bajo condiciones cíclicas, la duración de fatiga debe ser el criterio a seguir.

Los efectos de variaciones y rangos en propiedades mecánicas, -- composición química, microestructura y macroestructura en esfuerzos cíclicos han sido estudiados por su posible influencia en la selección principalmente de aceros para obtener requerimientos -- específicos. Tales estudios han mostrado como ya se vió que la resistencia a la fatiga está usualmente en proporción a el es---fuerzo a la tensión.

§ 4] GRÁFICO DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA

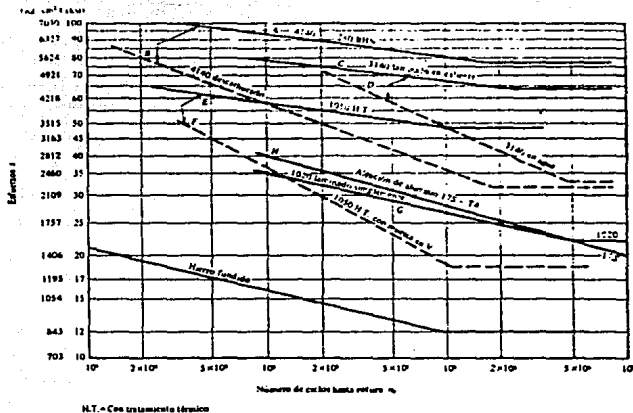


Fig. 4.9] Curvas típicas *S-N*. Las líneas continuas son las típicas correspondientes a la probabilidad del 50 % para probetas normalizadas pulidas en ensayos de viga giratoria; las curvas de trazos corresponden a probetas pulidas pero con alguna desviación; una muestra, en agua y descarburada. Las partes horizontales de las curvas representan los límites de fatiga o de endurencia. Se observa la ausencia de parte horizontal para la aleación de aluminio 2017-T4, característica típica de las aleaciones no ferrosas.

Se ve que la probeta SAE 1050 con muesca es más débil que la 1020 laminada y que las partes inclinadas de las curvas de trazos tienden a ser de mayor pendiente que las curvas continuas correspondientes, o sea el efecto de los elementos que producen aumento de esfuerzo es menor para duración finita (§ 4.16) que para duración o vida indefinida. Curvas *A* y *B* para SAE 4140, templado y revenido en aceite (OQT) para 280 Brinell de dureza; *C* y *D* para material 3140 laminado en caliente; *E* y *F* para 1050 templado y revenido a 649° C (1200° F). A pesar de que la capa descarburada correspondiente a la curva *B* era delgada, la probeta quedó sustancialmente debilitada. Aquí no está representado, pero los procesos que dejan un esfuerzo residual de compresión en la superficie, tales como el martillado o el bombardeo con perdigones, dan lugar a menor pendiente (en comparación con las probetas pulidas) para esfuerzos mayores que σ_s . Para un material determinado, estas líneas de pendiente tienden a cortarse en un punto definido aproximadamente por 10^8 a 10^9 ciclos y $0,9\sigma_s$ para el esfuerzo σ_s máximo a tracción.

Sin embargo, esta generalización no es del todo cierta en muchas ocasiones y no es válida sobre amplios rangos del esfuerzo a la tensión. Los métodos de procesamiento, fabricación y técnicas de tratamiento térmico, tratamiento superficial, métodos de acabado y finalmente ambiente de servicio tienen mayores consecuencias en la determinación del comportamiento último de una parte cuando está sujeta a esfuerzos de fatiga.

Por último, y por tener gran importancia es conveniente referirse a la apariencia característica de la fractura, cuando una pieza falla por fatiga y que difiere bastante de la fractura resultante de una simple aplicación de carga. Es importante reconocer este tipo de falla en mantenimiento correctivo, por lo tanto se muestra en la Fig. 4.12.

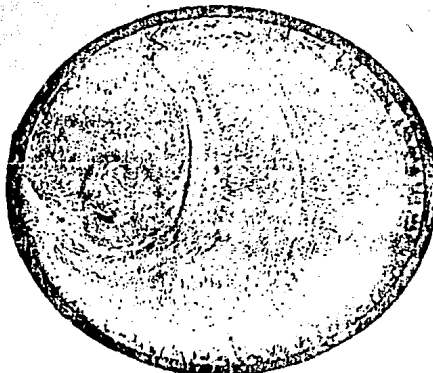


Fig. 4.12.- Apariencia típica de una falla ocurrida por fatiga, en éste caso, se muestra en una flecha de acero NOM 1050 con una dureza cercana a 35 RC.

Ya conociendo la causa de porque el material falló, tal vez es -

posible sustituir el material original por uno con mayor resistencia a la fatiga, de lo cual se podrá esperar una utilización óptima del equipo averiado.

4.3.5.- Resistencia al desgaste.-

El desgaste ocurre por el desplazamiento y el desprendimiento de partículas de la superficie metálica por materiales que se mueven contra ella.

Este proceso puede ser causado por contacto entre un metal y un abrasivo no metálico (abrasión); por contacto entre dos metales (desgaste metálico); o por contacto con fluidos líquidos o gaseosos. Este último tipo se encuentra frecuentemente combinado con alguna forma de corrosión, puesto que el desgaste metálico y la abrasión son menores para considerarla.

Un método de clasificar el desgaste depende de la naturaleza de las superficies en contacto, tal como sigue:

1.- Metal contra no metal o abrasivo

(A) Fricción en deslizamiento

(a) Húmeda.- Boquillas de chorreado con arena húmeda

(b) Seca.- Discos de arado

(B) Fricción en rodamiento

(a) Húmeda.- Bolas y laminadoras de barras

(b) Seca.- Mandíbulas y rodillos de trituradoras.

(C) Impacto de partículas abrasivas

(a) Húmedo.- Propulsores

(b) Seco.- Chorro de arena

2.- Metal contra metal

(A) Fricción en deslizamiento

(a) Lubricada.- Cruceta de cabeza de motores, ejes en cojinetes.

(b) No lubricada.- Zapata de freno contra una rueda.

(B) Fricción en rodamiento

(a) Lubricada.- Cojinete de rodillos, engranes

(C) Metal contra líquidos o vapores.

(a) Vapor húmedo.- Turbinas

(b) Gases de combustión.- Turbinas de gas.

En forma frecuente éstas condiciones de servicio están combinadas, así que si en una aplicación original era metal contra metal puede envolver metal contra no metal o abrasivo por la introducción de partículas abrasivas no metálicas o partículas arrancadas de la superficie original; las fricciones deslizante y en rodamiento están frecuentemente combinadas; también ocurre frecuentemente cuando la lubricación no es la adecuada.

Aunque el mecanismo del desgaste no está completamente aclarado, es probable que en el desgaste de los metales ocurran en cierto grado los procesos siguientes:

- a) Agarre o penetración en la superficie del metal.
- b) Deformación del metal.
- c) Corrosión de la superficie.
- d) Calentamiento superficial.

Aún cuando la importancia cualitativa de estos cuatro procesos - puede estimarse muchas veces para un caso determinado, se carece de una teoría cuantitativa de la resistencia al desgaste.

Los problemas de desgaste son resueltos totalmente, o en parte - por la selección apropiada del metal. Los análisis de esfuerzos y la investigación de laboratorio en forma normal sólo da una solución parcial y pocas veces da soluciones totales problemas de desgaste.

Frecuentemente, un metal es seleccionado por pruebas, dentro de un experimento o parte en servicio, incorporado a un mecanismo - en operación y observado para una tasa de desgaste. Si se observa un rendimiento superior en un intervalo de servicio semejante, la parte puede ser incorporada a modelos en producción y colocarla en servicio extensivo bajo más condiciones variables, así las observaciones hechas pueden ser recopiladas sobre su límite de - duración y facilidad de sustitución.

4.3.6.- Resistencia mecánica a temperaturas elevadas.-

En muchas aplicaciones las altas temperaturas de operación imponen severos problemas de selección de materiales, como por ejemplo en calderas, turbinas, componentes de reactores nucleares, - etc.

La influencia de las altas temperaturas en el comportamiento de los metales la podemos dividir en tres categorías:

- a) Pérdida de resistencia mecánica, lo que se conoce como alabeo o combadura de plato.
- b) Cambios de estructura, ejemplificados por la recuperación de metales trabajados en frío.
- c) Deterioro del metal, o sea la oxidación de éste a altas temperaturas.

Todo material empieza a perder resistencia rápidamente a cierta temperatura; cuando la temperatura aumenta, la deformación deja de ser elástica para ser de tipo plástico. Cuando intervienen las deformaciones plásticas, el criterio para el proyecto a una temperatura particular de trabajo es la resistencia a la fluencia plástica o termofluencia (creep) en un intervalo determinado de tiempo. La termofluencia origina una deformación permanente y, para un material y esfuerzo dados, esta deformación en un determinado lapso es mayor a una temperatura elevada que a una temperatura más baja. Naturalmente cuando tengan que ser mantenidas constantes las dimensiones no puede ser tolerada la fluencia plástica, pero may muchos casos en que un pequeño cambio permanente tiene un efecto despreciable.

La termofluencia es atribuida a los siguientes tres procesos de deformación que ocurren a temperaturas elevadas:

- Deslizamiento de planos
- Formación de subgranos
- Deslizamiento en los límites de grano.

La fluencia plástica es comúnmente evaluada por medición de la extensión de una probeta sujeta a una tensión constante y a una temperatura elevada. Una curva típica se muestra en la Fig.4.13 en la cual la pendiente ($d\epsilon/dt$) es referida como tasa de fluencia plástica.

Se puede observar que después de una rápida elongación inicial de la probeta, en la segunda etapa, las tasas de fluencia plástica tienen esencialmente un valor constante, en la tercera etapa, la tasa de fluencia plástica se incrementa rápidamente y termina en la fractura de la probeta.

Actualmente, los métodos teóricos no están suficientemente avanzados para poder predecir exactamente el comportamiento de la termofluencia para propósitos de diseño.

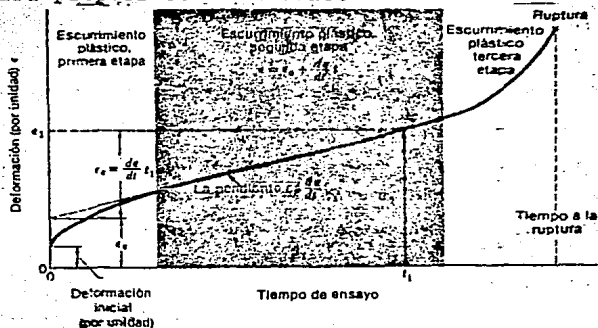


Fig. 4.13.- Curva idealizada de fluencia plástica a temperatura y esfuerzo constantes, que muestra la naturaleza de la segunda etapa de fluencia plástica (constante). La deformación total ϵ_1 se produce por la fluencia plástica durante el tiempo t_1 .

Sin embargo, hay disponibles en la literatura técnica un número considerable de tablas con datos de pruebas de deformación plástica que pueden ser empleadas con ventajas. Una manera común de -

presentar los datos de termofluencia es por trazado en escala logarítmica del esfuerzo contra la mínima tasa de fluencia plástica (Fig. 4.14).

Con estas curvas el proyectista puede determinar la resistencia de fluencia plástica del material.

La resistencia de fluencia plástica es la del esfuerzo que produce una rapidez de deformación plástica de 0.0001% por hora.

Matemáticamente esto es lo mismo que 1% en 10000 horas, pero -- ello no significa que el material pueda soportar este régimen durante 10000 horas sin rotura, a no ser que otros datos puedan -- ser usados para deducir lo contrario.

Debido al tiempo que es necesario invertir para efectuar un experimento (10000 h=1.13 años), los datos de ensaye se encuentran en forma frecuente para 1000 horas y menos, si hay que proyectar para 10-20 años, o una vida más larga con un material del que no se dispongan los datos de dicha vida, lo único que se puede hacer es extrapolar animosa e intrépidamente los mismos.

Otro criterio importante de diseño es la resistencia de ruptura, la cual es definida como el esfuerzo a una temperatura de operación para producir una vida especificada para la rotura, tal como 1000 h, 10000 h 10 años ó 20 años

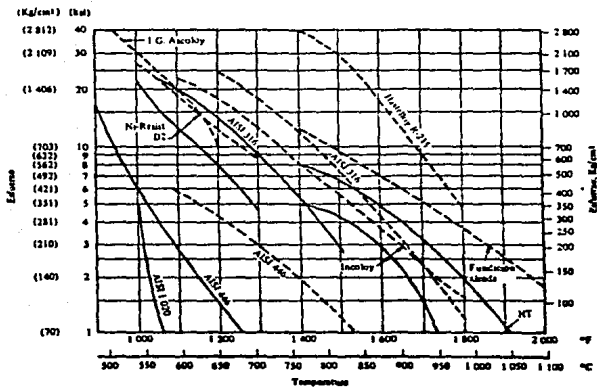


Fig. 4.14.-Resistencia al escurrimiento plástico y esfuerzo de rotura. Las curvas continuas dan la resistencia al escurrimiento plástico para una rapidez de 0,1 % en 1000 horas a cada temperatura. Las curvas de trazos dan la resistencia de rotura a cada temperatura. La aleación --fundida HT de hierro tiene nominalmente 35% Ni y 15% Cr; Incoloy es una aleación de hierro con 32% Ni y 20,5% Cr, principalmente; Ni-Resist D2 es hierro fundido dúctil con 20% Ni y 2% Cr, tratado con Mg para producir el grafito esférico; Greek Ascoloy es acero aleado con 13% Cr, 2% Ni y 3% W.

4.3.7.- Resistencia a bajas temperaturas.-

La ciencia y la ingeniería moderna realizan actualmente investigaciones en condiciones extremas de temperatura, tanto elevadas como bajas. Con respecto a las bajas temperaturas implica estudios criogénicos, transporte y empleo de gases licuados, etc.

Prácticamente, todas las aleaciones experimentan un aumento del límite de fluencia, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, dureza, pero a su vez, su tenacidad y ductilidad se ven afectadas cuando se encuentran a bajas temperaturas.

Durante muchos años se mantuvieron en el misterio las causas de fallas por fragilidad de depósitos, tanques, puentes y otras es-

estructuras (cabe mencionar que en nuestro país esto no es muy frecuente sólo en situaciones muy específicas) y hasta hace relativamente poco tiempo han podido ser determinadas sus principales causas mediante pruebas de impacto de Charpy e Izod, es decir, esencialmente fallan por una pérdida de tenacidad.

En forma especial es importante lo que se conoce como temperatura de transición de un material, que es aquella a la cual un material pasa de una fractura dúctil a una frágil repentinamente en pruebas a la tracción. La transición, no tiene lugar a una temperatura particular, sino en un intervalo de temperatura dentro del cual las roturas son parcialmente frágiles y parcialmente dúctiles.

En la Fig. 4.15 se muestra este comportamiento en el níquel y en dos tipos de acero. Se ha observado, que todos los metales y aleaciones que tienen una estructura cúbica centrada en las caras parecen mantener su ductilidad sin daño sensible a temperaturas muy bajas (-240°C , -400°F).

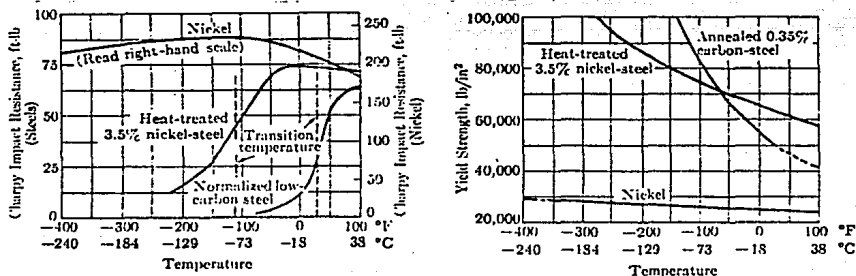


Fig. 4.15.-Efecto de las bajas temperaturas sobre la resistencia al impacto y el límite de fluencia de un metal con estructura cúbica de caras centradas (FCC), níquel y de dos aleaciones esencialmente cúbica de cuerpo centrado (BCC).

Sin embargo, los metales o aleaciones de redes cúbicas cuyas caras no están centradas, como por ejemplo, los aceros al carbono experimentan corrientemente una pérdida notable de ductilidad y de resistencia al choque aún a temperaturas sólo moderadamente bajas.

De la Fig. 4.15 se puede observar como desciende la curva de resistencia al impacto en los aceros ensayados a bajas temperaturas, señalando también la temperatura de transición; también se observa que la resistencia al impacto del níquel permanece esencialmente invariable hasta -240°C .

Puesto que el comportamiento dúctil es esencial para un trabajo en servicio satisfactorio en muchas aleaciones, la temperatura de transición elevada de los aceros comunes al carbono les hace inadecuados para ser utilizados bajo condiciones de tensión desfavorables, aún a temperaturas moderadamente bajas. En forma general, es peligroso emplear un material por debajo de su temperatura de transición a causa de que pierde mucha de su capacidad de absorción de energía sin rotura.

Afortunadamente, es posible utilizar estos aceros a temperaturas bajo cero, haciendo descender su temperatura de transición, por ejemplo, por adición de un 4% de Ni, por temple y revenido, por una desoxidación completa o por afinado de grano. La Fig. 4.15 muestra el pronunciado descenso en la temperatura de transición provocado por la combinación del tratamiento térmico y la adición de níquel. La temperatura de transición de los aceros al

níquel, tratados térmicamente, es inferior en más de 56°C a la - de los aceros normalizados.

Se puede concluir que, generalmente, no se utiliza un material - mejor que el necesario para el servicio; por ejemplo, el acero - con 2.5% de Ni es bueno hasta -60°C; el acero con 3.5% de Ni has - ta -101°C; el acero con 5% de Ni hasta -128°C; y el acero con 9% - de Ni hasta -196°C.

4.4.- Resistencia a la corrosión y a la oxidación.-

4.4.1 Resistencia a la corrosión.-

Se puede definir a la corrosión como el deterioro que sufre cual - quier metal al exponerse a un ambiente específico.

La corrosión es fácil advertirla, por ejemplo el herrumbre en -- partes donde se ha desprendido pintura de las carrocerías de au - tos y camiones, una película oscura en artículos de cobre y la - tón, un polvo blanquizo en partes de aluminio y así sería infi - nita la lista donde la corrosión tiene sus más perjudiciales - - efectos.

Se puede clasificar el deterioro del metal por el mecanismo del - proceso mediante el cual se lleva a cabo, tal como sigue:

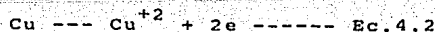
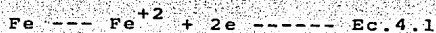
- a) Corrosión química.- Ocurre por la sollicitación de gases - (corrosión por gas) y de no electrolitos (petróleo y - sus derivados) sobre el metal.

- b) Corrosión electroquímica.- Tiene lugar por la solici-
tación de electrólitos: ácidos, álcalis y sales. Pertene-
cen también a la corrosión electroquímica, la corrosión-
atmosférica y en el suelo.
- c) Oxidación a temperaturas elevadas.- Se distingue por la
formación de una cascarilla cuando se expone el metal a
temperaturas elevadas. Para fines del presente trabajo-
sólo se considerarán los dos últimos tipos de corrosión.

Durante el último medio siglo, la corrosión de los metales se ha
venido aceptando como un fenómeno que es esencialmente electroquí-
mico, especialmente donde el ataque depende de la presencia si-
múltanea de humedad y oxígeno; se puede estudiar mediante la - -
Fig. 4.16 que representa una celda electroquímica o galvánica y-
que consta de:

- Un ánodo (en este caso de hierro)
- Un cátodo (de cobre)
- Una solución acuosa conductora que rodea al ánodo y al cá-
todo.
- Un voltmetro que con ayuda de un conductor une al ánodo y
al cátodo.

Cabe subrayar que cada metal esta sujeto a oxidación de aquí que
las reacciones obrenidas sean las siguientes:



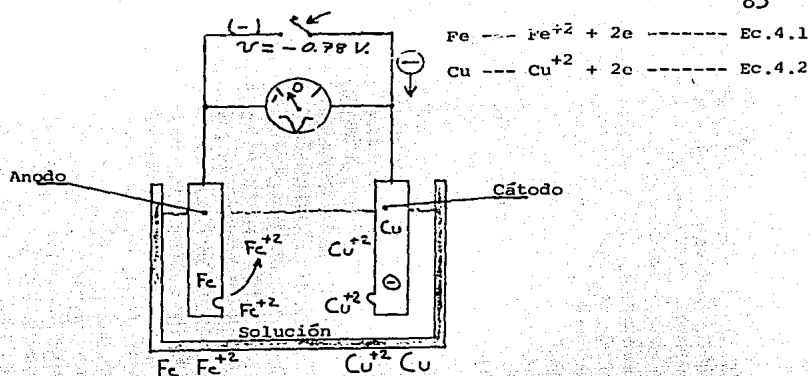


Fig. 4.16.- Procesos electrónicos que intervienen en la corrosión.

Como se indica con las longitudes de las flechas, se puede ver que la reacción del hierro produce un mayor empuje hacia la derecha que la reacción del cobre. Así se conectan los dos metales únicamente a través del voltmetro, se registra una diferencia de voltaje, esta diferencia es de -0.78 V cuando se utiliza un electrolito estandarizado a 25°C .

Esto significa que si la aguja del voltmetro se desvía, los electrones fluirán desde el electrodo de hierro al circuito externo. Con los electrones eliminados del ánodo, la reacción de la Ec. 4.1 progresará hacia la derecha y se oxidará más hierro. Al tiempo que el hierro se corroe, se suministran electrones en exceso al cátodo con respecto al número liberado por la Ec.4.2. Dichos electrones reaccionarán con los iones de cobre que se encuentran libres en el electrolito y la Ec.4.2 se hace reversible para dar como resultado la Ec.4.1, por tanto, la corrosión tiene lugar solamente en un electrodo del par galvánico.

Lo anterior, nos da la base para la constitución de la serie - - electromotriz, es decir los potenciales de electrodo de cada elemento metálico con respecto al potencial del hidrógeno. Esta serie se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7.-
Elementos representativos de la serie electromotriz y una serie galvánica

Serie electromotriz			Serie galvánica en agua de mar	
Electrodo metálico	Potencial estándar a 25 °C, E°, V			
Au Au ³⁺	+1.498			Platino
Pt Pt ²⁺	+1.2			Oro
Ag Ag ⁺	+0.987			Titanio
Cu Cu ²⁺	+0.337	Crecientemente catódico (protegido)		Plata
H ₂ H ⁺	0.000			Acero inoxidable 18-8 (pasivo)
Pb Pb ²⁺	-0.126			Acero inoxidable al cromo [11 a 30 % Cr] (pasivo)
Sn Sn ²⁺	-0.136			"Inconel" (pasivo) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
Ni Ni ²⁺	-0.250			Níquel (pasivo)
Co Co ²⁺	-0.277			Monel (70 Ni, 30 Cu)
Cd Cd ²⁺	-0.403			Bronce (~90 Cu, 10 Sn)
Fe Fe ²⁺	-0.440			Cobre
Cr Cr ³⁺	-0.744			Níquel o "Inconel" (activo)
Zn Zn ²⁺	-0.763			Estaño
Al Al ³⁺	-1.662			Plomo
Mg Mg ²⁺	-2.363			Acero inoxidable 18-8 (activo)
Na Na ⁺	-2.714			Acero
K K ⁺	-2.925			Aluminio 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
		Crecientemente anódico (corroído)		Cadmio
				Aluminio 1100 (99% Al)
				Zinc
				Aleación de magnesio

Tal vez se pueda pensar que los principios químicos no son tan sencillos como se explicó anteriormente, lo cual es cierto, ya que van a existir algunas diferencias en las reacciones del ánodo, del cátodo y del mismo electrólito, cuando varía la naturaleza de este último, es decir, ya sea un álcalis, un ácido o sea neutro. Sin embargo, los fines de este trabajo no buscan profundidad en este aspecto.

Como ya se dijo, el principio de la corrosión esta en la formación de una celda galvánica, en la cual se lleva a cabo la reacción.

Estas celdas galvánicas se pueden clasificar en tres grupos dife

rentes tal como sigue:

- a) Celdas de composición
- b) Celdas de esfuerzo
- c) Celdas de concentración

a) Celdas de composición.- Estas son esencialmente el mismo caso que se dió en la explicación anterior de corrosión, es decir, un ánodo y un cátodo unidos eléctricamente y en un electrólito. Ahora bien, el ánodo va a ser el metal más bajo en la serie electromotriz de la tabla 4.7 y como cátodo en que posea un voltaje más alto.

Por ejemplo, en una lámina galvanizada, el recubrimiento de cinc sirve como ánodo, y el hierro como cátodo, en caso, que ocurran pequeños desprendimientos del recubrimiento, se forma una celda galvánica, pero el cinc se va a destruir, protegiendo al hierro, constituyendo de esta manera lo que se conoce como protección catódica.

b) Celda de esfuerzo.- Considerese un pedazo de solera de hierro con un dobléz en forma de ángulo, tal como se indica en la Fig. 4.17, y se introduzca en un cubo de salmuera, al cabo de un lapso, se podrá observar que en la zona del dobléz ha ocurrido mayor corrosión que en el resto de la pieza. Esto se debe a que como aplicamos trabajo en frío, los granos que se encuentran en el dobléz se encuentran esforzados y que en presencia de un electrólito actúan como ánodo y los que no se encuentran esforzados como cátodo. Esto es importante cuando se emplean piezas --

forjadas en frío en ambientes corrosivos.

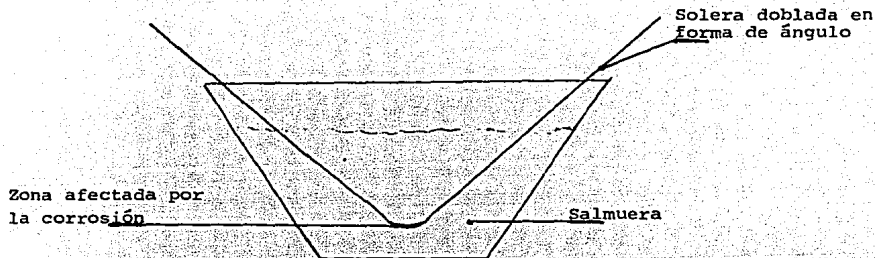


Fig. 4.17.- Representación sencilla de una celda de esfuerzo.

c) Celda de concentración.- Esta celda se forma cuando el electrolito no es homogéneo, esto es, el área expuesta donde la concentración del electrolito es más baja tiende a comportarse como ánodo y el área que se encuentra donde la concentración es mayor, como cátodo, protegiéndose de esta manera y acentuándose la corrosión en el área de más baja concentración. Este tipo de celda solamente es común en plantas químicas y en condiciones especiales de corrosión por flujo. Sin embargo, tienen más importancia las celdas de concentración del tipo de oxidación. Como se dijo anteriormente, cuando el oxígeno del aire tiene contacto con una superficie metálica se promueve la oxidación. Considerando un área que tiene contacto desigual con el aire, la corrosión se acentuará donde la concentración del oxígeno es más baja, puesto que esta parte va a actuar como ánodo. Esta generalización es significativa, la corrosión puede ser acelerada en lugares aparentemente inaccesibles debido a que las áreas deficientes en oxígeno sirven de ánodos, y por ello las grietas o hendiduras sirven como lugares de corrosión.

La corrosión también se acelera bajo la acumulación de la mugre u otras contaminaciones de las superficies (Fig. 4.18). Esto se vuelve frecuentemente una situación autogravante, debido a que la acumulación del óxido o incrustaciones restringe el acceso de oxígeno y establece un ánodo para promover una mayor acumulación. El resultado es una picadura localizada, debido a la corrosión no uniforme (Fig. 4.19), y con ello la vida útil del producto se reduce en una magnitud mayor a la que podría indicar la pérdida de peso (tasa de corrosión).



Figs. 4.18 y 4.19.- Ejemplos claros de celdas de concentración.

Resumiendo, los principales problemas relacionados con la corrosión se pueden clasificar en ocho formas principales y son los siguientes:

1.- Ataque corrosivo uniforme.- Es la forma más común de corrosión, está normalmente caracterizada por una reacción química o electroquímica, la cual actúa uniformemente sobre la pieza expuesta o sobre una gran área. El metal empieza a disolverse y en forma eventual falla. El ataque uniforme, o corrosión uniforme superficial, representa la destrucción más grande del metal - tomando como base el tonelaje.

Esta forma de corrosión, no es sin embargo, de gran importancia desde el punto de vista técnico, porque la vida del equipo puede ser estimada sobre la base de simples pruebas comparativas.

El ataque corrosivo uniforme puede ser prevenido o reducido por:

- a) Selección de metales apropiados, incluyendo recubrimientos.
- b) Inhibidores
- c) Protección catódica

La mayoría de las otras formas de la corrosión, son insidiosas - en naturaleza y son considerablemente más difíciles de predecir. También son localizadas; el ataque está limitado a áreas específicas o partes de una estructura. Como resultado, tenderán a -- causar incertidumbre o fallas prematuras de plantas, máquinas o herramientas.

2.- Corrosión galvánica.- Se sabe que una diferencia de potencial existe entre dos metales diferentes cuando están inmersos en una solución conductora o corrosiva. Si estos metales -- son colocados en contacto (o conectados eléctricamente), esta diferencia de potencial produce un flujo de electrones entre -- ellos. La corrosión del metal menos resistente a ella usualmente se incrementa y la del metal más resistente a ella disminuye, comparandolos con el comportamiento de estos metales cuando no -- están en contacto mutuo; ésto es con respecto a la serie electro -- motriz de la tabla 4.7. Las maneras de evitar o disminuir al mí -- nimo este tipo de corrosión son:

a) Evitar al máximo las uniones directas de dos metales diferentes en atmósferas corrosivas.

b) Usar medios de separación entre ellos (juntas)

c) Usar un tercer metal que sea más anódico que ellos como electrodo de sacrificio, por ejemplo, de magnesio.

3.- Corrosión en grietas o hendiduras.- Corrosión intensa localizada; en forma frecuente ocurre en grietas y otras áreas semicubiertas sobre superficies metálicas expuestas a ambientes corrosivos. Este tipo de ataque está usualmente asociado con pequeños volúmenes de solución estancados causados por agujeros, superficies de juntas, juntas a traslape, depósitos superficiales y hendiduras bajo tuercas y cabezas de remaches. Como consecuencia esta forma corrosiva se denomina corrosión en grietas ó corrosión en juntas. Como se puede ver este tipo de corrosión tiene como base el mecanismo que se vió anteriormente como celda de concentración. Las principales formas de prevención son:

a) Usar juntas o empaques de materiales no absorbentes tal como el teflón, en donde sea posible.

b) Inspeccionar equipos y remover depósitos en forma frecuente.

c) Inspeccionar equipos y remover depósitos en forma frecuente.

c) Soldando hendiduras en juntas a traslape

d) Remover materiales de empaque húmedos durante grandes -- lapsos de no uso.

4.- Corrosión por picadura.- es una forma de ataque extremo localizado y que da como resultado agujeros en el metal. Estos agujeros pueden ser grandes o pequeños en relación a su diámetro, pero en la mayoría de los casos son relativamente pequeños. Las picaduras se encuentran algunas veces aisladas o tan cercanas -- que si se observan parecerán una superficie rugosa. En forma general la picadura puede ser descrita como una cavidad o agujero con un diámetro igual o menor que su profundidad.

La picadura es una de las más insidiosas y destructivas formas de corrosión. Esto causa que el equipo falle por picadura con sólo un pequeño porcentaje de pérdida de peso de la estructura total.

Frecuentemente es difícil detectar la picadura por su reducido tamaño y porque a menudo se encuentran cubiertas con productos de la corrosión.

En suma, es difícil dar una medida cuantitativa y comparar la extensión de la picadura porque las profundidades y números varían aún bajo condiciones idénticas.

Sus medios de prevención son semejantes a los que se usan para prevenir corrosión en hendiduras, además la adición del 2% de mo

libdeno a aceros inoxidable ayuda a controlar la picadura de este material.

5.- Corrosión intergranular.- Los efectos de los límites de grano son pequeños o sin consecuencias en la mayoría de las aplicaciones o uso de los metales. Si un metal se corroe, es un ataque uniforme, entonces los límites de grano usualmente son sólo un poco más reactivos que la matriz. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, los límites de grano son muy reactivos y da como resultado corrosión intergranular. El ataque localizado en los límites de grano con relativamente poca corrosión de los granos es la corrosión intergranular. La aleación se desintegra -- (Los granos se desalinean) y se pierde resistencia.

La corrosión intergranular puede ser causada por impurezas en los límites de grano, enriquecimiento de uno de los elementos de aleación o agotamiento de uno de estos elementos en las áreas de los límites de grano (Fig. 4.20). Pequeños porcentajes de hierro en aluminio, en donde la solubilidad del hierro es baja, ha sido escogido para segregarse en los límites de grano y causar corrosión intergranular.

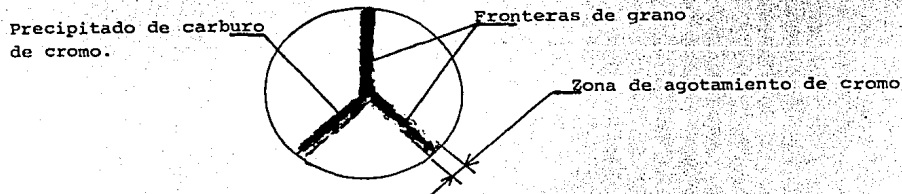


Fig. 4.20.- Croquis de la condición de sensibilización.

Basandose en superficies en tensión, se ha mostrado que el cinc-

contenido en latones se precipita en los límites de grano. El agotamiento de cromo en las regiones de los límites de grano da como resultado corrosión intergranular en los aceros inoxidable --bles. Por ejemplo, si un acero inoxidable se calienta en el intervalo de 500 a 800 °C, el carburo Cr_{23}C_6 se precipita de preferencia en los límites de grano por lo que disminuye así el contenido de cromo en estas regiones; entonces se dice que dicho acero se ha sensibilizado y queda susceptible a corrosión en los límites de grano. Si no puede evitarse el calentamiento (como en los aceros inoxidables que han de soldarse), la sensibilización puede evitarse ya sea manteniendo el contenido de carbono del --acero por debajo de 0.03% o bien aleándolo con niobio o titanio para dejar al carbono como un carburo más estable.

6.- Lixiviación selectiva.- Es la separación de un elemento de una aleación sólida por un proceso de corrosión. El ejemplo más común es la remoción selectiva del cinc en latones, mejor conocida como deszincificación. Procesos similares pueden --ocurrir en otras aleaciones en las cuales, aluminio, hierro, cobalto, cromo y otros elementos son separados. La lixiviación es el término general para describir estos procesos, esto ha creado términos como desaluminificación, descobaltificación, etc.

La deszincificación puede ser minimizada reduciendo la agresividad del ambiente o por protección catódica, pero en la mayoría --de los casos estos métodos no son económicos. En forma usual se usa una aleación menos susceptible. Por ejemplo, el latón rojo (15% Zn) es más resistente.

Cabe m ncionar que en los siguientes tipos de corrosión se ven - también involucrados aspectos de tipo mecánico.

7.- Corrosión-erosión.- Es la aceleración o incremento de - la tasa de deterioro o ataque de un metal por el movimiento rela - tivo entre un fluido corrosivo y una superficie metálica. Gene - ralmente, este movimiento es bastante rápido, y los efectos de - desgaste metálico se ven involucrados. El metal es disuelto de - la superficie como iones disueltos o en formas sólidas de produc - tos de la corrosión, los cuales son mecánicamente arrancadas de - la superficie.

La erosión-Corrosión es caracterizada en apariencia por - - muescas, grietas, ondas, agujeros redondos y valles y usualmente exhiben un patrón direccional. El esquema de la Fig. 4.21 repre - senta corrosión-erosión en el tubo de un intercambiador de calor que manejaba agua. En muchas ocasiones, las fallas ocurren rela - tivamente poco tiempo, y son inesperadas porque las pruebas de - evaluación de corrosión se hicieron bajo condiciones estáticas o porque los efectos de la erosión no fueron considerados.

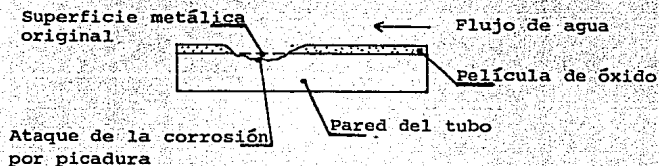


Fig. 4.21.- Corrosión-erosión, en la pared del tubo de un condensador.

La mayoría de los metales y aleaciones son susceptibles a daño -

por este tipo de corrosión. Muchas dependen del desarrollo de una capa superficial de alguna especie (pasividad) para resistencia a la corrosión. Ejemplos, aluminio, plomo y aceros inoxidable. La corrosión-erosión resulta cuando estas superficies protectoras son dañadas o gastadas y el metal o aleación son atacadas a una tasa rápida. Los metales que son suaves y que en forma rápida se daña o se gasta mecánicamente tales como el cobre y el plomo son bastante susceptibles a la corrosión-erosión.

Todos los equipos expuestos a fluidos en movimiento están sujetos a este deterioro. Algunos de éstos son: sistemas de tubería particularmente codos, tees, etc; válvulas, bombas, sopladores, centrífugas, impulsores, hélices, agitadores, envases o recipientes de agitación, tubos de intercambiadores de calor tales como calentadores y condensadores, etc.

Algunos métodos de control son:

- a) Materiales con mayor resistencia a la corrosión-erosión
- b) Mejora de diseño.
- c) Alteración del medio ambiente
- d) Recubrimientos
- e) Protección catódica

8.- Corrosión bajo esfuerzo.- Tal como ya lo vimos en la celda de esfuerzo, se refiere a metales que trabajan bajo condiciones de esfuerzo y además en ambientes corrosivos, esto ocasiona el agrietamiento de éste. En la superficie del metal es des-

preciable, pero finas grietas progresan a través de él. El fenómeno de agrietamiento tiene serias consecuencias ya que puede fallar el material bajo condiciones de esfuerzo menores que los calculados en el diseño. Se debe mencionar como consecuencia del agrietamiento del metal a componentes que trabajan bajo esfuerzos cíclicos, ya que se verá reducida su resistencia a la fatiga.

Algunos métodos de prevención son los siguientes:

- a) Disminuyendo los esfuerzos en el material.
- b) Disminución del ambiente crítico
- c) Materiales más resistentes.
- d) Aplicación de protección catódica.

4.4.2.- Resistencia a la oxidación.- La oxidación, como se vio en metales a elevadas temperaturas es un efecto no deseado en la mayoría de las aplicaciones. Si bien la oxidación se refiere en forma general a una reacción productora de electrones, este término es también empleado para designar la reacción entre un metal y aire u oxígeno en ausencia de agua o un ambiente húmedo. Escamado, deslustrado o corrosión en seco son también algunas veces usados para describir este fenómeno. Como virtualmente todos los metales y aleaciones reaccionan con el aire a temperaturas ambiente, entonces la resistencia a la oxidación deberá ser considerada en la mayoría de aplicaciones de la ingeniería de materiales.

Al incrementarse la temperatura, la importancia de la oxidación metálica también se incrementa, como en el diseño de turbinas de gas, motores de cohetes, hornos y procesos petroquímicos a alta-temperatura. Tal como se muestra en la Fig. 4.22, la oxidación gaseosa puede ser considerada en forma análoga a la corrosión galvánica. Los iones metálicos se forman en la interface óxido-metal y el oxígeno es reducido a iones en la interface óxido-gas.

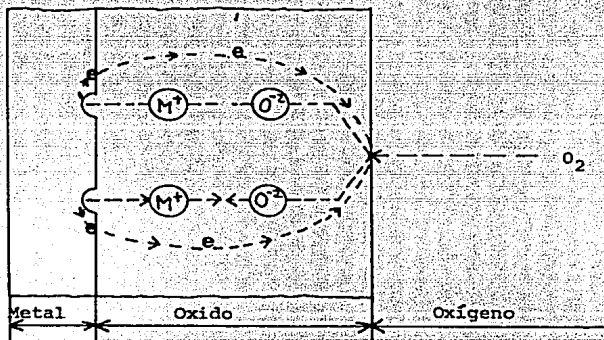


Fig. 4.22 Esquema del proceso electroquímico que ocurre durante la oxidación gaseosa.

Debido a que el óxido metálico transporta los iones y electrones hasta cierta cantidad, ésta reacción electroquímica ocurre sin la necesidad de un conductor de electrones externo entre el ánodo y el cátodo local.

Observando la Fig. 4.22, podemos darnos cuenta que la capa de óxido sirve simultáneamente como: 1) Un conductor iónico (electrolito); 2) Un conductor de electrones; 3) Un electrodo en el cual el oxígeno es reducido y 4) Una vía de difusión a través de la cual los iones y electrones deberán emigrar.

Para ser protector un óxido deberá poseer un coeficiente de dilatación cercano al del metal base, una buena adherencia, un alto punto de fusión, una baja presión de vapor, buena plasticidad a elevadas temperaturas para resistir fracturas, baja conductividad eléctrica o bajos coeficientes de difusión para iones metálicos u oxígeno, y una razón de volúmenes (metal/óxido, Relación Pilling-Bedworth) entre 1 y 2, para evitar los esfuerzos de compresión o escasez de superficie protectora. Por lo tanto la resistencia a la oxidación depende de varios factores complejos.

Como se ha mencionado, son numerosas las propiedades que debe poseer un óxido para ser protector. Cuando la mayoría de estas condiciones se tienen se obtiene un alto grado de resistencia a la oxidación; níquel, cobalto y hierro sólo exhiben un grado moderado de resistencia a la oxidación; sin embargo, la adición de aleantes como cromo, silicio y aluminio al hierro favorecen la formación de espinelas relativamente protectoras y fases de óxido romboédrico. Sin embargo, si estos aleantes son oxidados internamente, entonces su efectividad al formar una escama protectora se verá seriamente reducida.

Aleaciones de hierro-níquel-cromo son los materiales más comúnmente empleados para rendimiento relativamente bajo en condiciones de oxidación a altas temperaturas especialmente por su bajo costo, buenas propiedades mecánicas y, como ya se dijo, moderada resistencia a la oxidación.

Por otra parte, la oxidación preferencial en los límites de gra-

no y el ataque exagerado como resultado de ciclos térmicos, esfuerzos aplicados y la presencia combinada de mezclas de gases - conteniendo cloruros y sulfuros da como resultado una vida mucho más corta que aquella predecida por experimentos en aire con oxidación isotérmica.

V.-

ALEACIONES FERROSAS

5.1.- Generalidades.-

Para la mayoría de las aplicaciones de los metales en su estado puro, sus propiedades mecánicas son muy limitadas, no así algunas propiedades físicas, como por ejemplo la conductividad eléctrica del cobre utilizado para conductores eléctricos, por lo tanto, surge la necesidad de mejorar las propiedades mecánicas de los metales puros, lo que la experiencia muestra que se puede lograr aleando éstos con otros elementos.

Se puede entender como una aleación, a un material con propiedades metálicas, compuesto por dos o más elementos, uno de los cuales debe ser un metal.

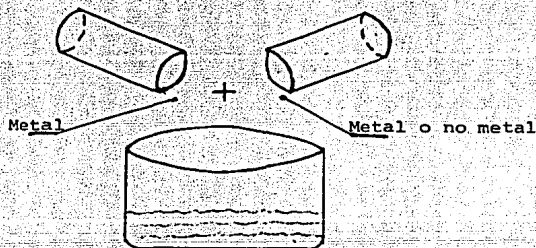


Fig.5.1.- Producción de una aleación en forma simplificada.

Cuando a un metal dado se le adiciona un segundo elemento pueden suceder dos cambios estructurales básicamente diferentes:

1.- Los átomos del nuevo elemento forman una solución sólida con el elemento original, existiendo como fase única la del metal de base.

2.- Los átomos forman una segunda fase, que contiene gene--

ralmente un cierto porcentaje de átomos del elemento base. Toda la aleación puede transformarse a ésta segunda fase, ó pueden estar presentes las dos fases en forma simultánea.

Antes de continuar es conveniente recordar el concepto de fase, - la definición general es la siguiente:

"Fase, es un conglomerado homogéneo de materia..

Es decir, es una estructura homogénea y ésta puede variar al alterar condiciones de temperatura y presión. Las aleaciones de mayor uso en ingeniería solidifican en estructuras cristalinas - de forma cúbica, entre las que se tienen la estructura cúbica en trada en las caras ó FCC y la estructura centrada en el cuerpo ó BCC. Así podemos tomar el caso del hierro que a la temperatura ambiente presenta una estructura BCC; sin embargo, si se calienta el metal arriba de los 910°C se encuentra que la estructura cambia a FCC; al hierro BCC se le llama hierro α (alfa) y al FCC hierro γ (gamma). En general, se usan diversas letras griegas para designar las diferentes fases de los materiales sólidos.

La solución sólida puede ser de dos tipos:

a) Solución sólida sustitucional.- Es donde los átomos del elemento de aleación van a sustituir a los del metal base, a veces también conocido como metal matriz, un ejemplo es la adición del níquel al cobre, donde la solubilidad es del 100% para

ambos elementos.

b) Solución sólida intersticial.- Donde los átomos del elemento de aleación están colocados en los intersticios o espacios entre átomos de la matriz, como ejemplo se tiene la aleación hierro-carbono, lo cual se ilustra en la Fig. 5.2 Cabe mencionar -- que cuando se forma una solución sólida sustitucional o intersticial se sigue usando la misma letra griega que se usaba para el metal puro.

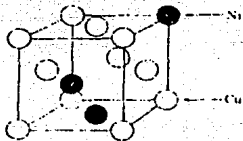
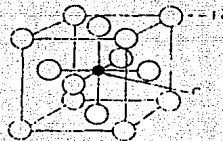


Fig. 5.2 a) Solución sólida sustitucional de níquel en una celda unitaria de cobre FCC.



b) Solución sólida intersticial de carbono en hierro FCC.

En una aleación, cuando se tienen nuevas fases o fases intermedias pueden suceder dos fenómenos, por ejemplo, al combinar plomo y níquel los cuales poseen la misma estructura cristalina, da como resultado una aleación con dos fases, con la estructura original de los elementos que la forman, pero separadas; considere-se también una aleación aluminio-silicio, los elementos poseen diferente estructura cristalina (FCC y tipo diamante, respectivamente) y da como resultado una aleación con dos fases, con la estructura cristalina original de los elementos que la forman, pero separadas. La otra posibilidad es que se tenga una fase resultante única con una estructura diferente a la de los elemen-

tos participantes, tal como es el caso de la aleación cobre y estaño, cuyas propiedades finales van a ser totalmente diferentes a las de los elementos aleantes.

Existen ciertos principios originales que determinan si un elemento dado B va a formar una fase separada en lugar de una solución sólida cuando es adicionado a otro elemento A. Esta es una consideración importante en el desarrollo de aleaciones, ya que en general una solución sólida será más dúctil y más fácilmente deformable, mientras que un material con dos fases generalmente tendrá una mayor dureza y resistencia.

Los aspectos más importantes al formar soluciones sólidas están relacionados con los radios atómicos y las propiedades químicas.

Para formar una solución sólida extensiva (con una solubilidad mayor del 10% atómico) se deben tener en cuenta las siguientes reglas generales de W. Hume Rothery:

- 1.- La diferencia en los radios atómicos debe ser menor del 15%.
- 2.- La cercanía en la tabla periódica es importante.
- 3.- Para obtener una serie completa de soluciones sólidas, los metales deben poseer la misma estructura cristalina.

Los metales de una sola fase, tal como los metales puros, soluciones sólidas y compuestos intermetálicos son materiales útiles. Sin embargo, las estructuras metálicas de mayor resistencia, du-

reza y resistencia al desgaste están compuestas de dos o más fases en una dispersión bien controlada. Generalmente no se encuentra esta microestructura en la pieza fundida ó lingote original, sino que ésta se forma a través de un cuidadoso proceso controlado que involucra trabajo en caliente y tratamientos térmicos.

Una herramienta útil para entender y controlar las estructuras polifásicas es el conocimiento de los diagramas de fase. El diagrama de fase es simplemente un mapa que muestra cuales estructuras o fases están presentes a medida que varían la temperatura y la composición general de la aleación; estos diagramas también son conocidos como diagramas de equilibrio, debido a que en ellos se pueden estudiar los cambios estructurales que ocurren bajo condiciones de equilibrio (enfriamiento muy lento), además el conocimiento de éstos tiene bastante utilidad en la aplicación de tratamientos térmicos, como por ejemplo, el recocido de los aceros, cuyos principales efectos es hacer dúctil y suave el metal para su posterior formado o maquinado.

Los tratamientos en condiciones de desequilibrio, tal como el temple de algunos tipos de acero, están generalmente basados en el control o supresión de las reacciones de equilibrio.

5.2.- Diagrama de equilibrio hierro-carbono.-

Se denominan aleaciones ferrosas, aquellos metales que tienen al hierro como elemento base, tal como los aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables y fundiciones.

El diagrama de equilibrio de gran utilidad en este punto es el diagrama Fe-Fe₃C (línea continua) que se ilustra en la Fig. 5.3

Observando el diagrama se puede definir un acero como "una aleación hierro-carbono, con un contenido de este último que va del 0.025 al 2%"; los materiales con un contenido mayor de carbono (hasta 6.67%) se conocen como fundiciones de hierro, tal como se verá más adelante. A continuación se explican las estructuras (fases) más importantes que aparecen en el diagrama Fe-Fe₃C, ya que influyen en forma determinante sobre las características y propiedades finales de las aleaciones ferrosas.

- Austenita.- Es el nombre dado a la solución sólida intersticial de carbono disuelto en hierro con una estructura de tipo FCC. La máxima solubilidad es del 2% de carbono a 1130°C. Las propiedades promedio son 10500 Kg/cm² de resistencia a la tensión, elongación del 10% en 2 plg; dureza aproximada de 40 RC; alta tenacidad. Generalmente no es estable a temperatura ambiente. Bajo ciertas condiciones, es posible retener austenita a la temperatura ambiente.

- Cementita o carburo de hierro.- Su fórmula química Fe₃C, contiene 6.67% de carbono en peso. Es un compuesto intermetálico típicamente duro y frágil, de baja resistencia a la tensión, en forma aproximada de 352 Kg/cm², pero de alta resistencia a la compresión. Es la estructura más dura que aparece en el diagrama. Su estructura cristalina es ortorrómbica (ver Apéndice).

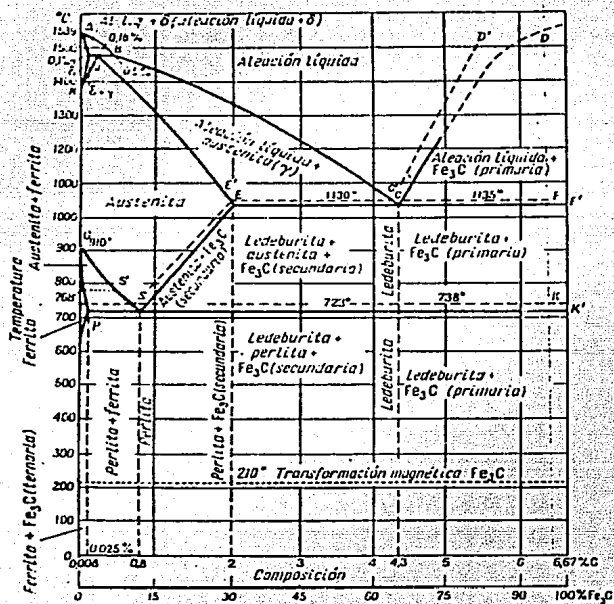


Fig. 5.3.- Diagrama de equilibrio hierro-carbono; las líneas gruesas se refieren al sistema Fe- Fe_3C ; las líneas punteadas (horizontales e inclinadas) se refieren al sistema Fe-C.

- Ferrita.- Es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbono disuelto en hierro con una estructura de tipo BCC (hierro α). La máxima solubilidad es de 0.025% a 723°C y disuelve sólo 0.008% de carbono a temperatura ambiente. Es la estructura más suave que aparece en el diagrama. Las propiedades promedio son: resistencia a la tensión de 2810 Kg/cm²; elongación del 40% en 2 plg; dureza de 90 RB.

- Perlita.- Es la mezcla eutectoide que se obtiene con 0.8% de C y se forma a 723°C a un enfriamiento lento. Es una mezcla fina, tipo placa o laminar de ferrita y cementita. Las propiedades promedio son: resistencia a la tensión de 8400 Kg/cm²; elongación del 20% en 2 plg; dureza de 95-100 RB ó Brinell de 250-300.

En la práctica se puede decir que un acero al carbono es una aleación Fe-C que siempre va a contener pequeñas cantidades de impurezas, tales como silicio, manganeso, fósforo y azufre; ya que eliminarlos totalmente resultaría muy costoso, además que en ciertos casos, el agregar una pequeña cantidad de estas impurezas va a mejorar ciertas características del material. Por ejemplo, el agregar azufre ayuda a mejorar su capacidad de ser maquinado.

Se puede clasificar a los aceros en varias formas, siendo las más comunes las siguientes:

- Clasificación de los aceros por su composición química
- Clasificación de los aceros por su aplicación.

5.3.- Clasificación de los aceros por su composición química.-
 Resulta muy útil la clasificación y nomenclatura normalizadas de los aceros según su composición química, pues aunque lo que le interesa al ingeniero o proyectista al final de cuentas son las características de los aceros, tales como propiedades mecánicas, térmicas, etc.; estas pueden estimarse con buena aproximación a partir de la composición química y de los tratamientos térmicos a los que se puede sujetar el acero.

Por lo tanto, se puede clasificar a los aceros de la siguiente manera:

- a) Aceros al carbono
- b) Aceros aleados
- c) Aceros inoxidable.

5.3.1.- Aceros al carbono.-

Se dice que un acero es al carbono cuando no se especifica contenido mínimo de aluminio, boro, cromo, cobalto, molibdeno, etc.; salvo los contenidos máximos de:

Manganeso ---	1.00%
Silicio ----	0.06%
Cobre -----	0.04%
Azufre -----	0.05%

Dentro de este grupo se pueden considerar dos subgrupos:

- Aceros al carbono
- Aceros al carbono, de fácil mecanizado, también llamados aceros de corte libre.

Además, la composición química de los aceros varía según el empleo o uso que se vaya a dar al producto semiterminado, como en el caso de los aceros estructurales, cuya composición difiere ligeramente de los aceros para forja, barras terminadas en frío, alambres y tubos sin costura.

5.3.2.- Aceros aleados.-

Los aceros aleados son los que contienen proporciones de manganeso, silicio y cobre mayores que las especificadas como máximas en los aceros al carbono y que además pueden contener otros elementos de aleación, tales como aluminio, cromo, boro, cobalto, níquel, etc. El contenido de elementos aleantes no debe ser mayor del 8% (aunque algunos lo toman como 10 ó 12%).

Los elementos de aleación se añaden a los aceros para muchos propósitos, entre los cuales, los más importantes son:

- Aumentar la templabilidad
- Mejorar la resistencia mecánica
- Mejorar las propiedades mecánicas, tanto a altas como a bajas temperaturas.
- Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima.
- Aumentar la resistencia a la corrosión.
- Aumentar la resistencia al desgaste
- Mejorar las propiedades magnéticas

En la tabla 5.1 se resumen los efectos de los principales elementos de aleación sobre el acero.

Para identificar a los aceros mediante su composición química, las asociaciones norteamericanas AISI (American Iron and Steel

Tabla 5.1. -

EFFECTO DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO

ELEMENTOS DE ALEACION	PROPIEDADES MECANICAS								OTRAS PROPIEDADES							PROPIEDADES MAGNETICAS				VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO		CONVENCION
	DUREZA	RESISTENCIA A LA RUPTURA	CEDENCIA	ALARGAMIENTO	REDUCCION DE AREA	RESILIENCIA	ELASTICIDAD	ESTABILIDAD A ALTA TEMPERATURA	FORMACION DE CACIROS	RESISTENCIA AL DESGASTE	FORJABILIDAD	MAQUINABILIDAD	RESISTENCIA A LA OXIDACION	NITRURABILIDAD	RESISTENCIA A LA CORROSION	HISTERESIS	PERMEABILIDAD	FUERZA COERCITIVA	REMANENCIA	PERDIDA DE POTENCIA	VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO	CONVENCION
SILICIO	Δ	Δ	ΔΔ	▽	—	▽	ΔΔΔ	Δ	▽	▽▽▽	▽	▽	▽	▽	▽▽	ΔΔ	▽▽		▽▽	▽	Δ	
MANGANESO en aceros perliticos	Δ	Δ	Δ	—	—	—	Δ	—	▽▽	Δ	▽	—	—							▽	Δ	
MANGANESO en aceros austeniticos	▽▽▽	Δ	▽	ΔΔΔ	—					▽▽▽	▽▽▽	▽▽								▽▽	Δ	
CROMO	ΔΔ	ΔΔ	ΔΔ	▽	▽	▽	Δ	Δ	ΔΔ	Δ	▽		▽▽▽	ΔΔ	ΔΔΔ			Δ	ΔΔ		▽▽▽	
NIQUEL en aceros perliticos	Δ	Δ	Δ	—	—	—		Δ	▽▽	▽	▽	▽						ΔΔ	ΔΔ		▽▽	
NIQUEL en aceros austeniticos	▽▽	Δ	▽	ΔΔΔ	ΔΔ	ΔΔΔ	ΔΔΔ			▽▽▽	▽▽▽	▽▽		ΔΔ							▽▽	
ALUMINIO					▽	▽				▽▽		▽▽	ΔΔΔ					ΔΔ	ΔΔ		—	
TUNGSTENO	Δ	Δ	Δ	▽	▽	—		ΔΔΔ	ΔΔ	ΔΔΔ	▽▽	▽▽	▽▽	Δ				ΔΔΔ	ΔΔΔ		▽▽	
VANADIO	Δ	Δ	Δ	—	—	Δ	Δ	ΔΔ	ΔΔΔ	ΔΔ	Δ		▽	Δ	Δ						▽▽	
COBALTO	Δ	Δ	Δ	▽	▽	▽		ΔΔ	ΔΔΔ	▽	—	▽					ΔΔ	ΔΔΔ	ΔΔΔ		ΔΔ	
MOLIBDENO	Δ	Δ	Δ	▽	▽	Δ		ΔΔ	ΔΔΔ	ΔΔ	▽	▽	ΔΔ	ΔΔ				Δ			▽▽	
CARBON	Δ	Δ	ΔΔ	—	—	—		Δ		▽▽▽	—	—		Δ							—	
NITROGENO				▽	▽	▽				▽▽▽	ΔΔ			Δ							—	
FOSFORO	Δ	Δ	Δ	▽	▽	▽▽				▽	Δ										—	

Δ AUMENTA
▽ DISMINUYE
— CONSTANTE

NO MAGNETICO

Δ INCREMENTO DE TRAZADOS DAN IDEA DE LA INTENSIDAD DEL AUMENTO O DE LA DISMINUCION.

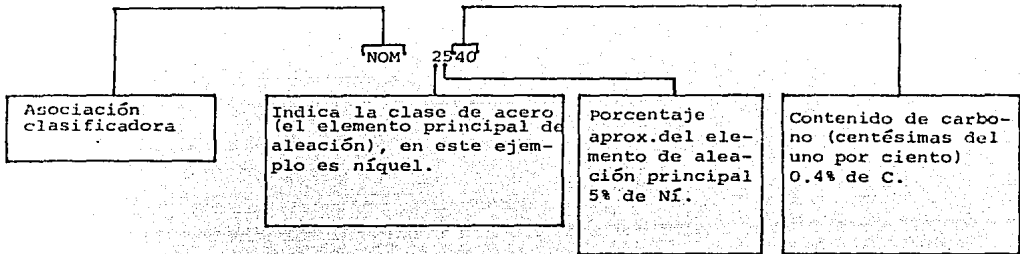
Institute) y SAE (Society of Automotive Engineers) han desarrollado un código para indicar la composición de cada tipo de acero estudiado, éste código ha sido adoptado por la Dirección General de Normas (DGN) y actualmente es la Norma Oficial Mexicana - (NOM)

El código sirve para especificar aceros al carbono y aceros aleados; para los aceros inoxidable es un poco más compleja su nomenclatura y se verá posteriormente.

El código consiste en un sistema de cuatro números. Las cifras del código tienen las siguientes funciones específicas; la primera cifra de la izquierda indica la clase principal de acero; la segunda cifra representa una subdivisión de la clase principal, originalmente ésta cifra representaba el porcentaje del elemento principal de aleación y esto es cierto en muchos de los aceros aleados. Sin embargo, tuvo que ser alterado a fin de abarcar todos los aceros disponibles.

La tercera y cuarta cifras representan el contenido de carbono en céntesimas del 1%; así, el código XX15 indica el 0.15% del 1% de C.

Todo lo anterior se expresa en el siguiente ejemplo, supongase el acero:



En la tabla 5.2 se indican los diferentes tipos de aceros y sus propiedades principales.

Las aplicaciones más comunes de los diferentes tipos de acero -- son las siguientes:

- Aceros al carbono.-

Aceros 1006-1012.- Se usan cuando se necesita acero suave y plástico para láminas, tiras, tubos suaves y soldadura.

Aceros 1015-1022.- Se usan cuando se necesita acero suave y tenaz, en remaches, tornillos, tubo, alambre, varillas, formas estructurales y tiras.

Aceros 1023-1032.- Se usan para tubos, engranes, ejes, barras y formas estructurales.

Aceros 1035-1040.- Se usan para secciones grandes como partes -- forjadas, ejes, árboles de maquinaria, bielas y engranes.

Aceros 1041-1050.- Se usan para piezas de máquinas con tratamiento térmico como ejes, árboles, engranes y alambre para resortes.

TABLA 5.2.- Propiedades principales y designación de los diferentes tipos de acero

TIPO DE ACERO	SIMBOLO NUMERICO	PROPIEDADES PRINCIPALES
ACEROS AL CARBONO		
-Al carbono simple	10XX	
Aceros al bajo carbono (0.06-0.2% de C)	1006 a 1020	Tenacidad y baja resistencia
Aceros al medio carbono (0.2-0.5% de C)	1020 a 1050	Tenacidad y resistencia
Acero al alto carbono (más de 0.5% de C)	1050 y más	Poca tenacidad y gran dureza
Acero resulturizado (De fácil tallado)	11XX	Mejor Maquinabilidad
Acero resulturizado y refosforizado	12XX	Aumenta la resistencia y la dureza, pero reduce la ducti- bilidad.
Acero al manganeso	13XX	Mejora el acabado superfi- cial.
ACEROS AL NIQUEL		
3.50% de Ni.	23XX	
5.00% de Ni.	25XX	
ACEROS AL CROMO-NIQUEL		
1.25 Ni-0.6 Cr.	31XX	Tenacidad y resistencia
1.75 Ni-1.0 Cr.	32XX	
3.50 Ni-1.5 Cr.	33XX	
Resistentes al calor y a la corrosión	303XX	
ACEROS AL MOLIBDENO		
Al Cr-Mo; 0.25 Mo	40XX	
Al Cr-Mo; 0.95 Cr	41XX	Alta resistencia y
0.82 Ni-0.5 Cr-0.25 Mo	43XX	templabilidad
1.57 Ni-0.25 Mo	46XX	
1.05 Ni-0.45 Cr-0.20 Mo	47XX	
3.5 Ni-0.25 Mo	48XX	

.....
continua

---- continuación Tabla 5.2 -----

ACEROS AL CROMO	5XXX	
Al bajo cromo (0.27-0.50% Cr)	50XX	
Al bajo cromo (0.80-1.05% Cr)	51XX	Dureza, alta tenacidad y resistencia
Al medio cromo (1.02% Cr)	51100	
Al Cr de alto carbono	52100	
ACEROS AL CROMO-VANADIO 0.85 Cr-0.15 V	61XX	Dureza y resistencia
ACEROS AL NI-Cr-Mo 0.55 Ni-0.50 Cr-0.20 Mo	86XX	
0.55 Ni-0.50 Cr-0.20 Mo	87XX	Resistencia a la oxidación - dureza y resistencia
3.25 Ni-1.20 Cr-0.12 Mo	93XX	
1.00 Ni-0.80 Cr-0.25 Mo		
ACEROS AL SILICIO MANGANESO 0.65-0.87 Mn-1.8-2.2 Si	92XX	Elasticidad
ACEROS AL BORO	X12XX	
ACEROS AL PLOMO	XX1XX	

En la clasificación AISI, los prefijos tienen los significados siguientes:

- C.- Acero Martín-Siemens (6 de hogar abierto) básico al carbono
- D.- Acero Martín-Siemens ácido al carbono
- B.- Acero Bessemer
- E.- Acero de horno eléctrico (ordinariamente aleado)

Una letra H al final de la designación indica que el material --
puede ser adquirido con una templabilidad específica.

Aceros 1052-1055.- Se usan para piezas de máquinas para trabajo pesado, como engranes y piezas forjadas.

Aceros 1060-1070.- Se usan donde se necesita buena resistencia a los choques como en matrices de forja, rieles y prisioneros.

Aceros 1074-1080.- Se usan en herramientas en las que se requieren tenacidad y dureza, como hojas de guillotina, martillos, llaves de tuercas, cinceles y alambres para cable.

Aceros 1084-1095.- Se usan para herramientas de corte como matrices, fresas, brocas machuelos, herramientas para torno, limas, cuchillas y herramientas para trabajar madera.

Aceros con 1.00-1.10% de C.- Se utiliza en la manufactura de brocas, uñas, fresas, cuchillas, etc.

Aceros con 1.10-1.20% de C.- Se usan esencialmente para la elaboración de brocas útiles para torno.

Aceros con 1.20-1.30% de C.- Se usan para limas, escariadores, cuchillas útiles para el corte de metales, etc.

Aceros con 1.25-1.40% de C.- Para la manufactura de navajas de afeitar, sierras para cortar metales, etc.

- Aceros al carbono resulfurizados.-

Los grupos de aceros explicados están hechos para usarse si el -

requerimiento principal es la facilidad de maquinado. Contienen más afluencia que los aceros al carbono comparables y como consecuencia no pueden ser formados en frío fácilmente, soldados o forjados.

Aceros 1111-1113.- Estos son los aceros de horno Bessemer y son los aceros con mejores propiedades de maquinado disponible.

Tienen excelente resistencia cuando se estiran en frío, pero son frágiles y por lo tanto no se usan para partes vitales. Pueden ser carburizados, pero si se desea una respuesta uniforme al tratamiento térmico, son mejores los aceros de hogar abierto.

Aceros 1108-1126.- Estos aceros tienen una respuesta más uniforme al tratamiento térmico que los aceros de grupos anteriores, pero no son tan fáciles de maquinar. Los materiales de bajo carbono se usan para partes que se van a cianurar. Los aceros de mediano contenido de carbono 1117, 1118, 1119 tienen mejor habilidad para endurecerse debido a que contienen más manganeso y los aceros de contenido de carbono más alto 1120-1126 deben usarse cuando se necesita una mayor dureza en el núcleo.

Aceros 1132-1151.- Los aceros de este grupo se parecen más a los aceros al carbono simple con un contenido de carbono comparable. Se usan cuando es necesario una gran cantidad de maquinado, o para operaciones que puedan presentar problemas para las herramientas tales como el estriado o la fabricación de roscas. Por ejemplo, el acero 1137 se usa para la elaboración de tuercas,

tornillos y pernos con cuerdas maquinadas. Los aceros NOM 1137, 1141 y 1144 tienen un contenido más alto de manganeso y tienen mayor habilidad para endurecerse.

Los aceros de alto contenido de carbono son apropiados para partes templadas en aceite y además todos estos aceros pueden ser endurecidos por inducción.

- Aceros al manganeso.-

Aceros 13XX.- Se usan principalmente para fabricar piezas cementadas, entre ellas, engranes, árboles nervados, flechas ranuradas, ejes y cilindros para fusil.

- Aceros al níquel.-

Aceros 23XX.- Con bajo contenido de carbono se utilizan ampliamente para carburizar engranes de transmisión, tornillos de bielas, pernos y seguros (chavetas).

Aceros 25XX.- Se utilizan en aplicaciones de trabajo pesado, como engranes para camiones y autobuses, levas y cigueñales.

- Aceros al cromo-níquel.-

Aceros 31XX.- Se utilizan ampliamente en árboles nervados, bielas, bisagras de timón, cementación de piezas, cigueñales, chavetas, pasadores de pistón, pernos para bielas, tuercas, etc.

Aceros 32XX.- Forjas, piezas tratadas térmicamente.

Aceros 33XX.- Se usa en aplicaciones de trabajo pesado, tales como

mo engranes para avión, flechas y levas.

- Aceros al molibdeno.-

Aceros 40XX.- se usa en cementación de piezas, engranajes de diferencial, engranes para auto y camión, espárragos remachados en frío, etc.

Aceros 41XX.- Por lo general tienen las mismas aplicaciones que la serie anterior, además se emplea en recipientes a presión, -- partes estructurales de aviones y ejes de automóviles. Este tipo de acero es muy utilizado en partes que deban ser tratadas -- térmicamente, tal como el temple, ya que adquiere una dureza uni forme.

Aceros 46XX y 48XX.- Se utilizan en la manufactura de engranes -- para transmisión, pernos de cadenas, flechas y cojinetes.

Aceros 43XX y 47XX.- Se usan mucho en la industria aeronáutica -- para partes estructurales de las alas, fuselaje y tren de aterri zaje.

- Aceros al cromo.-

Aceros 51XX.- Se emplean en engranes para temple en aceite, para piezas nitruradas, en forjas tratadas térmicamente, etc.

Aceros 52XX.- En aplicaciones similares a los aceros anteriores.

Aceros 51100.- Se utilizan ampliamente para cojinetes de bolas y

rodillos y para maquinaria de trituración.

- Aceros al cromo-vanadio.-

Aceros 61XX.- Se utilizan en la condición de endurecimiento superficial en la manufactura de pernos y cigueñales. Los aceros-Cr-V de medio carbono tienen alta tenacidad y resistencia y se emplean para ejes y resortes. Los grados con alto contenido de carbono y que poseen gran dureza y resistencia al desgaste se utilizan para cojinetes y herramientas.

- Aceros al cromo-níquel-molibdeno.-

Aceros 86XX.- Bielas, pernos, perfiles, engranes, ejes de hélices propulsoras, rótulas o juntas de charnela, perfiles.

Aceros series 87XX, 93XX y 98XX.- Usos similares a los de los aceros de la serie 86XX.

- Aceros al silicio-manganeso.-

Aceros 92XX.- Se utilizan mucho en resortes helicoidales y de ballesta, así como en punzones y cinceles.

5.3.3.- Aceros inoxidable.-

Muchos aleantes son útiles para proporcionar al hierro una resistencia limitada a la corrosión. Por ejemplo, pequeñas cantidades de fósforo y cobre mejoran la resistencia a la corrosión atmosférica de los aceros estructurales; los contenidos elevados de silicio son adecuados para las aleaciones de fundición resistente al ataque de los ácidos y aproximadamente un 10% de Al, --

proporciona al hierro una gran resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas, aunque también lo hace frágil. Sin embargo, el cromo hace aparecer insignificante la importancia de los demás elementos de aleación. Aunque existen muchas razones para ello, la más importante es que el cromo hace aumentar la resistencia a la corrosión en casi todos los ambientes. La Fig. 5.4 muestra la relación existente entre el contenido de cromo y las velocidades de corrosión, en tres condiciones diferentes de corrosión.

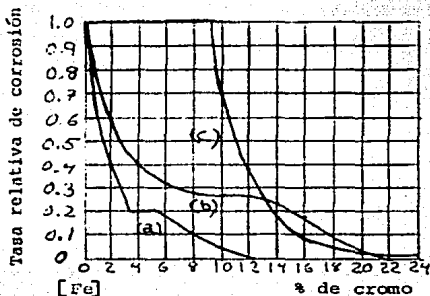


Fig. 5.4.-Efecto del cromo sobre la disminución de la velocidad de la corrosión en las aleaciones con base de hierro, en tres condiciones diferentes de corrosión.

- a) Corrosión atmosférica
- b) Oxidación a 1000°C
- c) Ataque con ácido nítrico al 65% hirviendo.

Se considera como acero inoxidable al acero que contiene más del 8% de Cr; sin embargo, también se considera a los tipos 501 y 502, por su bajo costo y aplicaciones extensas.

En forma común se clasifican a los aceros inoxidables en tres principales clases, a saber:

- a) Aceros inoxidables martensíticos
- b) Aceros inoxidables ferríticos
- c) Aceros inoxidables austeníticos

a) Aceros inoxidables martensíticos.-

Son los que tienen la posibilidad de formar martensita durante

el enfriamiento rápido desde el estado austenítico. Podemos ver en el diagrama de equilibrio hierro-cromo de la Fig. 5.5, que la formación de la martensita está restringida a los aceros con un contenido limitado de cromo de aproximadamente un 12%; sin embargo, en las aleaciones con un .6% de carbono aproximadamente, el límite de la región de la austenita (llamado bucle gamma) se extiende hasta el 18% de Cr. Se identifican con el número inicial 4, seguido de dos dígitos, también se pueden incluir en este grupo a los tipos 501 y 502.

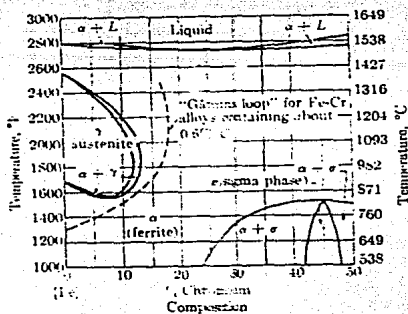


Fig. 5.5.-Diagrama indicando el efecto del carbono en la extensión de la región de la austenita.

b) Aceros inoxidables ferríticos.-

Observando el diagrama de la Fig. 5.5, podemos darnos cuenta que si existe un contenido mayor del 12% de Cr, las aleaciones caen en la zona de la ferrita, llamándose por esta razón aceros inoxidables ferríticos. Las aleaciones comerciales de esta clase con tienen del 13 al 25% de cromo. Se identifican con un número cuatro inicial seguido de dos dígitos. Cuando exista confusión entre la designación de los aceros martensíticos y ferríticos, es conveniente revisar su contenido de cromo.

c) Aceros inoxidables austeníticos.-

El diagrama de equilibrio hierro-cromo es adecuado para explicar la naturaleza de los aceros inoxidable martensíticos y ferríticos, pero, para comprender la clase más importante y variada, la de los aceros inoxidable austeníticos, es necesario considerar el diagrama ternario hierro-cromo-níquel.

Considerese el tipo 304 (el típico acero inox. 18-8), Fig. 5.6, que en forma aproximada contiene 18% de cromo y 8% de níquel, es posible comprender el papel esencial del níquel considerando una sección vertical para un 18% de cromo a través del diagrama ternario, se puede apreciar que a temperaturas elevadas, el efecto de la adición de níquel a una aleación con un contenido de cromo del 18% es producir un cambio gradual desde la fase ferrítica -- primero a la región de dos fases y finalmente a la condición completamente austenítica ligeramente por arriba del 6% de níquel. Un aspecto de estas relaciones de equilibrio está significativamente modificado por la aparición de metaestabilidad con contenidos de níquel más elevados. Por ejemplo, aunque la Fig. 5.6 indica que el acero inox. 18-8 debería ser completamente ferrítico a la temperatura ambiente, en la práctica, éste acero sigue siendo austenítico al enfriarse desde temperaturas elevadas.

Por consiguiente, los aceros inoxidable austeníticos no pueden ser endurecidos por temple, puesto que la austenita no se transforma en martensita.

Dentro de los aceros austeníticos existen dos subgrupos, los que tienen un contenido alto de manganeso (entre 8 y 10%) y que se -

identifican con un dos seguido por dos dígitos, y los que tienen un contenido normal de manganeso y se identifican con un tres seguido por dos dígitos.

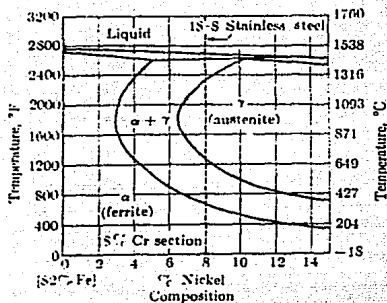


Fig. 5.6.- Parte de un corte paralelo al eje de las temperaturas para una concentración constante de 18% de cromo del diagrama de equilibrio hierro-cromo-níquel.

Las principales características y propiedades de los aceros inoxidables son:

a) Aceros inoxidables martensíticos.-

Magnéticos

Buena resistencia a la corrosión

Capacidad de endurecer por medio del temple

Baja respuesta al trabajo en frío

b) Aceros inoxidables ferríticos.-

Magnéticos (en estado recocido y trabajados en frío)

Resistentes a la oxidación

Buena respuesta al trabajo en frío (mayor resistencia mecánica)

Capacidad mediana de ser soldado

Sin capacidad de endurecer por medio del temple.

c) Aceros inoxidables austeníticos.-

No magnéticos, aunque algunos tipos como el 309 son ligeramente magnéticos al ser trabajados en frío.

Resistencia a la corrosión y a la oxidación óptimas debido al -- contenido de níquel

Capacidad máxima de ser soldado, incluso sin tratamiento térmico posterior.

Capacidad máxima de ser trabajado en frío, es decir, facilidad de deformación y rápido endurecimiento por deformación (mayor resistencia mecánica).

No templables

Algunos tipos susceptibles de ser endurecidos por precipitación.

Algunas aplicaciones para los diferentes tipos de aceros inoxidables son las siguientes:

a) Aceros inoxidables martensíticos.-

Tipo 403.- Grado de calidad para turbina, similar al 410; se utiliza para paletas de turbina de vapor y otras piezas de maquinaria, flechas.

Tipo 410.- Aleación base para este grupo; propósito general, tipo tratable térmicamente; se utiliza para piezas de maquinaria, flechas para bombas.

Tipo 414.- El mayor contenido de Ni incrementa la templabilidad y la resistencia a la corrosión; utilizado para resortes, láminas revenidas y piezas de maquinaria.

Tipo 416.- Modificación del maquinado libre del 410; se emplea para cortes pesados.

Tipo 420.- Modificación de alto carbono del 410, tiene mayor dureza y más resistencia al desgaste; se utiliza para cuchillería, instrumentos quirúrgicos y válvulas.

Tipo 440C.- Máximo contenido de carbono (0.95 a 1.20% de C) de los aceros inoxidables, se utiliza en bolas y rodillos para cojinetes.

Tipo 431.- El mayor contenido de cromo mejora la resistencia a la corrosión; tiene altas propiedades mecánicas; se emplea para accesorios de aviones, barras calentadoras y en tornillos para maquinaria papelería.

Tipo 416Se.- Modificación del maquinado libre del 410 (contiene Se); para cortes ligeros y donde se incluye el trabajo en caliente y el trabajado de cabezas en frío.

Tipo 440A.- Ligeramente menos contenido de carbono que el 440B para mayor tenacidad; puede tener mayor dureza que el 420; buena resistencia a la corrosión; se emplea para cuchillería y en piezas para válvulas.

Tipo 440B.- Ligeramente menor contenido de carbono que el 440C mejora la tenacidad; se utiliza para cuchillería y en piezas para válvulas.

Tipo 501 y 502.- Poseen un bajo contenido de cromo, que va de 4- a 6% poseen excelente resistencia a la oxidación y mejor resistencia a la corrosión que los aceros comunes. Las propiedades logradasson realmente intermedias entre los aceros aleados de la serie 5XXX y los aceros martensíticos del tipo 400. Por lo tanto, son adecuados para condiciones ligeras de corrosión a temperaturas inferiores de 540°C.

Se han utilizado ampliamente para equipo de refineras petroleras, como intercambiadores de calor, cuerpos de válvulas, anillos para bombas y otros accesorios.

b) Aceros inoxidable ferríticos.-

Tipo 430.- Aleación básica para este grupo; tipo de acero no endurecible; se utiliza para artículos decorativos, tanques para ácido nítrico y en cestas de recocido.

Tipo 430F.- Modificación de maquinado libre del 430 (contiene azufre) para cortes pesados y piezas para máquinas destinadas a hacer tornillos.

Tipo 430 Se.- Modificación de maquinado libre del 430 (contiene selenio); se emplea para cortes ligeros y donde se pueden incluir el trabajado en caliente o el trabajado de cabezas en frío

Tipo 405.- La adición de aluminio mejora la soldabilidad de esta otra forma de aleación martensítica, haciendola no endurecible; se utiliza donde no se desean los tipos endurecibles en aire - -

(410 ó 403).

- Tipo 443.- Alto contenido de cromo para mayor resistencia a la corrosión y a la formación de escamas; se utiliza para piezas de hornos, toberas y en cámaras de combustión.

Tipo 446.- El mayor contenido de cromo que el 442 aumenta la resistencia a la corrosión y a la formación de escamas a altas temperaturas; se emplea especialmente en servicio intermitente, a menudo en atmósferas de comportamiento sulfuroso.

c) Aceros inoxidable austeníticos.-

Tipo 201.- Al bajo níquel, tiene alta rapidez de endurecimiento por trabajo en frío.

Tipo 202.- Bajo níquel para propósitos generales, equivalente al 302; se emplea en equipo para cocinas y para el manejo de productos lácteos.

Tipo 302.- Aleación base para éste grupo; se emplea para adornos, equipo para manejo de alimentos; cubiertas para aviones, antenas, resortes, productos arquitectónicos y en artículos para cocina.

Tipo 302B.- Más resistente a la formación de escamas que el 302, debido al contenido de silicio; se utiliza para piezas de hornos líneas inmóviles y en elementos de calefacción.

Tipo 303.- Modificación de maquinado libre del 302 (contiene azufre); se emplea para cortes pesados y para productos de máquinas de tornillos, flechas y válvulas.

Tipo 303Se.- Modificación de maquinado libre del 302, se utiliza para cortes ligeros y donde se pueda necesitar trabajo en frío o en caliente o trabajado de piezas en frío.

Tipo 301.- Mayor endurecimiento por trabajo en frío mediante menos contenido de Cr y Ni; se utiliza en casos de alta resistencia y ductilidad como carros de ferrocarril, carrocerías para remolques y en piezas estructurales para aviones.

Tipo 304 (18-8).- Modificación al bajo carbono del 302 para restricción de precipitación de carburo mediante el soldado; se utiliza para equipo de procesamiento de alimentos y productos químicos.

Tipo 304L.- Modificación al extra-bajo carbono del 304 para ulterior restricción de precipitación de carburo mediante el soldado.

Tipo 305.- Alto contenido de níquel para disminuir la cantidad de endurecimiento por trabajo; se utiliza para severas operaciones de formado.

Tipo 308.- El mayor contenido de aleación (Ni-Cr) aumenta la resistencia a la corrosión y al calor; se emplea principalmente para metales de soldadura de relleno con el fin de compensar pérdi

das de aleación en la soldadura.

Tipo 309.- Semejante al 308, excepto que el contenido de aleación (Ni-Cr) es mayor; tiene excelente resistencia a la corrosión y a la formación de escamas; se emplea en calentadores para avión, equipo para tratamientos térmicos y en piezas para hornos.

Tipo 309S.- Modificación al bajo carbono del 309 para mayor soldabilidad.

Tipo 310.- Semejante al 309, excepto que el contenido de aleación (Ni-Cr) es mayor se utiliza para intercambiadores de calor, piezas para hornos, cámaras de combustión y en soldadura de metales rellenos.

Tipo 310S.- Modificación al bajo carbono para mayor soldabilidad.

Tipo 314.- Semejante al 310, excepto que el mayor contenido de Si aumenta la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura.

Tipo 316.- Mayor resistencia a la corrosión que el 302 o 304, debido al contenido de molibdeno; tiene alta resistencia a la fluencia plástica; se utiliza para equipo químico, de manejo de carne, fotográfico y de alimentos.

Tipo 316L.- Modificación al bajo carbono del 316, para construcción soldada.

Tipo 317.- El mayor contenido de molibdeno que el del 316 mejora la resistencia a la corrosión y a la fluencia plástica (creep).

Tipo 321.- El contenido de titanio evita precipitar carburo de cromo durante el soldado y por lo tanto, la corrosión intergranular; se utiliza para severas condiciones corrosivas y servicio desde 800 hasta 1600 °C, para múltiples de aviones a reacción, armazones para calderas y equipos de procesos.

Tipo 347.- Semejante al 321, excepto que se añade Cb ó Ta con el fin de estabilizar el metal soldado.

Tipo 348.- Semejante al 347, excepto por un límite máximo de tiene aplicación en el campo de la energía nuclear.

Se debe mencionar que estas son aleaciones laminadas, sin embargo, cuando se necesitan aleaciones fundidas se usan otras designaciones, en la tabla 5.3 se da una relación entre aleaciones laminadas y fundiciones. Además existen otros aceros inoxidable con diferentes propiedades y composición y que se emplean en casos especiales.

5.4.- Clasificación de los aceros por su aplicación.-

Tan importante como la clasificación por su composición química es la clasificación de los aceros por su aplicación. En ésta clasificación juegan un papel primordial las propiedades mecánicas de los aceros y también su composición química.

TABLA 5.3.- Designaciones para aceros inoxidables colados y su -
 equivalencia aproximada en aceros inoxidables forjados; así como
 los rangos de composición química (según AISI).

Cast alloy designations	Wrought alloy type	Composition, % (balance Fe)						Observations
		C	Mn max	Si max	Cr	Ni		
CA-15	410	0.13 max	1.00	1.50	11.5-14	1 max	Mo 0.5 max†	
CA-40	420	0.20-0.40	1.00	1.50	11.5-14	1 max	Mo 0.5 max†	
CB-30	431	0.30 max	1.00	1.00	18-22	2 max	—	
CC-50	446	0.50 max	1.00	1.00	26-30	4 max	—	
CD-4MCu	—	0.040 max	1.00	1.00	25-27	4.75-6.00	Mo 1.75-2.25, Cu 2.75-3.25	
CE-50	—	0.50 max	1.50	2.00	26-30	8-11	—	
CF-3	304L	0.03 max	1.50	2.00	17-21	8-12	—	
CF-8	304	0.08 max	1.50	2.00	18-21	8-11	—	
CF-20	302	0.20 max	1.50	2.00	18-21	8-11	—	
CF-3M	316L	0.03 max	1.50	1.50	17-21	9-13	Mo 2.0-3.0	
CF-8M	316	0.08 max	1.50	1.50	18-21	9-12	Mo 2.0-3.0	
CF-12M	316	0.12 max	1.50	1.50	18-21	9-12	Mo 2.0-3.0	
CF-8C	347	0.08 max	1.50	2.00	18-21	9-12	Cb 8 X C min, 1.0 max, or Cb-Ts 10 X C min, 1.33 max	
CF-16F	305	0.16 max	1.50	2.00	18-21	9-12	Mo 1.3 max, Se 0.20-0.33	
CG-8M	317	0.08 max	1.50	1.50	18-21	9-13	Mo 3.0-4.0	
CH-20	309	0.20 max	1.50	2.00	22-26	12-15	—	
CK-20	310	0.20 max	1.50	2.00	23-27	19-22	—	
CN-7M	—	0.07 max	1.50	*	18-22	21-31	Mo-Cu*	
HA	—	0.20 max	0.35-0.65	1.00	8-10	—	Mo 0.90-1.20	
HC	446	0.50 max	1.00	2.00	26-30	4 max	Mo 0.5 max†	
HD	327	0.50 max	1.50	2.00	26-30	4-7	Mo 0.5 max†	
HE	—	0.20-0.50	2.00	2.00	26-30	8-11	Mo 0.5 max†	
HF	302B	0.20-0.40	2.00	2.00	19-23	9-12	Mo 0.5 max†	
HH	309	0.20-0.50	2.00	2.00	24-28	11-14	Mo 0.5 max† N 0.2 max	
HI	—	0.20-0.50	2.00	2.00	26-30	14-18	Mo 0.5 max†	
HK	310	0.20-0.60	2.00	2.00	24-28	18-22	Mo 0.5 max†	
HL	—	0.20-0.60	2.00	2.00	28-32	18-22	Mo 0.5 max†	
HN	—	0.20-0.50	2.00	2.00	19-23	23-27	Mo 0.5 max†	
HT	330	0.35-0.75	2.00	2.50	13-17	33-37	Mo 0.5 max†	
HU	—	0.35-0.75	2.00	2.50	17-21	37-41	Mo 0.5 max†	
HW	—	0.35-0.75	2.00	2.50	10-14	38-62	Mo 0.5 max†	
HX	—	0.35-0.75	2.00	2.50	13-19	64-68	Mo 0.5 max†	

Las Normas mexicanas para los aceros permiten agruparlos, según su aplicación, de la manera siguiente:

- a) Aceros estructurales
- b) Aceros para maquinaria
- c) Aceros para herramientas
- d) Aceros para la industria automotriz
- e) Aceros para la industria de la construcción.

5.4.1.- Aceros estructurales.-

El acero estructural se produce en forma de perfiles, planchas, soleras, láminas y tubos. Se les designa con el número de la Norma mexicana correspondiente, de la manera siguiente:

- Acero estructural para puentes y edificios -----	NOM-B38
- Acero estructural -----	NOM-B254
- Acero estructural, lim. fluencia 29.5 Kg/mm^2 -----	NOM-B99
- Acero estructural, baja aleación, alta resistencia- NOM-B282	
- Acero estructural de alta resistencia -----	NOM-B285
- Acero estructural al manganeso-vanadio -----	NOM-B284
- Acero estructural para locomotores y carros -----	NOM-B263
- Acero estructural para barcos -----	NOM-B262

Formas de los productos laminados.- Los productos laminados de acero estructural tienen varias formas que pueden clasificarse como sigue:

Planchas.- Son productos laminados de sección transversal rectan

gular cuyo espesor va de 5.1 a 203 mm y cuyo ancho va de 203 a 3657 mm.

Perfiles estructurales.- Son productos laminados cuya sección transversal puede tener la forma de I, H, C y ángulo cuya dimensión mayor debe ser menos de 76 mm cuando menos.

Barras.- Son productos laminados cuya sección transversal tiene forma circular, cuadrada y hexagonal de cualquier dimensión o bien forma rectangular de 5.16 mm de espesor mínimo por 152 mm. de ancho máximo y secciones rectangulares de 5.84 mm de espesor mínimo y anchos que van de 152 a 203 mm.

Perfiles barra.- Son formas laminadas cuya sección transversal tiene la forma de I, H, A, C y L, siempre y cuando que la dimensión mayor de estas secciones no llegue a los 76 mm.

Tubos.- Son productos formados en caliente y soldados a tope o formados en caliente sin costura, de sección transversal anular, cuadrada o rectangular huecas o cualquier otra sección cerrada.

Tablaestacas.- Son productos laminados con una sección transversal de forma tal que puedan articularse varias de ellas.

Identificación de los aceros estructurales.- Deben identificarse mediante el número de la norma y, en su caso, el tipo o la calidad del acero, por ejemplo:

- Acero estructural para puentes y edificios:

NOM-B38 Acido

NOM-B38 Básico

NOM-B38 Bessemer ácido

Este acero es equivalente al acero ASTM A7.

5.4.2.- Aceros para maquinaria.-

Es un poco difícil establecer una línea precisa de separación entre los aceros estructurales y los aceros para maquinaria. De hecho los aceros estructurales, todos ellos tienen extensa aplicación en la construcción de maquinaria y equipo en general, -- principalmente en la construcción de los chasis, armazones, soportes, etc; para todo tipo de máquinas, equipo y aparatos utilizados en la industria y muchos bienes de consumo duradero.

Lo importante en la selección de aceros para la construcción de aparatos, equipo y maquinaria, son las propiedades mecánicas del material y, en forma secundaria, la composición química. Esta composición química se vuelve muy importante, más que las propiedades mecánicas, en la construcción de aparatos y equipo para -- las industrias de procesos especialmente en aquellos componentes o subconjuntos que deben soportar altas o bajas temperaturas o -- bien, que están expuestos a medios que puedan considerarse como corrosivos.

La presentación de las tablas de los aceros para maquinaria se -- hace pues, dando primeramente las propiedades mecánicas de estos materiales y en seguida la composición química de los mismos.

En la construcción de maquinaria, equipo y aparatos se emplea el acero en diferentes formas, la mayoría de ellas laminadas en caliente y algunas extruídas, estiradas ó trefiladas. Las principales formas con las que se producen éstos aceros son:

Barras de diversas secciones (redondas, cuadradas, rectangulares, etc.).

Planchas de hasta 200 mm de espesor
láminas de muy diversos calibres o espesores

Tubos con y sin costura, hasta de 1120 mm de diámetro

Alambres para cables de retenidas y para resortes, de diversos calibres.

Por su composición química, éstos aceros pueden clasificarse, como ya se indicó anteriormente, en aceros al carbono, aceros aleados y aceros inoxidable.

5.4.3.- Aceros para herramienta.-

Aunque cualquier acero se puede emplear en la elaboración de herramientas, existe un grupo de aceros que por sus características dan resultados óptimos en la elaboración de diversas herramientas, a éste grupo de aceros especiales se les denomina comúnmente aceros para herramientas. Estas características son muy variables y dependen del diseño y de la aplicación posterior de la herramienta. Las más importantes son las siguientes:

- Gran capacidad de endurecer por medio del temple (templabilidad).

- Excelente resistencia al desgaste y a la abrasión
- Baja deformación durante los tratamientos térmicos
- Resistencia al ablandamiento al calentarse.

En forma general éstos atributos son obtenidos con un alto contenido de carbono y de elementos de aleación.

Los aceros para herramienta se caracterizan por su alta calidad, la mayor parte de ellos se obtienen de hornos eléctricos y por consiguiente, tienen menos inclusiones no metálicas que los aceros aleados fabricados en hornos Siemens-Martín. Las operaciones de trabajo en caliente y de limpieza superficial, realizadas con extremo cuidado, evitan al acero defectos internos o externos. La calidad del acero obtenido reduce al mínimo el peligro de agrietamiento durante el tratamiento térmico de piezas de formas complicadas y también, produce una mayor tenacidad a los niveles de elevada dureza necesarios en la mayor parte de las aplicaciones de las herramientas.

El trabajo de normalización para estos aceros ha sido muy arduo, pero se han podido agrupar de la siguiente manera:

- Aceros templables
- Aceros para moldes
- Aceros para trabajar a alta temperatura
- Aceros resistentes al impacto.
- Aceros de alta velocidad
- Aceros para trabajo en frío
- Aceros de baja aleación.

Esta clasificación no es la única para los aceros llamados para herramientas, pero es la más adecuada desde el punto de vista de su utilización o aplicación.

Aceros templables.- Aunque todos los aceros para herramientas -- son templables, existe un grupo de ellos que se clasifican conforme al medio que se emplea para el enfriamiento, en la operación de templado.

Los aceros templables en agua se identifican con la letra "W".

Aceros para moldes.- Los moldes llamados permanentes, son realmente herramientas para trabajar otros materiales, es por esto - que los aceros desarrollados especialmente para la fabricación - de moldes permanentes se han clasificado como aceros para herramientas. Estos aceros se identifican con la letra "P".

Aceros para trabajar a altas temperaturas.- Los aceros para fabricar herramientas que pueden cortar metales aún cuando la temperatura de trabajo sea elevada, se les conoce como "aceros para trabajar a altas temperaturas" o más popularmente "aceros para trabajo en caliente". Estos aceros se identifican por medio de la letra "H" y existen dos variedades de ellos, al cromo y al tungsteno. Los aceros para trabajar a alta temperatura admiten, en términos generales, velocidades de corte superiores a las que pueden admitir los aceros de alta velocidad.

Aceros resistentes al impacto.-

El nombre de estos aceros indica claramente cuales son las aplicaciones más importantes. Todo tipo de herramienta como matrices, dados, etc; que sirven para trabajar los metales por medio de golpes o aplicaciones bruscas de fuerzas y presiones. Los aceros resistentes al impacto se identifican con la letra "S".

Aceros de alta velocidad.- Estos aceros se emplean para la fabricación de herramientas de corte de metales, que pueden funcionar a altas temperaturas de corte.

El término alta velocidad dice poco en relación a términos absolutos, pero se toma como punto de referencia las velocidades de corte que pueden darse a las herramientas de corte fabricadas con aceros al carbono. Estos aceros pueden subdividirse en aceros al molibdeno y aceros al tungsteno y se les identifica con las letras "M" y "T" respectivamente.

- Aceros para trabajo en frío.- Estos son aceros que se emplean en la fabricación de dados, matrices, etc; para el trabajo de metales en frío. Se caracteriza por un cambio dimensional extremadamente bajo durante el tratamiento termico. Generalmente se temple al aire. Su uso se limita a temperaturas debajo de los 480°C. Se les identifica con la letra "D" en la mayoría de los casos y aquellos que además son especialmente resistentes al desgaste se les identifica con la letra A.

Aceros de baja aleación.- Estos aceros son similares al grupo "W" de aceros para herramienta con la adición de cromo y otros ele-

mentos para proporcionar mayor resistencia al desgaste y templeabilidad.

Usos típicos son variadas aplicaciones en máquinas-herramientas donde se requiere alta resistencia al desgaste así como buena tenacidad, por ejemplo, rodamientos, rodillos, dedos de alimentación, platos para clutch (embrage) y partes para mandril.

Estos aceros para usos especiales conocidos como de baja aleación se identifican con la letra "S".

5.4.4.- Aceros empleados en la industria automotriz.-

La industria automotriz que en México se ha desarrollado rápidamente durante los últimos años tiene, en ciertos casos, necesidades muy específicas en lo tocante a la composición química de los aceros que se emplean en algunas piezas componentes de carrocerías, chasices, suspensiones, etc.

El que la industria automotriz requiera en algunos casos de aceros de composición química especial no significa que sean estos los únicos empleados en este tipo de construcción mecánica; para ello se requiere todo tipo de aceros, incluso los estructurales. En la industria automotriz se emplea todo tipo de aceros, principalmente los aceros para maquinaria.

5.4.5.- Acero para la industria de la construcción.-

En la industria de la construcción se emplean principalmente los aceros clasificados como estructurales y los aceros para cables,

alambrón y varilla de refuerzo para concreto.

Para las varillas no se especifica la composición química porque puede variar ampliamente de acuerdo con la materia prima que se emplee para producirla.

5.5.- Fundiciones de acero (Acero moldeado).-

En forma similar a los aceros forjados o laminados, las fundiciones de acero al carbono y aleadas se pueden clasificar en cuatro grupos de acuerdo a su contenido de carbono y de elementos de aleación de la manera siguiente:

- Fundiciones de acero al bajo carbono, con un contenido de éste de menos del 0.2%.
- Fundiciones de acero al medio carbono, con un contenido de éste que va del 0.2 al 0.5%.
- Fundiciones de acero al alto carbono con un contenido de éste de más de 0.5%.
- Fundiciones de acero de baja aleación, con un contenido total de elementos aleantes de menos del 8%.

Como puede uno darse cuenta, la gran variedad de aceros al carbono y de baja aleación utilizados en la fabricación de productos forjados o laminados también pueden ser usados en la producción de fundiciones de acero. Esto se logra vertiendo el acero fundi

do de la composición química deseada dentro de un molde con la configuración deseada y permitiendo que el acero solidifique.

El material del molde puede ser silicio, circonio o arena verde, grafito, metal o cerámica. La elección del material del molde va a depender de varios factores, tales como el tamaño, complejidad y precisión de la fundición y sobre todo el costo. Mientras que el tamaño reproducible, acabado superficial y precisión dimensional de las fundiciones varía en forma considerable con el tipo de molde, las propiedades del acero moldeado no son afectadas en forma significativa.

Las fundiciones de acero producidas por alguno de los variados tipos de moldes y los aceros forjados de composición química equivalente responden de manera similar al tratamiento térmico; sin embargo, puesto que las fundiciones de acero son por lo general asimétricas y tienen secciones gruesas y delgadas, el enfriamiento rápido puede producir grietas y deformaciones considerables.

Además, tienen la misma capacidad de ser soldados y sus propiedades físicas y mecánicas son bastante similares aunque, las propiedades mecánicas de las fundiciones de acero suelen ser un poco menores, ya que no exhiben los efectos de direccionalidad sobre las mismas, debido a que no han sufrido el efecto benéfico del trabajo en caliente, tal como en los aceros forjados; sin embargo, en muchos procesos donde la aplicación de esfuerzos es multi direccional, la utilización de fundiciones de acero puede signi-

ficar una ventaja.

5.6.- Fundiciones de hierro.-

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono. Con relación al diagrama Fe-Fe₃C, los hierros fundidos contienen más cantidad de carbono que la necesaria para saturar austenita a la temperatura eutéctica; por tanto contienen entre 2 y 6.67% de carbono. Como el alto contenido de carbono tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos manufacturados comercialmente están en el intervalo de 2,5 a 4% de carbono. La ductilidad del hierro fundido es muy baja y éste no puede laminarse, estirarse o trabajarse a temperatura ambiente. La mayoría de los hierros fundidos no son maleables a cualquier temperatura; sin embargo, a veces funden fácilmente o pueden moldearse en formas complicadas que generalmente se maquinan a dimensiones finales.

Como la fundición de piezas es el único proceso aplicable a estas aleaciones se conocen como hierros fundidos.

Aunque los hierros fundidos son frágiles y tienen más bajas propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos y pueden fundirse más fácilmente que él y poseen otras propiedades útiles. Además mediante una aleación apropiada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de cualquier tipo de hierro fundido pueden variar ampliamente. Los significativos progresos desarrollados en el control de la fundición han dado lugar a la producción de grandes -

tonelajes de hierros fundidos, cuyas propiedades suelen ser muy consistentes.

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables a considerar y que dan lugar a los diferentes tipos de hierro fundido son:

- El contenido de carbono
- El contenido de elementos aleantes e impurezas
- La rapidez de enfriamiento, durante y después de la solidificación y
- El tratamiento térmico posterior.

Estas variables controlan la fundición, o sea la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro (Fe_3C), o existir como carbono libre en forma de grafito. La forma y la distribución de las partículas de carbono sin combinar influirá en forma determinante sobre las propiedades mecánicas del hierro fundido. Los hierros fundidos se clasifican por lo tanto, según el estado en que se encuentra el carbono en la microestructura, así como por la microestructura de la matriz; los principales tipos son los siguientes:

- a) Hierro blanco: El carbono se encuentra en gran porcentaje, formando una red de carburo de hierro
 - b) Hierro gris: El carbono se encuentra libre en la matriz, en forma de hojuelas de grafito.
 - c) Hierro dúctil o nodular: El carbono al igual que en el tipo anterior, se encuentra libre como grafito, en forma de nodulos o esferas.
 - d) Hierro maleable: Grafito en forma de terrones.
(Carbono recocido)
 - e) Hierros fundidos aleados.
- + matriz de acero (ferrita, perlita, martensita, etc)

5.6.1.- Hierros fundidos blancos.-

Se les da este nombre por la apariencia que da el material al fracturarse. El estudio de estos hierros generalmente se hace con el diagrama Fe-Fe₃C (Fig. 5.3), es decir, con una tasa de enfriamiento normal, por lo tanto la microestructura final será perlita + carburo, similar a la que se muestra en la Fig. 5.7.

Esto trae como consecuencia que el hierro fundido blanco sea duro y frágil con una alta resistencia al desgaste que tiene bastantes aplicaciones, tales como camisas de mezcladoras de cemento, trituradoras para acerías, ciertos tipos de dados de estiramiento y boquillas de extrusión.

Un gran tonelaje de hierro fundido blanco se emplea como materia prima para manufactura de hierro fundido maleable.

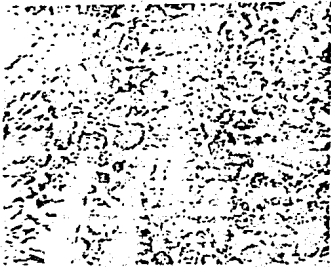


Fig. 5.7.- Microestructura de hierro fundido blanco, muestra una red de cementita dendrítica y perlita



Fig. 5.8.- Microestructura de hierro fundido gris, se observa hojuelas de grafito en una matriz de 20% de ferrita (constituyente claro) y 80% de perlita.

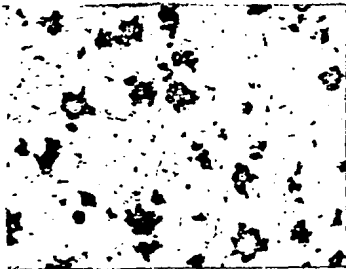


Fig. 5.11.- Microestructura de hierro maleable, se muestran nódulos informes de grafito (carbono revenido) en una matriz de ferrita granular.

5.6.2.- Hierro fundido gris.-

Para explicar el hierro fundido gris, es necesario entender que el carburo de hierro es básicamente una fase metaestable y que con un enfriamiento anormalmente lento (ó en presencia de ciertos aleantes como el silicio) se cristalizará el grafito (carbono puro) y el hierro (Fig. 5.8). Además, si calentamos el carburo de hierro por un período prolongado, se descompondrá:



Por lo tanto, el diagrama de equilibrio verdadero es el sistema hierro-grafito que se muestra con línea discontinua en la Fig. 5.3. No es necesario un nuevo diagrama, porque para todos los propósitos prácticos solamente hay que sustituir el grafito por el carburo de hierro en las regiones de dos fases, como se indica en la Fig. 5.3 y mover la línea vertical de la derecha hasta el 100%.

De acuerdo con el diagrama Fe-C, se formará austenita y grafito a la temperatura eutéctica de 1135°C. El grafito aparece como muchas hojuelas irregulares, generalmente alargadas y curvas, las cuales dan al hierro fundido gris su fractura característica de color grisáceo o negruzco. Durante el enfriamiento continuado, hay precipitación adicional de carbono debido al decremento en solubilidad de carbono en austenita, el cual se precipita como grafito o como cementita proeutectoide que grafitiza rápidamente.

La resistencia del hierro fundido gris depende casi por completo

de la matriz en que está incrustado el grafito, la cual es deter-
minada a su vez, por la condición de la cementita eutectoide.

Si la composición y rapidez de enfriamiento son tales que la ce-
mentita eutectoide también grafitiza, entonces la matriz será --
completamente ferrítica; por otro lado, si la grafitización de -
la cementita eutectoide se evita, la matriz será completamente -
perlítica. La constitución de la matriz puede variarse desde --
perlita y ferrita en diferentes proporciones hasta llegar a la -
ferrita prácticamente pura. La mezcla grafito-ferrita es el hie-
rro más suave y débil; la resistencia y la dureza aumentan al in-
crementarse el carbono combinado, alcanzando un máximo con el --
hierro perlítico gris.

El carbono y el silicio son los principales elementos en la regu-
lación de la composición de la fundición ordinaria con relación-
a la velocidad de enfriamiento.

En la práctica es más difícil regular la proporción de carbono -
que la de silicio. Por esta razón, se elige un contenido tal de
carbono que garantice relativamente buenas propiedades de cola-
da, o sea, fluidez y poca contracción, y que pueda ser obtenido-
seguro y fácilmente en el metal en el horno de fundición. La re-
lación entre el contenido de carbono y silicio y la estructura -
de la fundición está representada en forma gráfica en el diagra-
ma estructural de la Fig. 5.9a. El campo del diagrama está divi-
dido en cinco zonas estructurales, según sea el contenido de si-
licio (por la línea horizontal) y carbono (por la línea verti- -
cal). El diagrama dado está construido para lingotes con un es-

pesor de paredes constante, que corresponde al bloque de prueba de 30 mm de diámetro; en el no se toma en consideración el efecto de la velocidad de enfriamiento sobre la estructura de la fundición. El enfriamiento retardado eleva el grado de formación del grafito. El diagrama estructural de la Fig. 5.9b muestra la relación entre la estructura de la fundición y el contenido total de carbono y silicio (C + Si) y el espesor de las paredes del lingote, es decir de la velocidad de enfriamiento. En este diagrama el eje de las abscisas indica los espesores de las paredes de los lingotes, y el de las ordenadas, la suma de carbono y silicio. El campo de este diagrama está dividido también en cinco zonas estructurales de igual manera que en el primer diagrama.

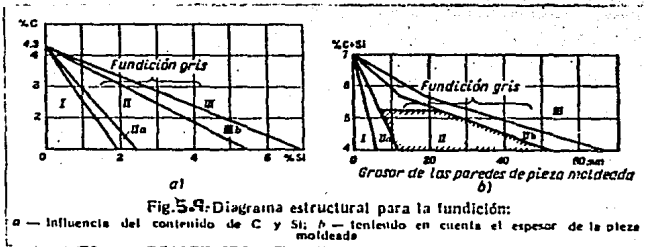


Fig. 5.9: Diagrama estructural para la fundición:

a — Influencia del contenido de C y Si; b — teniendo en cuenta el espesor de la pieza moldeada

Zona	Estructura
I	P + Fe ₃ C
II	P + Gr
III	F + Gr
IIa	P + Fe ₃ C + Gr
IIb	P + F + Gr.

Observación: P = Perlita
F = Ferrita
Gr = Grafito

La zona de las fundiciones perlíticas de alta calidad en el diagrama de la Fig. 5.9b está limitada por la horizontal del 5.3% de (C + Si), en el diagrama, esta zona está sombreada. Se ha establecido que al disminuir el % de C + Si por debajo del límite señalado, la resistencia de la fundición aumenta notablemente a costa de la reducción de la cantidad de grafito. Ambos diagramas muestran la influencia del contenido en C y Si y la veloci-

dad de enfriamiento sobre la estructura de las fundiciones de --
hierro.

Al examinar el diagrama representado en la Fig. 5.9b, se puede --
llegar a la conclusión que la fundición perlítica posee, en un --
mayor grado que otra fundición de cualquier estructura, la pro--
piedad de producir estructura monotípica (Perlita + grafito), --
aún cuando los espesores de las paredes varien en límites consi--
derables. Esta propiedad de la fundición perlítica es más pro--
pia de la fundición con contenido bajo de C + Si, ya que la zo--
na perlítica P del diagrama dado en la Fig. 5.9b se extiende mu--
cho más en la parte inferior.

Las propiedades mecánicas en general de las fundiciones grises --
son variables y están en función directa de la microestructura;
por lo general poseen una resistencia a la compresión de dos a --
tres veces mayor que la resistencia a la tensión, su ductilidad--
es bastante pequeña. Muchos de los grados de hierro gris tienen
mayor resistencia al corte torsional que algunos tipos de acero.
Esta característica junto con la baja sensibilidad de muesca --
(concentrador de esfuerzos en un punto o defecto) hace del hie--
rro gris un material adecuado para varios tipos de flechas o --
ejes.

La capacidad de amortiguación del hierro gris es una propiedad --
que no se mide muy a menudo, pero que vale la pena considerar.
El hierro tiene la habilidad de absorber energía y por lo tanto--
de detener la vibración. Por ejemplo, una barra de acero produ-

cirá un sonido metálico, una barra de hierro fundido no lo producirá. Esta característica explica las muchas armazones de máquinas que se hacen de hierro fundido gris.

El hierro gris es fácil de maquinar, debido a la presencia de -- carbono libre (grafito), pero no es considerada fácil de soldar. La soldadura puede hacerse pero requiere una técnica especial y generalmente queda confinada a reparaciones.

El hierro fundido gris por lo general no se trata térmicamente -- como el acero, pero muchas de sus propiedades pueden variar con el tratamiento térmico. El recocido puede liberar los esfuerzos ablandar el hierro y hacerlo más fácil de maquinar.

El hierro gris se utiliza ampliamente para guarniciones y marcos -- , alrededor de maquinaria peligrosa. Muchos tipos de cajas para engranes, recintos para equipo eléctrico, cajas para bombas y cajas para turbinas de vapor se funden en hierro gris, debido a su bajo costo. Otras piezas fundidas de hierro gris similares -- se emplean en monobloques para motor, bocas de incendios y cubiertas para alcantarillas.

5.6.3.- Hierro fundido nodular.-

También es conocido como hierro dúctil, hierro de grafito esferoidal, hierro esferulítico; en este tipo de hierro fundido el -- grafito se encuentra presente como pequeñas bolas o esferulitas. Las esferoides compactas interrumpen la continuidad de la matriz mucho menos que las hojuelas de grafito, lo cual da como resulta

do mayor resistencia y tenacidad, comparada con una estructura semejante a la del hierro gris. El hierro fundido nodular difiere del maleable en que generalmente se obtiene como resultado de la solidificación y no requiere tratamiento térmico. Las esferoides son más redondas que los agregados irregulares de carbono revenido encontrados en el hierro maleable.



Fig. 5.10.- Microestructura del hierro dúctil; se pueden observar nódulos de grafito en una matriz ferrítica.

El grafito esferoidal es producido por la adición de uno o más elementos al metal fundido; magnesio, cerio, calcio, litio, sodio, bario y otros elementos producirán grafito esferoidal. De estos el magnesio y el cerio son comercialmente importantes. El contenido total de carbono en el hierro nodular es el mismo que en el hierro fundido gris. Las matrices ferrítica y perlítica son obtenidas de manera similar a las de los hierros fundidos grises.

Los hierros perlíticos nodulares son más fuertes pero menos dúctiles que los ferríticos. También se puede obtener una matriz martensítica templando en aceite o en agua desde unos 870-930°C. Las estructuras templadas generalmente se revienen después del endurecimiento a los niveles de resistencia y dureza deseados.

Estos hierros fundidos poseen mayor resistencia a la tracción -- que los hierros fundidos grises, resistencia al desgaste similar, así durezas semejantes, posee alta resistencia al impacto térmico y una capacidad mayor de ser maquinados.

Algunas aplicaciones típicas del hierro nodular son piezas para tractores y herramientas agrícolas; cigueñales, pistones y cabezas de cilindros para automóviles y motores diesel; accesorios eléctricos, cajas para interruptor, cubiertas para motor y piezas para interruptores de circuitos; en la minería: tambores de grúas, poleas de transmisión, volantes de motor y ménsulas para elevador; en acerías: rodillos de trabajo, puertas para horno, rodetes de mesa y cojinetes; en herramientas y troqueles: llaves de tuercas, palancas, manivelas, marcos de sujeción, platos sujetadores (chucks) y troqueles diversos para dar forma al acero, aluminio, bronce, latón y titanio.

5.6.4.- Hierro fundido maleable.-

La materia prima para poder producir este tipo de hierro fundido es el hierro fundido blanco, donde el carbono se encuentra en -- forma de carburo. Aprovechando que el carburo de hierro es una fase metaestable y que su descomposición en $Fe + C$ se ve favorecida por las altas temperaturas se lleva a cabo lo que se conoce como proceso de maelabilización y consta de dos etapas principales:

1ra. Etapa.- Grafitización. Se calienta la pieza a $954^{\circ}C$ durante 12 horas. La estructura de la austenita más carburo

se transforma en austenita más carbono recocido (nódulos informes, como en la Fig. 5.11).

2da. Etapa.- Se enfría de 954 a 760°C. Se enfría lentamente a la tasa de 5.5°C/h hasta 649°C.

De ésta manera, se obtiene una matriz ferrítica más carbono recocido. Este tipo se conoce como hierro ferrítico maleable o estándar. En la Fig. 5.12 se muestra en forma esquemática los cambios en la microestructura durante el ciclo de maleabilización.

En la forma de nódulos compactos, el carbono recocido o libre no rompe la continuidad de la matriz ferrítica tenaz, pero da como resultado mayor resistencia y ductilidad que la exhibida por el hierro gris..

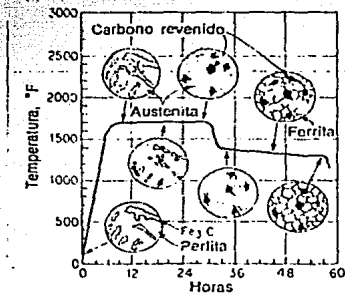


Fig. 11.5 Cambios en microestructura como función del ciclo de maleabilización que origina carbono revenido en una matriz ferrítica. (Tomada del libro *Malleable Iron Castings*, Malleable Founders Society, Cleveland, Ohio, 1960.)

Para obtener una matriz perlítica, se puede agregar manganeso durante el ciclo regular para retener carbono combinado por toda la matriz, ó se puede variar la segunda etapa del proceso, es decir, se varía la tasa de enfriamiento a partir de la temperatura

de 760°C. La cantidad de perlita formada depende de la temperatura a que empieza el enfriamiento y la rapidez de éste. Las altas temperaturas de temple y la rapidez de enfriamiento (aire en ráfaga) da como resultado mayor cantidad de carbono retenido, o perlita. Si el temple es en aire produce una rapidez de enfriamiento suficientemente grande a través del intervalo eutectoide, la matriz será perlítica completamente.

Las características de éstos hierros fundidos se pueden considerar intermedias entre los hierros grises y los hierros fundidos-nodulares, siendo los hierros maleables con matriz perlítica los más resistentes, pero un poco menos dúctiles. Poseen buena resistencia al desgaste, al impacto térmico, excelente maquinabilidad y poca capacidad de ser soldados, especialmente los de matriz perlítica. Sus aplicaciones principales son:

Para la clase ferrítica: en equipo automotriz, agrícola y ferroviario; juntas de expansión y piezas fundidas para barandales de puentes; ensambles de grúas de cadena y rolletes industriales; conexiones para tubería y muchas aplicaciones en ferretería general.

Algunas aplicaciones del hierro perlítico maleable son: cajas para ejes y diferenciales, ejes de levas y cigueñales para automóviles; engranes, catarinas, pernos de unión para cadenas y mensulas elevadoras en equipo transportador; para rodillos, bombas, boquillas, levas y balancines como piezas de maquinaria, etc.

5.6.5.- Hierro fundido aleado.-

Es aquel que contiene un elemento o elementos especialmente añadidos en cantidad suficiente para producir una modificación en las propiedades físicas o mecánicas que se pueden cuantificar. Los elementos normalmente obtenidos de la materia prima, como silicio, manganeso, azufre y fósforo, no se consideran elementos de aleación.

Los elementos de aleación se añaden al hierro fundido para fines especiales (como resistencia a la corrosión, al calor o al desgaste) y para mejorar las propiedades mecánicas.- La mayoría de los elementos de aleación en el hierro fundido acelerarán o retardarán la grafitización lo cual es una de las razones importantes para la aleación. Los elementos de aleación más comunes son el cromo, el cobre, molibdeno, níquel y vanadio.

5.7.- Modificación de las propiedades de las aleaciones ferrosas.-

Una de las características más importantes de los metales es que sus propiedades pueden ser modificadas, especialmente las propiedades mecánicas mediante diversos procesos, de manera tal que se obtengan los máximos rendimientos del material disponible. Estos procesos suelen ser bastante similares en aleaciones ferrosas y aleaciones no ferrosas, siendo los principales los siguientes:

- a) Trabajo en frío
- b) Trabajo en caliente
- c) Tratamientos térmicos
- d) Tratamientos termoquímicos (especialmente de aplicación-

en aleaciones ferrosas).

5.7.1.- Trabajo en frío.-

Es la deformación plástica de un acero y que se lleva a cabo a una temperatura por debajo de las líneas A_3 y A_{cm} en el diagrama de la Fig. 5.3 y con la rapidez conveniente para producir endurecimiento por deformación. Entre mayor es la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso, menor es el efecto del trabajo en frío. El trabajo en frío se aplica en los procesos de manufactura tales como el laminado, forja, extrusión, estirado, etc.

Mediante el trabajo en frío, se aumenta la resistencia final y de cedencia de los aceros, facilidad de ser maquinado, mejora el acabado superficial y se mantienen estrechos valores de tolerancias en el producto final. El principal inconveniente es que se disminuye en forma drástica su ductilidad. Las cantidades comerciales del trabajo en frío del acero son del 10-20%.

Existen aceros que no pueden ser endurecidos mediante tratamiento térmico (temple) tal como los aceros inoxidable austeníticos y sus propiedades mecánicas pueden mejorarse únicamente por trabajo en frío.

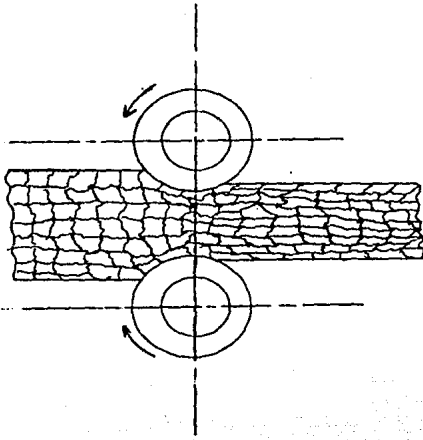


Fig. 5.13.- Granos deformados en forma plástica de un acero trabajado en frío.

5.7.2.- Trabajo en caliente.- Es cuando el acero es deformado en forma plástica a una temperatura superior a las líneas A_3 y A_{cm} en el diagrama $Fe-Fe_3C$ mediante los diversos procesos de manufactura existentes. Posee propiedades superiores a los que no han sufrido ésta deformación en caliente (pero inferiores a los que han sufrido trabajo en frío), ya que sus cristales se rompen o se alargan (Fig. 5.14) y proporcionan el efecto de direccionalidad, que es aprovechado en diferentes situaciones, además por el efecto del trabajo en caliente se eliminan o se reducen defectos que el lingote pudiese tener, tales como sopladuras, etc; el principal inconveniente del trabajo en caliente es la formación de escamas en la superficie del acero por la alta temperatura a la que se lleva a cabo el proceso, es decir, el acero se oxida, y existe una pérdida del 2 al 3% del material; además por la dilatación del metal, no pueden tomarse valores cerrados de tolerancias en el producto final. En forma común, los dos procesos,-

es decir, trabajo en caliente y trabajo en frío se complementan, de la siguiente manera: las reducciones iniciales se hacen en caliente y al final se hace en frío, de ésta manera se aprovechan las ventajas de los dos procesos. Ya conociendo las principales características de los dos procesos se podrá discernir sobre el material más apropiado para un proyecto específico, ya sea acero rolado en frío (cold rolled) ó rolado en caliente (hot rolled).

Se recordará que en las fundiciones de hierro no se puede llevar a cabo ninguno de los dos procesos.

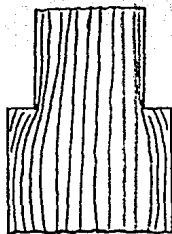


Fig. 5.14.- Efecto de direccionalidad obtenido en un acero trabajado en caliente.

5.7.3.- Tratamientos térmicos.-

Comúnmente se entiende por tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento, permanencia y enfriamiento de las aleaciones metálicas en estado sólido con el fin de modificar su estructura y conseguir las propiedades físicas y mecánicas deseadas.

Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita, por lo que se hace necesario una revisión de las transformaciones-

tiempo-temperatura.

El diagrama de equilibrio hierro-carbono muestra sólo las fases y microestructuras obtenidas en un enfriamiento bajo condiciones de equilibrio, sin embargo en la práctica el equilibrio rara vez es obtenido, ya que las tasas de enfriamiento son mucho más altas que aquellas necesarias para obtenerlo. Al incrementarse -- las tasas de enfriamiento, las temperaturas de transformación observadas experimentalmente son más bajas, por lo que dan lugar a fases metaestables; por ejemplo, a altas tasas de enfriamiento -- puede desarrollarse la fase metaestable conocida como martensita.

Las reacciones eutectoides son fuertemente afectadas por la velocidad de enfriamiento. El curso de la transformación eutectoide puede ser representada para cada temperatura por una serie de -- curvas isotérmicas (a temperatura constante); éstas son obtenidas graficando el porcentaje transformado de austenita contra el tiempo para una temperatura específica (fig. 5.15). Una serie -- de tales curvas puede usarse para graficar un diagrama de transformación -- tiempo-temperatura (diagrama TTT) también llamados -- curva Bain o curva S (Fig. 5.16), siendo éstos diagramas la base para el diseño de los tratamientos térmicos aplicables a las -- aleaciones ferrosas.

Se ha verificado que la velocidad más grande de transformación -- corresponde a la nariz de la rodilla de la curva S. La tasa de transformación decrece debajo de la nariz, debido a la lentitud de la difusión atómica, mientras que por encima de ésta tempera-

tura decrece como consecuencia de un incremento de estabilidad de la austenita.

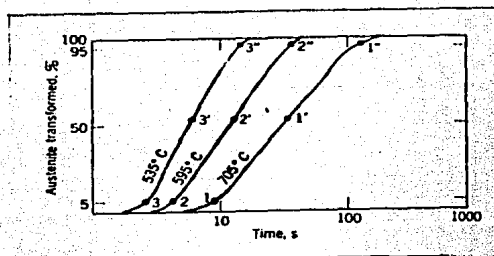


Fig. 5.15.- Curvas de reacción isotérmicas para un acero con 0.77% de carbono.

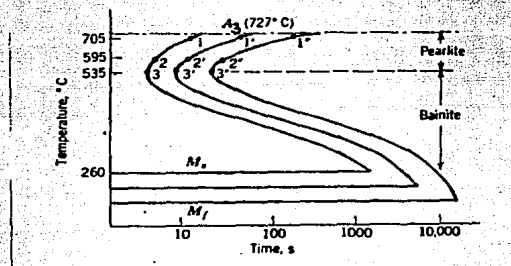


Fig. 5.16.- Diagrama de transformación-tiempo-temperatura ó curva S para un acero con 0.77% de carbono.

Por arriba de la temperatura crítica A_3 , Fig. 5.16, la austenita es estable y no habrá transformación a perlita. En consecuencia a las variaciones en las tasas de transformación con la temperatura habrá variaciones en la estructura de los productos de transformación. Las transformaciones a temperaturas entre 727 y 535°C dan como resultado la característica estructura lamelar de la perlita.

A una temperatura justo por debajo de la línea A_3 , la nucleación de cementita a partir de la austenita será muy lenta, pero la di

fusión y el crecimiento de grano será a máxima velocidad, así -- que habrá varias lamelas largas y la perlita será gruesa.

Sin embargo, si la temperatura de transformación se baja más, la perlita será cada vez más y más fina. La transformación entre 538 y 260°C da como resultado la formación de bainita, que consiste, tal como la perlita, de una matriz ferrítica en la cual las partículas de cementita están incrustadas; la bainita tiene una estructura acicular, es mucho más dura que la perlita y más tenaz que la martensita; ésta es formada por la transformación sin difusión de la austenita por un rápido enfriamiento a una temperatura de aproximadamente 260°C, designada como Ms; la transformación a martensita es acompañada por un incremento de volumen; la temperatura deberá bajarse más para poder terminar la transformación. Finalmente, a una temperatura designada como Mf, la austenita será completamente transformada a martensita.

Las temperaturas de inicio y terminación de la formación están representadas en el diagrama TTT como líneas horizontales. La posición de estas líneas varía con el contenido de carbono del acero. La transformación a martensita difiere de otras en que no depende del tiempo y ocurre casi instantáneamente, por lo que el porcentaje de austenita transformado depende sólo de la temperatura a la cual se enfría el acero.

La mínima tasa de enfriamiento requerida para producir martensita en un acero dado es determinada por la nariz de la curva S. La tasa de enfriamiento para evitar la misma se conoce como tasa

crítica de enfriamiento y como consecuencia cualquier tasa de enfriamiento mayor que aquella dará como resultado una transformación total de austenita a martensita. La adición de algunos elementos aleantes al acero, como el cromo y el vanadio, desplazan hacia la derecha la curva S, lo que trae como consecuencia que se necesiten tasas de enfriamiento menores para la formación de martensita.

Para mejor comprensión se enunciará primero los tratamientos térmicos aplicables a los aceros y en seguida los aplicables a las fundiciones.

a) Para los aceros;

Recocido total (recocido supercrítico).- Se aplica en forma normal a los aceros hipoeutectoides (contenido de carbono menor del 0.8%) y consiste en calentar el metal de 30 a 50°C por encima de la línea GS, Fig. 5.17, permanencia a esta temperatura una cuarta parte del tiempo de calentamiento y enfriamiento lento hasta 500-400°C. Los aceros al carbono se enfrían a una tasa de - - - 100-220°C por hora y los de aleación a 50-60°C por hora, el enfriamiento posterior se puede hacer al aire.

Durante el recocido se verifica la recristalización de fase y --afino de grano. Este tratamiento, además de proporcionar suavidad, mejora las propiedades eléctricas y magnéticas y en algunas ocasiones mejora la maquinabilidad.

Recocido de recristalización.- Se aplica a los metales que han sufrido trabajo en frío, tales como el laminado, forjado, estira

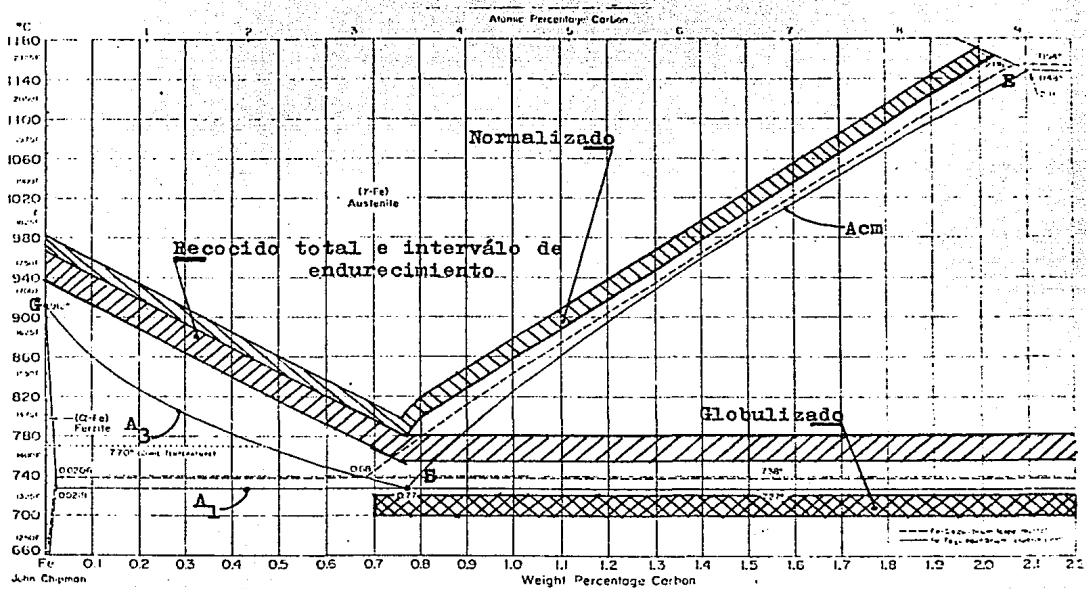


Fig.5.17.- Diagrama Fe-Fe₃C en el que se indican los intervalos adecuados de temperatura para diversos tratamientos térmicos.

do, etc. En este caso el acero se calienta hasta una temperatura inferior a la de transformación de fases, pero superior a la de recristalización, esta temperatura se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$T_{\text{recris. abs.}} = 0.4 T_{\text{abs.}} \text{ de fusión del metal.}$$

Para el acero es de aproximadamente 450°C, debido a éste recocido se elimina el endurecimiento del metal, disminuyen la dureza y la resistencia mecánica, pero se elevan los factores de plasticidad, ductilidad y resiliencia.

Normalizado.- Es el calentamiento del acero a unos 40-50°C por encima de la temperatura de transformación, permanencia a esta temperatura igual que en el recocido y enfriamiento posterior al aire.

El normalizado refina los granos de perlita, deshace la red de carburos en los aceros hipereutectoides (contenido de carbono mayor del 0.8%) y eleva las propiedades mecánicas del acero. En la actualidad, el normalizado está más extendido que el recocido ya que es de mayor rendimiento y da mejores resultados. Como se puede apreciar, los aceros rodados en caliente, son aceros normalizados, por el régimen de enfriamiento posterior y de ahí su gran aceptación comercial. Globulizado o esferoidizado.- Se aplica principalmente a aceros con alto contenido de carbono, ya que éstos poseen una microestructura de perlita y una red de cementita que los hacen bastante difícil de trabajarse con máquina, es decir, ser mecanizados; en forma esencial lo que se hace-

es romper la red de cementita y por lo tanto formar un carburo - esferoidal o globular en una matriz ferrítica.

Esto puede hacerse de las tres maneras siguientes:

1.- Mantener el acero durante un tiempo prolongado a una temperatura justamente por debajo de la línea crítica inferior.

2.- Calentar y enfriar en forma alternada entre las temperaturas que están justamente por encima o por debajo de la línea crítica inferior (A_1).

3.- Calentar a una temperatura por encima de la línea crítica inferior y luego enfriar muy lentamente en el horno o mantener a una temperatura justo por debajo de la línea crítica inferior.

Como ya se dijo, este proceso proporciona al acero menor dureza y mejora la facilidad de ser maquinado de los aceros altos en carbono.

En la Fig. 5.17 se proporcionan los rangos apropiados de temperatura para llevar a cabo estos procesos, se debe considerar que sólo son adecuados para aceros al carbono. Para aceros aleados se debe buscar en tablas los valores apropiados de temperaturas.

Temple.- Una de las características principales de los aceros es que se pueden modificar sus propiedades en un amplio rango, por-

medio de un tratamiento térmico adecuado.

El temple proporciona al acero una gran dureza y resistencia mecánica, esto se consigue llevando al acero a la temperatura de austenitización, en forma similar al régimen empleado durante el recocido, y posteriormente se enfría de manera drástica, es decir, lo más rápidamente posible, esto ocasiona que el carbono -- existente en la estructura del hierro gamma (FCC) no alcance a difundirse, logrando sólo que la estructura cristalina se distorsione y se convierta en tetragonal centrada en el cuerpo (ver apéndice), la estructura resultante es denominada martensita, -- Fig. 5.18c, la que también es posible obtener en aleaciones no ferrosas por medio del temple.

En forma esencial, la dureza obtenible en los aceros templados, sólo va a depender del contenido de carbono, generalmente mayor del 0.3% y de la rapidez de enfriamiento. Se puede señalar que ésta rapidez de enfriamiento puede ser un poco menor en aceros aleados, ya que la transformación tarda más en llevarse a cabo, -- además, la transferencia de calor al medio de temple va a ser -- una tasa bastante menor. Los medios de temple se pueden considerar de la manera siguiente de acuerdo en orden decreciente a la severidad con la que son capaces de extraer el calor.

- 1.- Solución acuosa al 10% de cloruro de sodio (salmuera)
- 2.- Agua común
- 3.- Sales fundidas o líquidas
- 4.- Aceite soluble y soluciones acuosas.

5.- Aceite

6.- Aire.

En la fig.5.19 se muestra una comparación entre las diferentes curvas de enfriamiento obtenidas para los diferentes medios de temple en el centro de una barra de acero inoxidable de 0.5 plg. de diámetro.

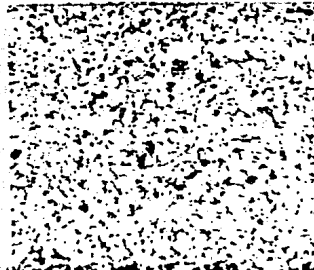
Los dos primeros medios de temple se utilizan principalmente en aceros al carbono, los medios siguientes se utilizan en aceros aleados e inoxidables hasta llegar al aire que se utiliza en aceros altamente aleados, tales como los aceros inox. martensíticos y algunos aceros para herramientas.

Fig. 5.18.- Microestructuras obtenidas mediante el enfriamiento del acero en condiciones fuera de equilibrio.

a) Perlita



b) Bainita



c) Martensita



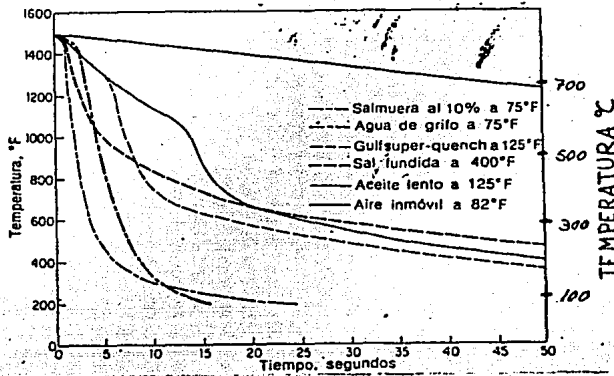


Fig. 5.19.-Curvas de enfriamiento obtenidas en el centro de una barra de - acero inox. de 0.5 plg. de ϕ por 2.5 plg. de longitud; sin agitación.

Para mayor claridad, considerese una pieza de sección transversal circular de acero al carbono templada en agua común, se puede observar que la tasa de enfriamiento no es la misma en la superficie que en el centro de la barra, por lo tanto, no se tendrá una dureza uniforme a lo largo de la sección transversal de la barra, esto es consecuencia que no toda la austenita se pudo transformar en martensita, dando otras microestructuras, como perlita y bainita o una combinación de éstas.

Por lo tanto, para piezas tratadas térmicamente es importante -- considerar la templabilidad, la cual se define como la capacidad que tiene un acero de endurecer a profundidad por medio del temple y no debe ser confundida con dureza como tal o máxima dureza. Es claro que el carbono va a proporcionar el valor máximo de dureza a un acero, pero si se requiere que este valor permanezca -

bastante constante por debajo de la superficie, se debe considerar entonces la utilización de un acero aleado, ya que como se mencionó anteriormente el tiempo de transformación para la formación de martensita es mayor.

Para cumplir especificaciones de dureza a una determinada profundidad en piezas sencillas, existen numerosas tablas y relaciones que es posible usar, sin embargo, la más común es la prueba del extremo templado o prueba de Jominy, la cual es aplicable a aceros al carbono y aceros aleados.

Esta prueba consiste en lo siguiente:

- Se calienta a la temperatura de austenitización apropiada una probeta estandarizada de 4 plg. (100 mm) de longitud y 1 plg. (25.4 mm) de diámetro.

- Posteriormente se coloca en un soporte para efectuar el temple de tal manera que un chorro de agua estandarizado la golpee en el extremo inferior.

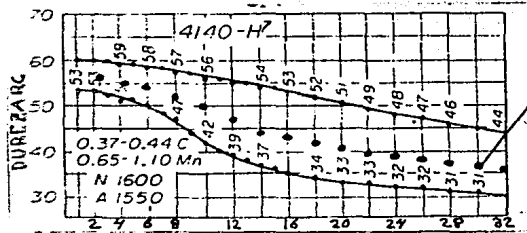
Mientras que el extremo inferior está siendo enfriado a gran velocidad por la columna de agua, el extremo opuesto se enfría lentamente al aire por lo que las diferentes posiciones a lo largo de la probeta se enfrían a tasas intermedias. Después de que la probeta se ha enfriado completamente, se esmerilan dos lados planos paralelos sobre la misma y se hacen mediciones de dureza RC-

a intervalos de 1/16 plg (1.5875 mm) desde el extremo templado.

Los valores de dureza obtenidos se grafican contra la distancia desde el extremo templado en cartas estandarizadas.

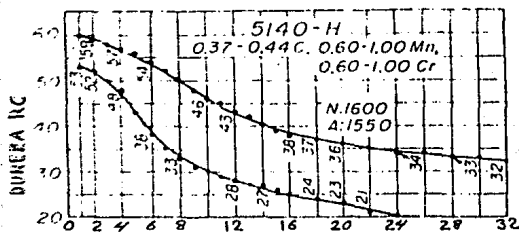
(Los detalles de la prueba están especificados en los métodos -- ASTM-A255, SAE-J155 y NOM-B320).

La Fig. 5.20 a representa una típica curva de templabilidad obtenida para un acero 4140-H y se ve que esta curva en particular cae justo en medio de los límites máximo y mínimo que se pueden obtener de un acero 4140-H y que definen los límites de la llamada banda H (los aceros H están garantizados por el fabricante para establecer límites de templabilidad para rangos específicos de composición química).



Lecturas tomadas a un espécimen sometido a la prueba de Jominy.

Distancia desde el extremo templado, em 1/16 de plg.



Distancia desde el extremo templado, em 1/16 de plg.

Fig. 5.20.- Banda de templabilidad de los aceros 4140-H y 5140-H.

La capacidad real de aplicación de cualquier acero para una pieza que requiera tratamiento térmico, está basada en la relación de los datos obtenidos en la prueba de templabilidad y la sección transversal crítica de la pieza, entendiéndose por ésta a aquella sección de la pieza que está sometida a los más altos esfuerzos y por lo tanto donde se requieren las propiedades mecánicas más elevadas. La fig.5.21 muestra la correlación entre las tasas de enfriamiento a lo largo del espécimen usado en la prueba de Jominy y cuatro puntos localizados en el área transversal de barras circulares de hasta 4 plg. de diámetro, templadas en diferentes medios, siendo estos: agua quieta, aceite ligeramente agitado, aceite quieto y sal fundida ligeramente agitada. Estos datos pueden usarse directamente en la selección de aceros, lo cual se ilustrará con el ejemplo siguiente: Se requiere una flecha de transmisión para automóvil de un diámetro igual a 1.25 -- plg. (31.75 mm) con una dureza de 45 RC a la mitad del radio. Se propone un acero 5140-H templado en aceite ligeramente agitado, compruebase si es el acero apropiado para su manufactura. El -- procedimiento a seguir es el siguiente:

1ro.- En la Fig.5.21.c, con el diámetro de 1.25 plg. se traza -- una línea horizontal hasta que intersecte la curva 2, de este -- punto se traza una línea perpendicular hasta cruzar el eje horizontal, obteniéndose una distancia al extremo templado de aproximadamente 7/16 plg.

2do.- Con el valor obtenido y con el requisito de dureza, en la-

Fig.5.20.b que representa banda de templabilidad para el acero - 5140-H se sigue un proceso inverso al del primer punto, y se puede comprobar que la dureza requerida está dentro de la banda H, por lo que se puede decir que el acero propuesto es el apropiado.

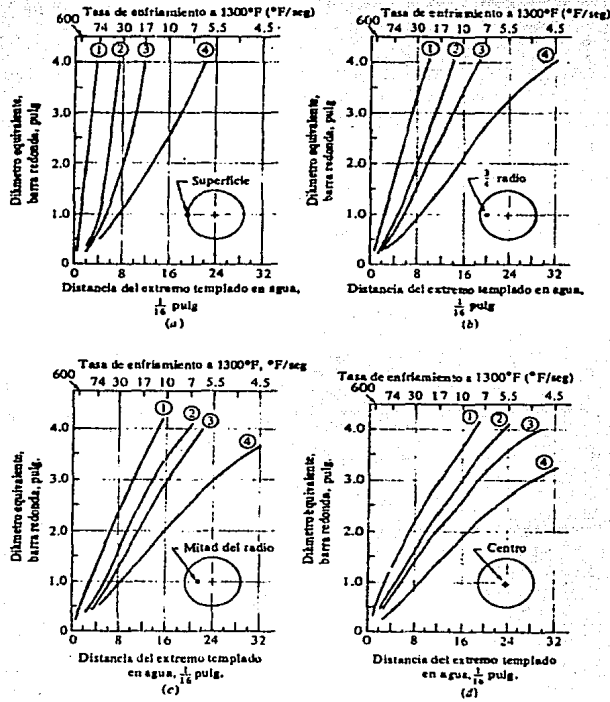


Fig.5.21.- Relaciones entre las tasas de enfriamiento en barras redondas y en localizaciones Jominy. 1= Agua quieta; 2= Aceite ligeramente agitado; 3= Aceite quieto; 4= Sal fundida ligeramente agitada.

El temple proporciona dureza y alta resistencia, pero la ductili

dad y la resistencia al impacto se reducen al máximo, razón por la cual casi siempre se aplica un tratamiento térmico posterior a los aceros templados, tal tratamiento recibe el nombre de revenido.

Revenido.- El temple ocasiona en el acero fuertes tensiones internas debido al enfriamiento brusco, además la martensita es -- una fase inestable, que no da resultados óptimos en muchas aplicaciones, por lo tanto, el revenido consiste en proporcionar al acero una estructura más estable, aunque se sacrifique una parte de las características principales del temple. El revenido consiste en calentar el acero templado a una temperatura por debajo de la línea A_1 y enfriamiento posterior en aire; las propiedades finales del acero van a depender principalmente de la temperatura escogida para el revenido y el tiempo de permanencia del material a ésta temperatura. En la Fig. 5.22 se observan los efectos de estos factores sobre la dureza de un acero con 0.85% de carbono.

Austempering o austemplado.- Aunque no es muy común este tratamiento, es importante considerarlo porque para secciones delgadas da mejores resultados que los tratamientos de temple y revenido y consiste esencialmente en lo siguiente: En forma inicial se lleva el acero a la temperatura de austenitización, en forma seguida se sumerge en un baño de sales a una temperatura entre 200 y 420°C.

La pieza se deja en el baño hasta que se acompleta la transformación de austenita a bainita (ver Fig.5.18.b), obteniéndose un 100% de esta estructura. La ventaja del austemplado es que no necesita algún otro tratamiento térmico tal como el revenido, además, las propiedades que se pueden obtener por este tratamiento térmico suelen ser bastante parejas y hasta superiores a la de los aceros templados y revenidos.

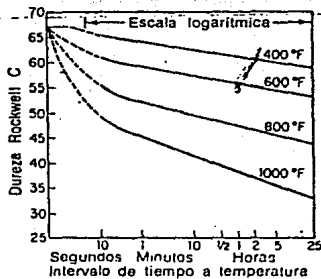


Fig.5.22.-Efecto del intervalo de tiempo a cuatro temperaturas de revenido sobre la dureza de un acero templado con 0.82% de carbono

Endurecimiento por envejecimiento.- Denominado usualmente endurecimiento por precipitación cuando se trata de aceros inoxidable. Tiene lugar a causa de la precipitación de uno de los componentes de una solución sólida sobresaturada. Generalmente se realiza a temperaturas elevadas para aumentar la velocidad de precipi

tación. Los aceros inoxidable austeníticos 302, 303, 304 y 316, así como el tipo especial 17-7PH (17 Cr-7 Ni) son sometidos a en du re c i m i e n t o por precipitación a temperaturas de 426-898°C.

En general el endurecimiento por envejecimiento consiste de los tratamientos térmicos siguientes:

1.- El primer tratamiento térmico para el endurecimiento -- por precipitación, llamado también tratamiento de solución, deja a la aleación relativamente blanda. En este proceso se calienta el material para disolver uno o más elementos de aleación, y -- luego se enfría bruscamente para mantenerlo (s) en solución sólida.

2.- El material tratado en solución se recalienta luego para el tratamiento de precipitación, el cual permite que se precipite de la solución sólida una fase rica en el elemento (o los elementos) de aleación, en condiciones controladas. Esta reacción endurece y da mayor resistencia al material.

Como se puede observar, este tipo de tratamiento, es en forma -- sustancial opuesto al temple y revenido de los aceros al carbono aleados y algunos tipos de inoxidables.

La precipitación es un ejemplo de reacción reconstructiva y es -- capaz en principio, de endurecer cualquier metal aleado adecuado o un cerámico; en contraste, el endurecimiento martensítico del acero es en la actualidad, el único ejemplo importante de endure

cimiento por una reacción desplazativa.

b) Tratamientos térmicos aplicables a las fundiciones de hierro:

Recocido para eliminar las tensiones internas en piezas coladas de forma intrincada.- Se calienta lentamente (75-100°C/h) hasta los 500-550°C, permanencia a ésta temperatura durante unas 2-5 horas y posteriormente enfriamiento lento dentro del horno - - - (50-60°C/h) hasta los 200°C. Este tipo de recocido se sustituye por permanencia larga al aire (hasta un año) de las piezas coladas colocadas en el almacén, proceso que se suele denominar envejecimiento natural. Pero, en este caso las tensiones se eliminan sólo en forma parcial, obteniéndose un rendimiento sólo del 20 al 30%.

Recocido para reducir la dureza y mejorar la maquinabilidad de las fundiciones grises.- Este recocido se realiza calentándolas hasta una temperatura de 850-950°C durante 1-2 horas, lo que origina la grafitización de la cementita libre.

Normalizado de las fundiciones.- Se realiza calentándolas hasta una temperatura de 850-870°C con el objeto de elevar el contenido de carbono combinado a expensas de la disolución de una parte de carbono libre en la austenita, y por enfriamiento al aire para lograr la estructura perlítica.

Temple de las piezas de fundición.- Para obtener en los distintos tipos de fundición la estructura de martensita, bainita y perlita fina, el temple se realiza del mismo modo que en los ace

ros; la temperatura de calentamiento para el temple oscila de -- 820 a 900°C. Hay que subrayar la eficacia: 1) Del temple a tempe ratura constante que permite elevar la resistencia mecánica en -- un 30-50% y la resistencia al desgaste en 3-4 veces; ii) del tem ple superficial por inducción con corrientes de alta frecuencia, de las piezas que sufren rozamientos durante su trabajo.

5.7.4.- Tratamientos superficiales y termoquímicos.-

En algunas aplicaciones es necesario que la superficie del mate-- rial sea lo suficientemente dura y resistente, pero, que el nú-- cleo sea suave y tenaz, tal es el caso de ejes, engranes, levas, etc.

Esto se consigue aplicando un tratamiento superficial en el me-- tal, de manera que las propiedades superficiales sean óptimas.

Se puede conseguir de dos maneras: sin alteración o con altera-- ción de la composición química de la capa superficial, por lo -- que en el segundo caso, además se dice que es un tratamiento ter moquímico. Entre los tratamientos superficiales (sin modifica-- ción química) más comunes se tienen los siguientes:

Endurecimiento por inducción.- Este proceso consiste en calentar-- por encima del intervalo de transformación una capa superficial-- delgada del material, con preferencia acero recocido o normaliza-- do, mediante un procedimiento eléctrico de inducción y luego en-- friarlo, según se requiera, en agua, aceite, aire o gas. Como -- de este modo se calienta rápidamente una capa delgada de la su--

perficie, quedando el núcleo relativamente frío, el proceso se emplea extensamente para el endurecimiento superficial de aceros cuyo contenido de carbono va de 0.35 a 0.55%, con lo que el acero responde fácilmente al tratamiento térmico. La profundidad de endurecimiento puede ser regulada de modo que, por ejemplo, la dureza Rockwell sea 50 RC o mayor a profundidades de 0.50 a 4.32 mm. La dureza de la superficie puede ser del orden de 50 a 55 RC o más alta. La dureza del núcleo es del orden de 30-35 RC. Después del endurecimiento por temple de la superficie calentada, conviene revenir la pieza a una temperatura de 204-323°C. El endurecimiento superficial por calentamiento por inducción magnética se emplea también para la fundición de hierro gris y para hierro maleable.

Endurecimiento o temple por flama.- Lo mismo que el endurecimiento por inducción, el de flama es un proceso de calentamiento de la superficie de un acero, seguido de temple o enfriamiento rápido, para endurecer dichas superficies. En forma común, se aplican llamas neutras de acetileno y a continuación se le enfría con chorro de agua. Aunque el proceso puede ser efectuado manualmente, se obtienen resultados más consistentes utilizando máquinas especialmente proyectadas. Este procedimiento se aplica a los mismos aceros que el de inducción (por ejemplo, aceros con 0.45% de carbono) y aunque se emplea para piezas grandes y pequeñas, presenta considerables ventajas en el caso de piezas muy grandes en el que se desea endurecer superficies determinadas; por ejemplo, las guías de la bancada de un torno o la superficie de los dientes de engranes de gran diámetro.

La zona endurecida suele ser mucho más profunda que la que se obtiene por carburación y varía de 3.175 a 6.35 mm de profundidad. Superficies endurecidas delgadas del orden de 1.58 mm pueden obtenerse aumentando la velocidad de calentamiento y templado.

Temple por calentamiento eléctrico de contacto.- Consiste en calentar la capa superficial de la pieza con corrientes de alta densidad y baja tensión (2-6 V), realizando el contacto a través del metal que se calienta con ayuda de electrodos de cobre. La capa caliente se enfría con un chorro de agua o aceite.

Este método tiene una aplicación limitada debido a su poco rendimiento, ya que existe un método de calentamiento más perfecto, que es el endurecimiento por inducción, ya que emplea corrientes de alta frecuencia.

Temple por calentamiento del metal en electrólito.- El proceso consiste en lo siguiente: la pieza, que sirve de cátodo se sumerge en electrólito (solución acuosa de sosa) y de ánodo sirve el mismo baño. Al cerrar el circuito de corriente continua, alrededor del cátodo, se forma una camisa de hidrógeno con una alta resistencia eléctrica, lo que contribuye a la creación de una alta temperatura y a un calentamiento rápido de la capa superficial del metal. La pieza calentada se enfría (se temple) en el mismo electrólito al desconectar la corriente. Para calentar la pieza se aplica una corriente continua con tensión de 220 a 300 V y densidad de 4 a 6 A por cm^2 de la superficie de calentamiento.

Los tratamientos termoquímicos implican una alteración en la com posición química en la capa superficial del metal tratado, debido a la difusión de átomos de un medio circundante hacia el inte rior del metal y depende de varios factores, tales como temperatura, concentración del medio, concentración inicial del metal, etc.

Entre los tratamientos termoquímicos más importantes se tienen los siguientes:

Cementación.— La cementación (también conocida como carburización o carburación) es el procedimiento más antiguo de saturación de la superficie de los aceros con carbono, o sea es un proceso de adición de carbono en la superficie del acero exponiéndola a la acción de agentes carbonosos o cementantes sólidos, líquidos o gaseosos, efectuándose dicho proceso por encima de la temperatura de transformación. Por tanto, rápidamente se forma una capa superficial de alto carbono (como el 1.2%). Como la parte interna es de bajo contenido de carbono, los átomos que tratan de alcanzar el equilibrio empezarán a difundir hacia dentro. La rapidez de difusión del carbono en austenita a una temperatura dada, depende del coeficiente de difusión y del gradiente de concentración del carbono. En condiciones de operación estándar y conocidas, con la superficie a una concentración fija de carbono, se puede predecir la forma del gradiente del carbono con razonable exactitud, como una función del tiempo transcurrido.

Después de realizado ésto, se somete el material al temple y generalmente a un revenido a una temperatura de 149-232°C para lograr la eliminación de las tensiones producidas por el temple. De aquí se puede decir que el gradiente de carbono obtenido en aceros al carbono y aleados es similar; sin embargo, debido a la mayor templabilidad de los aceros aleados la dureza obtenida a una profundidad dada va a ser mayor.

Los métodos de carburación más comunes son los de cementación en caja y cementación con gas. En la carburización en caja se calienta la pieza en contacto con compuestos carburantes sólidos de diversas clases, por ejemplo, carbón vegetal, huesos quemados o en polvo, cuero tostado o carbón de cuero, alquitrán, carbonatos de bario, sodio y calcio, especialmente el carbonato de bario y el carbón vegetal. La profundidad de la corteza y la rapidez del proceso dependen en parte de la temperatura del horno durante la operación, que es del orden de 900 a 950°C (Fig.5.23).

En la cementación con gas, que ha sido perfeccionada hasta lograr un proceso económico y eficiente, especialmente para grandes cantidades de piezas, se calientan las piezas en gases carburantes, tales como metano, etano, propano y monóxido de carbono. Las temperaturas de operación y el espesor de la corteza obtenidos son casi los mismos que en la carburación en caja. Después de cuatro horas a 935°C el espesor de la corteza es de 1 a 1.27 mm. En la cementación con líquido se sumerge la pieza en un baño de sales fundidas que producen una corteza análoga a la obtenida en la carburación por los procesos mencionados anteriormente.

te, pero de menor espesor, que en forma ordinaria se sobrepasa - los 0.64 mm.

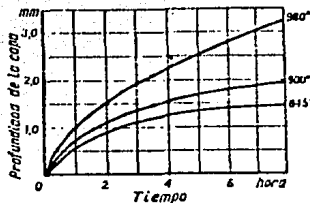


Fig. 5.23-Efecto de la temperatura y del tiempo de permanencia sobre la profundidad de cementación con carburante sólido (carbón+40% de B₂CO₃)

Para servicio pesado o severo, como en el caso de dientes de algunos engranes, puede ser conveniente un espesor de corteza de 1.5 a 2.3 mm. Un valor seguro de proyecto de dureza superficial del acero cementado puede ser de 600 HB, pero generalmente la dureza está comprendida entre los límites:

$$55 \leq RC \leq 65 \quad \text{ó} \quad 560 \leq HB \leq 730$$

Los aceros apropiados para cementar son los de bajo contenido de carbono, por ejemplo, de 0.15 a 0.25%. Entre los aceros aleados más usados para procesos de cementación se encuentran: para una capa superficial de alta templabilidad, los aceros NOM 25XX, 33XX, 43XX, 48XX y 93XX; para una capa superficial de baja templabilidad los aceros NOM 13XX, 23XX, 40XX, 41XX, 46XX, 51XX, 86XX y 87XX.

Cianuración.- Lo mismo que en la cementación con líquido, la cianuración se efectúa sumergiendo la pieza en un baño líquido de sales, aproximadamente a una temperatura de 843°C, empleándose en forma general para ambos procesos el cianuro de sodio (NaCN). La diferencia entre ambos procesos estriba en el uso de un cata-

lizador en el caso de cementación con líquido, que produce una penetración más rápida del carbono y un contenido relativamente bajo de nitrógeno en la corteza. Por consiguiente, la llamada corteza cianurada contiene mucho más nitrógeno, que es también un agente endurecedor. Aunque la profundidad de las piezas cementadas en líquido puede ser algo mayor de 0.5 mm, el espesor de la corteza cianurada no suele exceder de 0.25 mm. Los aceros de bajo y medio contenido de carbono se suelen utilizar para cianuración y la dureza de la capa superficial puede ser del mismo orden que la obtenida por carburación.

Nitruración.— En el endurecimiento superficial por nitruración, la pieza mecanizada y tratada térmicamente se coloca en un ambiente nitrogenado, generalmente amoníaco, las piezas a nitrurar se colocan en un recipiente hermético, a través del cual se proporciona en forma continua la atmósfera de nitruración, mientras que la temperatura se eleva y mantiene entre 496 y 565°C. El ciclo de nitruración es muy largo, dependiendo de la dureza superficial deseada. Como se muestra en la Fig. 5.24, un ciclo de 60 horas dará lugar a una profundidad de la dureza de aproximadamente 0.6 mm a 523°C. Como se puede ver, las temperaturas emplea-

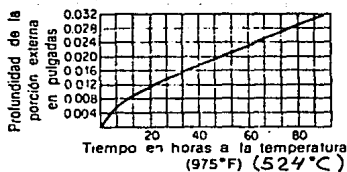


Fig. 5.24.—Profundidad de la porción externa nitrurada contra tiempo a 524°C.

das son mucho menores que en los procedimientos anteriores, además como una pieza no tiene que ser enfriada rápidamente, éste proceso evita las deformaciones que produce dicho enfriamiento.

El endurecimiento es resultado de una reacción del nitrógeno disociado del amoníaco, con los elementos de aleación del acero para formar nitruros. Para obtener una dureza máxima se emplean aceros especiales denominados "nitralloy", que contienen aluminio como elemento de aleación; sin embargo, otros aceros como el NOM 4140, se endurecen frecuentemente por nitruración.

El contenido de carbono de los aceros "nitralloy" está dentro del rango aproximado de 0.20 a 0.40%. La dureza superficial del nitralloy N nitrurado a 524°C durante 48 horas, debe ser mayor que 67 RC; la profundidad de la corteza puede ser de 0.25 a 0.50 mm. La corteza es suficientemente fuerte para elementos o piezas sometidas a tracción o flexión, por lo que las fracturas que resultan de esfuerzos repetidos provienen generalmente de la zona de transición entre la corteza y el núcleo.

Carbonitruración.- En un proceso de endurecimiento superficial del acero por absorción simultánea de carbono y nitrógeno en una atmósfera de gases calientes, seguida de enfriamiento rápido (temple) o lento, según convenga. Se emplea para procesos intermitentes o continuos. Con suficiente porcentaje de amoníaco (hasta un 15%) en el gas carburante, se puede obtener sin temple una dureza de lima (59 RC), en piezas de acero al carbono. Cantidades muy pequeñas de amoníaco (menos del 1%) en el gas carburante son suficientes para obtener una dureza máxima por medio del temple en aceite.

El uso de pequeñas cantidades de amoníaco en combinación con el

temple resulta más económico que utilizar una gran cantidad de amoníaco. En hornos de trabajo continuo a temperaturas de 816 a 843°C, la profundidad de la corteza endurecida puede variar de 0.076 a 0.254 mm según el tiempo y la temperatura. Este proceso se emplea por razones de economía y proporciona un producto de buena calidad. Hay conocimiento de que algunas piezas endurecidas superficialmente por este procedimiento han resistido el desgaste durante un tiempo mucho mayor que el que resistieron las piezas del mismo tipo anteriormente empleadas, endurecidas superficialmente por cianuración o cementación.

Calorización.- Se llama calorización a la saturación del acero con aluminio. Como resultado de la calorización, el acero adquiere alta resistencia a la formación de cascarilla (hasta 850-900°C), puesto que durante el proceso de calentamiento, en la superficie de las piezas calorizadas se forma una película densa de óxido de aluminio (Al_2O_3), que protege al metal de la oxidación. La capa calorizada posee buena resistencia a la corrosión en toda una serie de medios. Comúnmente se emplea la calorización en mezclas en forma de polvo. Las piezas se empaquetan en una caja llena con la mezcla de trabajo en cuya composición entran aluminio en polvo (25-50%) o ferroaluminio (50-75%), óxido de aluminio (25-75%) y cloruro de aluminio (1%).

El proceso se lleva a cabo de 900 a 1050°C durante 3 a 12 horas. en forma frecuente se emplea la calorización en baños con aluminio fundido. Las piezas calorizadas se sumergen en aluminio fundido, que contiene un 6-8% de Fe, el proceso se realiza de 700 -

a 800 °C durante 45 a 90 minutos.

La capa calorizada es una solución sólida de aluminio en el hierro. La concentración de aluminio en la parte superficial de la capa debe ser de aproximadamente el 30%.

El aumento del contenido de carbono y elementos de aleación en el acero detiene la difusión del aluminio. El espesor de la capa calorizada es de 0.2 a 1.0 mm.

Se someten a calorización los depósitos de combustible de los generadores de gas, las fundas de los termopares, las piezas de las cucharas de colada, válvulas y otras piezas que trabajan a altas temperaturas.

Cromizado o cromado.- Consiste en la introducción de cromo dentro de las capas superficiales del metal base. El proceso no está restringido a materiales ferrosos y pueden aplicarse a níquel, cobalto, molibdeno y tungsteno para mejorar la resistencia a la corrosión y al calor.

Cuando se aplica al hierro o acero, convierte la capa superficial en una porción externa de acero inoxidable. Si el acero contiene grandes cantidades de carbono (superiores al 0.60%), los carburos de cromo se precipitarán, incrementando la resistencia al desgaste. El proceso de cromado más ampliamente utilizado, se basa en el principio de transferencia de cromo a través de la fase gaseosa a temperaturas elevadas. Las temperaturas --

utilizadas varían desde 900 hasta 1100°C. Estas altas temperaturas pueden producir alguna deformación y crecimiento de grano durante el tratamiento. Los aceros cromados de alto contenido de carbono tienen una dureza de 800 a 100 Vickers y un bajo coeficiente de fricción. El cromizado se emplea en troqueles forjados a martinete, herramientas, martinets hidráulicos, pistones y ejes para bombas.

Siliciado o siliciuración.- Consiste en la impregnación con silicio de un material de base hierro. El proceso se lleva a cabo en el intervalo de temperatura de 930 a 1010°C. La pieza se calienta en contacto con un material que contiene silicio (como carburo de silicio) y se utiliza gas cloro como catalizador. La profundidad de la superficie endurecida varía desde 0.127 hasta 2.54 mm, dependiendo principalmente del contenido de carbono del material base. La superficie endurecida producida contiene alrededor del 14% de silicio. Las superficies endurecidas por siliciado son difíciles de maquinarse, aunque la dureza es sólo de 200-300 HB. El incremento en resistencia al desgaste por siliciado se debe a un bajo coeficiente de fricción (una particularidad distintiva de la capa siliciurada es la alta porosidad), algunas veces se hace una impregnación preliminar con aceite a una temperatura de 170-200°C.

Además se obtiene resistencia a la corrosión en el agua de mar, en los ácidos nítrico, sulfúrico y clorhídrico.

Se someten a siliciuración las piezas que se emplean en los equi

pos de la industria química, del papel y petrolera (ejes de bombas, tuberías, accesorios, tuercas, pernos, etc.)

Boración.- La boración, es decir, el recubrimiento de la capa superficial con boro, proporciona alta dureza (1800-2000 HB), resistencia al desgaste y estabilidad a la corrosión en distintos medios. La boración de las piezas de acero se realiza comúnmente por electrólisis de sales fundidas que contienen boro. La pieza desempeña el papel de cátodo en el baño con bórax fundido - - - ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7$). El proceso puede ser realizado sin electrólisis en baños con cloruros fundidos (fluoruro de sodio o cloruro de bario) a los cuales se les agrega el ferroboro en estado de polvo o carburo de boro.

Se han obtenido excelentes resultados durante la boración gaseosa. En este caso, el recubrimiento con boro se realiza en un medio de diborano (B_2H_6) en mezcla de hidrógeno a 850-900°C.

En la superficie del acero se forma boruro de hierro FeB, más -- abajo, el cloruro Fe_2B y solución sólida. El carbono y los elementos de aleación disminuyen el espesor de la capa borada.

A boración se someten piezas que se emplean en los equipos de la industria petrolera. Así, por ejemplo, se recubren con boro los casquillos de las bombas de lodos de petróleo para aumentar su resistencia al desgaste por abrasión.

A boración se pueden someter todos los aceros.

VI.-

ALEACIONES NO FERROSAS

6.1.- Generalidades.-

Se consideran aleaciones no ferrosas aquellos materiales metálicos en los cuales el contenido de hierro en ellos es mínimo o nulo. Aquí se considerarán los metales no ferrosos más utilizados, así como sus principales aleaciones y que además son de fácil adquisición en nuestro país.

En los últimos años, los metales no ferrosos tales como el aluminio, magnesio, titanio, etc; han sustituido en muchas aplicaciones a aleaciones ferrosas, esto, debido a que se han desarrollado aleaciones con mejores propiedades como: una mejor relación resistencia/peso, resistencias bastante elevadas, próximas o mayores que las de los aceros, óptima resistencia a la corrosión y a altas temperaturas. Se pondrá énfasis en la designación técnica y comercial de los diferentes metales, la razón de esto, es que las diversas propiedades varían de una manera bastante considerable al modificar aunque sea en forma mínima la composición química de una serie de aleaciones, además, también pueden ser modificadas (tal como se vio en las aleaciones ferrosas) por diversos procesos como trabajo en frío, tratamientos térmicos, etc.

6.2.- Aluminio y sus aleaciones.-

El aluminio y sus aleaciones ocupan el primer lugar, en cuanto al tonelaje utilizado entre los metales no ferrosos, desbancando al cobre y sus aleaciones, como consecuencia de que son aleaciones ligeras especialmente apropiadas para usos donde se desee re

ducir las fuerzas de inercia de las partes móviles y en general cuando la reducción de peso es una ventaja esencial, como en la construcción de aviones y en algunas partes de camiones, ferrocarriles y otros vehículos.

Otras características de las aleaciones de aluminio que hacen recomendable su empleo son: alta conductividad eléctrica y térmica; resistencia a algunos efectos corrosivos (conferidos por una película de óxido que se forma en la superficie); facilidad de moldeo, de labrado (en frío y en caliente) y de empalme o unión por la mayoría de los métodos de fabricación; ciertas aleaciones tienen también muy buenas propiedades mecánicas. Se pueden obtener en diversas formas o perfiles por laminación, incluyendo los perfiles estructurales.

En la tabla 6.1 se resumen las principales propiedades del aluminio y sus aleaciones:

Tabla 6.1.- Principales propiedades del aluminio y sus aleaciones.

Facilidad de trabajo	Se pueden hacer fabricaciones económicas de aluminio con todos los procesos comunes.	Propiedades magnéticas	El aluminio no es magnético. Por tanto, se reducen las pérdidas y disturbios eléctricos en aplicaciones en blindaje de cables y equipo electrónico.
Peso	El aluminio pesa mucho menos que la mayoría de los otros metales industriales comunes.	Conducción del calor	Como el aluminio transmite el calor con rapidez y eficiencia, tiene amplio uso en utensilios de cocina, pistones para motores, equipo industrial y productos similares.
Resistencia a la tracción	Algunas aleaciones de aluminio tienen resistencia a la tracción mayor de 80 000 psi.	Propiedades reflejantes	El aluminio refleja la luz y el calor con alta eficiencia.
Resistencia a la corrosión	El aluminio no necesita protección en la mayoría de los ambientes normales.	Baja elasticidad	Su bajo módulo de elasticidad permite al aluminio soportar impactos considerables, sin deformación permanente.
Facilidad de revestimiento	Se pueden aplicar revestimientos de óxidos de muchos colores y acabados duros de superficie, resistentes al desgaste.	Diversas	El aluminio no es tóxico ni tiene olor; tiene mucho uso en las plantas de procesamiento de alimentos y en utensilios domésticos. No produce chispas y se puede usar con seguridad cerca de sustancias inflamables y explosivos.
Propiedades eléctricas	Kilo por kilo, el aluminio tiene el doble de la conductancia del cobre. Para secciones iguales, la conductividad del aluminio es 62% de la del cobre.		

FUENTE: Aluminum Company of America.

El problema de la designación de las aleaciones de aluminio, es todavía más complicado que el del acero. Existen cuando menos, cinco sistemas de clasificación en uso limitado en la actualidad. La Aluminium Association (AA) ha establecido un sistema de clasificación con cuatro dígitos que es de uso más difundido y el - - cual será el sistema universal del futuro. Este sistema de designación es de gran uso también en nuestro país.

Los principales elementos aleantes son el cobre, manganeso, silicio, magnesio, cinc, níquel y estaño. En las aleaciones de forja se ha desarrollado un código que permite reconocer fácilmente el tipo de aleación.

Código	Tipo de aleación (elemento principal)
1XXX	Aluminio esencialmente puro
2XXX	Cobre (dos fases)
3XXX	Manganeso (una fase)
4XXX	Silicio (dos fases)
5XXX	Magnesio (una fase)
6XXX	Magnesio y silicio (dos fases)
7XXX	Cinc (dos fases)
8XXX	Otros elementos
9XXX	Serie no utilizada

Desafortunadamente no se ha tratado de separar las aleaciones de una fase y de dos fases diferenciándolas en la numeración y, por lo tanto es necesario reconocer que las series 2XXX, 4XXX, 6XXX y 7XXX; son aleaciones de dos fases.

En la tabla 6.2 se explica en forma detallada el sistema de designación de las aleaciones para forja del aluminio según la AA.

Tabla 3-4 Sistema de Aluminum Association (AA) para designación del aluminio con cuatro dígitos.

El diagrama muestra el significado de los números en la designación estándar de Aluminum Association para aleaciones forjadas.									
X		X			X		X		
↑		↑			↑		↑		
Este dígito identifica el tipo de aleación		Este dígito identifica modificación en la aleación. Antes, las modificaciones se indicaban con letras. Con el cambio al nuevo sistema, se ha sustituido la letra por el dígito correspondiente a su posición en el alfabeto (Inglés). Por ejemplo, A17S se convierte en 2117. El cero es la aleación original.			Estos dos dígitos identifican la pureza del aluminio o la aleación específica del aluminio. Para las aleaciones en uso antes de la adopción del sistema de cuatro dígitos, éstos son iguales que los números en la designación antigua. Por ejemplo, 24S se convierte en 2024.				
Tipo de aleación de aluminio									
	Número del grupo					Número del grupo			
	1	X	X	X		5	X	X	X
Aluminio: 99.00% mínimo o más...	1	X	X	X	Magnesio.....	5	X	X	X
Cobre	2	X	X	X	Magnesio y silicio.....	6	X	X	X
Manganeso.....	3	X	X	X	Zinc	7	X	X	X
Silicio.....	4	X	X	X	Otros elementos	8	X	X	X
					Series sin uso.....	9	X	X	X

FUENTE: Aluminum Company of America.

El código empleado en las aleaciones para fundición es bastante diferente y, generalmente, emplea tres dígitos:

Numeral 1 a 99 1XX 2XX 3XX 4XX 5XX 6XX 7XX

Familia Al-Si Al-Cu Al-Mg Al-Si Al-Mn Al-Ni Al-Zn Al-Sn

Designación del estado de la aleación.- Esta designación sigue a la de aleación y se halla separada de ésta por un guión. Se basa en las secuencias de los procesos básicos utilizados para producir los diversos templej. El sistema estándar de designación de temple consta de una letra que indica el temple básico. Excepto para los templej en condición de fabricado sin tratamiento térmico, se define más específicamente por la adición de uno o más dígitos. Hay cuatro templej básicos y son:

Letra	Estado de la aleación.
F	Estado bruto de fabricación
O	En estado blando como resultado del recocido (recristalización)
H	Endurecido por deformación en frío
T	Tratado térmicamente

En forma más completa se tiene:

F.- Condición de fabricado.- Aplicado a productos que adquieren algún temple como resultado de las operaciones de manufactura. No hay garantía de propiedades mecánicas.

O.- Recocido, recristalizado - Es el estado más suave de los productos de aleación forjados.

H.- Se aplica a productos susceptibles de incrementar sus propiedades mecánicas mediante trabajo en frío solamente. La H siempre es seguida de dos o más dígitos. El primero indica la combinación específica de las operaciones básicas como sigue:

H1.- Endurecido por deformación solamente. El segundo dígito de signa la cantidad de trabajo en frío realizada, cuyo número 8 representa la condición de dureza total; por lo tanto, una dureza media es H14; una dureza de un cuarto es H12, etc.

Los estados extraduros se designan con el 9. Un tercer dígito se emplea a menudo para indicar el grado de control del temple o para identificar un conjunto específico de propiedades.

H2.- Endurecido por deformación y luego recocido parcialmente. Se aplica a productos terminados en frío para obtener un temple más duro y luego, mediante recocido parcial, se les reduce su resistencia al nivel deseado. La cantidad residual de trabajo en -- frío se designa mediante el mismo método que los de la serie H1.

H3.- Endurecimiento por deformación y luego recocido parcialmente se aplica sólo a aleaciones que contienen magnesio a las cuales se les da un calentamiento a baja temperatura para estabilizar sus propiedades. El grado de endurecimiento por deformación remanente después del tratamiento térmico de estabilización se -- indica en la forma usual por uno o más dígitos.

W.- Tratados térmicamente en solución. Es un temple inestable -- que se aplica sólo a aleaciones que envejecen espontáneamente a temperatura ambiente después del tratamiento térmico de solución. Debido al envejecimiento natural, esta designación es específica sólo cuando se indica el período de envejecimiento; por ejemplo 2024-W (1/2 h) .

T.- Tratado térmicamente. Se aplica a productos tratados térmicamente con o sin endurecimiento suplementario por deformación, -- para producir temples estables. La T antecede a los números 2 -- al 10, designando una combinación específica de operaciones básicas. Las variaciones deliberadas de las condiciones, que dan lugar a características significativamente distintas para el pro-- ducto, se indican añadiendo uno o más dígitos a la designación -- básica:

- T2.- Recocido (sólo productos fundidos).
- T3.- Tratados térmicamente en solución y posteriormente trabajados en frío.
- T4.- Tratados térmicamente en solución y envejecida en forma natural hasta una condición sustancialmente estable.
- T5.- Sólo envejecido artificialmente. Se aplica a productos envejecidos artificialmente después de un proceso de fabricación a alta temperatura seguido por un enfriamiento rápido.
- T6.- Tratados térmicamente en solución, luego, envejecida en forma artificial.
- T7.- Tratados térmicamente en solución y estabilizados. Es aplicado a productos estabilizados después del tratamiento térmico en solución para llevarlos más allá del punto de máxima resistencia y proporcionarle control de algunas características especiales.
- T8.- Tratados térmicamente en solución, luego envejecida en forma artificial.
- T9.- Tratados térmicamente en solución, envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.
- T10.- Envejecida artificialmente y luego trabajada en frío, lo mismo que en T5, pero seguida de aplicación de trabajo en frío con el fin de mejorar la resistencia.

Las propiedades más importantes de cada uno de los tipos de aleación laminada se indican en la tabla 6.3

Para aleaciones de aluminio aptas únicamente para ser fundidas, es decir, para producir piezas de forma compleja e intrincada, sus principales características son:

Tabla 6.3.- Propiedades principales de las aleaciones de aluminio laminadas.

Propiedades	Código						
	1XXX	2XXX	3XXX	4XXX	5XXX *	6XXX	7XXX
R. a la tensión	+	++	++	++	++	++	+++
Baja resistencia eléctrica y térmica	++						
Capacidad de ser formado	+++	+	++	++	++	++	+++
Capacidad de ser soldado	++		++			++	
Endurecible por tratamiento térmico		++		++		++	++
Resistencia a la corrosión	++	++				++	++
Endurecible por trabajo en frío	+	++			++		
Maquinabilidad		+++					

(+) = Regular (++) = Buena (+++) = Excelente

- La aleación 2018 posee buenas propiedades a temperaturas elevadas
- La aleación 5052 posee elevada resistencia a la fatiga
- La aleación 7079 posee características óptimas para poder ser laminada en secciones grandes.

*.- Las aleaciones del código proporcionan un acabado claro y lustroso cuando son anodizadas.

- Familia Al-Si.-

Excelente capacidad de ser fundido

Buena resistencia a la corrosión.

Las propiedades varían con el proceso de fundición utilizado.

- Familia Al-Cu.-

Buenas características del producto fundido.

Buena capacidad de ser soldado.

Moderada resistencia a la tensión.

Bajo coeficiente de expansión térmica.

Algunas aleaciones son resistentes al desgaste y a temperaturas elevadas.

Buena maquinabilidad, tal como en la aleación 195

Endurecible por tratamiento térmico

- Familia Al-Mg.

Buena resistencia a la corrosión

Alta resistencia a la tensión, tal como en la aleación 220

Alta ductilidad

Buena maquinabilidad.

- Familia Al-(Si-Cu).-

Buenas características de fundición

Buena soldabilidad

Moderada resistencia a la tensión

Resistentes a la corrosión

- Familia Al-Zn.

Buena combinación de propiedades mecánicas sin requerir tratamiento térmico.

- Familia Al-Sn.-

Excelentes cualidades para ser utilizada en partes con movimiento. Las aleaciones de aluminio que pueden ser laminadas, estiradas, - extruídas y forjadas se conocen como aleaciones dulces de aluminio, están clasificadas como: tipo 1, aquellas que no pueden ser tratadas térmicamente, pero que pueden ser endurecidas por medio del trabajo en frío; y el tipo 2, aquellas que pueden ser endurecidas por tratamiento térmico.

Dentro de las aplicaciones más comunes para las aleaciones de aluminio se tienen las siguientes:

- Tipo 1.-

1100.- Utensilios de cocina, equipo para el manejo de alimentos y productos químicos, ensambles soldados, componentes arquitectónicos, chapas para embutición, etc.

3003.- Utensilios para cocina, equipo para el manejo de productos químicos y alimentos, tanques para gasolina y aceite, envases y recipientes a presión, tubería y guarniciones en equipos de transportación.

5005.- Extrusiones arquitectónicas.

5050.- Aplicaciones en equipos de refrigeración, tuberías para -- combustible en automóviles.

5052.- Tuberías para combustible y aceite en aviones, tanques, -- equipos marinos y aplicaciones en transportación.

5083.- Equipos marinos y estructuras soldadas.

Existen otras aleaciones dentro del tipo 1, pero sus aplicaciones son similares a las aleaciones que ya se vieron.

- Tipo 2.-

2011.- Productos de máquinas para tornillos y conexiones.

2014.- Para forjas sometidas a esfuerzos altos, para rieles de ar mazonas y miembros transversales de camiones.

2014 Alclad (Alclad es el nombre comercial aplicado al proceso -- que consiste en unir una capa de aluminio puro a la superficie -- por medio de un proceso de laminación en caliente, con el fin de restituir al metal su resistencia a la corrosión, afectada por la adición de aleantes y el tratamiento térmico de precipitación).-- Aplicaciones estructurales de alta resistencia donde se requiera buena resistencia a la corrosión.

2017.- Productos de máquina para tornillos y aplicaciones estructurales ordinarias.

2018.- Embólos forjados.

2024.- Aplicaciones estructurales de alta resistencia, ruedas for jadas para autos y camiones.

2117.- Remaches para asegurar tableros de camiones y carrocerías.

2218.- Para cabezales y mangos forjados de cilindros.

3004.- Diferentes partes de carrocerías, tuberías para combusti-- ble y frenos.

- 4032.- Embólos forjados.
- 4043.- Alambre para soldar (conjuntos soldados)
- 6061.- Aplicaciones en equipos marinos, conjuntos soldados, ca-
noas, y equipo para transportación.
- 6062.- Usos similares a la aleación 6061.
- 6063.- Para construcción de pisos de carrocerías para camiones y
remolques.
- 6161.- Forjas complicadas de moderada resistencia, conexiones.
- 6101.- Aplicaciones que involucran máxima conductividad eléctrica
con moderado esfuerzo, uso generalmente limitado para "buses" con
ductores.
- 6951.- Para fabricación de conjuntos soldados con soldadura de la
tón.
- 7072.- Alambre para aplicaciones de metalización.
- 7075.- Partes estructurales para aviones y aplicaciones estructu-
rales de alta resistencia.
- 7079.- Usos típicos en estructuras aeronáuticas y aplicaciones --
donde se involucren grandes esfuerzos.

6.3.- Cobre y sus aleaciones.-

Las propiedades de mayor importancia del cobre y sus aleaciones -
son la alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia
a la corrosión, maquinabilidad, resistencia y facilidad de fabri-
cación. Además el cobre es no magnético, tiene un color atracti-
vo, puede ser soldado con latón, con estaño y fácilmente se termi-
na por revestimiento metálico (galvanizado o barnizado). Algunas-
de estas propiedades básicas pueden mejorarse mediante una alea-
ción adecuada, aunque en algunas ocasiones en detrimento de otras.

La mayor parte del cobre que se utiliza para conductores eléctricos contiene sobre 99.9% de cobre y se identifica ya sea como cobre electrolítico resistente al depósito de grasa, típico del cobre (ETP) o como cobre libre de oxígeno de alta conductividad - - (OFHC).

El cobre electrolítico también encuentra aplicación en materiales para techos, albañales, tuberías, radiadores y empaques para auto móvil, teteras, cubas, recipientes a presión en equipos de destilería y otros procesos. El cobre electrolítico contiene de 0.02% a 0.05% de oxígeno, el cual se combina con el cobre para formar el óxido cuproso (Cu_2O). En la condición de fundido (sin tratamiento térmico), el óxido de cobre y el cobre forman una red interdendrítica eutéctica. Después de trabajada y recocida, la red interdendrítica se destruye y la resistencia mejora. Este tipo de cobre (libre de oxígeno) se utiliza en bulbos o aplicaciones similares porque logra un sello perfecto con el vidrio.

El cobre arsenical que contiene un 0.03% de arsénico tiene mejor resistencia a condiciones corrosivas especiales y se utiliza para ciertas aplicaciones en condensadores e intercambiadores de calor. El cobre de alta maquinabilidad que contiene aproximadamente un 0.06% de telurio, tiene excelentes propiedades de maquinado y se utiliza para pernos, tornillos, puntas para soldar y diversas piezas eléctricas, como puntos de contacto, dispositivos de control para motores eléctricos, relevadores y equipo eléctrico de precisión. El cobre con un pequeño contenido de plata (de 7 a 30 onzas de plata/ton. de cobre) eleva su temperatura de recrista

lización, evitando así el suavizamiento durante el soldado de conmutadores. Se prefiere en la manufactura de motores eléctricos - para usos en ferrocarriles y aviones.

Aleaciones de cobre. - En forma original, las palabras latón y - - bronce, que se han empleado durante siglos, tuvieron significa- - dos bien distintos, el latón era una aleación de cobre y cinc, y el bronce era una aleación de cobre y estaño; sin embargo, los - - nombres se han confundido de tal manera que la única forma de dis- - tinguir una aleación de cobre es por su composición química real. Con ayuda del diagrama de equilibrio cobre-cinc que aparece en la Fig. 6.1, a continuación se clasifican las aleaciones de cobre - - más comunes:

1.- Latones: aleaciones de cobre y cinc.

a) Latones alfa.- Aleaciones que contienen hasta 36% de cinc.

i.- Latones amarillos alfa; de 20 a 36% de cinc.

Latón para cartuchos (70 Cu-30 Zn)

Latón amarillo (65 Cu-35 Zn)

Metal admiralty (71 Cu-28 Zn-1 Sn)

Latón aluminico (76 Cu-22 Zn-2 Al)

ii.- Latones rojos; de 5 a 20% de cinc

Oropel - metal para dorar - (95 Cu-5 Zn)

Bronce comercial (90 Cu-10 Zn)

Latón rojo (85 Cu-15 Zn)

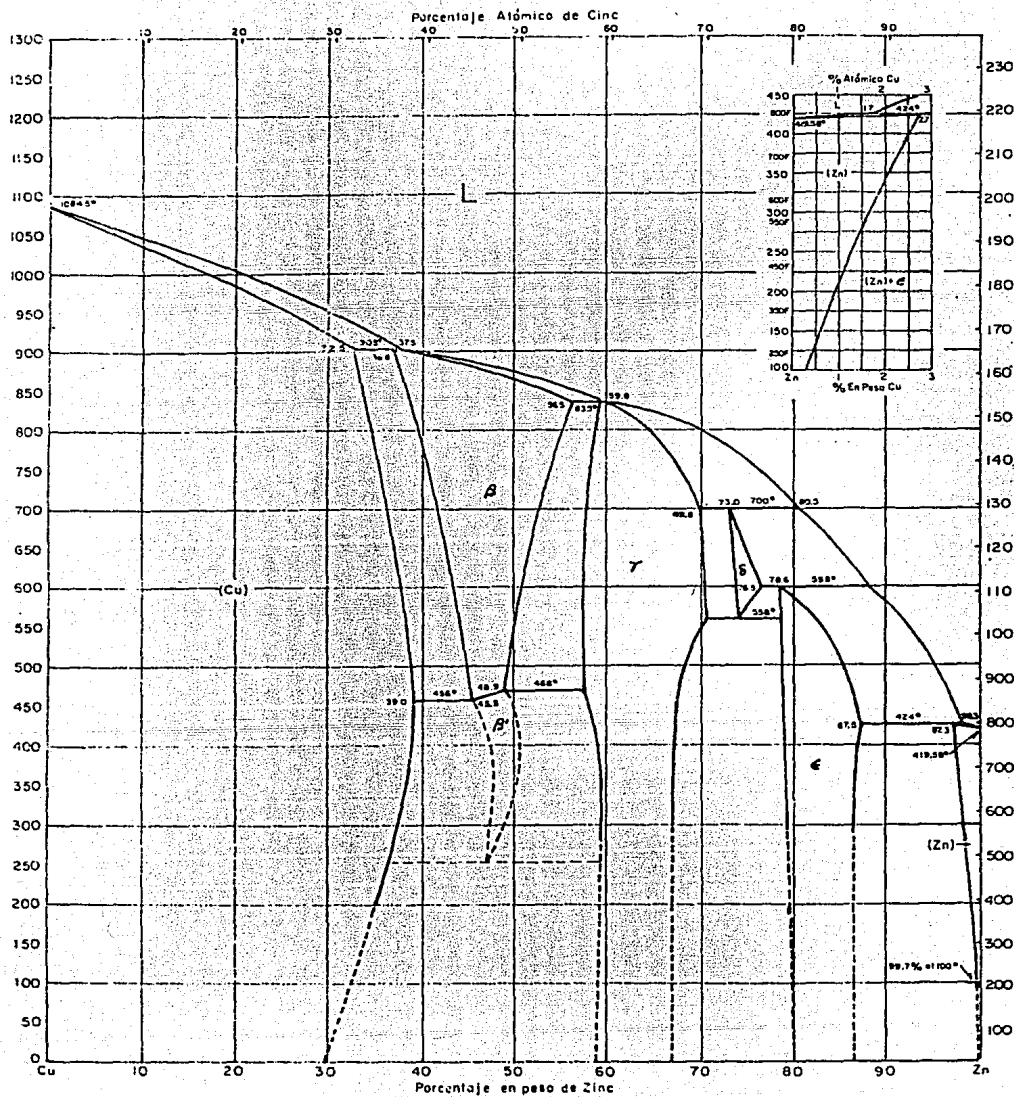
Latón bajo (80 Cu-20 Zn)

b) Latones alfa más beta; de 54 a 62% de cobre

Metal Muntz (60 Cu-40 Zn)

FIG. 6.1.- DIAGRAMA DE FASES DEL SISTEMA BINARIO DE ALEACIONES
Cu-Zn COBRE-ZINC

202



Latón de alta maquinabilidad (61.5 Cu-35.5 Zn-3 Pb)

Latón forjable (60 Cu-38 Zn-2 Pb)

Bronce para arquitectura (57 Cu-40 Zn-3 Pb)

Latón naval (60 Cu-39.25 Zn-0.75 Sn)

Bronce al manganeso (58.5 Cu-39 Zn-1.4 Fe-1 Sn-0.1 Mn)

2.- Latones fundidos.-

Las aleaciones anteriores son latones forjados, los cuales constituyen las aleaciones binarias de cobre y cinc. Los latones especiales para ser fundidos son semejantes en nombre a los forjados, pero generalmente contienen cantidades apreciables de otros elementos de aleación. El estaño puede estar presente desde el 1 hasta el 6% y el plomo desde el 1 hasta el 10%; algunas aleaciones pueden contener Fe, Mn, Ni, Al. Como ejemplo se tiene el latón plomado rojo con una composición química de 85 Cu-5 Sn-5 Pb-5 Zn.

3.- Bronces hasta con un 12% de elemento de aleación

- a) Bronces al estaño (fosforados)
- b) Bronces al silicio (A y B)
- c) Bronces al aluminio (con 5.7 y 9.5% de Al)
- d) Bronces al berilio.

4.- Cuproníqueles: aleaciones de cobre y níquel (10 y 30% de Ni).

5.- Platas Níquel.- Aleaciones de cobre, níquel y cinc (tipos A y B).

Cabe señalar, que la denominación de latones alfa y alfa más beta se debe a que son las fases existentes en el diagrama de equilibrio cobre-cinc.

El temple no endurece las aleaciones de cobre (excepto las de cobre y berilio), por lo que la manera usual de aumentar su resistencia y dureza es el trabajo en frío. El porcentaje de reducción de área por el trabajo en frío determina la condición del material; el grado más blando corresponde al recocido. Las reducciones para otros estados son aproximadamente los siguientes:

Descripción	Porcentaje de reducción aproximada mediante trabajo en frío	
	Tira	Alambre
Un cuarto de dureza	10.9	20.7
Media dureza	20.7	37.1
Tres cuartos de dureza	29.4	50.0
Duro	37.1	60.5
Extraduro	50.0	75.0
Resorte	60.5	84.4
Extraresorte	68.7	90.2

Entre las características más importantes de cada grupo de aleaciones, se pueden enumerar las siguientes:

-Grupo 1.- Latones, aleaciones de cobre y cinc.

a) Latones alfa.-

Excelentes propiedades para trabajarse en caliente cuando tienen altos contenidos de cobre, disminuyendo al disminuir éste.

Con mayor contenido de cobre, tienen excelentes propiedades para doblarse con facilidad y trabajarse en frío

Con 70% de cobre tienen excelentes propiedades para darle troquelado profundo combinado con el costo más bajo.

El color de las aleaciones varía desde el rojo hasta el amarillo al disminuir el contenido de cobre.

b) Latones alfa más beta.-

La facilidad de maquinado aumenta a medida que aumenta el contenido de cobre.

La aleación con 60% de cobre tiene excelentes propiedades para -- trabajarse en caliente.

- Grupo 2.- Latones fundidos.-

Propiedades semejantes a los latones forjados.

La cantidad de elementos aleantes es mayor, ya que no importa su influencia sobre las características de trabajado del material, - ya sea en frío o en caliente.

- Grupo 3.-

a) Bronces al estaño (fosforados)

Alta resistencia a la tensión, punto de fluencia y resistencia a la fatiga.

La resistencia aumenta con un contenido mayor de estaño.

Acepta gran cantidad de trabajo en frío.

b) Bronces al silicio

Posee las propiedades de resistencia a la corrosión del cobre y - las propiedades mecánicas del acero al bajo carbono.

Puede trabajarse fácilmente en frío o en caliente.

c) Bronces al aluminio.

Alta resistencia mecánica

Buena resistencia a la corrosión

Bajo coeficiente de rozamiento contra el acero.

Las propiedades mecánicas mejoran al aumentar el contenido de -- aleante.

d) Bronces al berilio.-

Excelente capacidad de ser formado en la condición suave

Alto límite de proporcionalidad

Alta resistencia a la fatiga y a la termofluencia en el estado en endurecido.

Piezas endurecidas que van a operar en condiciones de desgaste -- contra aceros endurecidos.

Endurecibles por tratamiento térmico.

4.- Cuproniqueles.-

Resistentes a la corrosión bajo esfuerzo y corrosión erosión.

Posee buena ductilidad.

5.- Platas-Níquel (mejor conocidas como plata alemana, alpaca y

"malecort")

Agradable apariencia

Buena resistencia a la corrosión por sustancias químicas de los alimentos, al agua y al medio ambiente.

Excelente metal base para electrodeposición con cromo, níquel y plata.

Mayor resistencia a la corrosión bajo esfuerzo que los latones.

Entre las aplicaciones más comunes de los diferentes tipos de aleaciones se encuentran las siguientes:

1.- Latones.-

a) Latones alfa.- Las aplicaciones varían desde joyería, tela de alambre, sockets para focos, trabajos ornamentales de metal y hasta piezas grandes, tales como casquillos y radiadores para automóviles. Las aleaciones con alto contenido de cobre se usan para volúmenes relativamente pequeños de trabajos ornamentales y las aleaciones con bajo contenido de cobre para aplicaciones industriales para alta producción.

b) Latones alfa más beta.- El metal Muntz se utiliza para tubos de intercambiadores de calor. Con alto contenido de plomo se utiliza como materia prima para máquinas automáticas de tornillos, con un contenido más bajo de plomo se usa para fleje de estampados pequeños que requieran cualidades para fresarse fácilmente. El latón forjable se usa en forjas y artículos prensados de todos tipos.

El bronce al manganeso se utiliza en la manufactura de vástagos - de bomba y transmisiones.

2.- Latones fundidos.-

Conexiones de tubería, engranes pequeños, materiales varios para ferretería, fundiciones decorativas, cubos y palas de hélices.

3.- Bronces.-

a) Bronces al estaño (fosforados).- Diafragmas, muelles, piezas para interruptores, placas de asiento para puentes, muelles especiales.

b) Bronces al silicio.- Equipo para manejar productos químicos, depósitos de agua caliente, tubos para intercambiadores de calor, etc.

c) Bronces al aluminio.- Para engranes, bujes, tornillos, mandriles para formar, casquillos, secciones fabricadas, inserciones para bujías.

d) Bronces al berilio.- Resortes, diafragmas, herramientas que no deban producir chispas, tuercas, tornillos, dados formadores, - etc.

4.- Cuproniqueles.-

Con 30% de Níquel.- Condensadores, tubos de destilación, tubos de evaporadores e intercambiadores de calor y casquillos.

Con 10%.- Placas de condensadores, tubos de evaporadores e intercambiadores de calor, tubería para el transporte de agua salada - etc.

5.- Platas - Níquel.-

Remaches, tornillos, vajillas, cierres de cremallera, joyería de fantasía, placas para grabar nombres y discos sintonizadores para radio. Piezas coladas para aplicaciones marinas, válvulas, etc.

Cabe señalar que existen otras aleaciones, tanto para ser trabajadas por forja o laminación, como para poder ser exclusivamente -- fundidas; sin embargo, las aleaciones vistas aquí, son las más importantes, tanto en forma comercial, como por sus aplicaciones.

6.4.- Magnesio y sus aleaciones.-

El uso del magnesio en aplicaciones de Ingeniería en nuestro país no está muy extendido. Debido principalmente a que la industria aeronáutica no se ha desarrollado de una manera importante y, es en ésta donde más aplicaciones encuentran las aleaciones de este metal.

Sin embargo, se debe considerar en diferentes aplicaciones tomando en cuenta sus principales características, entre las que se encuentran:

- Peso ligero.- En base a volúmenes iguales, el aluminio pesa una y media veces más, el acero cuatro veces más y las aleaciones de cobre y níquel cinco veces más.

- No productor de chispas
- No magnético
- Alta relación resistencia/peso
- Bajo módulo de elasticidad
- Su capacidad de soportar trabajo en frío es más bien baja, con reducciones que van del 15 al 25%
- Altamente sensible a entalladuras o muescas, lo que es importante cuando una pieza cambia de sección y está sometida a esfuerzos variables.
- Buena maquinabilidad.- La potencia requerida para remover un porcentaje dado de metal es más baja para el magnesio que para cualquier otro metal, por ello comúnmente se utiliza para maquinado, proporcionando además un excelente acabado superficial.
- Puede mancharse pero no corroerse al contacto con la atmósfera, son resistentes a los álcalis, pero no debe encontrarse en contacto constante con el agua.
- Es altamente anódico (ver resistencia a la corrosión en el capítulo 4, sección 4)
- Facilidad de usar diferentes métodos de manufactura para la producción de piezas hechas de este metal.

Es el metal donde mejor se pueden observar los efectos que ejercen los elementos aleantes sobre sus diferentes propiedades.

El magnesio comercialmente puro o magnesio primario tiene un mínimo de pureza del 99.8% y suele contener pequeñas cantidades de aluminio, hierro, manganeso, silicio, cobre y sus propiedades mecánicas son muy escasas, encontrando aplicación casi exclusivamen

te en la industria nuclear.

Se pueden clasificar las aplicaciones de las aleaciones de magnesio en dos categorías:

a) Usos estructurales

b) Usos no estructurales

Dentro de los primeros se encuentra que es ampliamente usado en equipo de manejo de materiales, tales como dispositivos transportables, separadores por gravedad y equipo para fundición.

La industria de herramientas portátiles usa aleaciones de magnesio coladas para componentes de taladros, sierras de cadena, martillos de impacto y equipo portátil similar. Además es ampliamente usado en máquinas de escribir y máquinas de coser. En maquinaria industrial tal como máquinas textiles e impresoras usan aleaciones de magnesio para partes que operan a una alta velocidad, donde el peso ligero sirve para reducir fuerzas de inercia.

Los usos no estructurales del magnesio incluyen su aplicación como elemento aleante en aluminio, cinc, plomo y otras aleaciones no ferrosas. Se emplea en la producción de hierro nodular, influyendo en forma determinante en la formación de nódulos de grafito.

El magnesio tiene gran afinidad con el oxígeno y otros agentes químicos oxidantes. Se utiliza como desoxidante y desulfurizante en la manufactura de tubos de vacío. Debido a su alta actividad química se utiliza en la producción de uranio y zirconio mediante

reducción térmica con magnesio.

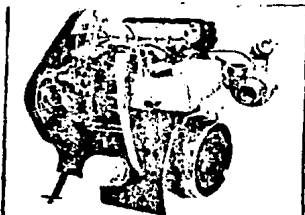
En forma de granulos encuentra alguna aplicación en la elaboración de juegos pirotécnicos. Se usa mucho en fotograbación, debido a su peso ligero, y rápidas y controladas características de ataque químico. Y por último, una de sus aplicaciones más importantes, es su utilización como ánodos de sacrificio para proporcionar una protección efectiva contra la corrosión de calentadores de agua, ductos subterráneos, cascos de barcos y tanques de lastre.

- Designaciones.- Un sistema estándar de designación de las aleaciones es explicado en la tabla 6.4, fue elaborado y publicado por la A.S.T.M. (American Society for Testing Materials) y es el más conocido en nuestro país.

El sistema de designación se maneja de la siguiente manera: Considerese la aleación AZ91C-T6, con composición estándar y propiedades típicas. La primera parte de la designación, AZ, significa que el aluminio y el cinc son los principales elementos aleantes; la segunda parte de la designación, 91, nos dice que el aluminio y el cinc están presentes en porcentajes redondeados del 9 y el 1% respectivamente; la tercera parte, C, indica que esta es la tercera aleación estandarizada con 9% de aluminio y 1% de cinc como elementos principales de aleación. La cuarta parte, T, nos indica que la aleación fue tratada en solución y envejecida en forma artificial.

TABLA 6.4.- Sistema estándar de cuatro partes para la designación de las aleaciones de magnesio (a).

1ra. Parte	2da. parte	3ra. parte	4ta. parte
Indica los dos principales elementos de aleación.	Indican los porcentajes de los principales elementos de aleación.	Distingue entre diferentes aleaciones con los mismos contenidos de los dos principales elementos de aleación.	Indica condición y propiedades.
Consiste de dos letras codificadas representando los dos principales elementos aleantes arreglados en orden decreciente (ó alfabéticamente, si los porcentajes son iguales).	Consiste en números correspondientes a porcentajes redondeados de los principales elementos de aleación y arreglados en el mismo orden que las designaciones de la aleación en la primera parte.	Consiste de una letra del alfabeto asignada en el orden de importancia de la aleación.	Consiste de una letra seguida por un número, separada de la tercera parte de la designación por un guión.
<p>A.- Aluminio B.- Bismuto C.- Cobre D.- Cadmio E.- Tierras raras F.- Hierro H.- Torio K.- Zirconio L.- Berilio M.- Manganeso N.- Níquel P.- Plomo Q.- Plata R.- Cromo S.- Silicio T.- Estaño Z.- Zinc.</p>	Cualquier número	Cualquier letra del alfabeto, excepto I y O.	(b).
<p>(a) La designación debe ser precedida por el nombre del metal base, al menos que el metal base sea obvio.</p> <p>(b) Para una completa explicación del sistema, véase Designación del estado de la aleación en la sección dedicada al aluminio.</p>			



El motor diesel de tres cilindros tiene un bloque de magnesio que pesa unos 12 kg (26 1/2 libras).

Fig. 6.2.- Ejemplo de la gran gama de aplicaciones que tiene el magnesio.

Al igual que en otros metales, hay aleaciones que por sus características son apropiadas para cierto proceso de manufactura, basándose en esa situación se puede hacer una breve clasificación de las principales aleaciones de magnesio tal y como sigue:

- a) Para fundición en molde de arena y en molde permanente (coquilla).
- b) Para moldeo por inyección.
- c) Para extrucción de placas y barras.
- d) Para laminación de chapas y placas.

En forma contraria que el acero, la mayor parte de piezas de magnesio son manufacturadas por el proceso de fundición, debido principalmente a que es especialmente apto para la producción de piezas grandes de paredes delgadas e intrincadas, además que las propiedades mecánicas comparadas con las obtenidas por los otros procesos son semejantes.

Debido al número de aleaciones estándar existentes y para una mejor comprensión, a continuación se seleccionarán las aleaciones-

más importantes de cada grupo de la clasificación, enunciando -- sus propiedades y aplicaciones principales.

a) Aleaciones para fundición en molde de arena y molde permanente.- Aleación AM100A.- Es usada en piezas fundidas en moldes de arena y moldes permanentes, son resistentes a las fugas de presión (mínima porosidad) y poseen una buena combinación de resistencia tensil y resistencia a la cedencia.

Aleación AZ63A.- Fundiciones en general en molde de arena que requieran buena resistencia a la tensión con excelente ductilidad y resistencia al impacto.

Aleación ZH62A.- Es una aleación con alta resistencia estructural a temperatura ambiente. posee un elevado punto de cedencia, mayor que cualquier otra aleación, excepto la ZK61A-T6.

Aleaciones ZK51A y ZK61A.- Son aleaciones colables que logran la más alta combinación de resistencia tensil y ductilidad que cualquiera de las aleaciones colables de magnesio.

b) Aleaciones para moldeo por inyección.-

Aleaciones AZ91A y AZ91B.- Las piezas obtenidas son resistentes a las fugas de presión y tienen buena resistencia a la cedencia y ductilidad.

c) Aleaciones para extrusión.-

Aleación M1A (con 1.2% de manganeso).- Es una aleación de magne-

sio de resistencia relativamente baja y de poco costo. Tiene -- excelente capacidad de ser soldada, resistencia a la corrosión y formabilidad en caliente.

Aleación AZ61A.- Tiene excelente resistencia y ductilidad; se emplea también en trabajos de forja.

Aleación AZ80A (con 8.5% de aluminio).- Se puede tratar térmicamente para productos extruídos y piezas forjadas en prensa; ofrece una buena combinación de resistencia y ductilidad.

Aleación ZK60A.- Esta aleación es la extruible de más alta resistencia y es empleada para formas sólidas y huecas.

d) Aleaciones para laminado.-

Aleación ZE10A.- Chapa y placa de bajo costo y moderada resistencia, no requiere relevado de esfuerzos después de ser soldada.

Aleación AZ31B.- Las chapas y placas poseen buena capacidad de - ser formadas y buena resistencia mecánica, con alta resistencia a la corrosión y buena soldabilidad.

Aleación PE.- Amplia utilización en fotograbado.

6.5.- Níquel y sus aleaciones.-

Aunque pocas veces mencionado, el níquel es el elemento principal de aleaciones que trabajan en condiciones que otros metales no soportarían, tal como equipos para el manejo de sustancias -- químicas, alimentos, equipos para la industria petroquímica, - - etc.

El níquel es un metal blanco, similar en muchos aspectos al hierro, pero con propiedades tales como resistencia a la oxidación y a la corrosión. Es usado ampliamente para proporcionar resistencia mecánica y resistencia a la corrosión y a la oxidación a una gran cantidad de aleaciones ferrosas y no ferrosas.

Entre sus principales propiedades se tienen las siguientes:

- Buena apariencia (por su color blanco)
- No magnético
- Resistencia a la tensión comparable a la de los aceros al bajo carbono.
- Excelente resistencia a la corrosión en diversos ambientes.
- Buena dureza y resistencia al desgaste.
- Resistencia al impacto a bajas temperaturas.
- Endurecible por trabajo en frío.
- Algunas aleaciones endurecen por envejecimiento.

En forma breve se enuncian los principales usos y sus aplicaciones del níquel:

- En la producción de aceros aleados e inoxidables.
- Usado en electrodeposición.
- En aleaciones cobre-níquel, con un contenido de este último -- del 10 al 30%
- En aleaciones al alto níquel, con más del 50% de este elemento.
- En aleaciones níquel-hierro, aleaciones donde el contenido de níquel va del 25 al 80% y el restante es hierro.

En forma contraria a las aleaciones de otros metales, las aleaciones del níquel son conocidas por su nombre comercial y en forma común son marcas registradas.

Para mejor comprensión de las propiedades de las diferentes aleaciones del níquel se dividirán estas en grupos de acuerdo a su composición química, nombrando las aleaciones comerciales que se encuentran dentro de cada grupo:

Grupo 1.- Aleaciones con más del 90% de Ni, entre estas se tienen el Níquel A, el Níquel D, Permanníquel y Duranníquel, además del níquel fundido.

Grupo 2.- Aleaciones níquel-Cobre (Monel, Monel K, Monel fundido).

Grupo 3.- Aleaciones Níquel-Cobre-Silicio (Monel H, Monel S y Hastelloy D).

Grupo 4.- Aleaciones Níquel-Cromo-Hierro (Inconel forjado e Inconel X).

Grupo 5.- Aleaciones Ni-Mo-Fe-Cr (Hastelloy B, C, F, N, W, y X).

Grupo 6.- Aleaciones Ni-Cr-Mo-Cu (Inconel B, G, R, 98).

Grupo 7.- Aleaciones para resistencias eléctricas.

Grupo 8.- Aleaciones Ni-Fe.

Dentro de las propiedades de cada grupo de aleaciones se tienen las siguientes:

- Grupo 1.-

a) Níquel A.-

Resistencia en general

Resistencia a la corrosión y a la oxidación

b) Níquel D.-

Resistencia al ataque de compuestos sulfurosos a elevadas temperaturas en atmósferas oxidantes y reductoras.

c) Permaníquel.-

Buena conductividad térmica y eléctrica

Propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión similares al duraníquel.

Templable por envejecimiento.

d) Duraníquel.-

Alta resistencia a la tensión y a la corrosión, especialmente en secciones grandes.

Grupo 2.-

Alta resistencia a la tensión y a la corrosión.

Su resistencia a la fatiga se ve drásticamente reducida en ambientes corrosivos. A pesar de esto, es ampliamente utilizado en medios tales como salmueras, ácidos, álcalis, productos alimenticios y a la atmósfera.

El monel K es utilizado en la manufactura de piezas de secciones grandes

Poseen además buena resistencia al desgaste.

- Grupo 3.-

Resistencia a la corrosión-erosión

Dureza moderada

El Monel S posee una alta resistencia

La aleación Hastelloy D es resistente en el manejo de ácido sulfúrico a todas concentraciones y temperaturas, además, tiene excelentes propiedades de desgaste y de antigripado ("antiagarrotamiento") de piezas en movimiento, tanto en aleaciones suaves como duras.

- Grupo 4.-

Alta resistencia a la tensión

Alta resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas.

La aleación Ni-onel posee excelente resistencia a la corrosión en ácido fosfórico y sulfúrico.

- Grupo 5.-

Resistentes a la corrosión en diferentes medios.

Resistentes al desgaste y excelentes características de antigripado de piezas en movimiento.

Buenas propiedades a elevadas temperaturas y son resistentes a atmósferas oxidantes y reductoras hasta temperaturas de 1200 °C.

La aleación Hastelloy W tiene excelentes características para la soldadura de metales diferentes.

Grupo 6.-

Las aleaciones Illium B y G proporcionan resistencia superior

a la corrosión con aleaciones de fundición maquinables de alta resistencia, pero la resistencia a la corrosión-erosión y al desgaste deben ser también considerados.

La aleación Illium R es trabajable en formas intrincadas tanto en frío como en caliente.

Grupo 7.-

Excelente resistencia a la oxidación, a la fatiga por calor y a los gases de carburación.

Utilizable en forma forjada o fundida.

- Grupo 8.-

Aunque existen varias aleaciones comerciales con contenidos varios de níquel y hierro, y sus características varían en un amplio rango, se puede decir que se seleccionan estas aleaciones principalmente por sus siguientes características:

Su expansividad térmica controlada

Mínima variación del módulo de elasticidad en un amplio rango de temperaturas.

Alta permeabilidad magnética.

A continuación se mencionan las aplicaciones más comunes de las aleaciones más importantes:

- Grupo 1.-

a) Duraníquel.- Vástagos de bombas, piezas de instrumentos tales

como diaphragmas, fuelles, ejes, etc.

b) Níquel A.- Electrodeposición y artículos resistentes al calor.

- Grupo 2.-

Monel.- Tiene amplia y extensa utilización en la fabricación de equipos para la industria química, farmacéutica, marina, energética, eléctrica, de lavandería, textil y para la fabricación de papel.

Monel K.- Piezas de aviación no magnéticas, vástagos de válvulas, flechas, etc.

Monel fundido.- Piezas resistentes a la acción química destructiva y al desgaste.

- Grupo 3.-

Monel H.- Asientos para válvulas, camisas para bombas e impulsores.

Monel S.- Asientos para válvulas y piezas deslizantes o con movimiento.

Hastelloy D.- Evaporadores, recipientes para reacción, tuberías y accesorios en la industria química.

- Grupo 4.-

Inconel.- Equipo para procesamiento de alimentos, como calentadores, enfriadores, regeneradores, pasteurizadores y tanques de almacenamiento para pasteurización de leche; hornos y en tratamientos térmicos, para recipientes de nitruración, cajas de carburación, retortas, amortiguadores de ruido y tubos de protección para termopares.

Inconel X.- Piezas que requieren alta resistencia y poca rapidez de flujo plástico a temperaturas hasta de 815°C, como sobrecargadores de gas para turbinas y resortes.

- Grupo 5.-

Hastelloy B.- Equipo para manejar, transportar y almacenar ácidos, (como clorhídrico, fosfórico y otros no oxidantes) y otros materiales corrosivos.

Hastelloy C.- Equipos para manejar ácidos oxidantes, tales como el ácido nítrico, crómico y el sulfúrico; piezas para bomba y -- válvulas, inyectores a chorro y aplicaciones semejantes.

Hastelloy F.- Equipo para manejar ácido sulfúrico, además es utilizado en piezas resistentes al desgaste.

Hastelloy N.- Equipo para fundir sales de fluoruro y equipo en general que deba operar a elevadas temperaturas.

Hastelloy W.- Equipo que opera a esfuerzos y temperaturas elevadas durante períodos cortos de tiempo, hasta el rango de 75 a -- 90% de la temperatura de fusión del metal.

Hastelloy X.- Hornos industriales y para diversas piezas de avión, como tubos de escape de propulsión, posquemadores, aspas de turbinas, y paletas de hélices.

- Grupo 6.-

Illium B.- Cojinetes de empuje e impulsores de bombas, hojas de corte, etc.

Illium G.- Dados para la extrusión de celofán viscoso, también se usa en bombas, válvulas y otro equipo para la industria de procesos donde se encuentran ambientes corrosivos severos.

Illium R.- Usado en bombas, válvulas, tubería, placa y alambre.

Illium 98.- Componentes de bombas y válvulas, así como equipos diversos en la industria de procesos.

- Grupo 7.-

Aleación 80 Ni-20 Cr.- Elementos eléctricos para aparatos caseros y hornos industriales, alambre fino para la fabricación de resistencias eléctricas utilizadas en aplicaciones electrónicas.

Aleación 60 Ni-24 Fe-16 Cr.- Elementos eléctricos de calefacción en aplicaciones caseras, tales como tostadores, cafeteras, planchas, almohadillas calentadoras, secadoras para pelo y calentadores para agua; también en reóstatos de alta resistencia para equipo electrónico, termopares, así como canastas utilizadas en los baños de ácido para limpiar superficies metálicas.

Aleación 35 Ni-45 Fe-20 Cr.- Reóstatos para servicio pesado, aplicaciones eléctricas de bajo precio y resistencia que operan bajo la presencia de atmósferas gaseosas corrosivas.

- Grupo 8.-

Invar (35 Ni-65 Fe).- Posee un coeficiente de expansión térmica bastante reducido, por lo que tiene aplicaciones típicas en la fabricación de patrones de longitud, cintas de medición, piezas de instrumentos, capacitores variables, diapasones y resortes especiales.

Kovar, Fernico (28 Ni-54 Fe-18 Co).- Se emplean en sellos apañados vidrio a metal, aprovechando que su coeficiente de expansión térmica es bastante similar a la de los tipos estándar de vidrio.

Permalloy (más del 70% de Ni).- Tienen alta permeabilidad magnética, bajo la influencia de muy débiles fuerzas de magnetización, tienen bajas pérdidas por histéresis y baja resistividad eléctrica; por lo tanto se emplea en la elaboración de bobinas de almacenamiento en circuitos eléctricos de comunicación.

6.6.- Plomo y sus aleaciones.-

El plomo fué uno de los primeros metales conocidos por el hombre los egipcios, los asirios y los babilonios lo empleaban en objetos ornamentales y propósitos estructurales. Alrededor del año 2000 A.de C., los chinos lo emplearon en la elaboración de las primeras monedas y posteriormente los romanos y los griegos lo emplearon también como elemento aleante del bronce (con un contenido del 3 al 30% de Pb) en la fabricación de monedas.

El plomo probablemente tiene los más variados campos de aplicación que cualquier otro metal debido a sus diversas propiedades, entre las que se pueden señalar las siguientes:

- peso elevado y alta densidad.
- Suave y maleable
- Gran flexibilidad
- Baja resistencia a la tensión y bajo límite elástico.
- Buenas propiedades de lubricación
- Bajo punto de fusión
- Baja conductividad eléctrica
- Alto coeficiente de dilatación térmica
- Excelente resistencia a la corrosión bajo una amplia variedad de condiciones.
- No endurece por trabajo en frío debido a su baja temperatura de recristalización.
- Algunas aleaciones endurecen por envejecimiento.

Las aplicaciones del plomo pueden ser clasificadas de la manera siguiente: donde el plomo es usado como compuesto químico y donde es usado en forma metálica, como elemento único o aleado con algún otro metal.

Los compuestos químicos más importantes comercialmente son el -- carbonato hidratado básico de plomo (mejor conocido como plomo blanco), sulfato básico de plomo (blanco y azul), litargirio (monóxido de plomo), plomo rojo y cromatos de plomo, tetraetilo de plomo y arseniato de plomo.

En forma metálica, el plomo tiene aplicaciones importantes en la industria de la construcción, tal como la fabricación de tubería y lámina, además de soldadura. El plomo también es usado en --

aleaciones importantes, tal como metal para tipos de imprenta, - plomo al antimonio en la fabricación de baterías, aleaciones para cojinetes, papel metálico, tubería plegable, como recubrimiento - para otros materiales, también en contrapesos, juntas, empaques, - recubrimientos de cables, balas y proyectiles.

El plomo en varias formas y combinaciones está recibiendo nueva atención como un material para controlar sonidos y vibraciones. También en muchas formas es importante contra la emisión de rayos X y en la industria nuclear, contra la radiación gamma.

Para una mejor comprensión, se divide al plomo y sus aleaciones en diferentes grupos, de acuerdo a su composición química. Posteriormente se enumerarán las principales propiedades y aplicaciones de las aleaciones más comunes:

Grupo 1.- Contenido de plomo mayor del 99%.

Grupo 2.- Aplicaciones para soldadura Pb-Sn

Grupo 3.- Aleaciones Plomo-antimonio

Grupo 4.- Aleaciones para tipos de imprenta (Pb-SN-Sb)

Grupo 5.- Aleaciones para cojinetes, "babbitts" base plomo.

- Grupo 1.-

Las características esenciales de este grupo son las mismas que para el plomo puro y sus aplicaciones son semejantes, es decir, - como material de construcción en la industria química, acumuladores, recubrimiento para cables eléctricos, balas, medio líquido para tratamientos térmicos, tubos plegables, juntas, insecticidas, etc.

La aleación de plomo al calcio se usa en tubería y lámina que de ba soportar fluencia plástica (creep).

- Grupo 2.-

El tipo más común es la soldadura 50 Pb-50 Sn que sirve para pro pósitos generales. Existen otras soldaduras con muchas composi- ciones que comprenden el rango de 0 a 60% de Sn y son ampliamen- te usadas en forma industrial; algunas veces contienen 1.5% de - plata para obtener una resistencia eléctrica menor.

- Grupo 3.-

El antimonio es uno de los principales elementos aleantes del -- plomo, estas aleaciones casi poseen las mismas características - que el plomo sin alear, pero proporcionan una mayor dureza y re- sistencia. Los usos típicos son en la fabricación de láminas, - tubería extruída, terminales de batería, etc.

- Grupo 4.-

Estas aleaciones plomo-estaño-antimonio se utiliza ampliamente - en la industria editorial como tipos (carácteres) de imprenta. La base de plomo proporciona bajo costo, bajo punto de fusión y - facilidad de fundición; las adiciones de estaño aumentan la fluf - dez, reducen la fragilidad y dan una estructura más fina. Exis- te una variedad bastante amplia de aleaciones para estos propósi - tos y su selección se hará de acuerdo a diversos factores.

- Grupo 5.-

Este grupo de aleaciones de 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 las aleaciones de plomo y estaño con pequeños porcentajes de calcio, bario, magnesio y sodio.

Los babbits más importantes son los del primer grupo e incluyen las aleaciones siguientes:

Tipo SAE 13 (85 Pb-5 Sb-10 Sn).- Una aleación apropiada para cargas y velocidades moderadas, usándose principalmente en automotores.

Tipo SAE 14 (75 Pb-15 Sb-10 Sn).- Empleado con cargas y velocidades ligeras, tal como ventiladores, bombas, motores eléctricos, máquinas herramientas, etc.

Babbit aleación 8 (80 Pb-15 Sb-5 Sn).- Apropiado para cargas y velocidades moderadas, tal como máquinas transportadoras, en minería; se puede usar con cualquier dureza de eje.

Tipo SAE 15 (83 Pb-15 Sb-1 Sn-1As).- Apropiado con altas cargas y velocidades, como máquinas diesel, motores automotrices, turbinas de vapor, laminadoras de acero y todos los tipos de maquinaria.

Tipo G (83.5 Pb-12.75 Sb-3 As-0.75 Sn).- Este tipo de babbit tiene su dureza y resistencia en forma excepcional a elevadas temperaturas, tal como se requiere en máquinas diesel para tractores, trailers y maquinaria pesada.

6.7.- Estaño y sus aleaciones

El estaño tiene una amplia aplicación como recubrimiento de envases metálicos (latas) y como elemento principal de soldaduras -- suaves, tubos plegables, peltre, joyería y metales para cojinetes, además es un importante elemento de aleación del cobre y -- plomo.

Sus aplicaciones estructurales son pocas debido principalmente a su baja resistencia, excepto algunas aleaciones especiales para fundición a presión.

Sus principales propiedades son:

- Buena apariencia (blanco y brillante)
- Fácilmente deformable
- Excelente resistencia a la corrosión
- No tóxico
- Buenas propiedades de lubricación
- No endurecible por trabajo en frío
- Fácilmente aplicable como recubrimiento metálico

El estaño de alta pureza tiene una gran tendencia a transformarse de una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (estaño blanco) a una estructura cúbica (estaño gris) cuando se mantiene por debajo de la temperatura de transformación que es de -- 13.2°C. Esta transformación se acompaña de un cambio de densidad de 7.30 a 5.75 gr/cm³, y la expansión resultante da lugar a la desintegración del metal a un polvo grueso; sin embargo, pequeñas cantidades de varias impurezas, en forma particular bis-

muto y antimonio, estabilizan al estaño blanco.

Se puede clasificar al estaño y sus aleaciones de acuerdo a su composición química en diferentes grupos, a saber:

Grupo 1.- Contenido de estaño mayor de 99%.

Grupo 2.- Soldaduras base estaño.

Grupo 3.- Aleaciones para cojinetes (babbits) base estaño.

Grupo 4.- Aleaciones varias.

A continuación se mencionan las aplicaciones principales de las aleaciones más comunes de los diferentes grupos:

- Grupo 1.-

El estaño de alta pureza es ampliamente usado en el recubrimiento de envases metálicos (latas) de metales ferrosos o no ferrosos, aprovechando sus propiedades de resistencia a la corrosión, no tóxico y buena apariencia, este recubrimiento se puede aplicar en baños o electrodeposición, además es empleado en la producción de tubería plegable, polvos metálicos, placa y tubería. La adición de 0.4% de cobre confiere la propiedad de endurecer ligeramente cuando se aplica trabajo en frío y que es aprovechada en diferentes aplicaciones.

- Grupo 2.-

Las aleaciones para soldadura base estaño tienen varias composiciones, destacando las que contienen antimonio y plata, ya que se prefieren para equipo eléctrico y soportan temperaturas más

elevadas que las soldaduras de base plomo. Además tienen amplio uso en el soldado de tubería de cobre, serpentines para refrigeradores, etc.

- Grupo 3.-

Los babbitts base estaño comparados con otros materiales para cojinetes poseen una resistencia relativamente más baja, pero su resistencia es suficiente para garantizar su uso bajo condiciones de carga ligera. Estas aleaciones son fáciles de almacenar y manejar en forma comercial; poseen excelentes cualidades de anti-gripaje, además resisten la corrosión mucho mejor que los babbitts base plomo.

Las composiciones químicas de los tipos de babbitts, base estaño más importantes son:

Aleación

No.	Sn	Sb	Pb	Cu
ASTM 1	91.0	4.5	-	4.5
" 2	89.0	7.5	0.35	3.5
" 3	84.0	8.0	0.35	8.0
" 4	75.0	12.0	10.0	3.0
" 5	65.0	15.0	18.0	2.0
SAE 11	86.0	7.0	0.5	6.0
SAE 12	88.2	7.5	0.5	3.5

Las principales aplicaciones de estas aleaciones, se encuentran en la industria automotriz en condiciones moderadas de trabajo y en piezas de fundición a presión donde las aleaciones ASTM 1. y-

ASTM 5. tienen extensas aplicaciones.

- Grupo 4.-

A este grupo pertenecen las siguientes aleaciones:

Aleación para fundición a presión (82 Sn-13 Sb-5 Cu).- Aunque -- posee una resistencia relativamente baja y poca ductilidad, se -- emplea por las estrictas tolerancias que se pueden obtener, además del excelente acabado superficial de la pieza fundida.

Metal blanco (92 Sn-8 Sb).- Fundiciones para joyería de fantasía.

Peltre (91 Sn-7 Sb-2 Cu).- El peltre consiste en forma esencial- de estaño endurecido por la adición de antimonio y cobre, y aun- que un amplio rango de composiciones han sido denominadas pel- - tres, las aleaciones modernas usuales contienen de 90 a 95% de - estaño, del 1 al 3% de cobre y el resto, antimonio. Si bien, al- gunos peltres tienen plomo como elemento aleante, un porcentaje- considerable de plomo no es deseable en recipientes para alimen- tos. Como aplicaciones típicas tenemos recipientes y baterías - para cocinas, servicios de café y té y muchos otros usos.

Papel estaño (92 Sn-8 Zn).- Papel estaño para el empaque de di- versos alimentos.

6.8.- Cinc y sus aleaciones.-

El cinc tiene amplias y variadas aplicaciones, desde recubrimien- tos hasta complejas piezas de fundición. Esto aprovechando sus- propiedades más importantes, entre las que se encuentran las si- guientes:

- Moderada resistencia a la tensión
- Se puede emplear en diferentes procesos de manufactura
- No endurecible por trabajo en frío
- Resistente a la corrosión en diferentes medios
- Es altamente anódico

Los bloques de cinc primario se pueden obtener en seis grados, bajo especificaciones de la ASTM (tabla 6.5). Los porcentajes y tipos de impurezas tienen una influencia importante sobre sus propiedades físicas y químicas.

El galvanizado, que es el recubrimiento del acero con cinc, es la principal aplicación de éste, puede ser realizado por inmersión del acero en el cinc fundido o por electroplateado (electrodeposición).

El galvanizado por inmersión en caliente emplea principalmente los grados de menor pureza del cinc.

Tabla 6.5.- Grados A.S.T.M. de bloques de cinc primario.

Grado	Suma de impurezas (Pb, Fe, Cd) %
(1a) Alto grado especial	0.010
(1) Alto grado	0.10
(2) Intermedio	0.50
(3) Especial para latón	1.0
(4) Selecto	1.25
(5) Superior del oeste	1.68

La vida del material galvanizado es proporcional al espesor del recubrimiento y por lo tanto, desarrollos recientes han sido enfocados hacia la aplicación de recubrimientos de mayor espesor - que soporten deformaciones sin descascarillarse.

Todos los grados de cinc son usados en la manufactura de latones; el grado específico tiene poco efecto sobre las propiedades de la aleación.

El uso de aleaciones base cinc para fundición a presión es importante y se emplea esencialmente el alto grado especial para su elaboración.

Todos los grados de cinc son usados para laminado. En general, la presencia de impurezas naturales o metales agregados aumentan la dureza y rigidez del cinc laminado.

Combinaciones especiales de plomo, hierro y cadmio son usadas para controlar las características del cinc para baterías secas y fotograbado. Otras formas de cinc incluyen óxidos y sulfuros de cinc, ampliamente usados en pinturas y hules, el cinc en polvo es usado como un pigmento en pinturas base o imprimados y pinturas finas para metales y como agente reductor en procesos químicos.

Las aleaciones del cinc se dividen normalmente en dos grupos, de acuerdo al proceso usado en su manufactura final:

Grupo 1.- Aleaciones para fundición

Grupo 2.- Aleaciones para forja y laminado.

- Grupo 1.-

El mayor uso del cinc como material estructural es en forma de aleación para fundición a presión. El desarrollo de las aleaciones modernas de cinc para fundición a presión están relacionadas directamente con el uso de cinc de alto grado especial (99.99 + % puro). La adición de aleantes particulares debe ser con porcentajes precisos y estricto control de impurezas.

Es esencial el uso del cinc de alta pureza para asegurar el bajo contenido de hierro, plomo, cadmio y estaño. Es necesario limitar las impurezas de los elementos aleantes para lograr la aleación deseada. Sólo con un control rígido en las aleaciones para fundición a presión se logra dar al producto estabilidad en dimensiones y propiedades.

Las aleaciones de cinc tienen un costo moderado, son fáciles para fundir a presión y funden a bajas temperaturas; tienen una resistencia mayor que cualquier otra aleación para fundición a presión, excepto que las aleaciones de cobre. Se logran límites dimensionales bastante cerrados, obteniéndose los espesores más delgados producidos y son maquinados a costo mínimo. Su resistencia a la corrosión superficial es adecuada para un amplio rango de aplicaciones; un contacto prolongado con humedad da como resultado la formación de productos de corrosión de color blancos, pero con los tratamientos superficiales adecuados se puede prevenir la formación de dichos productos.

Las condiciones límite de servicio para aleaciones de cinc fundidas a presión son: a temperaturas ligeramente arriba de 94°C su resistencia a la tensión se ve reducida un 30% y su dureza un -- 40%. A temperaturas bajo cero ocurre alguna fragilización, pero la resistencia al impacto se encuentra aún en el mismo rango que las aleaciones de magnesio y aluminio fundidas a presión a temperaturas de servicio normales.

A temperatura ambiente la resistencia al impacto de las aleaciones de cinc fundidas a presión son mucho más elevadas que las -- del aluminio o magnesio y que las fundiciones de hierro en molde de arena.

A continuación se enlistan los usos más comunes de las aleaciones de cinc fundidas a presión más importantes.

Nota.- Las designaciones ASTM siguen las mismas reglas que las -- usadas para la designación de las aleaciones de magnesio (ver tabla 6.4).

Aleación AG40A (Zamak-3, SAE 903).- Para fundición a presión, tales como partes automotrices, artículos domésticos, equipo de -- oficinas, herrajes para construcción, candados, juguetes y novedades.

Aleación AC41A (Zamak-5, SAE 925).- Usos similares que la aleación anterior, además es usado en martinets para troquel.

Aleación base cinc antiherrumbre (4.75 Al-0.25 Cu).- Usado para compuestos antiherrumbre y fundiciones en molde permanente, principalmente en la manufactura de accesorios para iluminación.

Aleación base cinc antiherrumbre (5.5% Al).- Usos semejantes a la aleación anterior.

Aleación ASTM XX1 (Zamak-2 SAE 921).- Apropriado para fundición en molde de arena, es empleado donde la pieza a fundir no tiene una forma muy compleja, tal como tapas de tambores, juguetes, novedades, etc.

- Grupo 2.-

El cinc y sus aleaciones pueden ser obtenidas en forma de cinta laminada, chapa y papel, barra y placa extruídas, y barras y alambre estirado.

Estos metales tienen la resistencia a la corrosión requerida para muchos tipos de aplicaciones, los productos de la corrosión son blancos, pero otros metales no son atacados por ellos. En cinc forjado tiene características químicas particularmente adaptables a ciertos usos tal como baterías secas, ó placas para fotograbadores y se pueden obtener diversas combinaciones de propiedades físicas y químicas a un costo relativamente bajo.

El cinc rolado tiene la característica de fluir en forma plástica bajo cargas constantes que son sustancialmente menores que la resistencia última, ésto es, el cinc forjado no tiene definido -

claramente su módulo de elasticidad, de aquí que los datos obtenidos de pruebas de servicio deban ser usados en diseño para resistencia y rigidez bajo condiciones de esfuerzo continuo.

Los grados ordinarios de cinc forjados pueden ser soldados fácilmente por métodos convencionales. Las precauciones usuales deben ser observadas, tales como limpieza y fundente, el metal no deberá ser sobrecalentado hasta una temperatura a la cual se funde. La técnica de soldadura pulsante puede ser usada para uniones. La soldadura por flama del cinc no es usada en producción.

Las aplicaciones más comunes de las aleaciones forjadas de cinc más importantes son las siguientes:

Cinc rolado comercial (0.08% Pb).- Cascos embutidos para pilas, ojos de cerraduras, arandelas, marbetes de lavandería y artículos que no requieran rigidez.

Cinc rolado comercial (0.06 Pb-0.06 Cd).- Tiene mayor rigidez -- que la aleación anterior, pero sus usos son semejantes.

Cinc rolado comercial (0.3 Pb-0.3 Cd).- Placa y cinta para el soldado de cascos de pilas, placas para fotograbadores y litógrafos.

Cinc rolado endurecido (1% Cu).- Burletes y virolas y artículos estirados, formados o centrifugados que requieran rigidez.

Cinc rolado (1% Cu-0.010 Mg).- Techos corrugados y planos, artí-

culos embutidos o deformados ligeramente que requieran máxima rigidez.

Aleación de cinc al titanio (0.8 Cu-0.15 Ti).-- Techos corrugados, guías y canales y artículos formados que requieran máxima resistencia a la fluencia plástica.

6.9.- Titanio y sus aleaciones.-

El titanio ha sido usado como un metal estructural desde 1952, aunque en nuestro país su uso es apenas reciente. La reducción del tetracloruro de titanio con magnesio, para producir titanio esponjoso que es apropiado para fundición fue descubierto en 1938 por W.J. Kroll; posteriormente se demostró la factibilidad económica de éste proceso.

Las fuerzas armadas de Estados Unidos se mostraron interesadas en el nuevo metal, principalmente por su alto punto de fusión (1668°C) lo que implicaba el desarrollo de aleaciones de titanio con gran resistencia a temperaturas elevadas, pudiendo sustituir, en equipo militar, a las aleaciones de base níquel y de base cobalto. Sin embargo, las aleaciones de titanio que pueden ser útiles en el mismo rango que las aleaciones base níquel (537-831°C) no se han desarrollado completamente; afortunadamente aleaciones con resistencia útil y resistencia a la corrosión por arriba de una temperatura de los 537°C ya están estandarizadas.

Considerando su menor densidad con respecto a la del hierro, --

las aleaciones de titanio son apropiadas para piezas de aeronaves supersónicas que trabajan a temperaturas elevadas y que serían demasiado calientes para ser hechas de aleaciones de aluminio.

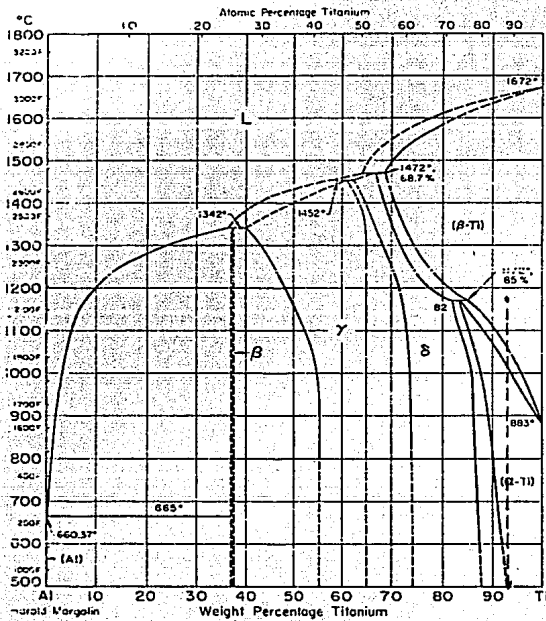
De lo anterior, las propiedades más atractivas del titanio son las siguientes:

- Excelente relación resistencia/peso.
- Excelente resistencia a temperaturas elevadas.
- Buena resistencia a la corrosión en diferentes medios.

El titanio comercialmente puro tiene poca resistencia mecánica, muy buena resistencia a la corrosión y menos caro que las aleaciones de titanio. Es usado donde la resistencia no es el requisito principal.

Aleaciones de titanio.- Las aleaciones de titanio disponibles se pueden clasificar en tres tipos: alfa, alfa-beta y beta. Estas designaciones se refieren a las fases predominantes presentes en la microestructura. A temperatura ambiente, el titanio tiene una estructura cristalina hexagonal compacta (HCP) conocida como fase alfa; esta estructura se transforma a cúbica centrada en el cuerpo (fase beta) a una temperatura de 885°C. Los elementos aleantes favorecen a una u otra estructura o son neutrales. El aluminio por ejemplo, estabiliza la fase alfa, elevando la temperatura de transformación alfa-beta. El cromo, hierro, molibdeno y vanadio disminuyen la temperatura de transformación, haciendo que beta sea estable a bajas temperaturas.

Fig.6.3.- Diagrama de equilibrio Aluminio-Titanio en el que se muestra una aleación 8 Al-92 Ti.



El estaño es neutral en los porcentajes presentes en las aleaciones comunes. Las cantidades relativas de estabilizadores alfa y beta en una aleación (y el tratamiento térmico) determina si la microestructura es predominantemente fase alfa, una mezcla alfa-beta, o es simplemente fase beta por encima del rango de temperaturas de servicio.

Las propiedades están directamente relacionadas con la microestructura. Las aleaciones de una sola fase son soldables y con buena ductilidad, algunas aleaciones de dos fases son también soldables, pero las uniones obtenidas son menos dúctiles. Las aleaciones de dos fases son más fuertes que las aleaciones de fase alfa, en forma principal porque la estructura cúbica centrada en el cuerpo es más fuerte que la hexagonal compacta; en forma secundaria, las aleaciones de dos fases pueden ser endurecidas por tratamiento térmico porque su microestructura puede ser manipulada por ciclos de calentamiento, temple y envejecimiento.

Aleaciones alfa.- La mayoría de las aleaciones alfa contienen algunos elementos estabilizadores beta. La composición de estas aleaciones están balanceadas por un alto contenido de aluminio (Fig. 6.3), así que las aleaciones son de una sola fase. Estas aleaciones tienen dos atributos principales: son fácilmente soldables y retienen su resistencia a temperaturas elevadas. El primero es consecuencia de la microestructura de una sola fase y el segundo de la presencia del aluminio. Los elementos aleantes en solución endurecen estas aleaciones, siendo el alu-

minio el principal endurecedor, estos efectos persisten a temperaturas elevadas. Efectos endurecedores del carbono, oxígeno y nitrógeno se anulan a una temperatura de 426°C. Estos elementos también tienen efectos fragilizantes si no se controla bien su contenido.

El trabajo en caliente de estas aleaciones conteniendo más del 6% de aluminio es difícil. La formabilidad en caliente de aleaciones alfa con pequeños porcentajes de estabilizadores beta, suficientes para que la fase beta esté presente en pequeñas cantidades en la microestructura del material a trabajar.

Aleaciones alfa-beta. - Las cuales contienen suficientes elementos estabilizadores beta para ocasionar que esta fase persista hasta temperatura ambiente, son más resistentes que las aleaciones alfa. La fase beta es endurecida por adición de aleantes beta en solución y es más resistente que la fase alfa. Si la fase alfa en este tipo de aleaciones es endurecida por aluminio, la aleación alfa-beta es más resistente, especialmente a temperaturas elevadas.

Las aleaciones alfa-beta pueden ser además endurecidas por tratamiento térmico. En forma esencial, esto se obtiene por temple desde una temperatura en la región de las fases alfa-beta, seguido por un envejecimiento a una temperatura moderadamente elevada. El temple suprime la transformación de la fase beta que podría ocurrir bajo un enfriamiento lento. El envejecimiento a temperaturas elevadas causa precipitación de partículas fi

nas de fase alfa en los volúmenes que ocupaban los granos de fase beta desocupados por el temple. La estructura fina de la aleación alfa-beta recocida es más resistente que la estructura más basta.

La resistencia que se puede obtener de estas aleaciones se puede incrementar cerca del 35% por tratamiento térmico, comparada con la del material recocido, pero su ductilidad se ve drásticamente reducida.

Aleaciones beta.- La aleación de titanio con 3 Al-13 V-11 Cr se considera como una aleación beta (estrictamente hablando en una aleación metaestable). Su microestructura es predominantemente fase beta después de un recocido normal. La aleación se puede soldar tanto en condición de fase simple o tratada térmicamente. En forma contraria a las aleaciones alfa, las aleaciones beta pueden ser endurecidas por tratamiento térmico.

El envejecimiento a temperaturas elevadas después del tratamiento en solución da como resultado un fino precipitado de partículas alfa y el compuesto $TiCr_2$. Se obtienen después del tratamiento térmico resistencias últimas de 15130 Kg/cm^2 con el 5% de elongación.

Esto es, un incremento mayor al 50% que en el material en estado recocido. Las propiedades de las aleaciones más comunes se enlistan en la tabla 6.6.

Tabla 6.6.- Propiedades mecánicas de las principales aleaciones de titanio.

(A temperatura ambiente)

Aleación	Condición	Resistencia Tensil 2 kg/mm 2	Resistencia a la cedencia kg/mm 2	Porcentaje de elongación. %
Pureza comercial (99.0%)	Titanio comercialmente puro			27
	Recocido	56.1	44.73	
Ti-5Al-2.5Sn Ti-6Al-4Zr-1V Ti-8Al-1Mo-1V	Aleaciones alfa			18 17 16
	Recocido	88.8	85.2	
	Recocido	101	98.0	
	HT	104	96.0	
Ti-8Mn Ti-4Al-4Mn " Ti-6Al-4V " Ti-4Al-4Mo "	Aleaciones alfa-beta			15 16 9 11 7 15 12
	Recocido	98.	88.0	
	Recocido	105.	95.	
	HT	115	99.	
	Recocido	96	85.	
	HT	120	106.	
	Recocido	113	106	
HT	134	124		
Ti-3Al-13V-11Cr	Aleación beta.			6
	HT	127	120	

HT es generalmente después del endurecimiento por envejecimiento.

El titanio tiene un alto costo y su uso en nuestro país definitivamente no es el mismo que se le pueda dar por ejemplo en los Estados Unidos, ya que aquí la construcción de aeronaves, compresores y turbinas de gas es prácticamente nula.

Sin embargo, no se le debe desechar en un sinúmero de aplicaciones, por ejemplo, equipo para la industria química y petroquímica, tales como condensadores, intercambiadores de calor, recipientes a presión, etc; y en general equipo que opere bajo condiciones extremas y que requieran una operación confiable por un largo período.

Otras aplicaciones interesantes son, aprovechando sus principales características, en usos automotrices tales como pernos de tapa de biela, birlos y elementos de sujeción similares.

6.10.- Otros metales.-

En la actualidad se vive una etapa de tremendo crecimiento en el uso de metales no comunes, como consecuencia, partes hechas de berilio, aleaciones de molibdeno, renio, platino, plata e iridio se usan frecuentemente en aplicaciones industriales especializadas. A pesar de que en un estudio más profundo de estos metales pocos comunes está fuera del alcance de este trabajo, vale la pena mencionar que los siguientes metales son relativamente fáciles de conseguir.

- Metales refractarios para servicio a altas temperaturas: Molibdeno, tántalo, tungsteno, renio.

- Metales para uso en reactores nucleares: Zirconio y Hafnio.
- Metales preciosos: Platino, oro, plata, paladio, radio, rutenio, osmio, e iridio. Cabe mencionar que las principales aplicaciones del oro y la plata se encuentran en recubrimientos y en aplicaciones como conductores y contactos eléctricos.

6.11.- Modificación de las propiedades de los metales no ferrosos.-

Tal como se vió este punto en las aleaciones ferrosas, los metales poseen la cualidad de que sus propiedades pueden ser modificadas en un amplio rango mediante procesos mecánicos y térmicos seleccionados adecuadamente.

Los procesos vistos anteriormente tienen gran similitud con los aplicables a las aleaciones no ferrosas, de tal manera que sólo existen pequeñas diferencias entre ellos. Los procesos más importantes son los siguientes:

- a) Trabajo en frío
- b) Recocido
- c) Endurecimiento por precipitación

6.11.1.- Trabajo en frío

Es el proceso en el cual se deforma un metal plásticamente a una temperatura inferior a la de recristalización y con la rapidez conveniente para producir endurecimiento por deformación.

La sección transversal de un metal trabajado en frío se reduce apreciablemente por laminado en frío (usualmente para productos

planos) o estirado en frío a través de una serie de dados (usualmente empleado para la producción de barras). Un 10% de trabajo en frío, por ejemplo, significa que el área de la sección transversal se reduce en un 10% durante el proceso. Los principales efectos son mayor dureza, resistencia mecánica y resistencia eléctrica, además pierde ductilidad y tenacidad, dependiendo de la cantidad de trabajo en frío aplicado.

6.11.2.- Recocido.-

El recocido total es el proceso mediante el cual la estructura distorsionada de la microestructura del metal trabajado en frío retorna a una cuyo estado se encuentre libre de tensiones por medio de la aplicación de calor. Este proceso se efectúa totalmente en el estado sólido y generalmente, le sigue un enfriamiento lento en el horno desde la temperatura deseada. El proceso de recocido puede dividirse en tres etapas: recuperación, recristalización y crecimiento de grano.

Recuperación. - Es el alivio de esfuerzos internos en el metal debidos al trabajo en frío aplicado, impide el agrietamiento por corrosión con esfuerzo o para hacer mínima la distorsión producida por esfuerzos residuales. La estructura y las propiedades mecánicas del metal no sufren cambios apreciables; sin embargo, se recuperan propiedades físicas tales como conductividad eléctrica, térmica, etc.

Recristalización. - Conforme se alcanza la temperatura superior del intervalo de recuperación, aparecen nuevos cristales en la

microestructura, los cuales tienen la misma composición y estructura reticular que los granos originales no deformados y además no aparecen alargados, sino que suelen aparecer en las porciones del grano más drásticamente deformados, por lo general en los límites de grano y los planos de deslizamiento. El agrupamiento de átomos del que se forman los nuevos granos se llama núcleo. La recristalización tiene lugar mediante una combinación de nucleación de granos libres de deformación y el crecimiento de estos núcleos para abarcar todo el material trabajado en frío.

Un término importante es la temperatura de recristalización, la cual se refiere a la temperatura aproximada a la que un material altamente trabajada en frío se recristaliza por completo en una hora.

En la tabla 6.7 se encuentra la temperatura de recristalización de varios metales y aleaciones. Se ha comprobado que los metales muy puros tienen temperaturas de recristalización bajas si se comparan con los metales impuros o las aleaciones.

El amplio uso del término temperatura de recristalización, refleja el hecho de que este tratamiento es más sensible a los cambios de temperatura que a las variaciones de tiempo. En las estructuras de ingeniería se fija corrientemente la temperatura máxima, pero el tiempo puede alcanzar valores extremadamente grandes (veintenas de años). Por tanto, es conveniente tener una representación de la recristalización que tenga en cuenta

tanto al tiempo como la temperatura.

Tabla 6.7.-

TEMPERATURAS APROXIMADAS DE RECRISTALIZACIÓN
DE VARIOS METALES Y ALEACIONES

Material	Temperatura de recristalización	
	°F	°C
Cobre (99,999%)	250	121
Cobre (OFHC)	400	204
Cobre con 5% de cinc	600	316
Cobre con 5% de aluminio	550	288
Cobre con 2% de berilio	700	371
Aluminio (99,999%)	175	79
Aluminio (99,9%+)	550	288
Aleaciones de aluminio	600	316
Níquel (99,99%)	700	371
Níquel (99,4%)	1100	593
Metal Monel (Níquel + 30% Cobre)	1100	593
Hierro (electrolítico)	750	399
Acero bajo en carbono	1000	538
Magnesio (99,99%)	150	66
Aleaciones de magnesio	450	232
Cinc	50	10
Estaño	25	-4
Plomo	25	-4

Crecimiento de grano.- Si la temperatura se eleva, los límites de grano se desplazan lentamente y producen un aumento uniforme del tamaño de grano. La fuerza que impulsa el crecimiento normal del grano es la energía asociada con los límites de grano, al disminuir ésta, consecuentemente disminuye también la energía del metal. Oponiéndose a esta fuerza se encuentra la rigidez de la red, conforme la temperatura aumenta, la rigidez de la red disminuye y la rapidez de crecimiento de grano es mayor,

Se puede concluir que a cualquier temperatura dada hay un tamaño de grano máximo.

Como el recocido total devuelve al material a una estructura reticular libre de tensiones internas, es esencialmente un proceso de reblandecimiento. Los cambios en propiedades producidos por la deformación plástica se eliminan y el material vuelve casi a adquirir sus propiedades originales. Por ende, durante el recocido, la dureza y la resistencia disminuyen, mientras que la ductilidad y tenacidad aumentan.

6.11.3.- Endurecimiento por precipitación.-

El proceso de tratamiento térmico más importante para aleaciones no ferrosas, es el endurecimiento por envejecimiento o por precipitación. Para que sea aplicable este tratamiento térmico, el diagrama de equilibrio de una aleación dada debe mostrar solubilidad sólida parcial y la pendiente de la línea de solvus debe ser tal que haya mayor solubilidad a una temperatura mayor que a una menor. En la Fig. 6.4 se muestra el diagrama de equilibrio Al-Cu, donde se satisfacen las condiciones anteriores. Considérese el lado izquierdo del diagrama que implica la solución sólida α . Se selecciona la aleación con 4.5% de Cu, ya que comercialmente la mayoría de las aleaciones que se pueden endurecer por envejecimiento se escogen de composiciones ligeramente a la izquierda del punto P, aunque el máximo efecto se obtendría con un contenido de cobre de 5.5%. La fase disuelta puede ser una solución sólida terminal (como en este caso) o una fase intermedia de aleación.

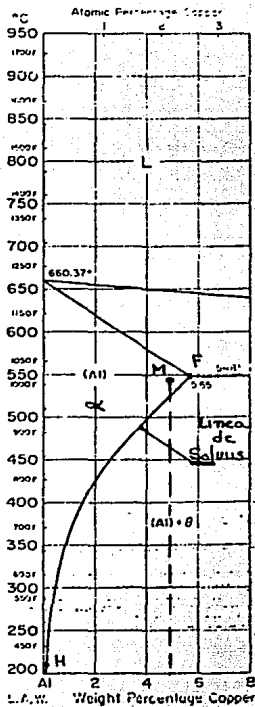


Fig. 6.4 Porción del diagrama de equilibrio Al-Cu.

Generalmente se necesitan dos etapas en un tratamiento térmico para producir endurecimiento por envejecimiento; tratamiento de solución y envejecimiento.

Tratamiento de solución.- La aleación seleccionada se recalienta hasta el punto M, todo el exceso de θ se disuelve y la estructura será una solución sólida homogénea. Entonces la aleación

se enfría con rapidez a temperatura ambiente. Con el exceso de cobre atrapado en la solución, resulta una solución sobresaturada. El templado se lleva a cabo generalmente en un baño de agua fría o por medio de un rocío de agua. El enfriamiento drástico tiende a generar tensiones las cuales suelen dar como resultado una distorsión, sobre todo si las partes tienen un diseño intrincado, en tales casos, el agua en ebullición puede emplearse como medio para minimizar la distorsión.

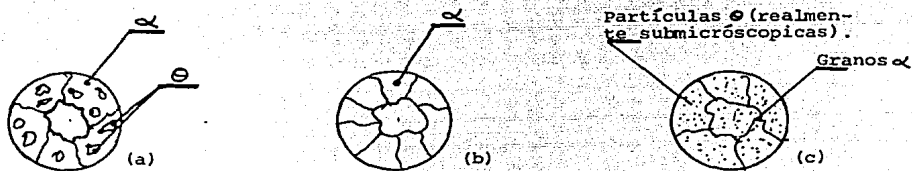


Fig.6.5.- Microestructura de una aleación AA2014, a) Después de enfriar lentamente. b) Después de recalentar y enfriar rápidamente a temperatura ambiente. c) Después de envejecer.

Proceso de envejecimiento.- La aleación, como se encuentra después de templarse, es una solución sólida sobresaturada y se encuentra en un estado inestable. El exceso de soluble tenderá a salir de la solución, y la velocidad a que ocurre la precipitación varía con la temperatura.

Aquellas aleaciones en que la precipitación tiene lugar a temperatura ambiente -de modo que obtienen su resistencia total después de 4 ó 5 días de estar a temperatura ambiente- se conocen como aleaciones de envejecimiento natural, en tanto que las que necesitan recalentamiento a temperaturas elevadas para alcanzar

su máxima resistencia se conocen como aleaciones de envejeci- -
miento artificial. Sin embargo, estas aleaciones también enveje-
cen en forma limitada a temperatura ambiente, dependiendo de la
rapidez y extensión del fortalecimiento de las características-
de la aleación.

Al final del capítulo V se dió un resumen de los pasos efectua-
dos para llevar a cabo el tratamiento de endurecimiento por pre-
cipitación.

VII.- SELECCION DE MATERIALES METALICOS

7.1.- Factores que influyen en la selección de un material metálico.-

En la actualidad hacer la selección de materiales para un proyecto de Ingeniería supone un trabajo arduo y laborioso, ya que el ingeniero o diseñador dispone de una amplia gama de materiales (metálicos, cerámicos y polímeros), y de todos ellos debe seleccionar aquel que posea las características más idóneas para una aplicación específica; sin embargo, éste trabajo se ha enfocado únicamente a los materiales metálicos, pero se debe tener en cuenta que existen otros materiales que pueden usarse en donde las circunstancias así lo ameriten, por tener propiedades superiores o que no poseen los materiales metálicos.

Por lo tanto, éste capítulo se dedicará únicamente a los factores que influyen en la selección de materiales metálicos.

Estos factores influyen en forma individual y además son interdependientes, es decir, no se puede analizar uno aisladamente sin considerar a los demás. Estos factores son los que a continuación se mencionan:

- a) Propiedades requeridas
- b) Procesos de manufactura
- c) Costo

Debe quedar claro que en un proyecto real no se pueden conside-

rar estos factores en forma independiente, sin embargo, aquí se-
hará así para una mejor comprensión de los mismos.

a) Propiedades requeridas.-

Como hecho inicial se debe hacer un análisis de la función de ca-
da uno de los elementos o partes que conforman el dispositivo, -
máquina o equipo, es decir, a que tipo de cargas va a estar some-
tido dicho elemento, ya sean éstas de tipo estático, dinámico o
de impacto o si va a operar bajo condiciones de desgaste, de co-
rrosión, oxidación o una combinación de ellas.

Dependiendo de esto y de lo visto en capítulos anteriores se pue-
de designar una serie de materiales que se sabe pueden cumplir -
en mayor o menor medida con las condiciones de operación.

Para determinar de éste grupo preseleccionado cual o cuales meta-
les pueden dar un óptimo rendimiento, se debe uno servir de con-
ceptos relacionados con la Resistencia de Materiales, de tablas,
monografías, experiencia, etc.

Sin embargo, existen otras limitantes, entre las que se tienen -
las siguientes:

- Peso
- Costo
- Material disponible
- Limitación de espacio

Se puede decir algo acerca de lo anterior:

- Peso.- Aunque siempre es preferible un equipo con el menor peso posible, en algunas aplicaciones es un factor determinante, - por ejemplo, en equipos rotativos que trabajan a velocidades con siderables y por lo tanto existan grandes fuerzas de inercia y - en aeronaves, donde una disminución de peso siempre es benéfica.

- Costo.- Aspecto que por su importancia se considerará poste- riormente como tema aparte.

- Disponibilidad del material.- Puede darse el caso que el mate- rial que cumpla en forma óptima con las condiciones de operación no sea fácilmente disponible, por lo tanto, hay que especificar- otro, de tal manera, que su rendimiento se aproxime lo más posi- ble al material óptimo.

- Limitación de espacio.- Conforme a lo expuesto en forma teóri- ca en el capítulo 4, cualquier elemento de metal puede soportar cualquier valor de carga, por alta que ésta sea con sólo aumen- tar su área transversal (suponiendo que su mismo peso no lo de- flexione); sin embargo, lo expuesto no es práctico, puesto que - en muchas situaciones el espacio disponible no permite que di- chos elementos sean demasiado voluminosos, lo que trae como con- secuencia que se utilice un metal con mayor resistencia, de tal manera que se consiga disminuir su área transversal y por lo tan- to ocupe menos espacio.

b) Proceso de Manufactura.-

El proceso de manufactura seleccionado para un elemento cualquiera puede estar enteramente abierto durante la etapa de diseño -- del mismo. El tamaño y forma de la pieza o elementos son factores determinantes en la selección del proceso de manufactura, -- por lo que la pieza o elemento deberá ser diseñada tanto para su proceso de fabricación como para su función misma.

Resumiendo, la selección del proceso de manufactura va a depender de varios factores y entre los más importantes se encuentran:

- Material propuesto
 - Forma de las piezas
 - Cantidad de piezas a producir
 - Tolerancias dimensionales
 - Aspereza superficial
 - Disponibilidad del proceso mismo
- Material propuesto.- Depende de que material se seleccionó de acuerdo con el inciso a) y de lo visto en los capítulos 5 y 6, - se podrá proponer el proceso con el cual es factible producir la pieza en cuestión.
- Forma de las piezas.- Se refiere principalmente a la complejidad de éstas y así poder seleccionar el proceso de manufactura - más adecuado.
- Cantidad de las piezas a producir.- Es decir, que número se requiere de ellas para poder evaluar en un determinado momento que proceso se puede emplear para lograr una máxima economía, tanto-

de tiempo como de dinero.

- Tolerancias dimensionales.- Son las desviaciones admisibles especificadas de una dimensión y se derivan de la función misma de la pieza y del conocimiento de lo que se puede hacer en el departamento de fabricación.

- Textura superficial (Rugosidad).- Relativamente pocas superficies requieren control especial de rugosidad o tersura. El proceso que se requiere para hacer una pieza a una dimensión dada es por lo general, suficiente para producir una superficie de trabajo adecuada. las superficies expuestas requieren poca atención más allá de la que se requiere para su apariencia. Sin embargo, las superficies de trabajo tales como las de los cojinetes y los pistones se desgastarán menos y durarán más si son lisas. La textura de la superficie incluye aspereza, ondulación, dirección de traza y fallas, Fig. 7.1a.

Los criterios estadísticos más comunes que especifican la rugosidad son los siguientes:

i) La desviación aritmética media respecto a la línea media, en cuyo caso el área situada por encima de la media, Fig. 7.1.b, es la misma que el área inferior. Sin que haya ninguna coordenada y tomada como negativa, la rugosidad es:

$$R = \frac{1}{L} \int_0^L y \, dx$$

La mayoría de los instrumentos que actualmente se usan dan este valor.

ii) Valor de la altura media cuadrática, denominada universalmente "rms" (del inglés "root mean square"), para el cual

$$R = \left[\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx \right]^{1/2}$$

En el sistema de unidades métricas, estos valores se expresan en micrometros ó milésimas de mm (10^{-3} mm).

- Disponibilidad del proceso mismo.-

En forma frecuente, la decisión final sobre la selección de un metal u otro se basa en los procesos de manufactura disponibles en la fábrica, es decir, por ejemplo, en una pieza cuyas propiedades y máxima economía se obtienen produciéndola de hierro colado, cuando éste proceso no está disponible (generalmente las grandes industrias disponen de un gran número de procesos de ma-

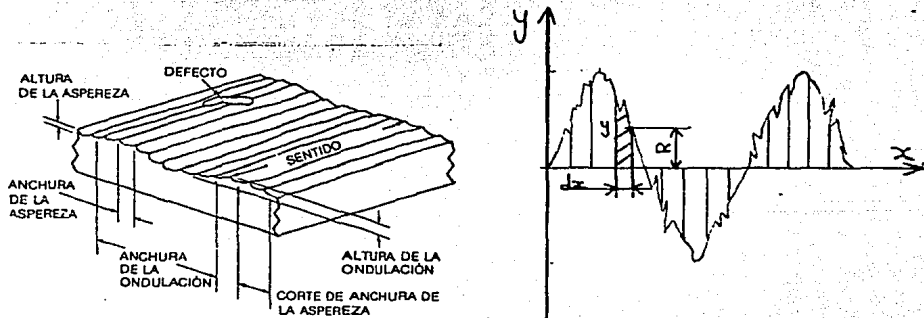


Fig. 7.1.a)

manufactura), entonces hay que buscar un proceso alternativo con el cual se pueda producir dicha pieza sin gran menoscabo de sus características, por ejemplo por soldadura. Como se puede apreciar el metal originalmente seleccionado tuvo que ser cambiado -

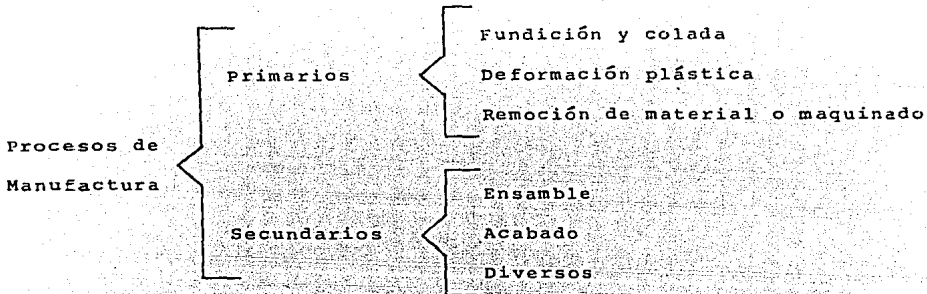
como consecuencia de que el proceso de manufactura óptimo no estaba disponible; en determinados casos puede optarse por dar a maquina la producción de dicho elemento.

Además no debe olvidarse que existen una gran cantidad de elementos normalizados disponibles comercialmente, tales como pernos, remaches, rodamientos, perfiles estructurales, etc; éstos elementos generalmente poseen una calidad adecuada y costo moderado, además que facilitan enormemente el trabajo del proyectista o diseñador.

De lo anterior se puede concluir que tanto el proyectista, como el dibujante y el ingeniero de procesos deben trabajar en forma conjunta tanto en el diseño, como en el análisis del método de manufactura para cada elemento o parte que conforman una máquina o dispositivo, de tal manera que se logren los máximos beneficios del producto final.

Por último es conveniente hacer un recuento de los procesos de manufactura disponibles en la actualidad.

Aún cuando se han desarrollado una infinidad de procesos de manufactura cada vez más especializados y de mayor complejidad, dichos procesos se pueden clasificar de la forma siguiente:



Los procesos primarios consisten principalmente en lo siguiente:

- Procesos de fundición y colada.- En los cuales el metal es llevado a su temperatura de fusión y posteriormente es vertido, ya sea por gravedad o por presión en moldes, cuya cavidad tiene la forma final o aproximada de la pieza requerida.

- Procesos por deformación plástica.- En los cuales el volumen y masa permanecen constantes y el metal es removido de un lugar a otro para proporcionar la forma requerida.

Procesos por remoción de metal o mecanizado.- En los cuales el material es removido en una secuencia apropiada para proporcionar la forma requerida.

En los procesos secundarios generalmente se parte de elementos o partes producidas por los procesos anteriores, siendo los principales los siguientes:

- **Procesos de ensamble.**- En los procesos de ensamble se unen varias piezas o elementos primarios para formar una de mayor complejidad, usando diversas técnicas, tales como la soldadura, remachado, atornillado, etc.

- **Procesos de acabado.**- Sus funciones principales son limpiar, proteger y decorar la superficie, como ejemplos se tienen limpieza con chorro de arena, limpieza con ácido, acabados orgánicos, tales como pinturas, esmaltes, lacas, etc.; revestimientos metálicos.

Procesos diversos.- Dentro de éstos procesos, existen algunos que en forma frecuente se efectúan antes que los procesos de acabado, tales como los tratamientos térmicos y el sinterizado y que son de vital importancia dentro de la industria (cabe señalar que el sinterizado no se contempló en éste trabajo); otro proceso de vital importancia actualmente es el control de calidad.

Las ventajas e inconvenientes de los procesos primarios de manufactura se enlistan a continuación.

Procesos de fundición y colada.-

- Capacidad de producir fácil y económicamente piezas complejas.
- Propiedades mecánicas no tan buenas como las proporcionadas por los procesos de formado.
- Rugosidades y acabados superficiales en ocasiones muy buenos, dependiendo del proceso en particular. En la tabla 7.1 se dan

Tabla 7.1.-

Proceso	Arena Verde, seca y de núcleo CO ₂		Cascarón	Yeso	Revestimiento (a la cera perdida)	Molde permanente		Matriz (A presión)
	De metal	De grafito				De metal	De grafito	
Metales de colada	Ferrosos y no ferrosos		Ferrosos y no ferrosos	Aleaciones de Al, Mg, Cu y Zn	Ferrosos y no ferrosos	No ferrosos	Hierro colado	Aleaciones de Sn, Pb, Zn, Al, Mg y Cu.
Límites usuales de peso	De menos de 0.5kg hasta varias toneladas		De menos de 0.5kg hasta varias toneladas	De menos de 0.5kg hasta 1500kg	De unos cuantos gramos hasta 25 kg.	0.5-20kg	2.5-150kg	De menos de 0.5 hasta 10 kg.
Cant. mínimas de producción	3, sin mecanización		50	1	25	100	100	1000
Costo relativo de alistamiento	Depende del grado de mecanización		Desde moderado hasta alto	Moderado	Moderado	Desde moderado hasta alto		Alto
Prop. mecánicas relativas	Buenas		Buenas	Buenas	Moderadas	Buenas		Muy Buenas
Fact. de detalles	Aceptables		De aceptables a buenos	Excelente	Excelente	Baja		Excelente
Espesor mínimo (mm) *	3.2-6.4	2.5-6.4	0.7-2.5	0.7-2.0	0.5-1.5	4.5-6.4	6.4	1.3-2.
Tolerancias dimensionales †	±0.08	±0.05	±0.04	±0.03	±0.013	±0.06	±0.08	±0.05
Rugosidad Superficial (m)	12.5	6.4	6.4	3.2	2.	6.4	6.4	1.6

*.-Depende del área superficial

†.-Se duplica para dimensiones normales a la línea de seccionamiento

las características generales de los procesos de fundición.

Procesos por deformación plástica.-

- Se aprovecha la direccionalidad de las propiedades mecánicas - proporcionadas por el mismo proceso.
- Capacidad de producción de piezas complejas
- Poco desperdicio de material
- Las tolerancias y la textura superficial dependen principalmente de si el proceso se llevó a cabo en frío o en caliente, tabla 7.2.
- El material se debe formar a tamaño y espesor uniformes, dentro de ciertos límites, a fin de asegurar la facilidad para -- trabajarlo.

Tabla 7.2.- Rugosidades superficiales obtenibles de varios procesos por deformación plástica.

Proceso	Rugosidad superficial (en micras)
Rolado en Caliente	25 - 12.5
Forjado	12.5 - 6.4
Rolado en frío	6.4 - 3.2
Extruído	3.2 - 0.8
Prensado o acuñado en frío	1.6 - 0.8
Estirado en frío	0.8 - 0.4

Procesos por remoción de material o mecanizado.-

- Se utiliza cuando por la misma forma de la pieza no es necesario el desprendimiento de gran cantidad de metal para lograr -

la forma deseada, excepto en corridas cortas de producción.

- Como complemento de otros procesos, para proporcionar tolerancias dimensionales y textura superficial, tabla 7.3
- No existe direccionalidad de las propiedades mecánicas.

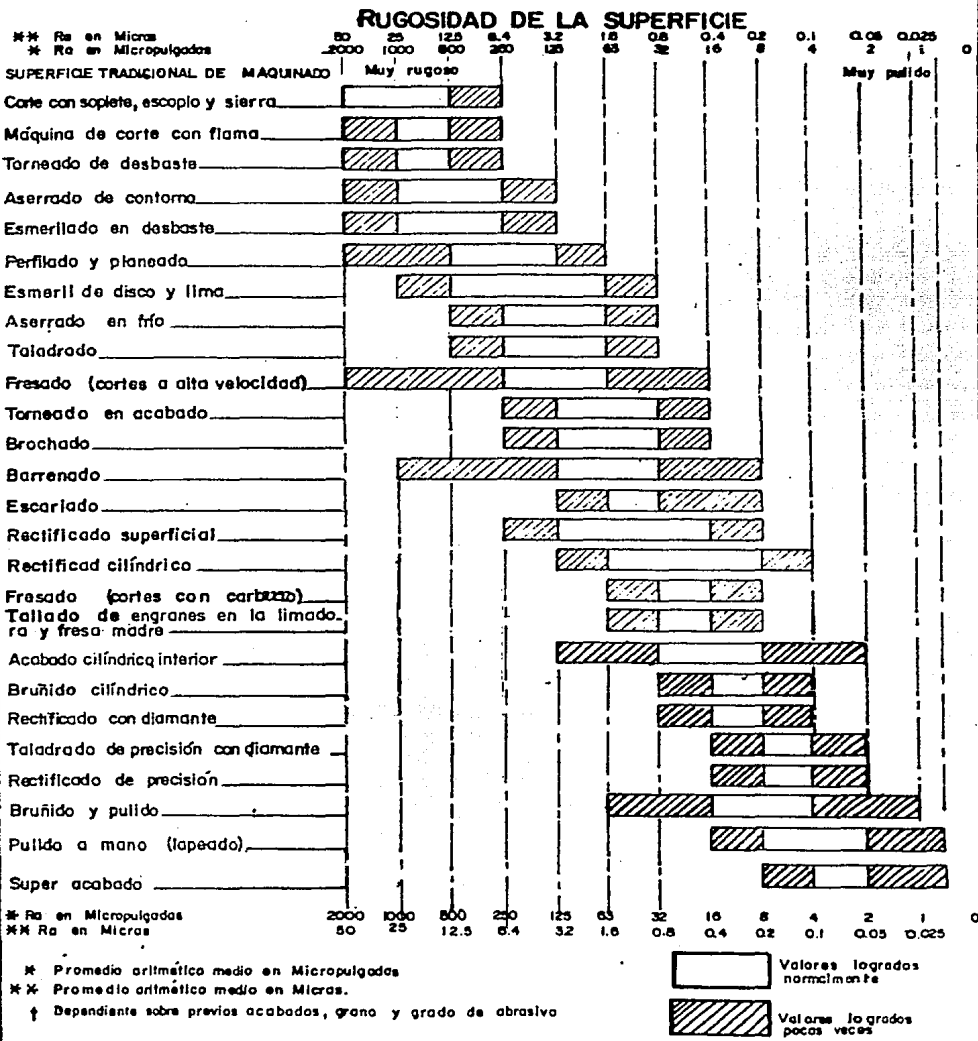
Se debe mencionar, que el proceso de soldadura, aún cuando se -- consideró como un proceso secundario de manufactura, frecuente-- mente debe ser tomado en cuenta en la manufactura de elementos, -- partes y aún equipos completos, debido a que proporciona varias-- ventajas, de las cuales se pueden señalar las siguientes:

- Equipo económico
- Se puede usar en sus diferentes variantes en una amplia gama -- de metales.
- Se obtienen buenas propiedades mecánicas.
- Facilidad de cambios de diseño en producción.
- En muchas circunstancias donde deflexiones relativamente gran-- des no son importantes y una alta capacidad de amortiguamiento -- no es esencial, el uso de partes soldadas puede sustituir a -- piezas forjadas o fundidas.
- Especialmente importante en reparación de equipos y máquinas.

Como se puede apreciar y tal como frecuentemente sucede, para ob tener el producto terminado, éste debe ser sometido a una serie de procesos para que cumpla de la manera más eficiente su cometido.

c) Costo.-

RUGOSIDADES SUPERFICIALES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN



El factor costo en la selección de materiales para un proyecto específico es determinante en la mayoría de los casos, ya que uno de los objetivos de la ingeniería es buscar la máxima economía con el mejor rendimiento posible.

En la práctica pueden darse las situaciones siguientes:

i) Dado el caso que de acuerdo a lo que se estudió en el inciso a) el material que cumple satisfactoriamente con las condiciones de trabajo tiene un costo demasiado elevado, debe buscarse otro metal que proporcione un equilibrio entre rendimiento y precio, es decir, la selección final, la mayoría de las veces se hace de acuerdo con un tiempo pronosticado de vida útil de la parte o elemento.

Por ejemplo, el metal óptimo para el sistema de escape de un automóvil es un acero inoxidable austenítico, sin embargo, por su alto costo pocas veces es empleado, usándose como sustituto, chapa de acero galvanizada, cuyo precio es mucho menor y va a cumplir en forma cabal su cometido durante un lapso predeterminado.

ii) En el caso de que el uso de un metal más caro sea más benéfico, que el ahorro que podría significar el uso de un metal un poco más barato, pero que posee propiedades bastante inferiores que el metal seleccionado.

Este criterio debe seguirse cuando se hacen estudios para el mejoramiento de máquinas ya existentes, y por supuesto, cuando se

hacen trabajos de mantenimiento correctivo, cuando el costo no es considerado como un factor básico.

iii) En proyectos muy importantes, tanto como por su costo o por las consecuencias que podría acarrear la falla de alguna de sus partes, el costo del metal pasa a un segundo término, es decir, se deben satisfacer de la mejor manera posible las condiciones enunciadas en el inciso a), tal es el caso de partes vitales de reactores nucleares, aeronaves, turbinas, etc.

Donde las condiciones de operación así lo permitan, el primer metal que debe ser considerado por su bajo precio es el hierro gris, puesto que además posee propiedades únicas que lo hacen especialmente importante en diversas situaciones.

El siguiente metal a considerar es el acero, que por sus múltiples características es el metal por excelencia en Ingeniería.

A continuación se deben tener en cuenta los aceros aleados que poseen ciertas características, tales como buena templabilidad, mayor resistencia mecánica, resistencia al desgaste, etc; que los hace muy importantes en innumerables aplicaciones.

Los metales no ferrosos deben ser considerados, donde se requieran características de poco peso, alta resistencia a la corrosión a altas temperaturas.

Además, se puede visualizar que en casos especiales, aún cuando-

no se requieran metales con estas características es indispensable su uso por motivos de estética o presentación.

En la tabla 7.4 se dan los precios en porcentajes de los metales más corrientemente usados, tomando como metal de comparación al acero rolado en caliente, con un precio de \$470.00 el Kg. al mes de Septiembre de 1986.

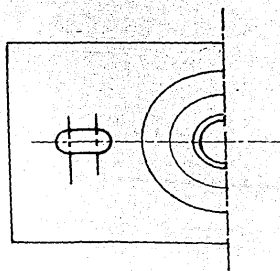
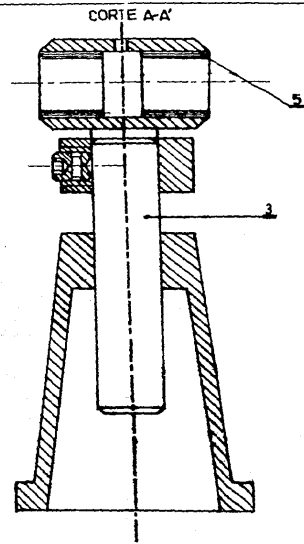
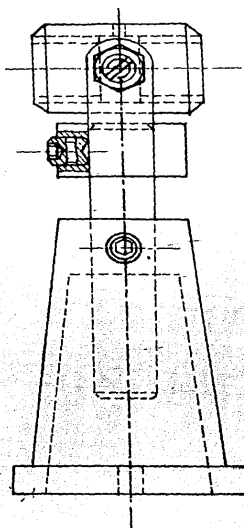
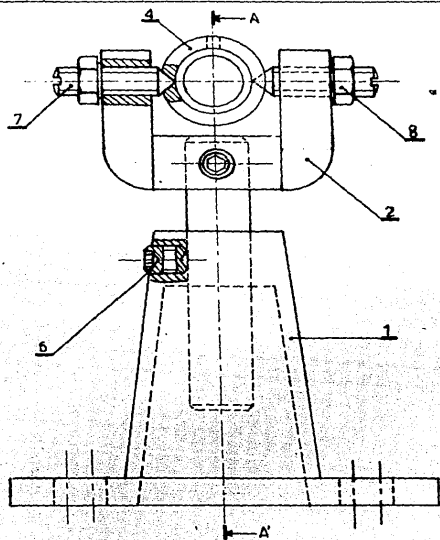
Tabla 7.4.-



Metal	%
Hierro gris ASTM-Clase 20	65
Barras de acero roladas en caliente	100
Barras de acero aleado roladas en caliente	170
Barras de acero acabadas en frío	130
Barras de acero aleado acabadas en frío	210
Placa de acero, alta resistencia baja-aleación	140
Barras de acero inoxidable 304	720
Placa de acero inoxidable 430.	562
Placa de acero inoxidable 347	1000
Barras de aluminio	580

7.2.- Selección de materiales en base a un caso práctico.-

Se seleccionó un sencillo soporte regulable para eje, el cual se muestra en la Fig. 7.2.

En el dibujo aparecen las partes que lo conforman con su forma final y el material es el finalmente seleccionado mediante el presente análisis; éste se hará para cada una de las piezas que-



8	2	Contratuercas Hex. Regulares	Acero		
7	2	Prisioneros, Cab. Ranurada, Punta Cónica	Acero		
6	2	Prisioneros, Hex. Interior, Punta de Copa	Acero	Dureza Min. 40 Rc.	
5	2	Cojinetes	Bronce SAE 520		
4	1	Soporte de los Cojinetes	Acero	Tubo Ced. 80	
3	1	Eje Vertical	Acero NCM-1030	Normalizado	
2	1	Yugo	Hierro Gris		
1	1	Base	Hierro Gris		
Det.	Ct.	Descripción	Material	Observaciones	
Esc: 1:1		FES-CUAUTITLAN	UNAM	30-Oct-86	Dib: Felipe D.C.R
		SOPORTE REGULABLE PARA EJE			Acot : Sin
Reviso: Alberto Reyes S.					Fig.- 7.2

componen el soporte y la selección del material se hará principalmente en base a las propiedades requeridas por la parte o elemento.

Las principales características utilitarias del dispositivo son:

- Ocupa poco espacio radial y axial
- Más eficiente a altas velocidades que los rodamientos de bolas.
- Bajo nivel de ruido
- Por su diseño es de fácil mantenimiento, tanto preventivo (lubricación, limpieza, etc) como correctivo.
- Dependiendo del material seleccionado para los cojinetes, adaptable a diferentes cargas y velocidades de operación.
- Con cierto grado de autoalineación.
- Constituye un buen ejemplo de fabricación de un dispositivo mediante una conjunción de métodos de manufactura, tanto primarios como secundarios.
- Por su simplicidad es de bajo costo.

Algunas consideraciones adicionales son:

- El dispositivo podrá operar en un ambiente normal de humedad y limpieza.
- Deberá poseer un precio competitivo.
- No existen limitaciones de peso.

A continuación se hará el análisis de cada una de las partes que conforman el soporte, cabe señalar que se irán mencionando en el mismo orden en el que aparecen enlistadas en la Fig. 7.2

1.- BASE.-

Del análisis de la Fig. 7.2 se puede concluir que las propiedades requeridas por la base son:

- Resistencia a la compresión cuando la parte 2 está directamente apoyada en ella.
- Capacidad de amortiguamiento de vibración
- Su espesor deberá ser tal que el prisionero actúe en forma correcta.

Por su forma y los requisitos anteriores se preseleccionaron los metales siguientes (esto involucra un proceso de manufactura):

- Hierro gris ASTM-Clase 20
- Acero moldeado con 0.2% de carbono.
- Acero forjado con 0.2% de carbono

Comparandose sus propiedades, se obtiene la tabla 7.5; los valores están en porcentajes, tomándose como base al hierro gris:

Tabla 7.5.-

Material	Resistencia a la compresión	Capacidad de amortiguamiento	Espesor requerido *	Costo
Hierro gris	100	100	100	100
Acero moldeado	60	11	50	150
Acero forjado	70	10	50	160

* Se refiere al espesor requerido para que el prisionero 6 actúe de manera correcta.

De los datos obtenidos de la tabla anterior, se concluye que el metal idóneo para la manufactura de la base es el hierro gris -- ASTM-Clase 20

2.- YUGO.-

Es una pieza bastante sencilla cuyas propiedades requeridas son bastante similares a las de la base, por lo que también se podrá manufacturar de hierro gris.

3.- EJE VERTICAL.-

Se supone que el eje vertical no sufre acción de columna, la única restricción es la dureza que debe poseer, que debe ser inferior que la dureza de los prisioneros 6, pero no de manera excesiva, puesto que la capacidad de agarre de los prisioneros se vería seriamente reducida.

La experiencia ha mostrado que si la dureza de los prisioneros es de 45 RC, la dureza adecuada para el eje debe ser de forma -- aproximada de 15 RC, por lo que de la tabla 7.6 se seleccionó un acero NOM-1030 y mediante operaciones de maquinado se da la forma final al eje.

4.- SOPORTE DE LOS COJINETES.-

La rigidez es el principal requisito del soporte de los cojinetes, de tal manera que éstos no sufran deformación, pero ésta -- propiedad no es crítica y cualquier acero con el espesor adecuado puede soportarlo, sin embargo, por su misma forma puede resultar un poco difícil su manufactura, pero si se recuerda que existen muchas piezas normalizadas disponibles comercialmente no re-

Tabla 7.5-

DESIGNACION DGN	TRATAMIENTO T L N C	S kgf/mm ²	S _f kgf/mm ²	ε en %	R. de A en %	HB	K daJ/cm ²
1015	Laminado	43	32	39.0	61.0	126	
	Normalizado 925	43	33	37.0	69.6	121	
	Recocido 870	40	29	37.0	69.7	111	
1020	Laminado	45	34	36.0	59.0	143	
	Normalizado 870	45	35	35.1	67.9	131	
	Recocido 870	40	30	38.5	66.0	111	
1022	Laminado	51	37	35.0	67.0	149	
	Normalizado 925	49	37	34.0	67.5	143	
	Recocido 370	45	32	25.0	63.6	137	
1030	Laminado	55	35	32.0	57.0	179	
	Normalizado 925	53	35	32.0	60.8	149	
	Recocido 840	47	35	31.2	57.0	126	
1040	Laminado	63	42	25.0	50.0	201	
	Normalizado 900	60	38	29.0	54.0	170	
	Recocido 790	63	36	30.7	57.2	149	
1050	Laminado	74	42	20.0	40.0	220	
	Normalizado 900	70	44	20.0	30.4	217	
	Recocido 790	65	37	23.7	39.9	187	
1060	Laminado	83	49	17.0	34.0	241	
	Normalizado 900	80	43	18.0	37.2	220	
	Recocido 790	64	38	22.5	38.2	170	
1090	Laminado	98	60	12.0	17.0	293	
	Normalizado 900	103	53	11.0	20.6	293	
	Recocido 790	63	38	24.7	45.0	174	
1095	Laminado	98	58	9.0	18.0	293	
	Normalizado 900	103	51	9.5	13.5	293	
	Recocido 790	67	39	13.0	20.6	192	
1117	Laminado	60	31	33.0	63.0	143	
	Normalizado 925	46	31	33.5	63.1	137	
	Recocido 790	44	28	32.8	58.0	121	
1119	Laminado	53	32	32.0	70.0	149	
	Normalizado 925	49	32	33.5	65.9	143	
	Recocido 790	46	29	34.6	66.1	131	
1137	Laminado	64	39	28.0	61.0	192	
	Normalizado 900	68	40	22.5	48.5	197	
	Recocido 790	60	35	26.8	53.9	174	
1141	Laminado	69	37	22.0	38.0	192	
	Normalizado 900	72	41	22.7	65.5	201	
	Recocido 815	61	36	25.5	49.3	163	
1144	Laminado	72	43	21.0	41.0	212	
	Normalizado 900	68	41	21.0	40.1	197	
	Recocido 790	61	36	24.1	41.3	167	

sultará ningún problema, ya que se puede conseguir fácilmente tubería de acero, que con ligeras operaciones de maquinado puede proporcionar las dimensiones adecuadas. El tubo seleccionado es de 1 plg. de diámetro nominal, cédula 80 (extrafuerte) y cuyas dimensiones originales aparecen en la Fig. 7.3

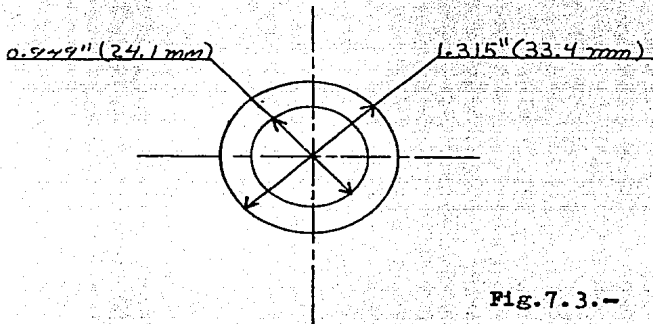


Fig.7.3.-

5.- COJINETES.-

Por los requisitos de resistencia, dureza y rigidez los muñones generalmente son de acero. Sin embargo, para los cojinetes existen otros requisitos, que deben ser considerados en la selección del metal más apropiado para un uso específico, siendo los principales los siguientes:

- Propiedades de baja fricción.- Cuando un muñón (parte soportada de la flecha) está empezando a girar, deteniéndose o girando a bajas velocidades, la lubricación será del tipo límite (película delgada) y el contacto metal a metal será prevenido únicamente por la adsorción del film, por lo tanto, metales y aleaciones

que favorecen la adsorción del film son deseables para cojinetes, ya que limitan el desgaste.

En éste punto deberá considerarse la viscosidad del lubricante. El bajo coeficiente de fricción y características de desgaste de los metales para cojinetes son responsables de su amplio uso.

- Resistencia a la compresión.- El metal para cojinete deberá tener alta resistencia a la compresión para prevenir extrusión de la chumacera, por lo que aquella deberá ser mucho mayor que la presión ejercida por la carga soportada por el cojinete.

- Resistencia a la fatiga.- Es la característica más importante para condiciones de carga cíclica; tal como en partes de acero, la fatiga es acumulativa y la falla por fatiga de un cojinete puede ocurrir después de muchos millones de ciclos de operación satisfactoria. Sin embargo, en contraste con el acero, el límite de fatiga de un metal para cojinete, no está bien definida como consecuencia de los muchos factores que influyen en éste límite. Una chumacera está sometida simultáneamente a desgaste y fatiga. Como el cojinete se desgasta, su área es efectiva disminuye hasta el grado que la superficie remanente no proporciona el soporte adecuada a la carga, por lo que el calor generado ocasiona que el metal se "queme" o se "gripe".

Conformabilidad.- Como consecuencia de pequeñas inexactitudes en la forma del muñon y de deflexión bajo las cargas impuestas, el metal del cojinete deberá adaptar su forma a la del muñon. Este

cambio de forma estará acompañado por flujo plástico, por desgaste o por fusión, siendo el flujo plástico el preferido para proporcionar conformabilidad, puesto que el desgaste y la fusión local están acompañadas por una generación de calor excesiva, la cual podría dañar al cojinete.

- Penetrabilidad - Todos los cojinetes deben ser diseñados de tal manera que las partículas extrañas puedan ser expulsadas, - ésto es algo difícil en cojinetes lisos lubricados con aceite, - donde arenilla, tierra y partículas de metal pueden ser introducidas con el lubricante o el aire de ventilación. Si el metal del cojinete es duro puede escorrarse y desgastarse en forma excesiva. Pero si el recubrimiento de la chumacera es suave de tal manera que las partículas sean completamente absorbidas, éste problema puede no ser de importancia.

La discusión precedente, indica las características deseables de los metales para cojinetes; estas propiedades no las poseen todos los metales para cojinetes, pero es evidente que la elección de un metal para alguna aplicación específica representa un compromiso.

Esta es la razón por la que se ha desarrollado un gran número de aleaciones para cojinetes y cada uno es el más adecuado para aplicaciones específicas.

Los babbitts base plomo y base estaño son ampliamente usados ya que satisfacen la mayoría de requisitos en aplicaciones generales.

sin embargo, donde las cargas son mayores, los latones y los bronzes deben ser usados, Donde una alta resistencia a la compresión y resistencia a la fatiga son necesarios, aleaciones de cobre y plomo deben ser usados. Donde los cojinetes son inaccesibles o la lubricación no se puede efectuar frecuentemente, los cojinetes prelubricados, tales como compuestos de Bronce sinterizado o hierro con grafito deberán emplearse.

En forma específica, los factores que deben tenerse en cuenta en la selección del metal para cojinete óptimo son:

- Presión ejercida sobre el cojinete (Carga soportada)
- Velocidades periféricas del muñón.
- Temperatura de operación.
- Dureza superficial del muñón
- Ambiente de operación (condiciones de corrosión)

En la tabla 7.7 se dan las condiciones máximas permisibles de operación de los metales para cojinetes más comunes.

Tabla 7.7.- Condiciones de operación máximas permisibles.
(en grupos de aleaciones)

Metal de cojinete	Presión Kg/cm ²	Velocidad m/min	Temperatura máxima	Dureza del muñón HB - RC
Babbit base estaño	125	1208	120	130HB - 70RC
Babbit base plomo	105	1208	130	" "
Aleaciones s/plomo	245	1208	150	165HB - 70RC
Bronces	245	300	180	300HB - 70RC
Aluminios	280	453	120	200HB - 70RC
Plata	280	1208	150	400HB - 70RC
Grafito	42	750	370	1

En la tabla anterior la presión es igual a:

$$\frac{W}{L \cdot D}$$

y la velocidad a:

$$\frac{\pi \cdot D \cdot n}{100}$$

Donde:

W = carga soportada por el cojinete en Kg.

D = diámetro básico del cojinete y del muñón en cm.

L = Longitud del cojinete en cm.

n = Velocidad angular del muñón en rpm.

Como se puede apreciar, se cuenta con numerosos metales para cojinetes que en conjunto son capaces de cubrir un amplio rango de condiciones de operación.

Para éste proyecto se seleccionó un bronce como consecuencia de su costo moderado, de fácil adquisición y excelentes características.

En la tabla 7.8 se dan las designaciones SAE y composiciones químicas en particular para los diferentes bronce fundidos empleados para cojinetes:

Tabla 7.8.-

Designación SAE	Composición Química (%)			
	Cu	Sn	Zn	Pb
SAE 62	88	10	2	-
SAE 620	88	8	4	-
SAE 65	89	11	-	-
SAE 622	88	6	4.5	1.5
SAE 621	87	8	4	1
SAE 63	87	10	2	1

Con la selección de cualquiera de éstos Bronces, el soporte regulable puede soportar una carga de 1770 Kg. (queda limitada por la capacidad de agarre de los prisioneros 6); a una velocidad de 5000 rpm y una temperatura de 180°C; una limitante es la dureza mínima del muñón, que debe ser cuando menos de 300 HB, ya que si es menor podría sufrir un excesivo desgaste, cuando éste es el caso, conviene instalar un material para cojinete diferente, basándose en la tabla 7.7.

6.- PRISIONEROS, CON HEX. INTERIOR, PUNTA DE COPA.-

Los prisioneros se utilizan como sujetadores semipermanentes para mantener un collar, una polea o un engrane en un eje, resistiendo la fuerza de rotación o de traslación. En contraste con la mayoría de los dispositivos de sujeción, el prisionero es esencialmente un dispositivo de compresión. Las fuerzas desarrolladas por la punta del prisionero, al apretar éste, produce una

fuerte acción de aferramiento que resiste el movimiento relativo entre las partes ensambladas.

El problema básico en la selección de un prisionero es encontrar la mejor combinación de la forma y el tamaño del prisionero y el estilo de punta que proporciona la potencia de agarre requerida. En la Tabla 7.9 se dan las principales características de ellos.

En la tabla 7.10 se da la capacidad de sujeción de la fuerza tangencial para un tornillo prisionero con forma de copa. Esta punta debe penetrar algo en el eje vertical, por lo que éste debe poseer una dureza menor de por lo menos 10 puntos RC o de lo contrario la capacidad de agarre se verá apreciablemente reducida.

Sin agujeros de posición (como en el presente proyecto) las capacidades relativas para las otras puntas son las siguientes:










Punta cónica -----	1.07
Punta plana o de barrilete -----	0.92
Punta ovalada -----	0.9

La punta cónica y las puntas en barrilete se suelen ensamblar dentro de un agujero taladrado y en ese caso el movimiento relativo depende de la cizalladura de la punta y no es aplicable la tabla 7.10. Típicamente, el tamaño del tornillo prisionero es aproximadamente $1/4$ del diámetro del eje. Dos tornillos prisioneros en el mismo lado del eje, uno junto a otro, duplican virtualmente la capacidad de uno sólo, pero si están separados 180°

el aumento es únicamente de 30% aproximadamente, a causa de la -- pérdida simultanea de fricción entre el eje y el núcleo en los -- tornillos opuestos.

Para poder alcanzar los pares de apriete señalados en la Tabla -- 7.10 se debe utilizar la cabeza del prisionero adecuada.

Tabla 7.9

PUNTAS NORMALIZADAS	CABEZAS NORMALIZADAS
 <p>ACOPADA</p> <p>Es más convenientemente utilizada. Adecuada para la rotación rápida y acortamiento de piezas en ejes blandos, cuando la penetración de los bordes de la rosca acoplada en el eje sea suaves.</p>	 <p>CON HEXAGONO INTERIOR</p> <p>Tamaños normalizados: Prisioneros normales en toda su longitud, desde el No. 0 hasta 1 pul, con incrementos de 1/8 desde 1/8 hasta 1 pul e incrementos de 1/16 desde 1 pul hasta 1 pul. Series de rosca gruesa y fina, clase 2A.</p> <p>Se emplea en piezas móviles</p>
 <p>APLANADA</p> <p>Utilizada cuando se requieren repeticiones frecuentes en eje de acero duro y cuando se necesita que el detenedor de los ejes sea mínimo. La punta aplanada generalmente se apoya en el eje, para mejor contacto.</p>	 <p>RANURADA</p> <p>Tamaños normalizados: Prisioneros normales en toda su longitud desde el No. 5 hasta 1/2 pul. Series de rosca gruesa y fina, clase 2A.</p> <p>Se obtiene un par de apriete moderado.</p>
 <p>CONICA</p> <p>Para colocar permanentemente piezas de máquinas en un eje, el cual se debe ranurar para alojar la punta cónica. Se utiliza también como pivote o soporte cónico.</p>	 <p>CON CUBO RANURADO</p> <p>Es idéntico que los prisioneros con hexágono interior. Los No. 0 a 1 tienen cuatro estrías. Todos los demás, seis estrías.</p> <p>Usos similares a las de Hex. interior</p>
 <p>OVALADA</p> <p>Debe utilizarse sobre ejes ranurados u ovalados. A veces se reemplaza por la punta acoplada.</p>	 <p>CABEZA CUADRIADA</p> <p>Tamaños normalizados: No. 10 a 1 1/2 pul. Toda la longitud del prisionero es ranurada. Series gruesa, fina o de 8 filos, clase 2A. Los tamaños de 1/2 pul y mayores normalmente están disponibles únicamente en rosca gruesa.</p> <p>Peligrosa en piezas con movimiento</p>
 <p>DE MEDIO BARRILETE</p> <p>Para localización permanente de partes de máquinas, aunque generalmente se prefiere la punta cónica para este fin. La punta debe ajustarse apretadamente en el agujero taladrado en el eje. A veces se utiliza en lugar de una espiga.</p>	

Concluyendo, se deben usar prisioneros con hexagono interior y - punta de copa de 3/8 plg. de diámetro y 1/2 plg. de longitud, el cual proporciona una fuerza de agarre de 907.1 Kg, si se emplea un factor de seguridad de 1.5 se podrá aplicar una carga de 605-kg.

Tabla 7.10.- Capacidad de sujeción de los prisioneros de punta -
en forma de copa.

Se dan los valores "máximos" aproximados de la fuerza de sujeción tangencial en la superficie del eje cuando el par de apriete tiene el valor que se indica; para puntas en forma de copa con dureza aprox. de 45-50 RC, sobre un eje de dureza aprox. de 15 RC.

Debe aplicarse un coeficiente de seguridad (Ref.10).

Tamaño del tornillo	Par de apriete kg-cm	Fuerza de sujeción Kg
4	5.76	72.5
5	10.36	90.7
6	10.36	113.4
8	23.04	174.6
10	38.01	245.0
1/4	100.22	453.6
5/16	190.	680.3
3/8	334.	907.1
7/16	495.	1134.
1/2	714.	1360.
9/16	714.	1587.
5/8	1410.	1814.
3/4	2447.	2267.9
7/8	5760.	2721.5
1"	8064.	3175.1

Estos prisioneros se encuentran en el comercio fabricados por Casa Sommer con acero aleado, templado y revenido, con una dureza de 45 a 53 RC, la cual es apropiada para nuestros propósitos.

7.- PRISIONERO, CABEZA RANURADA, PUNTA CONICA.-

Para proporcionar al soporte regulable la característica de autoalineación se seleccionaron tornillos prisioneros con punta cónica, además el soporte de los cojinetes cuenta con cojinetes de localización por lo que no es indispensable un alto par de apriete, pudiéndose emplear en éste caso cabeza ranurada.

También se pueden adquirir fácilmente en el comercio con propiedades similares a los prisioneros con punta de copa, es decir, - fabricados de acero aleado, templado y revenido, aunque en éste caso no se requiera una dureza tan elevada.

8.- CONTRATUERCA HEXAGONAL.-

Su principal función es evitar que se aflojen los prisioneros de punta cónica, por lo que no es necesario que el metal con el que estén fabricadas posea determinadas propiedades mecánicas.

Se pueden adquirir fácilmente en el comercio manufacturadas de acero y además con diferentes acabados, lo cual no es de importancia en éste proyecto.

Tal y como se ha visto, la selección de un material metálico para una aplicación específica está condicionada por diversos factores que son los que determinan si puede o no ser usado el metal en dicha aplicación.

Sin embargo, con lo planteado en el presente trabajo se concluye que:

1.- Es esencial el conocimiento de las diversas propiedades de los metales para una óptima aplicación.

2.- Con la rápida evolución de la tecnología en la actualidad se hace indispensable un mayor conocimiento de metales distintos -- del acero al carbono, tales como aceros inoxidables, aleaciones de aluminio, níquel, titanio, etc, ya que proporcionan un rendimiento superior en múltiples aplicaciones.

3.- Es necesario evaluar los factores que influyen en la selección del metal más apropiado, tales como el costo, disponibilidad, etc.

4.- Para un proyecto específico es necesario recopilar la mayor información técnica posible relacionada con los materiales a emplear, ya que son el resultado de mucho tiempo de estudio y experiencia, y por lo tanto, es de máxima confiabilidad.

5.- Por último, no se debe olvidar que las propiedades de los me

tales pueden ser modificadas en un amplio rango, con el fin de obtener de ellos los máximos beneficios.

Evidentemente, en algunos temas no se profundizó lo deseado por limitantes de espacio, sin embargo, en la bibliografía se mencionan varias obras que pueden ampliar y complementar la información aquí expuesta.

- APENDICE A.-

- Cristales.-

Cuando los átomos o moléculas se unen en estado sólido, se acomodan en un modelo regular tridimensional para formar un cristal. En términos técnicos, un cristal es un pedazo finito de materia sólida en el cual los átomos se encuentran en un modelo sencillo continuo en forma independiente de la condición de sus fronteras.

La mayoría de los sólidos, incluyendo todos los metales y muchos cerámicos, son cristalinos, es decir, están compuestos de uno o más cristales, pero hay varias excepciones, principalmente vidrios y algunos altos polímeros, éstos materiales se conocen como sólidos amorfos.

Los metales son normalmente policristalinos, esto es, son una serie de granos o cristales los cuales han crecido en forma independiente durante la solidificación del metal desde la fase líquida de la manera siguiente: Cuando alcanza la temperatura de congelamiento, empieza la solidificación (si no hay sobreenfriamiento) al mismo tiempo en numerosos puntos. Los diminutos cristales formados aumentan de tamaño emitiendo ramificaciones en determinadas direcciones que guardan relación con la simetría del cristal, las dendritas así formadas continúan desarrollándose a una velocidad que depende de las condiciones de temperatura en su inmediata proximidad, hasta que su crecimiento queda interferido por su encuentro con los cristales vecinos (Fig. A1).

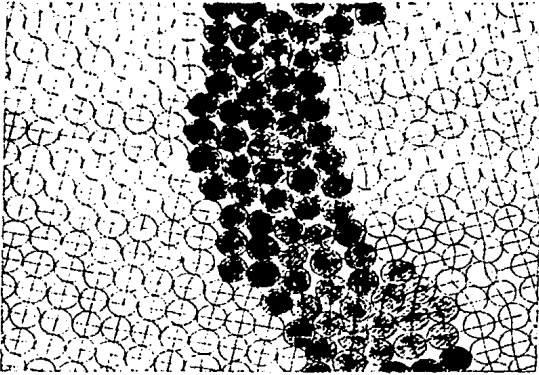


Fig.A1.-Representación esquemática de un límite de grano entre dos cristales. Los átomos "sombreadados" -- constituyen el límite de -- grano.

Donde dos cristales se encuentran existe un límite de grano y -- donde éste intersecta la superficie libre del metal puede ser observado bajo microscopio después de un apropiado pulido y ataque.

Los diámetros del grano varían ampliamente de menos de $1\mu\text{m}$ (por ejemplo, granos de arcilla) a más de 10 mm (por ejemplo en latones fundidos).

Un sólido puede tener sólo un gran cristal, el cual puede haber crecido en forma natural, o haber sido creado sintéticamente por el hombre.

El tamaño de grano influye en forma determinante en las propiedades del material, algunas veces se recomienda un tamaño de grano

pequeño por ejemplo, en aplicaciones donde se ven involucrados - esfuerzos considerables y en algunas otras se recomienda un tamaño de grano mayor, tal como en operaciones de embutición profunda.

El tamaño de grano ha sido estandarizado por la ASTM y existen - varias formas de calcularlo.

- Estructuras cristalinas.-

Al discutir las estructuras cristalinas se supone usualmente que la estructura continúa hasta el infinito en todas direcciones.

Esta suposición puede parecer absurda al considerar un cristal - convencional (o grano) de hierro de una centésima de pulgada, - pero cuando se considera que existen 10^{18} átomos de hierro en dicho grano la aproximación al infinito parece mucho más exacta.

La definición fundamental de la regularidad de distribución de - los átomos en el espacio es la siguiente: "Se dice que una distribución de puntos (o átomos) en tres dimensiones forman una red - espacial, si todos sus puntos tienen idénticos alrededores".

En la fig.A2, se muestra parte de una red espacial general. Como consecuencia de la regularidad en la distribución de puntos - que componen una red, la geometría esencial puede describirse -- por tres vectores de la red \bar{a} , \bar{b} y \bar{c} (Fig.A3). Estos vectores - describen la celda unitaria señalada con trazos más negros en la esquina de la red espacial de la Fig.A2. Entonces, la celda unitaria es el grupo más pequeño de átomos que posee la simetría --

del cristal, que cuando se repite en todas direcciones formará -
la red espacial.

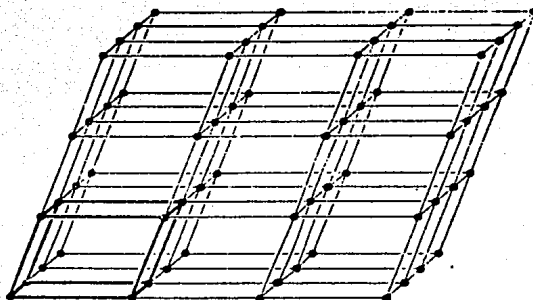


Fig. A2.-Parte de una red espacial en la que se muestra con trazo grueso, una celda unitaria

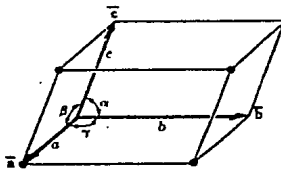


Fig. A3.- Descripción de la celda unitaria en función de los vectores de red \bar{a} , \bar{b} y \bar{c}

La geometría de una red espacial está completamente definida por las constantes de la red (longitud de los vectores), \bar{a} , \bar{b} y \bar{c} ; y de los ángulos interaxiales α , β y γ . Existen solamente catorce disposiciones de los puntos que satisfagan la definición de red espacial, Fig. A4, y menos de la mitad de las mismas poseen alguna importancia para las estructuras metálicas. Las catorce redes espaciales pueden ser agrupadas en siete sistemas cristali-

nos, tal como se muestra en la tabla A1.

Aunque una red espacial es, fundamentalmente, una distribución de puntos en el espacio, es conveniente unir estos puntos mediante líneas (ejes) como los que se muestran en la Fig. A2 y describir la red espacial en función de la línea geométrica formada por dichas líneas.

Por ejemplo, existen tres distribuciones descriptas por una red cúbica de ejes, ésto es, por tres ejes iguales formando entre sí ángulos rectos.

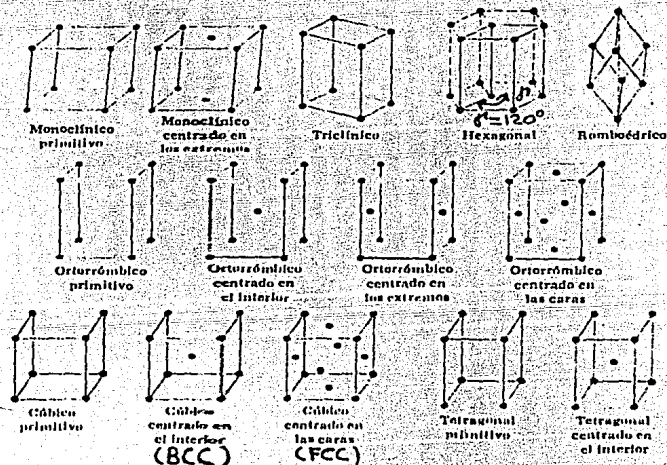


Fig. A4.- Redes espaciales o de Bravais. Cada punto indicado tiene idénticos alrededores.

La red espacial cúbica simple, que sólo tiene puntos en las intersecciones del enrejado de los ejes, no es importante en los metales, la cúbica centrada en el cuerpo (BCC) y la cúbica de caras centradas (FCC) son muy comunes en los metales. Estas redes

tienen puntos en el centro del cubo o en los centros de las caras del cubo respectivamente, así como en las esquinas de la celda unitaria cúbica.

En los cristales cúbicos la constante de la red tiene el mismo valor "a" en las tres direcciones del cristal, pero en otros casos, como en los cristales ortorrómbicos, la constante de la red puede tener valores diferentes a, b y c para las tres direcciones del cristal.

Para muchos metales, sus estructuras cristalinas son simplemente átomos situados en los puntos de una red espacial, como por ejemplo, la estructura cúbica de caras centradas del cobre, sin embargo, algunos otros metales como el magnesio, el titanio y otros poseen una estructura un poco más complicada denominada hexagonal compacta, que es ejemplo de un grupo de átomos en un punto de la red. La Fig. A5a muestra como una celda de simetría hexagonal puede concebirse dentro de un grupo de cuatro celdas unitarias de la red espacial hexagonal simple (Fig. A4).

Sin embargo, los átomos de magnesio (en éste ejemplo) no ocupan simplemente los puntos de la red espacial, sino también, las posiciones intermedias que se muestran en el esquema de la red cristalina hexagonal compacta, Fig. A5c, se puede ver que un par de átomos (unido por las líneas más gruesas en la figura) pueden asociarse con un punto de la red espacial. La Fig. A5c explica la preferencia de los átomos por la estructura compacta en términos de apilamiento de esferas. La red hexagonal simple corres--

ponde a la colocación de la capa superior A, directamente sobre-

Tabla A1-

CLASIFICACIÓN DE LAS REDES ESPACIALES POR SISTEMAS CRISTALINOS

Sistema Cristalino	Longitudes de los ejes y ángulos interaxiales	Red espacial
Cúbico	Tres ejes iguales a ángulos rectos. $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cúbica simple Cúbica centrada Cúbica de caras centradas.
Tetragonal	Tres ejes a ángulos rectos, dos iguales $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal simple Tetragonal centrada
Ortorrómbico	Tres ejes desiguales a ángulos rectos $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrómbica simple Ortorrómbica centrada Ortorrómbica de base centrada Ortorrómbica de caras centradas
Romboédrico	Tres ejes iguales con la misma inclinación $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Romboédrica simple
Hexagonal	Dos ejes iguales a 120° , el tercer eje a ángulos rectos $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Hexagonal simple
Monoclínico	Tres ejes desiguales, un par a ángulos no rectos $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Monoclínica simple Monoclínica de base centrada
Triclínico	Tres ejes desiguales, con inclinaciones desiguales y a ángulos no rectos $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triclínica simple

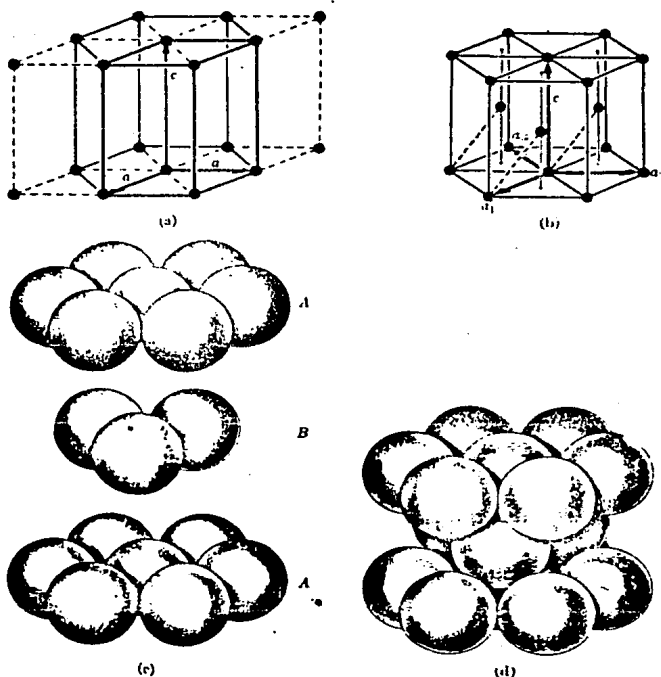


Fig. A5.- Aspectos importantes de la estructura cristalina hexagonal compacta. (a) Red espacial hexagonal simple. (b) Estructuras cristalinas hexagonales compactas. (c) Esquema de la posición relativa de las capas de esferas en el apilamiento hexagonal compacto. (d) Estructura cristalina hexagonal compacta, resultado de llevar a contacto las capas A, B y A -- que se muestran separadas en (c).

la capa inferior A (la capa B no estaría presente en este caso) -- por lo que este arreglo tiende a ser inestable, las esferas de la capa superior se deslizarían hacia abajo para acomodarse en los huecos de la capa inferior. En contraste con esta disposición inestable, la red hexagonal compacta de la Fig. A5b, corresponde a la aparición de la capa intermedia de átomos B, en forma

tal que se ocupan los valles en las capas A, interior y superior. La Fig. A5d muestra la estructura compacta resultante de ésta clase de apilamiento.

Es interesante mencionar que algunos metales, por ejemplo el hierro y estaño, pueden existir en dos o más retículas cristalinas. Se dice que éstos metales son alótrópicos y el cambio de una estructura reticular a otra se llama cambio alótrópico o transformación alótrópica.

Los cambios alótrópicos dependen de la temperatura y la presión. Los cambios alótrópicos del hierro puro se muestran en la Fig. A6. El hierro puro solidifica a unos 1538°C en estructura cristalina BCC, denominada hierro delta. A unos 1400°C los átomos se reagrupan en una estructura FCC conocida como hierro gamma. Cuando la temperatura baja más, a unos 910°C , el hierro puro vuelve a cambiar a una estructura de retícula cristalina BCC conocida como hierro alfa; el hierro a temperatura ambiente tiene ésta estructura.

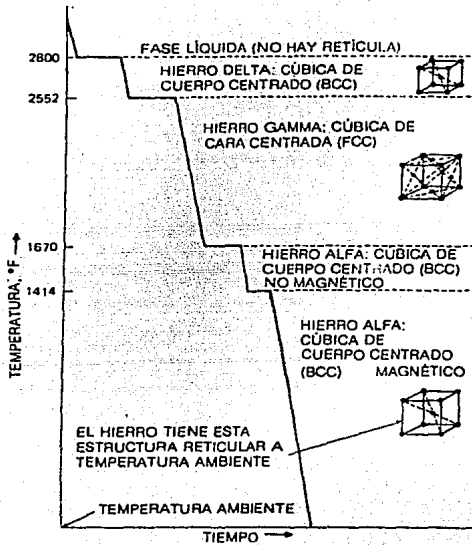


Fig.A6.-Sección de enfriamiento de la curva calentamiento-enfriamiento del hierro puro, que muestra los cambios alótropicos y la formación de retículas.

B I B L I O G R A F I A

1.- Metals Handbook

Vol.1.- Properties and selection of metals

Vol. 8.- Metallografy, structures and phase diagrams.

American Society for Metals

Octava Edición.

2.- Introducción a la Metalurgia Física

Sidney H. Avner

Ed. Mc Graw-Hill

Segunda Edición

3.- Materiales para Ingeniería

Lawrence H. Van Vlack

Ed. CECSA

Tercera Impresión.

4.- Metalurgia Física para Ingenieros.

Albert G. Guy

Ed. Fondo Educativo Interamericano

5.- Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones

Richard A. Flinn y Paul K. Trojan

Ed. Mc Graw-Hill

6.- Tecnología de los Metales

A. Malishev, G. Nikolaiev y Yu. Shuvalov

Ed. Mir, Moscú.

Sexta Edición.

7.- Mechanical Metallurgy

George E. Dieter

Ed. Mc. Graw-Hill

8.- Corrosión Engineering

Mars G. Fontana and Norbert D. Greene.

Ed. Mc. Graw-Hill

9.- Acero, Fascículo I

Armando Alfonso A.

Ed. AA.

Primera Edición.

10.- Diseño de Elementos de Máquinas.

Virgil Moring Faires

Ed. Montaner y Simón.

11.- Diseño y Análisis de Elementos de Máquinas

R.R. Slymaker.

Ed. Limusa-Wiley

Primera Edición.

12.- Diseño de Máquinas

A. S. Hall, A.R. Holowenco y H.C. Laughling

Ed. Mc.Graw-Hill

Serie Schaum.

13.- Dibujo y Diseño de Ingeniería

Cecil H. Jensen

Ed. Mc. Graw-Hill

Primera Edición.

14.- Machine Design.

Paul H. Black and O. Eugene Adams, Jr.

Ed. Mc. Graw-Hill

Tercera Edición.

15.- Materiales y Procesos de Fabricación

E. Paul Degarmo.

Ed. Reverté

Segunda Edición.