Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

APUNTES DE MATERIALES EN MEDIOS MARINOS

Ing. Wilmo Jara Calderón
Profesor

Enero – 2006
Guayaquil - Ecuador

CONTENIDO

1. Metales Ferrosos
Hierro Fundido
Producción
Clasificación
Cambios de su estructura interna con la temperatura
Aceros
Producción
Aceros ácidos y básicos
Impurezas presentes en el acero
Diagramas de fase del Fc – C
Tratamientos térmicos
Nomenclatura e identificación de los aceros
Aceros al carbono
Aceros de aleación
Aceros inoxidables
Aceros resistentes al desgaste
Aceros especiales para tratamiento térmico
Aceros usados en la construcción de buques.
2. Metales ferrosos
Aluminio
Cobre
Aleaciones de cobre para uso marino
Latones
Bronces
Diagramas de fase del cobre
Magnesio
Zinc
Níquel
Plomo
Cadmio
Titanio
3. Polímeros
Clasificación

Elastómeros

Termoestables

Aditivos

Conformado

4. materiales compuestos

Compuestos particulados

Compuestos reforzados con fibras

Fabricación de fibras

Características de los compuesto reforzados con fibras

Determinación de las propiedades de los compuestos reforzados con fibras.

1. METALES FERROSOS

Los metales y sus aleaciones se dividen en dos grandes grupos: Metales ferrosos y no ferrosos.

Los metales ferrosos son aleaciones ricas en hierro, tales como el acero, el hierro fundido y el hierro dulce. El término no ferroso, se refiere a los metales y aleaciones en que el principal elemento no es el hierro.

1.1 HIERRO FUNDIDO

1.1.1 Aspectos generales de producción

Hay muchas clases de hierro que se diferencian principalmente por su método de producción y contenido de carbono.

El hierro fundido, que también se lo llama hierro colado, se lo puede definir como una aleación de hierro y carbono, este último en una proporción mayor al 1,7% (usualmente el contenido de carbono varía entre el 2,4 y el 4,0 por ciento).

La primera etapa de la producción se inicia en el alto horno, donde: el mineral de hierro, la piedra caliza, el carbono y el aire se combinan para darnos arrabio o hierro de primera fundición (Pig iron).

El arrabio es procesado y modificado en otro horno, antes de entrar a los cubilotes de fundición. El horno más usado para este segundo proceso de reducción del hierro es el "cupola" donde se procesa aproximadamente el 90% de hierro fundido.

En la figura 1.1 se puede apreciar un horno de tipo cupola que, en definitiva, viene a ser un alto horno (blast furnace) en pequeña escala. Este horno es barato de operar.

Existen otros tipos de hornos como el de reverberación, los rotatorios y los eléctricos que se usan para producir hierro fundido de una mejor calidad que el producido por el proceso cupola.

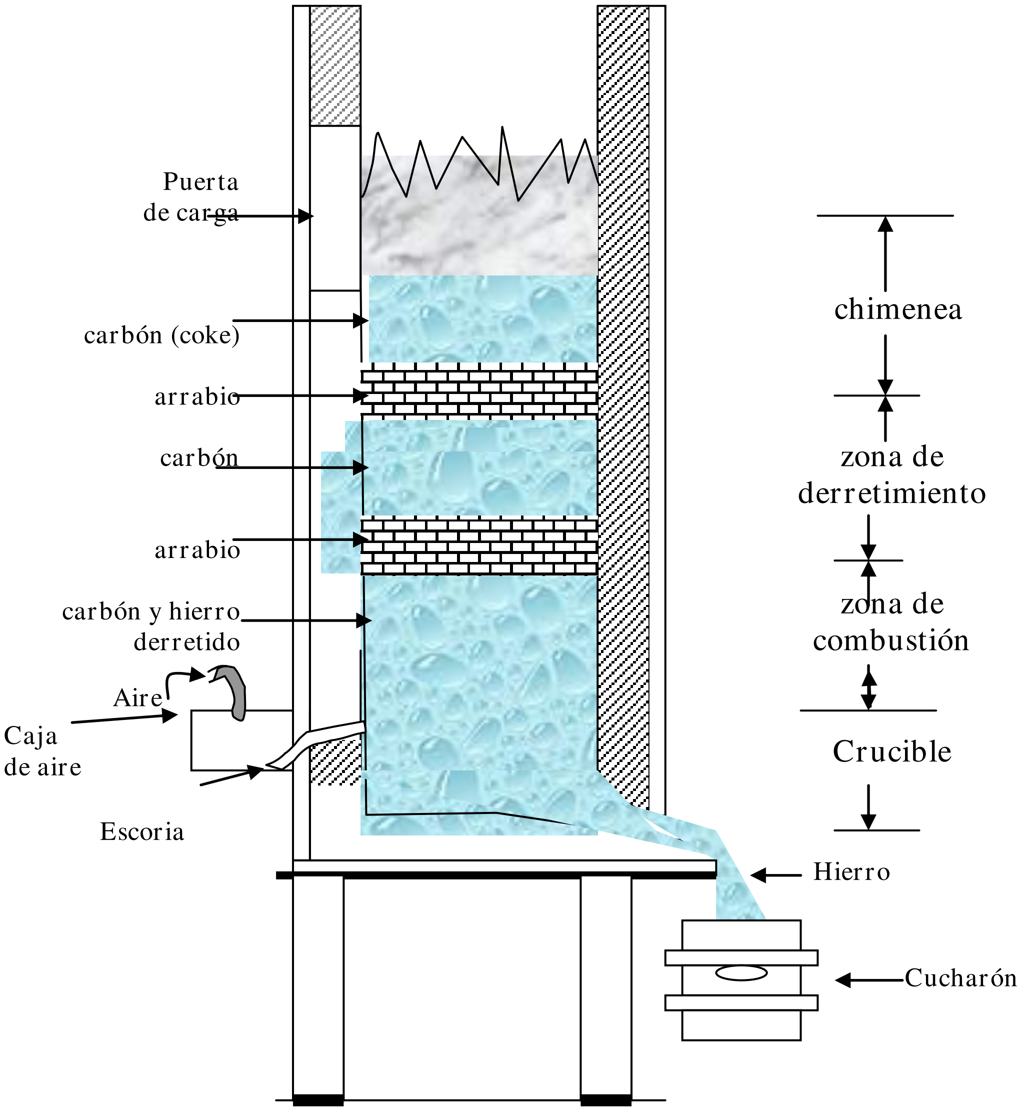


Fig. 1.1 HORNO CUPOLA

1.1.2 Clasificación de los hierros fundidos

En el cuadro a continuación se muestra los tipos de hierro fundido obtenido bajo diferentes procesos de fundición, así como también algunas propiedades físicas de algunos hierros, de acuerdo al elemento aleatorio que se utiliza en su fabricación.

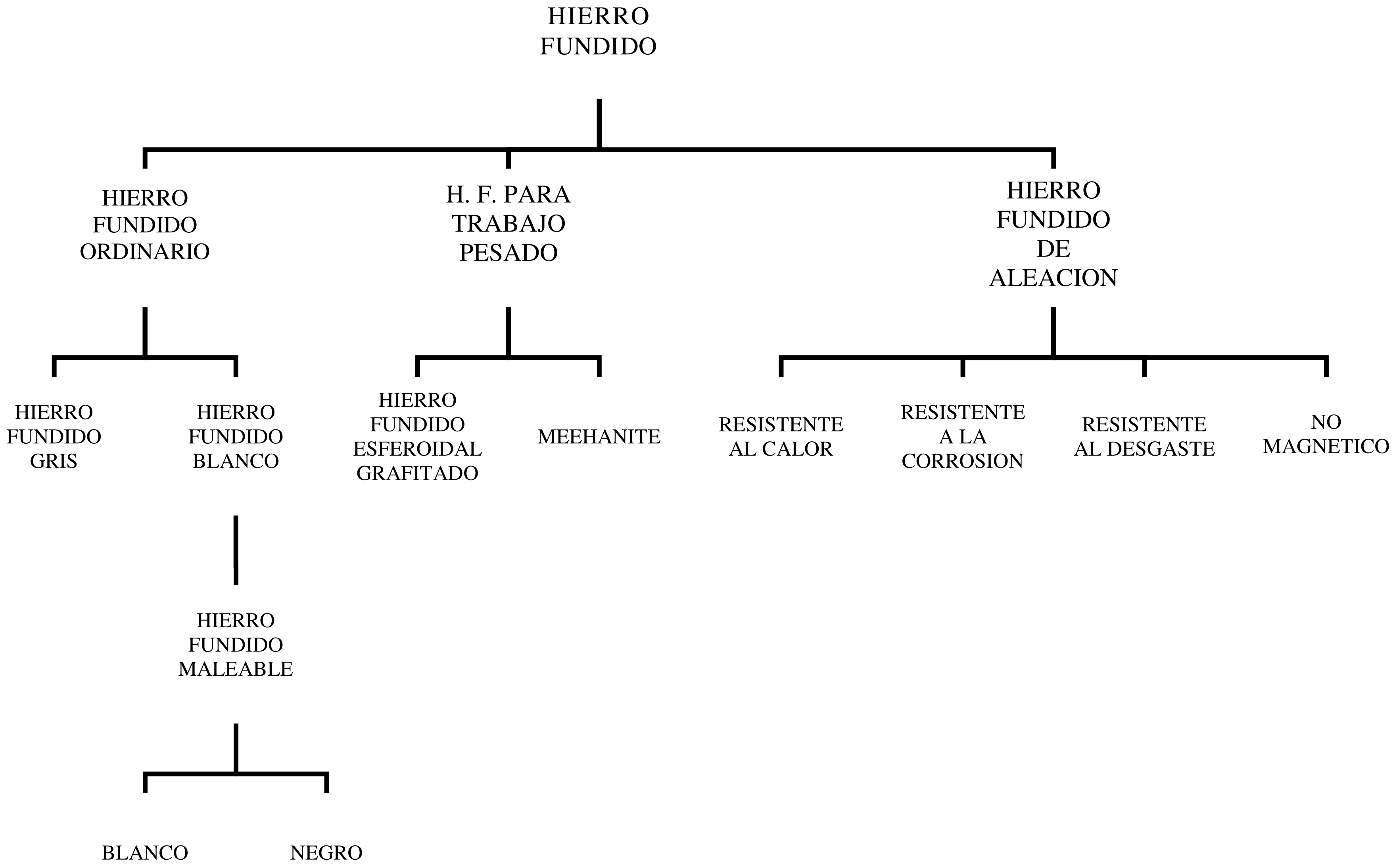


Fig. 1.2 DIFERENTES TIPOS DE HIERRO FUNDIDO

1.1.2.1 Diferentes tipos de hierro fundido

a. Hierro fundido de aleación

Son los hierros fundidos grises que tienen una estructura más uniforme, mayor resistencia y otras cualidades mejoradas debido a la adición de Ni, Cr, Mo y Si. El níquel le da uniformidad al grano, dureza y resistencia. La adición de cromo elimina las porocidades, le da una resistencia adicional a elevadas temperaturas.

Las aleaciones de hierro fundido con cromo y níquel tienen muchas aplicaciones; se usan juntos estos dos elementos para refinar la estructura y para endurecer y darle mayor resistencia al hierro gris.

El molibdeno se añade a menudo en cantidades del 0,25 al 1,25 por ciento para mejorar la resistencia a la tensión, la resistencia transversal y la dureza.

b. Hierros fundidos para trabajos pesados

En los últimos años salió al mercado una familia de hierros fundidos aplicables al campo de las máquinas herramientas llamadas "MEEHANITE". Estos hierros contienen Si, Mn, S y C; y en su estado líquido son tratados con silicatos de calcio.

Hay disponibles varios tipos de esta aleación, cada una tiene sus propias cualidades que varían de acuerdo a los elementos que entran en la aleación. Algunos hierros MEEHANITE pueden ser tratados térmicamente y endurecidos con soplete.

c. Hierros Fundidos Ordinarios

Fundición de hierro gris

Es el tipo de fundición más común que se usa en el mercado o industria del hierro. Esencialmente es una aleación de hierro, carbón y silicio. Al enfriar la fundición lentamente, el hierro y carbón tienen el tiempo necesario para desintegrarse parcialmente, desprendiéndose parte del carbón en forma de pequeñas escamas de grafito que se desperdigan uniformemente en el material.

El nombre de este material proviene del color gris del grafito y se lo usa en la fabricación de piezas de maquinaria como blocks, bancadas, cabezotes, etc.

Fundición de hierro blanco

Usualmente se lo produce, enfriando bruscamente el hierro derretido, evitando que el carbón pueda separarse del hierro. Este tipo de fundición se lo distingue fácilmente de otras fundiciones, debido a su extrema dureza. Su color es blanquecino y su aplicación es muy limitada.

d. Hierros fundidos maleables

Se los obtiene mediante un proceso de recocido del hierro fundido blanco, el carbón liberado asume la forma de partículas redondas más uniformemente distribuidas como se muestra en las cuatro figuras a continuación:

Fig. 1.3

Fig. 1.4

Fig. 1.5

Fig. 1.6

Diferentes tipos de granos en los hierros fundidos

Fig. 1.3 Hojuelas de grafito en hierro fundido gris
Fig. 1.4 Hierro fundido maleable
Fig. 1.5 Hierro fundido blanco
Fig. 1.6 Precipitaciones de carbono en hierro blanco

1.1.3 Cambios de su estructura interna con la temperatura

Metales como el hierro y sus aleaciones sufren transformaciones en su estructura interna cuando son sometidos a cambios de temperatura en su fase sólida.

El calor en los metales se transmite más rápido que en el agua y en el aire, aún así, en algunos metales como el hierro se ha encontrado que la variación de temperatura no es uniforme cuando se lo calienta o enfría.

Si tomamos una muestra de hierro líquido puro y bajo ciertas condiciones de control del proceso, lo enfriamos a 1538 °C., comienza a solidificarse la muestra, la cristalización se produce rápidamente y la temperatura se mantiene. Tan pronto como el metal se solidifica le temperatura de la muestra comienza a descender nuevamente hasta los 1.400 °C. En este rango de temperatura el cristal tiene la forma de cuerpo centrado (9 átomos) y se lo llama hierro delta.

A los 1.400 °C. se produce otro cambio, el hierro sólido cambia su estructura a cara centrada (14 átomos) y se lo conoce como hierro gama. Al descender la temperatura a 910 °C se produce otro cambio, transforma en un cubo de cuerpo centrado y se lo conoce como hierro alfa (no magnético). A los 768 °C el hierro se vuelve magnético.

La temperatura a la cual se produce un cambio en la estructura del metal se denomina "Temperatura Crítica".

Los cambios de estructura, del hierro se deben a las propiedades alotrópicas de este metal.

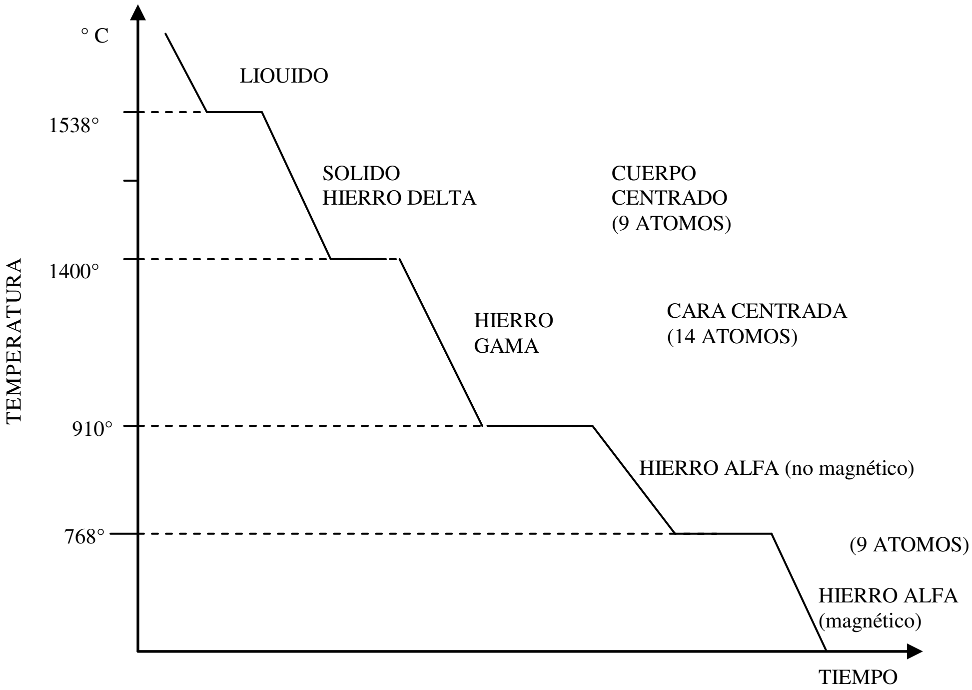


Fig. 1.7 CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL HIERRO

1.2 ACERO

El acero puede definirse como una aleación de hierro y carbono, este último en una proporción entre 0,1% y 1,7%. Se pueden añadir otros elementos aleatorios en cantidades reducidas con el propósito de controlar las impurezas y también darle algunas propiedades especiales al material.

La cantidad de carbono presente en la aleación afecta considerablemente las propiedades del acero.

Debe tenerse presente que el objetivo principal de añadir elementos aleatorios al acero es para alterar el comportamiento del carbono.

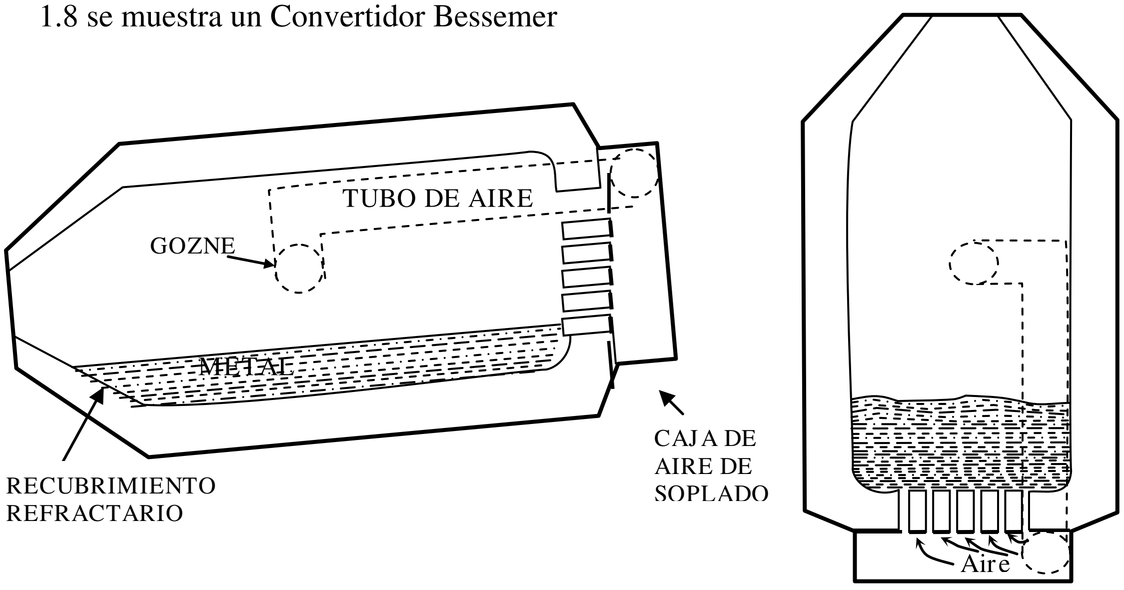
1.2.1 Proceso de producción del acero

El arrabio que se ha obtenido del alto horno y que luego pasa por el horno cúpola se lo procesa por diferentes métodos para obtener un material de mejor calidad que se denomina acero.

En nuestros días el acero se lo fabrica mediante los siguientes métodos:

- Convertidor
- Hogar abierto (open hearth) o Martin Siemens
- Horno eléctrico

Convertidor: El convertidor Bessener es el más común, trabaja con aire, tiene una capacidad de 25 a 60 toneladas y el proceso demora unos 25 minutos. Una modificación de este proceso es el Linz - Donavitz en el que se usa oxígeno en vez de aire, produce temperaturas más altas y permite la utilización de hasta 15% de chatarra en comparación al primero que puede utilizar solamente el 5%. En la figura 1.8 se muestra un Convertidor Bessemer



VOLTEADO DERECHO

Fig. 1.8 CONVERTIDOR BESSEMER

Proceso de hogar abierto, Martin Siemens (open hearth): Este proceso se utiliza para producir aceros de bajo y mediano contenido de carbono, mediante los procesos ácido o básico. En este proceso el horno se carga con arrabio (ping-iron) y chatarra de acero, se calienta hasta el punto de fusión a fin de que algunas impurezas pasen a ser escoria que flota en la superficie. Se añade luego mineral de hierro o aditivos, con el propósito de remover el carbón por oxidación. Concluido el proceso de refinación se remueve el acero líquido.

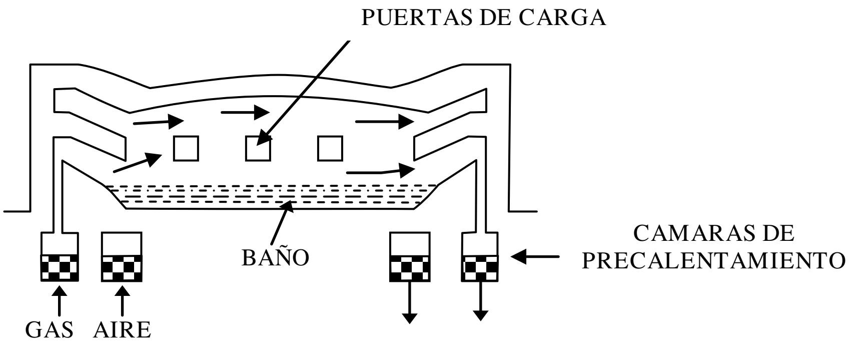
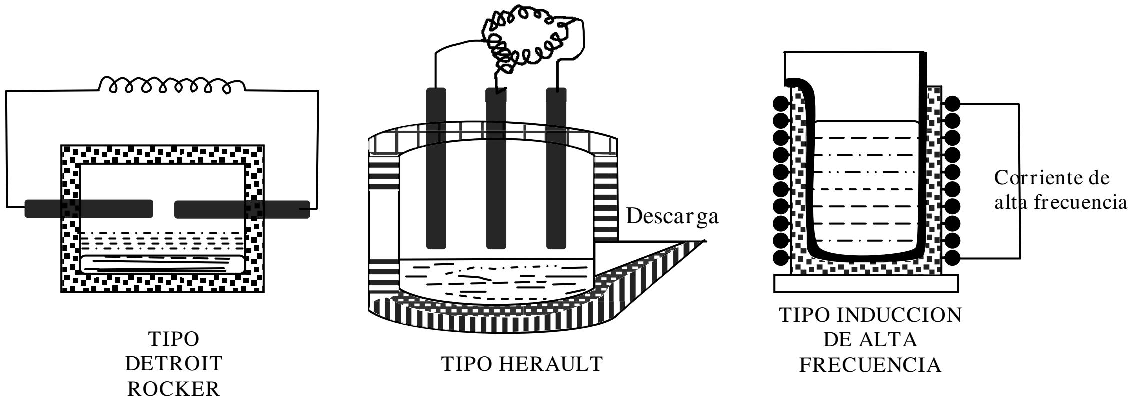


Fig. 1.9 HORNO DE HOGAR ABIERTO, CAPACIDAD 150 – 300 TON

Proceso eléctrico: Si se requiere un acero de alta calidad será necesario controlar la temperatura del proceso y reducir al mínimo el ingreso de impurezas al horno. Esto se consigue solamente usando hornos eléctricos; existen hornos de arco eléctrico y de inducción. Estos dos tipos de hornos se muestran en la figura 1.10.

En el horno de arco eléctrico del tipo Herault, los electrodos de carbón ajustan automáticamente su distancia al metal derretido que viene a ser el otro electrodo.

El horno de inducción de alta frecuencia es esencialmente una bobina de alambre que se enrolla al refractario, al ser energizada la bobina con corriente eléctrica se producirán corrientes circulatorias dentro del metal calentándola hasta derretirlo. Una vez derretido el material estas corrientes producen una acción agitadora.



TIPO DETROIT ROCKER

TIPO HERAULT

TIPO INDUCCION DE ALTA FRECUENCIA

Fig. 1.10 HORNOS ELECTRICOS

1.2.2 Aceros ácidos y básicos

Los términos ácido y básico se refieren a la naturaleza química de la escoria y al recubrimiento interior de los hornos.

- El proceso ácido se usa para refinar minerales de hierro con bajo contenido de fósforo y azufre y que en cambio son ricos en silicio, lo que produce una escoria ácida.

  El recubrimiento del horno se hace con ladrillos de silica a fin de que no reaccionen con la escoria.

- El proceso básico se usa para refinar minerales de hierro ricos en fósforo. Este elemento puede ser removido solamente si se usa una gran cantidad de cal en el proceso de refinamiento.

  Como esto produce una escoria básica, el recubrimiento interior del horno debe ser también básico para evitar la reacción con la escoria.

1.2.3 Impurezas presentes en el acero

El fósforo contenido en el acero baja su punto de fusión y hace que este sea más duro y frágil. Al fósforo se lo considera una impureza letal en el acero y su contenido está rígidamente controlado por las especificaciones.

El azufre produce el sulfuro de hierro que es muy frágil y tiene un bajo punto de fusión. No es adecuado para ser trabajado en frío. El contenido de azufre en el acero debe mantenerse muy bajo.

El silicio hace que se produzca grafitación resultando un acero débil.

El manganeso se combina con el azufre para formar sulfuro de manganeso, evitando la formación de sulfuro de hierro; sin embargo, debe controlarse la cantidad de manganeso para asegurar la uniformidad de las propiedades del material.

1.2.4 Diagramas de fase del hierro y carbono

Combinando datos de temperatura de solidificación y cambios de fase se obtiene el diagrama de fase hierro - carbono, el mismo que se muestra en la figura a continuación.

A 1538° tenemos el punto de fusión de hierro puro. Conforme aumenta el contenido de carbono disminuye el punto de fusión de la mezcla hasta una temperatura aproximada de 1130°C para un contenido de carbono de 4,3% en la mezcla. En este punto se encuentra lo que se conoce como "eutéctico", o composición eutéctica. A partir de este punto la temperatura de fusión de la mezcla se eleva nuevamente.

Cuando el contenido de carbono se eleva, se excede la solubilidad del C en el hierro y se forma un compuesto intermetálico estequiométrico llamado "cementita", Fe3C, este material es extremadamente duro y frágil y está presente en todos los aceros comerciales. Controlando adecuadamente la cantidad, tamaño y forma del Fe_3 C, se controla el grado de endurecimiento por dispersión y las propiedades del acero.

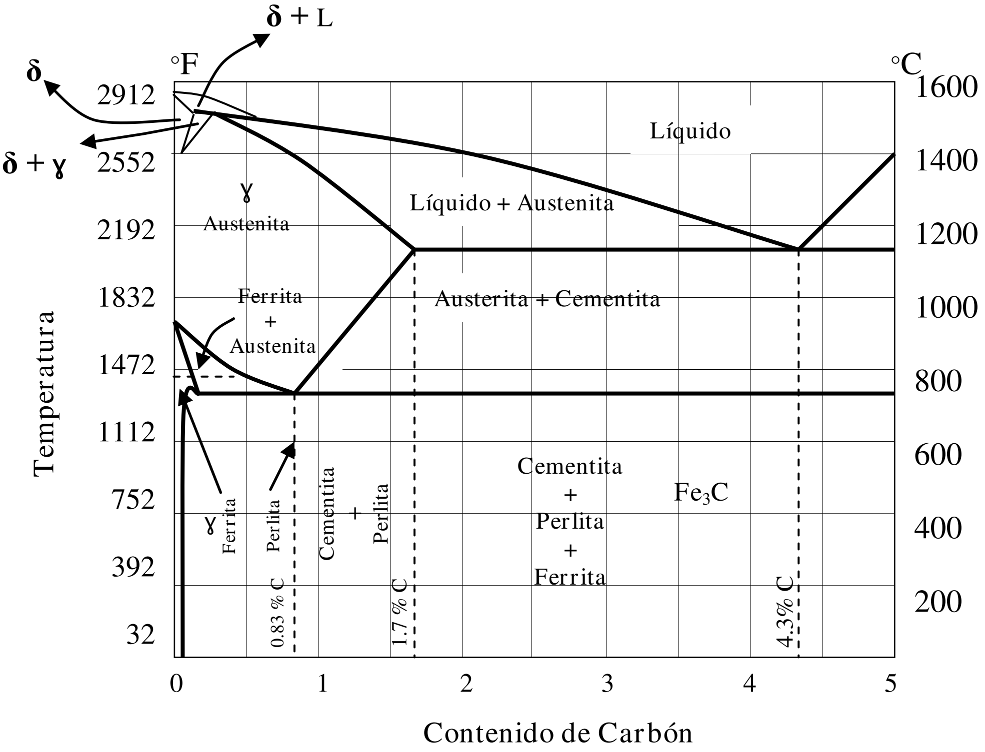


Fig. 1.11 DIAGRAMA DE FASES HIERRO - CARBONO

1.2.4.1 Reacción eutectoide

La reacción eutectoide es una reacción de estado sólido en la que una fase sólida se transforma en otras dos fases sólidas en las que se produce un endurecimiento por dispersión.

En la figura 1.11 se han combinado las transformaciones que ocurren durante el proceso de solidificación así como los rangos críticos y los cambios de fase de la aleación del hierro y el carbono en su fase sólida y líquida.

Los cambios que se producen cuando el material se encuentra en estado sólido se deben a las propiedades alotrópicas que tiene el hierro.

El hierro gama tiene una empaquetadura más densa que el hierro alfa y acepta un 1,7% de carbono en la solución sólida, produciendo lo que se conoce como austenita, este material no puede existir a temperaturas inferiores a los 700° C.

El hierro alfa (cubo de cuerpo centrado) acepta solamente hasta un 0,03% de carbón en solución sólida, produciendo lo que se llama hierro ferrítico.

Cuando la mezcla tiene 0,83% de carbono, todos los granos son "perlíticos" (cubo de cuerpo centrado) y se lo conoce como mezcla eutectoide.

Si la mezcla tiene menos del 0,83% de carbono, mientras más bajo es el contenido de carbón mayor será la cantidad de ferrita.

Si la mezcla tiene más de 0,83% de carbono, mientras más alto es el contenido de carbón mayor será la cantidad de cementina en la mezcla.

Si la estructura perlítica (que tiene un 0,83% de carbono) le calentamos por sobre los 700°C, los granos que tienen una estructura de cuerpo centrado cambian a una estructura de cara centrada que se denomina "austenita".

Cuando la solución caliente, con más de 0,83% de carbón, se la enfría por debajo de los 700°C, los átomos de hierro vuelven a formar un arreglo de cubo de cuerpo centrado (se contraen) empujando el carbón al contorno del grano. Los átomos del carbón liberado se unen con 3 átomos de hierro para formar el compuesto químico llamado carburo de hierro (Fe_3 C) o también "cementina".

1.2.5 Tratamientos térmicos para cambiar la estructura del grano

El tratamiento térmico en forma general puede clasificarse como:

1) Tratamiento que produce condiciones de grano equilibradas; y
2) Tratamiento que produce condiciones no equilibradas.

Cuando un metal está en estado de equilibrio es menos fuerte, pero posee mayor ductilidad que cuando se halla en condiciones no equilibradas.

Tratamiento que produce condiciones de grano equilibradas

Los principales tratamientos de este grupo son:

- Liberación de esfuerzos, temperado.
- Destemplado o recocido
- Normalizado

Liberación de esfuerzos

En este proceso el material es calentado por debajo de la temperatura de cristalización y luego enfriado libremente en el aire. Este proceso de estabilización se hace a menudo después del templado, con el propósito de aliviar los esfuerzos internos que se producen por el enfriamiento brusco del material.

Destemplado o recocido

Este tratamiento se produce al calentar el material por sobre la temperatura de recristalización, con el propósito de remover los esfuerzos que se han producido en la estructura interna del material. Luego se lo deja enfriar lentamente a través de la temperatura de transformación.

Para el acero existe el destemplado o recocido sub - crítico que consiste en calentar el material a 650°C la cual es suficientemente alta para producir recristalización y uniformidad de la estructura granular, luego la pieza es enfriada libremente al aire.

Normalizado

Es el calentamiento del metal por sobre la temperatura de transformación, seguido de un enfriamiento libre en el aire. Con esto se consigue una modificación del tamaño del grano, una mayor uniformidad de su estructura y un mejoramiento de sus propiedades mecánicas.

El enfriamiento libre produce una estructura más fina que la del recocido.

Tratamiento del acero que producen condiciones no equilibradas

Cuando calentamos el acero a una temperatura alta, el hierro pasa de un arreglo α al arreglo ϒ y el carbón presente en el acero se dispersará en la estructura para formar la solución sólida llamada "austenita".

Al enfriar el material, este vuelve a la formación α, en este estado para que haya solución sólida, el carbón debe estar presente solamente en pequeñas cantidades, a esta formación se la llama "ferrita". La precipitación del exceso de carbono cuando se produce el cambio a α se lleva a cabo solamente cuando el enfriamiento es muy lento, durante la etapa de transformación. Si el acero se lo enfría bruscamente desde su condición austenítica, su excedente de carbón no podrá precipitar y quedará entrampado dentro de los cristales y formará una solución sólida supersaturada de carbón en hierro ϒa la cual se la llama "martensita". Esta es una estructura fina y acicular. Debido a su enorme supersaturación ocasiona una distorsión de los cristales que lo hace muy duro y resistente, pero muy frágil.

Templado

En el templado directo, el acero es calentado para que se transforme a su estructura austenítica y luego enfriado bruscamente. Las propiedades resultantes dependerán: a) del contenido de carbono en la aleación, b) la temperatura a la que es calentado, c) el tiempo de calentamiento y d) la razón de enfriamiento.

La influencia del contenido de carbón en el endurecimiento o templado del acero está mostrado en la figura 1.12

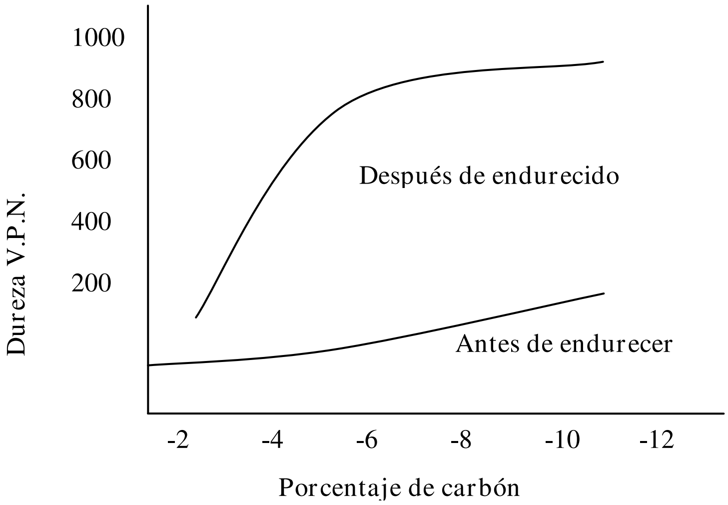


Fig. 1.12 RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE CARBON Y LA DUREZA DEL ACERO

En cuanto a la duración del calentamiento, depende del espesor de la pieza, pero este no debe ser prolongado porque se formaría una estructura tosca o áspera.

La razón de enfriamiento para el templado depende del medio que se use para enfriar el material.

Para un enfriamiento brusco se usa solución de sal o soda cáustica en agua y para un enfriamiento no tan brusco se usa chorro de aire. Las sustancias que se usan más comúnmente son agua y aceite.

Temperado

Consiste en calentar la pieza templada hasta una temperatura subcrítica, con el propósito de mejorar su tenacidad y ductilidad a expensas de su resistencia y dureza.

A continuación se indica el color que corresponde a cada temperatura aproximada de temperado:
Pajizo pálido ______ 230°C Pajizo oscuro _____ 240°C
Castaño __________ 250°C Castaño púrpura ___ 260°C
Púrpura _________ 270°C Púrpura oscuro ____ 280°C
Azul _____________ 300°C

En la figura 1.13 se puede apreciar las formas de grano que adquieren los aceros después de ser sometidos a diferentes tratamientos térmicos.

Globular
(Acero esferoidal)

Laminar
(Acero perlítico)

Acicular
(Acero martensítico)

Acero con contenido de carbono menor al 83%, su estructura es compuesta entre ferrita y perlita

Acero con un contenido mayor al 0.83% de carbono, su estructura está compuesta de perlita rodeada de carburo de hierro

Fig. 1.13 FORMAS DE GRANO QUE ADQUIEREN LOS ACEROS

1.2.6 Nomenclatura e identificación de los aceros

Hay varios sistemas de identificación o especificaciones de los aceros. Los países industrializados y productores de acero tienen cada uno su propia nomenclatura, así tenemos el BSI-Británico, CSA-Canadiense, DIN-Alemán, NF-Francés, JIS-Japonés, el ISO que es internacional, etc.

En los Estados Unidos de Norteamérica tenemos varias normas o especificaciones:

ASTM - American Society for Testing of Materials
S.A.E. - Society of Automotive Engineers
AISI - American Iron and Steel Institute
MILL - Militar
ABS - American Bureau of Shipping

Para la mayor parte de los aceros la nomenclatura del SAE coincide con las del ASI. En el sistema utilizado por el SAE, el primer dígito indica el tipo general de acero, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento constituyente que predomina en la aleación; mientras que los dos últimos dígitos indican el contenido promedio de carbón expresado en centenas de 1%. Así, un acero SAE 1040 es un acero al carbono que tiene 0,40% de carbón. Un SAE 2510 es un acero que tiene 5% de níquel y 0,10% de carbón. Un SAE 71660 es un acero con 16% de tungsteno y 0,60% de carbón.

En las tablas a continuación se indican los sistemas de identificación utilizados por ASTM y el INEN para la identificación de los aceros.

Normas ASTM	Usos
ASTM A53	Tubos para conducciones a media y baja presión a temperaturas normales
ASTM A139	Tubos para conducción de líquidos, gas o vapor (SAW), con costura longitudinal o helicoidal
ASTM A 135	Tubos para conducción de liquido, gas o vapor (ERW)
ASTM A 134	Tubos para conducción de liquido, gas o vapor (SAW) con costura longitudinal o helicoidal, mayores de 16 pulgadas de diámetro
ASTM A 211	Tubos para conducción de líquidos, gas o vapor, con costura helicoidal
ASTM A 252	Tubos para pilotes
ASTM A 589	Tubos para pozos de agua
ASTM A 671	Tubos para altas presiones de trabajo a temperatura atmosférica y menores
ASTM A 672	Tubos para altas presiones de trabajo a temperatura moderada
ASTM A 53 ASTM A 120	Tubos de acero para conducciones generales
ASTM A 106	Tubos para conducciones a altas temperaturas y hornos
ASTM A 335	Tubos aleados para altas temperaturas
ASTM A 333 ASTM A 334	Tubos para bajas temperaturas
ASTM A 139	Tubos de acero soldados eléctricamente por arco para conducciones generales
ASTM A 671 ASTM A 672 ASTM A 69	Tubos de acero soldados por fusión eléctrica para usos de alta responsabilidad en diámetros desde 16”
ASTM A 178	Tubos para intercambiadores de calor
ASTM A 161	Tubos para calderas y otros usos a altas presiones y/o temperaturas

CODIGO	USO	DETALLE
INEN 105 – 1973 OBLIGATORIA	Palanquillas de acero al carbono para productos laminados de uso estructural	Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos para las palanquillas de acero al carbono destinadas a ser laminadas y formar productos de uso estructural
INEN 106 – 1973 OBLIGATORIA	Acero al carbono, extracción y preparación de muestras	Esta norma tiene por objeto establecer las operaciones por medio de las cuales serán extraídas muestras para ensayos mecánicos y análisis químico de los productos de acero al carbono
INEN 107 – 1973 OBLIGATORIA	Aceros al carbono determinación del contenido de fósforo, método alcalímetro	Esta norma tiene por objeto establecer el método alcalímetro para determinar el contenido de fósforo en aceros al carbono
INEN 108 – 1973 OBLIGATORIA	Aceros y hierros fundidos. Determinación del azufre	Esta norma tiene por objeto establecer el método de combustión en corriente de oxígeno y titulación con borato de sodio para determinar el contenido de azufre en aceros y hierros fundidos
INEN 109 – 1973 OBLIGATORIA	Ensayo de tracción para el acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de tracción de todos los productos de acero, excepto de productos planos de espesor inferior a 3mm tubos, alambres y barras de diámetro inferior a 4mm
INEN 110 – 1973 OBLIGATORIA	Ensayo para el doblado para el acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método de doblado, para determinar la ductibilidad de los productos de acero
INEN 113 – 1974 OBLIGATORIA	Planchas de acero al carbono laminadas en caliente para cilindros de gas a baja presión	Esta norma tiene por objeto establecer las características y los ensayos a que deben someterse las planchas de acero al carbono laminadas en caliente y aptas para ser prensadas o embutidas y soldadas, destinadas a la fabricación de envase de gas a baja presión
INEN 114 – 1975 OBLIGATORIA	Planchas delgadas de acero al carbono	Esta norma tiene por objeto establecer las características de calidad y los ensayos a que deben someterse las planchas delgadas de acero al carbono, laminadas en caliente o en frío.
INEN 115 – 1975 OBLIGATORIA	Tolerancia para planchas de acero al carbono laminadas en caliente o en frío	Esta norma tiene por objeto establecer las tolerancias que deben cumplir las planchas delgadas laminadas en caliente o en frío y las planchas gruesa de acero al carbono
INEN 117 – 1974 OBLIGATORIA	Roscas ASA para tuberías y accesorios especificaciones	Esta norma tiene por objeto establecer las dimensiones t tolerancias de las roscas ASA utilizadas en las tuberías o sus accesorios
INEN 118 – 1974 OBLIGATORIA	Aceros determinación de magnesio	Esta norma tiene por objeto establecer el método espectrofotometrico para la determinación del contenido de manganeso en aceros

INEN 119 – 1974 OBLIGATORIA	Aceros y hierros fundidos. Determinación del contenido de silicio. método gravimétrico	Esta norma tiene por objeto establecer el método gravimétrico para la determinación del contenido total de silicio en aceros o en hierros fundidos
INEN 120 – 1974 OBLIGATORIA	Aceros. Determinación del contenido total de carbono. método gravimétrico	Esta norma tiene por objeto establecer el método gravimétrico para la determinación de carbono en aceros después de la combustión de la muestra en corriente de oxígeno
INEN 121 – 1974 OBLIGATORIA	Ensayo de tracción para planchas. Acero con espesor entre 0.5 y 0.3 mm	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de tracción de planchas de acero con espesor mayor o igual a 0.5 mm y menor o igual a 0.3mm
INEN 122 – 1974 OBLIGATORIA	Ensayo de doblado para planchas de acero con espesor menor o igual a 0.3mm	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de doblado simple para planchas y cintas de acero cuyo espesor es menor o igual a 0.3mm
INEN 123 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de dureza BRINELL para el acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la dureza Brinell para el acero
INEN 124 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de dureza VICKERS para acero (carga de 5 a 100 Kg)	Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la dureza Vickers en los productos de acero
INEN 125 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de dureza ROCKWELL para acero (escala B y C)	Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar Rockwell en los productos de acero
INEN 126 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de embutido para productos planos y delgados de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de embutido Erichsen modificado, para productos planos y delgados de acero
INEN 127 – 1975 OBLIGATORIA	Ensayo de tracción para alambres de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de tracción de alambre de acero
INEN 129 – 1973 OBLIGATORIA	Inspecciones radiográfica de soldaduras a tope en aceros	Esta norma tiene por objeto establecer las técnicas de inspección radiográfica de soldadura a tope en aceros
INEN 130 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de impacto CHARPY para el acero (entalle en U)	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de impacto Charpa sobre probeta entallada en U, para todos los productos de acero
INEN 131 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de pestañado para tubos de acero de sección circular	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de pestañado para los tubos de acero sección circular
INEN 132 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de aplanado para tubos de acero de sección circular	Esta norma tiene por objeto establecer el método de aplanado para tubos de acero de sección circular
INEN 133 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de aborcadado para tubos de acero de sección circular	Esta norma tiene por objeto establecer el método de aborcado en todos los productos tubulares
INEN 134 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de doblado para tubos de aceros de sección circular	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el doblado en los productos tubulares de sección circular
INEN 135 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de compresión longitudinal para tubos de acero de sección circular	Esta norma tiene por objeto establecer el método para el ensayo de compresión longitudinal en tubos de acero de sección circular

INEN 136 – 1976 OBLIGATORIA	Acero para construcciones estructurales	Esta norma tiene por objeto establecer las técnicas y requisitos que deben cumplir los productos laminados de acero al carbono destinados a emplearse en construcción estructural
INEN 140 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de torsión simple para el alambre de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de redoblado para alambre de acero
INEN 141 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de redoblado para alambre de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de redoblado para alambre de acero
INEN 142 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de enrollado para alambre de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de enrollado para alambre de acero
INEN 143 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de tracción para tubos de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de tracción para tubos de acero
INEN 144 – 1976 OBLIGATORIA	Ensayo de expansión circunferencial de tubos de acero	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de expansión circunferencial de tubos de acero

1.2.7 Aceros al carbono

Además del método de producción, los aceros se clasifican como aceros al carbono y aceros de aleación. También se clasifican de acuerdo a su uso.

Aceros al carbono son aquellos donde el carbón es el único elemento de aleación y cuyas propiedades físicas dependen exclusivamente de la cantidad de carbón presente, su forma de combinación con el hierro y el tratamiento térmico.

Las resistencias a la tensión de aceros al carbono, recocido o revenido, varían desde 40.000 psi para aceros corrientes (very mild steels) hasta 120.000 psi para aceros perlíticos (0,83%C). Mediante tratamiento térmico los aceros con elevado contenido de carbono pueden alcanzar resistencias de hasta 200.000 psi.

Los aceros al carbono son más baratos que los aceros de aleación, aunque tienen algunas desventajas: a) La ductilidad y tenacidad disminuyen conforme la resistencia y la dureza aumentan, b) las excelentes propiedades desarrolladas por tratamiento térmico pueden obtenerse solamente en piezas delgadas y c) la resistencia y dureza disminuyen rápidamente al aumentar la temperatura.

Los aceros comerciales al carbono más comunes se indican a continuación:

- very mild steel 0,05 a 0,15% C, se usa en planchas, pernos, clavos.

- Mild steel 0,15 a 0,25% C, se usa en aceros estructurales, ejes rolados en frío.

- Bajo contenido de carbón 0,25 a 0,40% C, se usa en ejes, pistones, etc.

- Mediano contenido de carbón 0,40 a 0,60% C, se usa en rieles, fundiciones.

- Alto contenido de carbón 0,60 a 0,70% C, se usa en martillos, cuchillería, dados.

- Aceros para resortes 0,70 a 0,80% C.

- Aceros perlíticos 0,83% C, acero estructural de máxima resistencia, hojas de resortes, brocas, etc.

- Aceros de muy alto contenido de carbón 1,10 a 1,70% C, se usa en sierras, hojas de rasurar, bolas y rodillos para rulimanes.

En la figura a continuación se muestra el efecto del contenido de carbón en las propiedades mecánicas del acero.

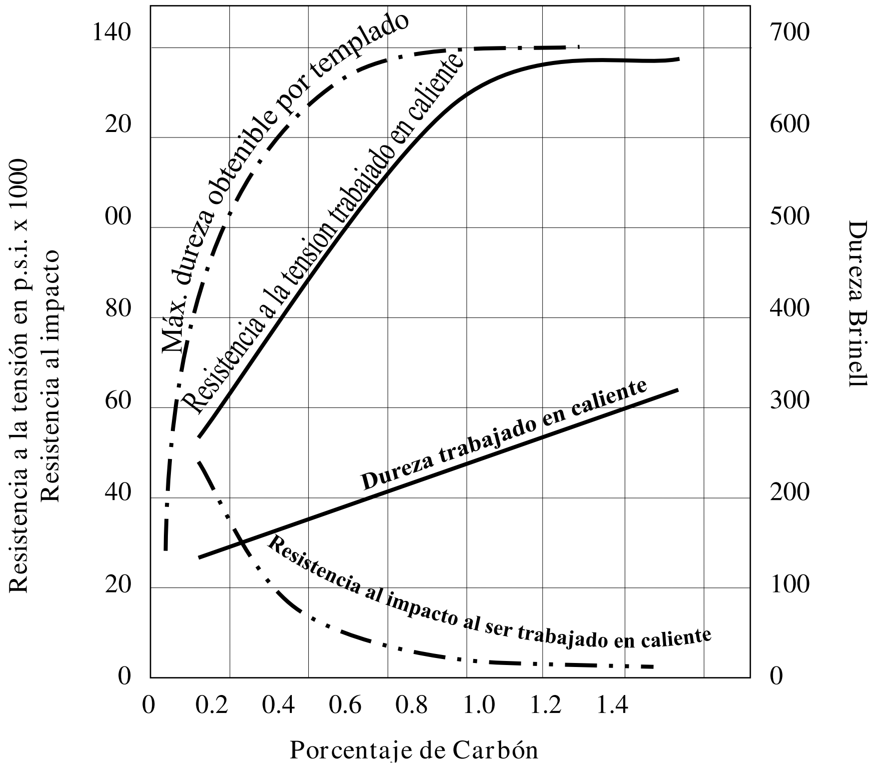


Fig. 1.14 EFECTO DEL CONTENIDO DE CARBON EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO

1.2.8 Aceros de aleación

Un acero de aleación puede definirse como un acero al que se han añadido uno o más elementos aleatorios con el propósito de modificar sus propiedades.

Los aceros de aleación a menudo son más difíciles de trabajar que los aceros al carbono, ellos requieren tratamientos térmicos más largos y complicados para desarrollar sus propiedades.

Un acero de aleación que no haya sido sometido a un tratamiento térmico adecuado puede ser de inferior calidad que un acero al carbono que ha sido sometido a un tratamiento térmico correcto.

La resistencia del acero puede mejorarse añadiéndose níquel y manganeso en pequeñas cantidades, estos penetran en la ferrita y lo refuerzan.

La tenacidad puede mejorarse añadiéndole pequeñas cantidades de níquel, el cual hace que el grano se haga más fino.

La resistencia al desgaste puede mejorarse añadiendo un estabilizador del carburo como es el cromo. Otro método de producir resistencia al desgaste es añadiendo níquel o manganeso, a fin de bajar la temperatura de transformación, ocasionando la retención de austenita luego del templado.

La resistencia a la corrosión puede obtenerse añadiendo más de 12% de cromo, lo que ocasiona la formación de una película de óxido sobre la superficie del acero que lo aísla del medio que lo corroe.

Es difícil establecer el efecto preciso de cualquier elemento aleatorio debido a que el efecto depende de: a) la cantidad que se usa, b) la cantidad de los otros elementos aleatorios usados en conjunto y c) el contenido de carbono en el acero.

Tipos de acero de aleación que se producen en el mercado

Aceros resistentes al calor
y
Aceros resistentes a la corrosión
- Austeníticos
- Martensíticos
- Ferríticos

Aceros resistentes al desgaste
- Alto contenido de manganeso
- Cr, Si

Aceros de alta resistencia
- Níquel – Cromo – Molibdeno
- Cromo – Vanadio
- Níquel – Cromo
- Níquel
- Bajo contenido de Manganeso

Endurecido al aire (Cromo)
Aceros para tratamiento térmico Nitrurizado
Carburizado

Aceros para bajas temperaturas

Aceros resistentes al calor

La mayoría de los problemas asociados con altas temperaturas son:

a) Pérdida de la resistencia
b) Proclives al deslizamiento plástico
c) Fácil oxidación y ataque químico

Pueden mejorarse las propiedades del acero para que resista altas temperaturas, elevándose su temperatura de transformación (añadiéndole Cr).

Pequeñas cantidades Ti, Al y Mo, mejorarán su resistencia al deslizamiento plástico.

Los aceros resistentes al calor se clasifican en:

Ferríticos: bajo contenido de carbón (no se templan).

Martensíticos: mayor contenido de carbono (pueden templarse).

Austeníticos: tienen alto contenido de Cr y Ni (no pueden ser endurecidos con tratamiento térmico, debido a que retienen su estructura austenítica luego del templado).

Estos aceros son utilizados principalmente en partes de maquinaria (calderos, motores, turbinas y otros).

1.2.9 Aceros inoxidables

Los aceros resistentes a la corrosión tienen una estructura similar a la de los aceros resistentes al calor y se los denomina aceros inoxidables, se dividen en:

a) Aceros inoxidables ferríticos: tienen un bajo contenido de carbono (0,08 a 0,20%) y Cr del 12% al 27%. Estos aceros no son endurecibles por tratamiento térmico. Su uso principal es en adornos decorativos.

b) Aceros Martensíticos: su contenido de carbono varía de 0,15 a 1,20% y el Cr de 12 a 18%. Estos si son endurecibles por tratamiento térmico, por lo que se los utiliza en cuchillería, asientos de válvulas, cojinetes y toberas.

c) Aceros inoxidables austeníticos: contienen 0,25% o menos de carbono, de 16 a 25% de Cr y de 6 a 22% de NI. El miembro más prominente de esta familia es el "18-8" (18% Cr y 8% Ni). En estos aceros no se puede mejorar su resistencia mediante tratamiento térmico.

La mayor aplicación en construcción naval es donde se requiere una adecuada resistencia a la acción de los productos químicos que son transportados como carga líquida.

Su aplicación puede darse en dos formas:

i. Como recubrimiento de planchaje, en espesores de 1,3 a 2,5 mm.
ii. En forma de plancha sólida, donde no se puede usar recubrimiento.

En caso que los tanques de carga sean usados también como tanques de lastre, deberá ponerse atención al efecto corrosivo del agua salda.

Identificación de algunos aceros inoxidables

El sistema de identificación preferido por los constructores de botes en los Estados Unidos es del American Iron and Steel Institute (AISI).

La parte que cubre la mayoría de los aceros inoxidables austeníticos es conocida como la serie 300. Las series 200, 400 y 600 cubren el resto de aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables de la serie 300 son no magnéticos, puede mejorarse su resistencia al ser trabajados en frío y tienen una excelente resistencia a la corrosión.

Los aceros inoxidables más utilizados de la serie 300 son los de tipo 302, 303 y 304 que se usan para pernos, tuercas, cables y aparejos.

El mayor contenido de carbono del 302 lo hace mejor resistente a la fatiga. El menor contenido de carbono del 304 lo hace mejor material para soldadura.

La tabla a continuación muestra las diferentes propiedades que identifican a los aceros de distintos grados.

Tipo AISI	Fuerza de Producción	Fuerza de tensión	Observaciones	Usos
301 1.7% Cr 7% Ni	40.000 a 140.000	110.000 a 185.000	Aplicaciones en alta y baja fuerza	Correas, alambre
302 18% Cr 8% Ni	37.000 a 150.000	90.000 a 180.000	Propósitos generales	Tuercas, pernos, correas de aparejo, aparejos de pesca
303 18% Cr 8% Ni	35.000 a 145.000	90.000 a 180.000	Bueno donde la mecánica lo requiera	Tornillos, pernos, tuercas,
304 18.5% Cr 8.5% Ni	35.000 a 150.000	85.000 a 180.000	Propósitos generales, buena soldadura, buena resistencia a la corrosión	Pasamanos, correas de aparejos, aplicaciones estructurales donde se requiere soldadura
305 18% Cr 11.5% Ni	37.000 a 95.000	85.000 a 150.000	Buena resistencia a la corrosión	Correas, tuercas
316 17% Cr 12% Ni 2.5% Mo	35.000 a 125.000	85.000 a 150.000	Excelente resistencia a la corrosión, especialmente bajo el mar	Ejes de propulsión, pernos, tuercas, correas
317 19% Cr 14% Ni 3.5% Mo	40.000 a 95.000	90.000 a 120.000	Excelente resistencia a la corrosión	Ejes de propulsión.
321 18.5% Cr 10% Ni 4% Mo	35.000 a 125.000	87.000 a 150.000		
347 18.5% Cr 10% Ni	35.000 a 125.000	92.000 a 150.000	Excelente resistencia a la corrosión	
201	55.000 a 140.000	115.000 a 185.000	No magnético	
202	55.000 a 75.000	105.000 a 125.000	No magnético	
17.4 PH	110.000 a 185.000	150.000 a 200.000		
17.7 PH	40.000 a 250.000	130.000 a 265.000	Magnético en condiciones altas	
17.10 PH	38.000 a 98.000	89.000 a 144.000	No magnético	
AM-355	55.000 a 210.000	160.000 a 230.000		

Otros aceros inoxidables importantes para uso marino

Los del tipo 201 Y 202, que tienen manganeso en lugar de parte del níquel y nitrógeno como estabilizador, son aceros inoxidables austeníticos que pueden reemplazar a los del tipo 301 y 302. Estos aceros se desarrollaron para ahorrar níquel.

Los aceros inoxidables endurecidos por precipitación están recibiendo alguna aceptación por parte de los constructores de yates, el más popular de estos es el 17-4 PH (tipo 630) que es usado en poleas, tecles, winches y tiras de sujeción. A estos se los puede considerar como aceros inoxidables de alta resistencia. Otros tipos son el 17-7 PH (tipo 631), AM-355 (tipo 634) y 17-10 P.

1.2.10 Aceros resistentes al desgaste y de alta resistencia

La composición básica de estos aceros es de 1,25 C, 12,5% Mn, 0,75% Si a estos se les puede añadir Cr y Va para mejorar su resistencia. Adquieren la estructura austenítica y se los templa con agua. No son adecuados para el maquinado por lo cual se lo obtiene en piezas fundidas, forjadas y secciones roladas, su aplicación principal es en cabezales de succión y cucharas de dragas, trituradoras de rocas, rieles, etc.

Existen varios tipos de aceros de alta resistencia, entre los cuales los más importantes son los siguientes:

- Aceros con un bajo contenido de manganeso (0,35% C - 1,5% Mn) adquieren una buena resistencia, pueden ser templados en aceite y tienen la particularidad de ser baratos.
- Los aceros con níquel (0,3% C - 3% Ni - 6,6% Mn) tienen una buena resistencia y dureza y pueden ser templados en aceite.
- Los aceros con cromo y níquel (0,3% C, 3% Ni - 0,8Cr - 0,6% Mn) combinan la dureza asociada con el cromo y la tenacidad asociada con el níquel, se lo puede templar en aceite.
- Los aceros con cromo y vanadio (0,5%) soportan mejor el impacto y los hace más fáciles para el forjado y estampado.

1.2.11 Aceros especiales para tratamiento térmico

Aceros para carburizado

Existen dos tipos de acero que son los más usados para el proceso de carburizado o endurecimiento superficial de una pieza (casehardening).

En primer término tenemos los aceros con níquel (0,12% C, 3% Ni y 0,45% Mn). Estos son aceros con bajo contenido de carbono, a fin de que el núcleo de la pieza no responda al proceso de endurecimiento. El níquel previene el crecimiento del grano durante el carburizado y se lo templa o endurece con agua.

En segundo término tenemos los aceros de aleación con níquel y cromo (0,15% C, 4% Ni, 0,8% Cr y 0,4% Mn). La adición de cromo le da una mayor dureza al material.

Aceros para nitrurizado

Los aceros que se utilizan en este proceso tienen un 3% de cromo y desarrollan durezas de aproximadamente 850 VPN (Vickers Pyramid Number). Aceros con

1,5% de cromo y 1,5% de aluminio alcanzan durezas superficiales de hasta 1.100 VPN. El contenido de carbono en estos aceros depende de las propiedades que se le quiera dar al núcleo de la pieza y varía entre 0,18% y 0,5%.

Aceros para endurecido con aire
Cuando un acero tiene suficiente cantidad de cromo, la razón de enfriamiento crítico se reduce en tal forma que el templado puede hacerse con chorro de aire. Un acero típico para ser templado con aire contiene 2% de cromo y 0,6% de carbono.

Aceros para bajas temperaturas
Estos aceros deben ser capaces de soportar bajas temperaturas y luego retener sus propiedades al volver a la temperatura ambiente.

Los aceros del tipo 18-8 que los describimos anteriormente, muestran adecuadas condiciones de resistencia con poca reducción de ductilidad y tenacidad cuando han sido probados a -183°C, produciéndose cambios poco apreciables de sus propiedades al retornar a las temperaturas ambientales.
Cuando el material va a soportar enfriamientos considerables deberá ponerse especial atención a las características de tenacidad del material.

A continuación se indican las temperaturas de servicio de algunos aceros del tipo ABS a ser utilizados en espacios refrigerados.

TEMPERATURAS DE SERVICIO DEL ACERO, °C	GRADO DEL ACERO SEGÚN EL ABS
5	B
-1	B
-7	D, DS, DH
-12	D, DS, DH
-18	DN, DHN
-23	DN, DHN
-29	CS, E, EH
-34	V-039
-46	V-051
-55	V-060

Con la vigencia de las convenciones internacionales como la de IMCO, se han adoptado normas que se han generalizado a todas las sociedades clasificadoras. En las tres tablas que se dan a continuación se indican los requerimientos del material a ser utilizado en la construcción de buques que transportan gas licuado a bajas temperaturas.

1.2.12 Aceros utilizados para construcción de buques

Puesto que la construcción de embarcaciones de alto calado está controlada por las Sociedades Clasificadoras, estas han establecido su propia codificación e identificación de los aceros que se utilizan en la construcción de los cascos de embarcaciones y de otros equipos y maquinaria instalados a bordo.

La Sociedad Clasificadora Norteamericana AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, A.B.S. ha clasificado a los aceros estructurales para buques en grados. Así tenemos que los aceros para cascos de buques de resistencia ordinaria están en los grados A, B, D, DS, CS y E.

Los aceros de más alta resistencia, con resistencias de 51.000 psi (350 Mpa) están en los grados AH, DH y EH.

Los aceros de alta resistencia y de baja aleación, con resistencias entre 60.000 psi (415 Mpa) y 100.000 psi (690 Mpa) se usan ocasionalmente en la industria naval.

Las especificaciones del A.B.S. para aceros estructurales, son orientadas a tener aceros de una adecuada tenacidad sin llegar a ser excesivamente caros y que puedan ser soldados sin dificultad.

Ciertos grados de acero ASTM se han usado como sustitutos de aceros A.B.S. a continuación se indican algunas equivalencias:

ASTM A 36	Puede sustituir el grado A, en planchas con espesores menores a 1/2" y a todos los perfiles. El grado B puede usarse hasta espesores de 1".
ASTM A 131	Equivalente a los grados ABS (A = A,B = B,DH = DH).
ASTM A 242	Del tipo 2: Similar al AH32, sustituible hasta 1,5 pulgadas.
ASTM A 441	Similar al AH32, sustituible hasta 1,5 pulgadas
ASTM A 572 Gr45	Similar al AH32
ASTM A 572 Gr50	Similar al AH36

En las tablas que se muestran a continuación se indican los requerimientos o especificaciones para:

* Aceros de resistencia ordinaria del ABS para construcción de buques.

* Aceros de alta resistencia del ABS para construcción naval.

Table 2—ABS Ordinary Strength Hull Structural Steels (Based on 1978 Rules)

Grades	*A*	*B*	*D*	*E*	*CS*	*DS*
Approximate Relative Cost ABS Gr.A = 1.0	1.0	1.03	1.3	1.4	1.3	1.1
Process of Manufacture	For all grades: open hearth, basic oxygen, or electric furnace					
Deoxidation	Any method except rimmed		Semi-killed or killed (2)	Killed, fine grain practice	Killed, fine grain practice	Killed, fine grain practice
Chemical Composition, Percent (Ladle Analysis)	(1)					
Carbon	0.23 max.	0.21 max.	0.21 max.	0.18 max.	0.16 max.	0.16 max.
Manganese	— (6)	0.80–1.10	0.70–1.35	0.70–1.35	1.00–1.35	1.00–1.35
Phosphorus	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.
Sulfur	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.
Silicon	—	0.35 max.	0.10–0.35	0.10–0.35	0.10–0.35	0.10–0.35
Heat Treatment		—	Normalized over 35.0 mm (1.375 in.) (4)	Normalized	Normalized	Normalized over 35.0 mm (1.375 in.)
Tensile Test						
Tensile Strength	For all Grades: 400–490 MPa (58,000–71,000 psi) (5)					
Yield Point, Min.	For all Grades: 235 MPa (34,000 psi) (5)					
Elongation, Min.	For all Grades: 21 percent in 200 mm (8 in.); 24 percent in 50 mm (2 in.); 22 percent in 5.65 $\sqrt{A}$ (A equals area of test specimen)					
Impact Test Standard Charpy V-Notch						
Temperature		0°C (32°F)	−10°C (14°F) (3)	−40C (−40F)	—	—
Energy, Min. Avg.		27J (20 ft-lb)	27J (20 ft-lb)	27J (20 ft-lb)	—	—
No. of Specimens		(7)	3 from each 50 tons	3 from each plate	—	—

Notes

1. A maximum carbon content of 0.26 percent is acceptable for Grade A plates equal to or less than 12.5 mm (0.5 in.) and all thicknesses of Grade A shapes.
2. Grade D may be furnished semi-killed in thickness up to 35 mm (1.375 in.) provided steel above 25.0 mm (1.00 in.) in thickness is normalized. In this case the requirements relative to minimum Sl and Al contents and fine grain practice do not apply.
3. Impact tests are not required for normalized Grade D steel when furnished fully killed fine grain practice.
4. Control rolling of Grade D steel may be specially considered as a substitute for normalizing in which case impact tests are required for each 25 tons of material in the heat.
5. Upper limit of tensile strength is 552 MPa (80,000 psi) for Grade A shapes; for cold flanging quality the tensile strength range is 379–448 MPa (55,000–65,000 psi) and yield point minimum is 207 MPa (30,000 psi).
6. For Grade A plates over 12.5 mm (0.50 in.) the Mn should be 2.5 × C % (min).
7. Impact tests for Grade B only required in thicknesses over 25.4 mm 8).0 in.); 3 from each 50 tons.

Table 3—ABS Higher Strength Hull Structural Steels (1978 Rules)

Grades	AH32 or AH36	DH32 or DH36	EH32 or EH36
Approximate Relative Cost ABS Gr.A = 1.0	1.2	1.4	1.5
Process of Manufacture	For all grades: open heart, basic oxygen, or electric furnace		
Deoxidation	Semi-killed or killed	Killed, fine grain practice	Killed, fine grain practice
Chemical Composition, Percent (Ladle Analysis)	For all grades:		
Carbon	0.18 max.		
Manganese	0.90–1.60		
Phosphorus	0.04 max.		
Sulfur	0.04 max.		
Silicon	0.10–0.50	AH to 12.5 mm (0.50 in.) may be semi-killed in which case 0.10 percent min. Si does not apply	
Nickel	0.40 max.		
Chromium	0.25 max.		
Molybdenum	0.08 max.		
Copper	0.35 max.		
Aluminum (Acid Soluble)	0.06 max.		
Columbium (Niobium)	0.05 max.		
Vanadium	0.10 max.		
Heat Treatment	Normalizing req'd. over 12.5 mm (0.50 in.) if Ns treated	Normalizing req'd. over 25.5 mm (1.0 in.) if all treated over 12.5 mm (0.50 in) if Ns treated over 19.0 mm (0.75 in.) if V treated	Normalized
Tensile Test			
Tensile Strength	For 32 Grade: 471–588 MPa (68,000–85,000 psi) For 36 Grade: 490–618 MPa (71,000–90,000 psi)		
Yield Point, Min.	For 32 Grade: 314 MPa (45,500 psi) For 36 Grade: 353 MPa (51,000 psi)		
Elongation, Min.	For all Grades: 19 percent in 200 mm (8 in.); 22 percent in 50 mm (2 in.) 20 percent in 5.65 $\sqrt{A}$ (A equals area of test specimen)		
Impact Test Standard Charpy V-Notch			
Temperature	—	−20°C (−4°F)	−40°C (−40°F)
Energy, Min. Avg.	—	34J (25 ft-lb)	34J (25 ft-lb)
No. of Specimens	—	3 from each 40 tons	3 from each plate

La figura a continuación muestra la variación de la tenacidad de varios tipos de aceros navales, a diferentes temperaturas.

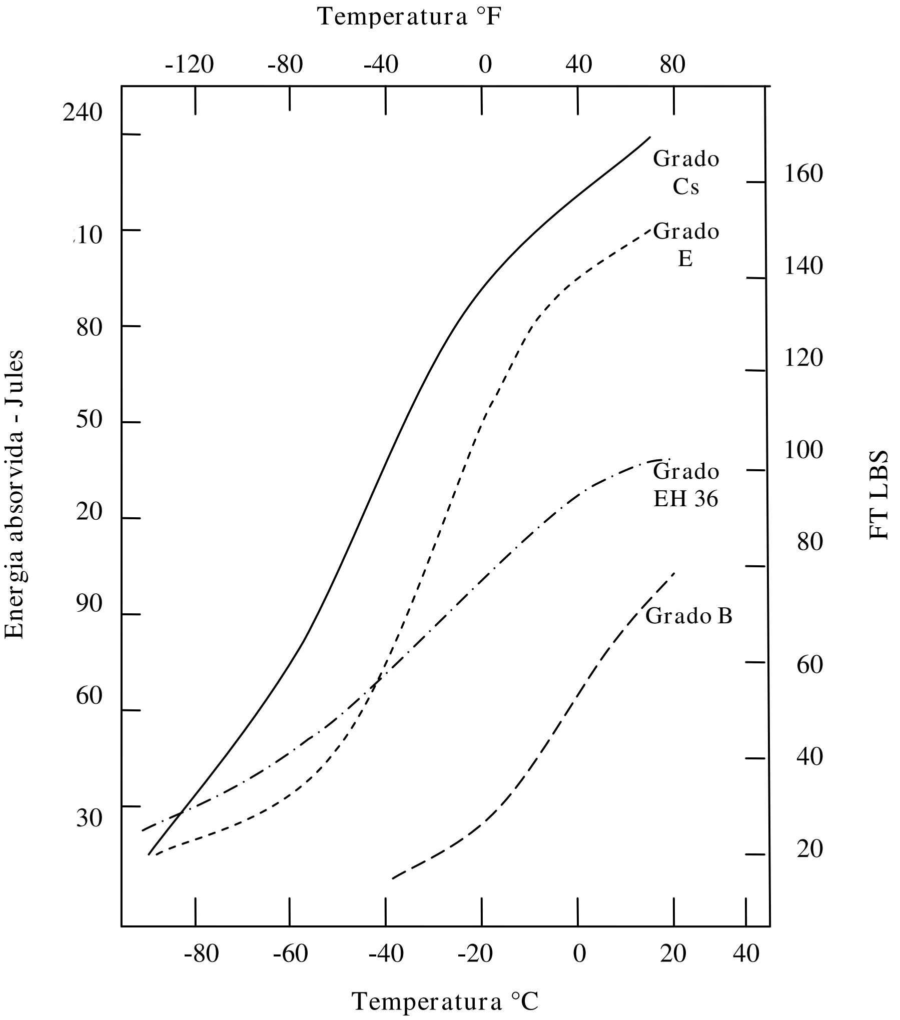


Fig. 1.15 VARIACION DE LA TENACIDAD DE VARIOS ACEROS NAVALES

3. METALES NO FERROSOS

3.1. ALUMINIO

En los últimos años se ha incrementado el uso del aluminio en aplicaciones marinas.

Botes de alta velocidad, hidrofoils, submarinos de investigación y otros tipos de buques se construyen con este material.

Aleaciones de aluminio se usan mucho en superestructuras de buques mercantes y buques de guerra, en arreglos interiores, en equipos y maquinaria.

El uso del aluminio se lo atribuye principalmente a que es liviano y su costo con respecto a su duración es más bajo que para el acero (costo combinado de material y mantenimiento).

Las cualidades de resistencia de este material a bajas temperaturas (-160°C) han hecho que sea un material muy deseable para construir tanques esféricos que se montan sobre la estructura de buques que transportan LNG.

El aluminio también tiene una resistencia satisfactoria al impacto debido a que su módulo de elasticidad es bajo (1/3 del acero), esto hace que su deflexión elástica sea mayor, por está razón se lo usa con buenos resultados en la construcción de botes de alta velocidad.

2.1.1 Producción

El producto mineral del cual se obtiene el aluminio es la bauxita, éste es un óxido de aluminio hidratado que se encuentra mezclado con óxidos de hiero, silicio y titanio.

La mayor parte de los metales son reducidos directamente de sus minerales y luego refinados. Con el aluminio; sin embargo, el proceso es diferente. Primero se separan las impurezas de la bauxita, mediante un proceso químico, caso contrario estas se reducirán junto con el aluminio, resultando en una aleación de aluminio indeseable. La producción de mineral a aluminio metálico se lleva a cabo en 4 pasos.

1. Explotación de mina y concentración.
2. Producción de aluminato de sodio $Na\,Al\,O_2$
3. Reducción a alúmina $Al_2\,O_3$; y
4. Refinación del aluminio.

2.1.2 Aleaciones de aluminio

El aluminio puro es suave y resistente a la corrosión atmosférica y tiene una alta conductividad eléctrica y térmica. El aluminio puro fundido tiene una resistencia a la tensión de 634 Kg/cm^2 (9000psi), esta y otras cualidades del aluminio pueden ser mejoradas mediante el proceso de aleación.

Las aleaciones de aluminio pueden subdividirse en dos grandes grupos, aleaciones para forja y aleaciones para fundición, de acuerdo con el método de fabricación. Las aleaciones para forja, que se conforman mediante deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras significativamente diferentes de las aleaciones para fundición, lo cual refleja las diferentes condiciones del proceso de manufactura. Dentro de cada grupo principal las aleaciones se dividen en dos subgrupos: aleaciones tratables térmicamente y aleaciones no tratables térmicamente. Las primeras son endurecidas por envejecimiento, mientras que las segundas se endurecen por medio de un endurecimiento por solución sólida, por deformación o por dispersión.

a) Las no aptas para tratamiento térmico desarrollan su resistencia por solución sólida, dispersión y por deformación (strain hardening). El manganeso y magnesio, solos o en conjunto, son los principales elementos aleatorios. El cromo, silicio, zinc y pequeñas cantidades de cobre son usados en algunas aleaciones de este tipo. Las aleaciones que no son tratables al calor están en las series 1.000, 4.000 y 5.000 y unas pocas en las series 7.000 y 8.000.

   Las aleaciones que no son aptas para ser tratadas térmicamente son adecuadas y en cierto modo recomendadas para la soldadura. Los métodos más utilizados para soldar aluminio son el MIG (metal inert gas) y el TIG (Tungsten inert gas) este último siendo el más adecuado para las soldaduras de espesores inferiores a 3mm.

b) Las aleaciones aptas para ser tratadas térmicamente están en las series 2.000, 6.000 y 7.000. Estas obtienen su resistencia adicional por envejecimiento. Se calienta el material hasta una temperatura de 450 y 550 °C (depende del elemento aleatorio) luego se los enfría bruscamente y se lo somete al proceso de temperado (envejecido).

   Este tipo de aleación no es recomendable para soldadura, debido a que con el calor se alteran las propiedades del material; sin embargo, existen algunas excepciones en los aluminios de las series 6.000 (6061, 6062 y 6.063) que son aptos para ser soldados y son de amplio uso en construcción naval.

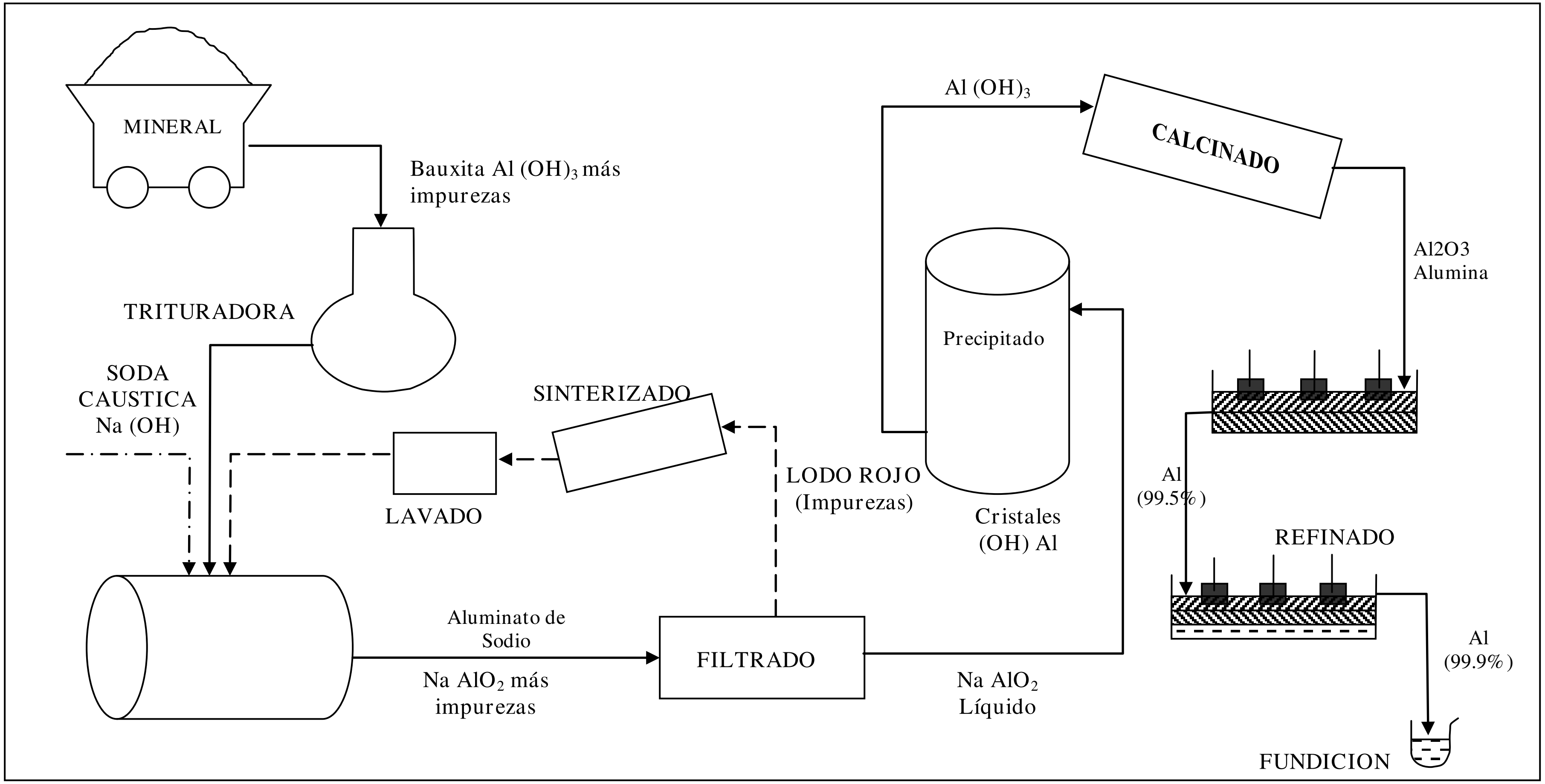


Fig. 2.1 PROCESO DE PRODUCCION DEL ALUMINIO

2.1.3 Sistema de identificación del aluminio y sus aleaciones

La tabla a continuación muestra el sistema de identificación utilizado por la "Asociación del Aluminio". El primer dígito indica el tipo de aleación (la serie 1.000 corresponde al aluminio puro a casi puro). Los tres últimos dígitos indican una de las muchas posibles combinaciones y la pureza de la aleación.

La segunda columna de la tabla indica el metal de aleación que corresponde al primer dígito.

En la tercera columna se indica el tipo de tratamiento de la aleación que ha recibido el material.

Tabla 2.1 Aleaciones para forja		
1xxx	Alum. Comercialmente puro (>99% Al)	No envejecido
2xxx	Al – Cu	Endurecible por envejecimiento
3xxx	Al – Mn	No envejecido
4xxx	Al – Si y Al – Mg – Si	Endurecible por envejecimiento si hay magnesio presente
5xxx	Al – Mg	No envejecido
6xxx	Al – Mg – Si	Endurecible por envejecimiento
7xxx	Al – Mg – Zn	Endurecible por envejecimiento
Aleaciones fundidas		
1xx.x	Alum. Comercialmente puro	No envejecido
2xx.x	Al – Cu	Endurecible por envejecimiento
3xx.x	Al – Si – Cu o Al – Mg - Si	Algunas son endurecibles por envejecimiento
4xx.x	Al – Si	No envejecido
5xx.x	Al – Mg	No envejecido
7xx.x	Al – Mg – Zn	Endurecible por envejecimiento
8xx.x	Al - Sn	Endurecible por envejecimiento

Designaciones para identificar los tratamientos térmicos.

F = Indica que no ha existido control sobre el tratamiento.

O = El metal ha sido recocido (baja resistencia y buena ductilidad)

H = El material ha sido endurecido en frío.

T = El metal ha sido endurecido por envejecimiento.

Los dígitos a continuación de H y T indican condiciones de tratamiento durante el proceso de fabricación del material.

H_1 Indica que la aleación fue tratada al frío o endurecida por estiramiento.

H_2 La aleación fue trabajada en frío y luego parcialmente recocida.

H_3 Se usa solamente para aleaciones Al – Mg

El segundo dígito indica el grado de templado.

H_{12}, H_{22}, H_{32}........ Un cuarto duro de temple
H_{14}, H_{24}, H_{34}........ Medio duro de temple
H_{16}, H_{26}, H_{36}........ Tres cuartos duro de temple
H_{18}, H_{28}, H_{38}........ Templado
H_{19}, H_{29}, H_{39}........ Templado extra duro

T_1 Envejecido naturalmente a una condición estable.

T_2 Recocido (fundiciones solamente)

T_3 Solución tratada al calor y luego trabajada en frío y naturalmente envejecido.

T_4 Solución tratada al calor luego envejecido naturalmente a una condición estable.

T_5 Envejecido artificial solamente.

T_6 Solución tratada al calor y envejecida artificialmente (mástiles de veleros)

T_7 Solución tratada al calor y luego sobre envejecida (mejora la resistencia a la corrosión)

T_8 Solución tratada al calor, luego trabajada en frío y envejecida artificialmente.

T_9 Solución tratada al calor, envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.

T_{10} Envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.

La tabla que se muestra a continuación indica las propiedades de algunas aleaciones de aluminio de uso comercial y la tabla que sigue muestra las aleaciones de aluminio que se utilizan en la industria naval y las aplicaciones más usuales que se den a cada producto.

Tabla 2.2 PROPIEDADES DE ALGUNAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Aleación		Resistencia a la tensión (psi)	Esfuerzo de fluencia (psi)	Elongación (%)	Comentarios
Aleaciones para forja no tratable térmicamente					
1100-O	> 99% Al	13.000	5.000	40	Componentes eléctricos, hojas metálicas finas (papel), resistencia a la corrosión
1100-H18		24.000	22.000	10	
3003-O	1.2 % Mn	16.000	6.000	35	
3003-H18		29.000	27.000	7	Latas para bebidas,
4043-O	5.2 % Si	21.000	10.000	22	Aplicaciones arquitectónicas.
5056-O	5 % Mg	42.000	22.000	35	Metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos
5056-H18		60.000	50.000	15	
Aleaciones para forja tratables térmicamente					
2024-O	4.4 % Cu	27.000	11.000	20	
2024-T4		68.000	47.000	20	
4032-T6	12% Si – 1% Mg	55.000	46.000	9	Transportes, aeronáutica, astronáutica y otras
6061-T6	1% Mg – 0.6% Si	45.000	40.000	15	
7075-T6	5.6% Zn - 2.5% Mg	83.000	73.000	11	aplicaciones de alta resistencia
Aleaciones para fundición					
295 – T6	4.5% Cu – 0.8% Si	36.000	24.000	5	Arena
319 – F	6% Si – 3.5% Cu	27.000	18.000	2	Arena
356 – T6	7% Si – 0.3% Mg	34.000	19.000	2.5	Molde permanente
380 – F	8.5% Si – 3.5% Cu	33.000	24.000	3.5	Arena
390 – F	17% Si – 4.5% Cu – 0.6% Mg	38.000	27.000	5	Molde permanente
443 – F	5.2% Si	46.000	23.000	3.5	Molde permanente
		41.000	35.000	1	Coquilla
		19.000	8.000	8	Arena
		23.000	9.000	10	Molde permanente
		33.000	16.000	9	Coquilla
713 – T5	7.5% Zn 0.7% Cu 0.35% Mg	30.000	22.000	4	Arena

Tabla 2.3 Aleaciones de tipo marino populares

Aleación	Tratamiento	Resistencia a la fluencia	Resistencia al corte	Formas disponibles	Usos
5050	H34 H38	24,000 29,000	18,000 20,000	Laminas, planchas, tubos	Cascos pequeños
5052	H34 H38	31,000 37,000	21,000 24,000	Laminas, planchas,varillas, tubos, barras, remaches	Casetas, cascos pequeños
5056	H18 H38	59,000 50,000	34,000 32,000	Laminas, varillas, remaches	Remaches
5083	H112 H321 H343	23,000 33,000 41,000	25,000 28,000 30,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos, cubiertas, mamparas cuadernas maestras
5086	H112 H32 H34	19,000 30,000 37,000	23,000 28,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos soldados, cubiertas, mamparas cuadernas
5454	H112 H34 H311	18,000 35,000 26,000	23,000 26,000 23,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos pequeños, pasamanos
5456	H24	41,000	31,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos soldados
6061	T4 T6 T8	21,000 40,000 52,000	24,000 30,000 32,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos, cubiertas, mástiles, plumas, remaches
6063	T4 T5 T6	13,000 21,000 31,000	16,000 17,000 22,000	Tubos s/c perfiles estirados	Pasamanos, mástiles pequeños, plumas
6066	T4 T6	30,000 52,000	29,000 34,000	Tubos s/c perfiles estirados	mástiles, plumas
6070	T6	52,000	34,000	Tubos s/c perfiles estirados	mástiles, plumas
6351	T4 T6	27,000 43,000	22,000 29,000	Tubos s/c perfiles estirados	Cascos cubiertas, cuadernas, mástiles
7001	T6	91,000		Tubos s/c perfiles estirados	mástiles
7075	T6	73,000	48,000	Varias formas de perfiles	Propósito general, alta resistencia

Table 13—Mechanical Property Limits of Sheet and Plate Aluminum

NON-HEAT-TREATABLE ALLOYS

Alloy and Temper	Thickness		Ultimate Tensile Strength MPa (ksi)		Minimum Yield Strength MPa (ksi)		Minimum Elongation in 50 mm (2 in.)
	millimeters	*(inches)*	*minimum*	*maximum*	*minimum*	*maximum*	*percent*
5052-0	3.0–6.5	(0.114–0.249)	172 (25.0)	214 (31.0)	66 (9.5)		20
	6.6–75.0	(0.250–3.000)	172 (25.0)	214 (31.0)	66 (9.5)		18
5052-H32	3.0–6.5	(0.114–0.249)	214 (31.0)	262 (38.0)	159 (23.0)		9
	6.6–12.5	(0.250–0.499)	214 (31.0)	262 (38.0)	159 (23.0)		11
	12.6–51.0	(0.500–2.000)	214 (31.0)	262 (38.0)	159 (23.0)		12
5052-H34	3.0–6.5	(0.114–0.249)	234 (34.0)	283 (41.0)	179 (26.0)		7
	6.6–25.0	(0.250–1.000)	234 (34.0)	283 (41.0)	179 (26.0)		10
5052-H112	6.5–12.5	(0.250–0.499)	193 (28.0)		110 (16.0)		7
	12.6–51.0	(0.500–2.000)	172 (25.0)		66 (9.5)		12
	51.1–75.0	(2.001–3.000)	172 (25.0)		66 (9.5)		16
5083-0	1.5–38.0	(0.051–1.500)	276 (40.0)	352 (51.0)	124 (18.0)	200 (29.0)	16
	38.1–76.5	(1.501–3.000)	269 (39.0)	345 (50.0)	117 (17.0)	200 (29.0)	16
5083-H112	6.5–38.0	(0.250–1.500)	276 (40.0)		124 (18.0)		12
	38.1–76.5	(1.500–3.000)	269 (39.0)		117 (17.0)		12
5083-H116	4.5–38.0	(0.063–1.500)	303 (44.0)	386 (56.0)	214 (31.0)	296 (43.0)	12
5083-H117	38.1–76.5	(1.501–3.000)	283 (41.0)	386 (56.0)	200 (29.0)	296 (43.0)	12
5083-H323	1.5–3.0	(0.051–0.125)	310 (45.0)	372 (54.0)	234 (34.0)	303 (44.0)	8
	3.1–6.5	(0.126–0.249)	310 (45.0)	372 (54.0)	234 (34.0)	303 (44.0)	10
5083-H343	1.5–3.0	(0.051–0.125)	345 (50.0)	407 (59.0)	269 (39.0)	338 (49.0)	6
	3.1–6.5	(0.126–0.249)	345 (50.0)	407 (59.0)	269 (39.0)	338 (49.0)	8
5086-0	1.5–6.5	(0.051–0.249)	241 (35.0)	303 (44.0)	97 (14.0)		18
	6.6–51.0	(0.250–2.000)	241 (35.0)	303 (44.0)	97 (14.0)		16
5086-H112	4.5–12.5	(0.188–0.499)	248 (36.0)		124 (18.0)		8
	12.6–25.5	(0.500–1.000)	241 (35.0)		110 (16.0)		10
	25.6–51.0	(1.001–2.000)	241 (35.0)		9 (14.0)		14
	51.1–76.5	(2.001–3.000)	234 (34.0)		97 (14.0)		14
5086-H116 and H117	1.5–6.5	(0.063–0.249)	276 (40.0)	324 (47.0)	193 (28.0)		8
	6.6–51.0	(0.250–2.000)	276 (40.0)	324 (47.0)	193 (28.0)		12
5454-0	3.0–76.5	(0.114–3.000)	214 (31.0)	283 (41.0)	83 (12.0)		18
5454-H32	1.5–6.5	(0.051–0.249)	248 (36.0)	303 (44.0)	179 (26.0)		8
	6.6–51.0	(0.250–2.000)	248 (36.0)	303 (44.0)	179 (26.0)		12
5454-H34	4.0–6.5	(0.162–0.249)	269 (39.0)	324 (47.0)	200 (29.0)		7
	6.6–25.5	(0.250–1.000)	269 (39.0)	324 (47.0)	200 (29.0)		10
5454-H112	6.5–12.5	(0.250–0.499)	221 (32.0)		124 (18.0)		8
	12.6–51.0	(0.500–2.000)	214 (31.0)		83 (12.0)		11
	51.1–76.5	(2.001–3.000)	214 (31.0)		83 (12.0)		15
5456-0	1.5–38.0	(0.051–1.500)	290 (42.0)	365 (53.0)	131 (19.0)	207 (30.0)	16
	38.1–76.5	(1.501–3.000)	283 (41.0)	359 (52.0)	124 (18.0)	207 (30.0)	16
5456-H112	6.5–38.0	(0.250–1.500)	290 (42.0)		131 (19.0)		12
	38.1–76.5	(1.501–3.000)	283 (41.0)		124 (18.0)		12
5456-H116 and H117	4.5–15.5	(0.063–0.624)	317 (46.0)	407 (59.0)	228 (33.0)	317 (46.0)	12
	15.6–32.0	(0.625–1.250)	317 (46.0)	386 (56.0)	228 (33.0)	310 (45.0)	12
	32.1–38.0	(1.251–1.500)	303 (41.0)	386 (56.0)	214 (31.0)	296 (43.0)	12
	38.1–76.5	(1.501–3.000)	283 (41.0)	386 (56.0)	200 (29.0)	296 (43.0)	12
5456-H323	1.5–3.0	(0.051–0.125)	331 (48.0)	400 (56.0)	248 (36.0)	317 (46.0)	6
	3.1–6.5	(0.126–0.249)	331 (48.0)	400 (58.0)	248 (36.0)	317 (46.0)	8
5456-H343	1.5–1.0	(0.051–0.125)	365 (53.0)	434 (63.0)	283 (41.0)	352 (51.0)	6
	3.1–6.5	(0.126–0.249)	365 (53.0)	434 (63.0)	283 (41.0)	352 (51.0)	8

HEAT-TREATABLE ALLOYS

Alloy and Temper	Type	Thickness		Minimum Tensile Strength MPa (ksi)	Minimum Yield Strength 0.2% Offset MPa (ksi)	Minimum Elongation in 50 mm (2 in.) percent
		millimeters	*(inches)*			
6061-T4	Sheet	0.5–6.3	(0.021–0.249)	207 (30.0)	110 (16.0)	16
6061-T451	Plate	6.4–25.4	(0.250–1.000)	207 (30.0)	110 (16.0)	18
		25.4–76.2	(1.001–3.000)	207 (30.0)	110 (16.0)	16
6061-T6	Sheet	0.5–6.3	(0.021–0.249)	290 (42.0)	241 (35.0)	10
6061-T62	Plate	6.4–12.7	(0.250–0.499)	290 (42.0)	241 (35.0)	10
and T65		12.7–25.4	(0.500–1.000)	290 (42.0)	241 (35.0)	9
		25.4–50.8	(1.001–2.000)	290 (42.0)	241 (35.0)	8
		50.8–76.2	(2.001–3.000)	290 (42.0)	241 (35.0)	6

2.1.4 Diagrama de fase de algunas aleaciones de Al

2.1.4.1 Al – Si

A continuación se muestra el diagrama de fase del aluminio con el silicio.

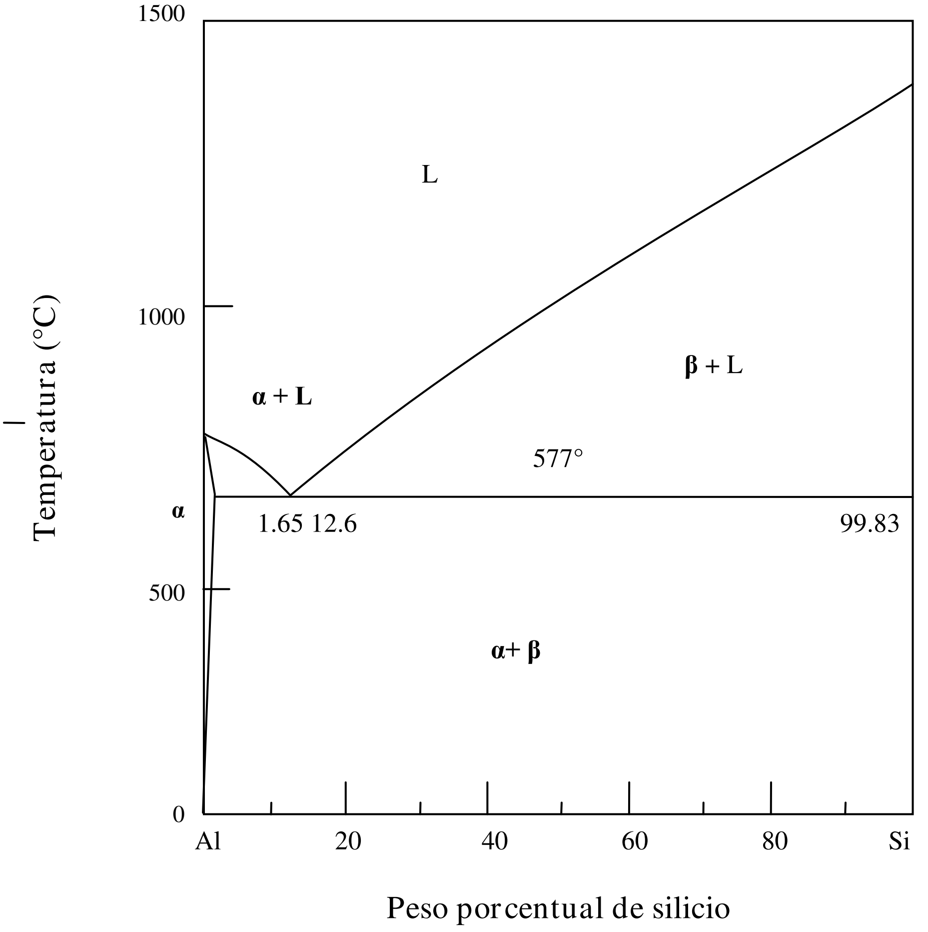
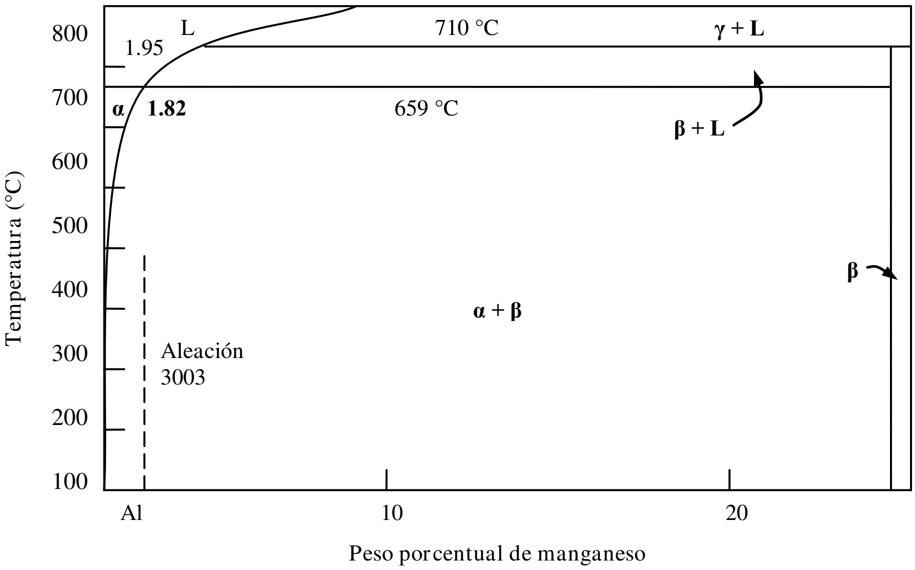


Fig. 2.2 DIAGRAMA DE FASES ALUMINIO - SILICIO

En los gráficos a continuación se presentan los diagramas de fase de Al – Mn y Al – Mg, en el primer diagrama se puede ubicar a la aleación 3003 y en el segundo a la aleación 5056, para este segundo caso la solución sólida de magnesio en aluminio es endurecida mediante una dispersión fina de Mg2 Al3 (fase B) el cual no es coherente y, por tanto, no puede ser endurecido por envejecimiento.



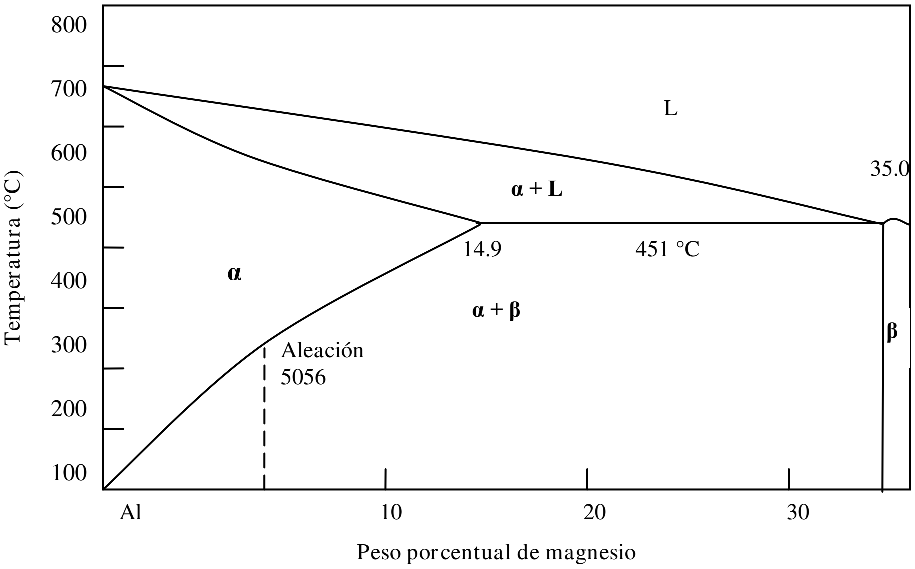


Fig. 2.4 DIAGRAMAS DE FASE PARA EL ALUMINIO – MANGANESO Y ALUMINIO - MAGNESIO

2.2 COBRE

El cobre y sus aleaciones naturales fueron los primeros metales utilizados por el hombre con propósitos diferentes a la ornamentación.

La aleación más común del cobre es el bronce que es muy útil a la industria naval, a la ciencia y a la vida doméstica en general.

En estado natural el cobre (Cu) se lo encuentra combinado con azufre o con oxígeno, formando los siguientes compuestos:

- Calcocita, $Cu_2 S$
- Calcopirita, $Cu Fe S_2$
- Cuprita, $Cu_2 O$
- Cobre nativo, Cu

El procesamiento de los cobres combinados con azufre es más complejo que el de los cobres oxidados.

Aleaciones de cobre: De todos los metales comerciales, las aleaciones de cobre poseen el mayor espectro de propiedades, las de mayor significación son las siguientes:

- Elevada resistencia a la corrosión.
- Buena resistencia a la tensión.
- Buena resistencia a la fatiga.
- Es dúctil y maleable.
- Tiene dureza y tenacidad.
- Es fácil de soldar y maquinar.
- Es resistente al desgaste.
- Buena conductividad térmica y eléctrica.

Se combina con zinc, estaño, níquel, plomo, aluminio, manganeso, silicio y cromo principalmente.

El cobre recocido tiene una resistencia a la tensión de (30.000 psi) 2.114 Kg/cm^2, y trabajado en frío su resistencia puede incrementarse a (60.000 psi) 4.227 Kg/cm^2.

En la tabla 2.4 se indica las propiedades de algunas aleaciones de cobre.

En la tabla 2.5 se dan códigos que identifican el grado de endurecimiento de algunas aleaciones de cobre

Tabla 2.4 Propiedades de aleaciones típicas de cobre obtenidas por diferentes mecanismos de endurecimiento

Material	Designación de Grado de Endurecimiento	Resistencia a la Tensión (Psi)	Esfuerzo de Fluencia (Psi)	Elongación (%)	Mecanismo de Endurecimiento
Cobre puro, recocido		30,300	4,800	60	
Cobre comercialmente puro, recocido para engrosar el tamaño de grano	O5050	32,000	10,000	55	
Cobre comercialmente puro, recocido para afinar el tamaño del grano	O5025	34,000	11,000	55	Tamaño de grano

Cobre comercialmente puro trabajado en frío	H10	57,000	53,000	4	Endurecimiento por deformación
Cu – 35% Zn recocido	OS050	47,000	15,000	62	
Cu – 30% Ni tal como se fabrica	M20	55,000	20,000	45	Solución sólida
Cu – 10% Sn recocido	O5035	66,000	28,000	68	
Cu – 35% Zn trabajado en frio3	H10	98,000	63,000	3	Solución sólida + endurecimiento por deformación
Cu – 30% Ni trabajado en frío	H80	84,000	79,000	3	
Cu – 2% Be endurecido por envejecimiento	TF00	190,000	175,000	4	Endurecimiento por envejecimiento
Cu – Al templado y revenido	TQ50	110,000	60,000	5	Reacción martensítica
Manganeso bronce fundido	F	71,000	28,000	30	Reacción eutectoide

Tabla 2.5 Designaciones de grado de endurecimiento para aleaciones de cobre

Hxx – trabaja en frío (xx indica el grado de trabajo en frío)

		Reducción porcentual en espesor o diámetro
H01	¼ dura	10.9
H02	½ dura	20.7
H03	¾ dura	29.4
H04	Dura	37.1
H06	Extradura	50.1
H08	De resorte duro	60.5
H10	De resorte extra	68.6
H12	De resorte especial	75.1
H14	De superresorte	80.3

Mxx – tal como se manufactura. (xx se refiere al tipo de proceso de fabricación)
Oxx – recocida. (xx designa el método de recocido)
OSxxx – recocida para producir un tamaño particular de grano (xxx se refiere al diámetro del grano en 10-3 mm. Por tanto, OS025 señalaría un diámetro de grano de 0.025mm)
TB00 – tratada por solución
TF00 – endurecida por envejecimiento
TQxx – templada y revenida (xx da detalles del tratamiento térmico)

2.2.1 Aleaciones de cobre para uso marino

Una aleación de cobre (90%) y níquel (10%) es altamente resistente a la corrosión en flujo de agua salada y se encomienda para ser utilizado en instalación de agua salada, condensadores, intercambiadores de calor, etc.

El cobre como metal se usa principalmente para las siguientes aplicaciones en la industria naval:

a) En pinturas anti – incrustantes (anti fouling) se añade polvo de cobre a la pintura, este reacciona con el agua de mar formando una película tóxica que envenena a los microorganismos marinos que se posan sobre el casco. La acción del recubrimiento tiene una duración de acuerdo al contenido de cobre en la pintura o al número de capas de pintura que se aplique al casco de la embarcación.

El uso del cobre para este propósito está reduciéndose debido al descubrimiento de otros productos que realizan el mismo trabajo.

b) Se usa como metal base para otras aleaciones como el latón, bronce, cupro – níquel y plata – níquel.

c) Se añade en pequeños porcentajes a ciertos tipos de aceros, aluminios y otros metales.

En la industria naval los productos o aleaciones de cobre son más conocidos por sus nombres comerciales que por su número de aleación o identificación (como sucede con el acero o el aluminio).

Referente a la denominación de estos metales existe alguna confusión y es que a algunos latones se les llama bronces, a continuación vamos a establecer la diferencia entre estos dos productos.

2.2.2 Latón (Brass)

El latón (brass) es básicamente una aleación de cobre con zinc, este último en una proporción que varía del 5% al 40%. En ciertas ocasiones se puede añadir cantidades muy pequeñas de otros elementos como: plomo, estaño, manganeso o hierro para mejorar ciertas propiedades de aleación, pero debe tenerse presente que el principal elemento de la aleación es el zinc.

Los latones más importantes y que en castellano algunos los llaman bronces son:

- Latón (bronce) rojo, (Red brass).
- Latón (bronce) amarillo, (Yellow brass)
- Latón (bronce) de cartuchos, (Cartridge brass)
- Metal o bronce almirantazgo, (admiralty brass)

Los latones que tienen un contenido de zinc mayor al 16% están sujetos a un tipo de corrosión llamado “descincado”. Debido a este problema corrosivo los latones con un alto contenido de zinc no son recomendados para ser usados en pernería, herrajes que atraviesan el casco o cualquier pieza estructural, principalmente si la embarcación va a ser utilizada en el agua salada.

Los tres tipos de latones que caen dentro de esta categoría son:

- Latón (bronce) almirantazgo (28% zinc)
- Latón (bronce) naval (39% zinc)
- Bronce manganeso (58,5% Cobre, 39,2% Zinc, 1% Estaño, 1% Hiero y 0,3%Manganeso)

Al latón o bronce almirantazgo si se le añade antimonio o arsénico como un inhibidor para resistir el descincado, se lo puede utilizar con las debidas precauciones, los otros dos latones no son muy confiables aunque sean diseñados para resistir descincado. Cuando se rechace o acepte una aleación de cobre con alto contenido de zinc debe tenerse presente su tamaño y su localización en la nave.

Un perno o tornillo que esté sujeto a salpicado de agua salada o vaya sumergido siempre en agua de mar podría causar problemas; mientras que, un cuadrante del gobierno de bronce–manganeso que está localizado bajo cubierta puede tener una duración indefinida.

Un latón con un alto contenido de zinc es fácilmente identificable. Conforme aumenta el contenido de zinc, hasta un 5% el color varía desde el rojizo del cobre al color del bronce, luego pasa a un color muy parecido al del oro, cuando el contenido de zinc es del 10% al 15%, y finalmente cambia al amarillo pálido del latón cuando el contenido de zinc es elevado.

En forma general se puede decir que si el metal tiene una apariencia rojiza - amarillo puede ser cobre o bronce, si el metal es bien amarillo debe ser latón.

En general al añadir plomo a varios tipos de latones estos se vuelven maquinables.

La mayor parte de latones pueden ser soldados con oxi–acetileno, pero no tan bien con arco de carbono.

2.2.3 Bronces

Son aleaciones de cobre cuyos principales elementos de aleación son: estaño, silicio, aluminio, berilio y níquel.

Algunas de estas aleaciones pueden ser endurecidas mediante tratamiento térmico para obtener resistencias a la tensión muy elevadas

Los bronces se dividen en:

a) Bronces tratables al calor
b) Bronces no tratables al calor

Los bronces alumínicos son lo más versátiles, sus propiedades pueden ser controladas variando la cantidad de aluminio o por tratamiento térmico. Estos bronces pueden ser endurecidos en igual forma como el acero. Se los usa principalmente en la confección de engranajes, camones, rodillos, dados, herramientas de corte.

El bronce fosfórico, el más común de los bronces no tratables al calor es el bronce fosfórico que es una aleación de cobre y estaño desoxidada con fósforo. La resistencia y dureza de los bronces fosfóricos se incrementa con el porcentaje de contenido de estaño en la aleación (1 al 11%).

Esta aleación sobresale por su elevada resistencia, buena elasticidad y buena resistencia al desgaste y a la fatiga. Se lo usa principalmente para resortes, ejes y bocines.

Bronce silicio: en la familia de los bronces no tratables al calor tenemos el bronce silicio (96% Cu, 3% Si , 1% Mn o Zn). Se lo usa en tanques, calderos y recipientes de presión resistentes a la corrosión.

Soldabilidad: La mayoría de los bronces pueden soldarse. Para soldaduras con arco eléctrico se usan electrodos recubiertos con fundente. También se sueldan con arco eléctrico y gas inerte.

En algunos casos puede usarse el oxi–acetileno, pero debe cuidarse de no oxidar los materiales.

En la tabla que se muestra a continuación se dan los nombres comunes de algunas aleaciones de cobre que se usan en la industria naval, así como sus resistencias y los usos mas comunes y/o recomendados para cada producto.

Popular name	Yield Strength (psi)	Tensile strength (psi)	Comments
Aluminum bronze (8% aluminum)	32.000 to 65.000	70.000 to 105.000	Excellent corrosion, wear and fatigue resistance; has an attractive golden color; available in wire-rope form; excellent for marine hardware; resistant to cavitation erosion
Aluminum bronze (5% aluminum)	22.000 to 65.000	55.000 to 92.000	
Phosphor bronze (8% tin)	24.000 to 72.000	55.000 to 93.000	Considered a very tough bronze; good elastic qualities; good resistance to cavitation erosion; good fatigue and wear
Phosphor bronze	20.000 to 75.000	49.000 to 81.000	

(% tin)			resistance; available in most forms
Aluminum – silicon bronze (7% aluminum, 2% silicon)	Average 42.000	Strength 84.000	Good corrosion and wear resistance; screws, nuts, bolts; good forged turnbuckles
High – silicon bronze (3% silicon)	22.000 to 58.000	57.000 to 94.000	General-purpose bronze alloy for nails, screws, nuts, bolts, turnbuckles, thimbles; good corrosion resistance
Low – silicon bronze (1.5% silicon)	15.000 to 55.000	40.000 to 70.000	
Comercial bronze (10% zinc)	10.000 to 58.000	37.000 to 67.000	Used for fasteners and trim
Admiralty brass (28% zinc, 1% tin) with arsenic	18.000 to 70.000	48.000 to 90.000	This is an old-fashioned brass; it has been used for porthole frames and propeller shafts
Cartridge brass (30% zinc)	15.000 to 64.000	47.000 to 78.000	Munitions casements-main use. Has been used in radiator cores and water tanks
Yellow brass common (35% zinc)	15.000 to 60.000	47.000 to 74.000	General-purpose brass
Naval brass (bronze) (39.25% zinc, 0.75% tin)	25.000 to 58.000	55.000 to 75.000	Tensile strength is greater for sections less than ¾" square; has been used for propeller shafts
Low – leaded brass (0.5% lead, 35% zinc)	15.000 to 60.000	47.000 to 75.000	Good machining and drawing qualities; used for plumbing accessories
Manganese bronze (brass) (39.2% zinc, 1% tin)	30.000 to 60.000	65.000 to 84.000	High strength and excellent wear resistance, but is subject to dezincification in salt water
Cupronickel (copper-nickel) (10% nickel)	22.000 to 57.000	44.000 to 60.000	High strength and good ductility; very good corrosion resistance in brackish and moving salt water; available in tubing and some accessories
Cupronickel (30% nickel)	22.000 to 70.000	55.000 to 77.000	
Electrolytic-tough-pitch copper and oxygen-free copper	10.000 to 50.000	32.000 to 55.000	General-purpose coppers; available in most forms
Deoxidized copper and free-machining (tellurium) copper	10.000 to 40.000	32.000 to 46.000	

2.2.4 Diagrama de fase

2.2.4.1 Diagrama de fase del cobre con el zinc y el estaño

Las aleaciones de Cu con menos del 40% de Zn forman soluciones sólidas unifásicas de zinc en cobre, en las que las propiedades mecánicas y la elongación aumenta conforme el contenido de zinc. Como se muestra en la figura pueden conformarse en frío en componentes complejos resistentes a la corrosión.

Las aleaciones de Cu con Sn (bronces fosfóricos) pueden contener más del 10% de Sn y conservar una sola fase.

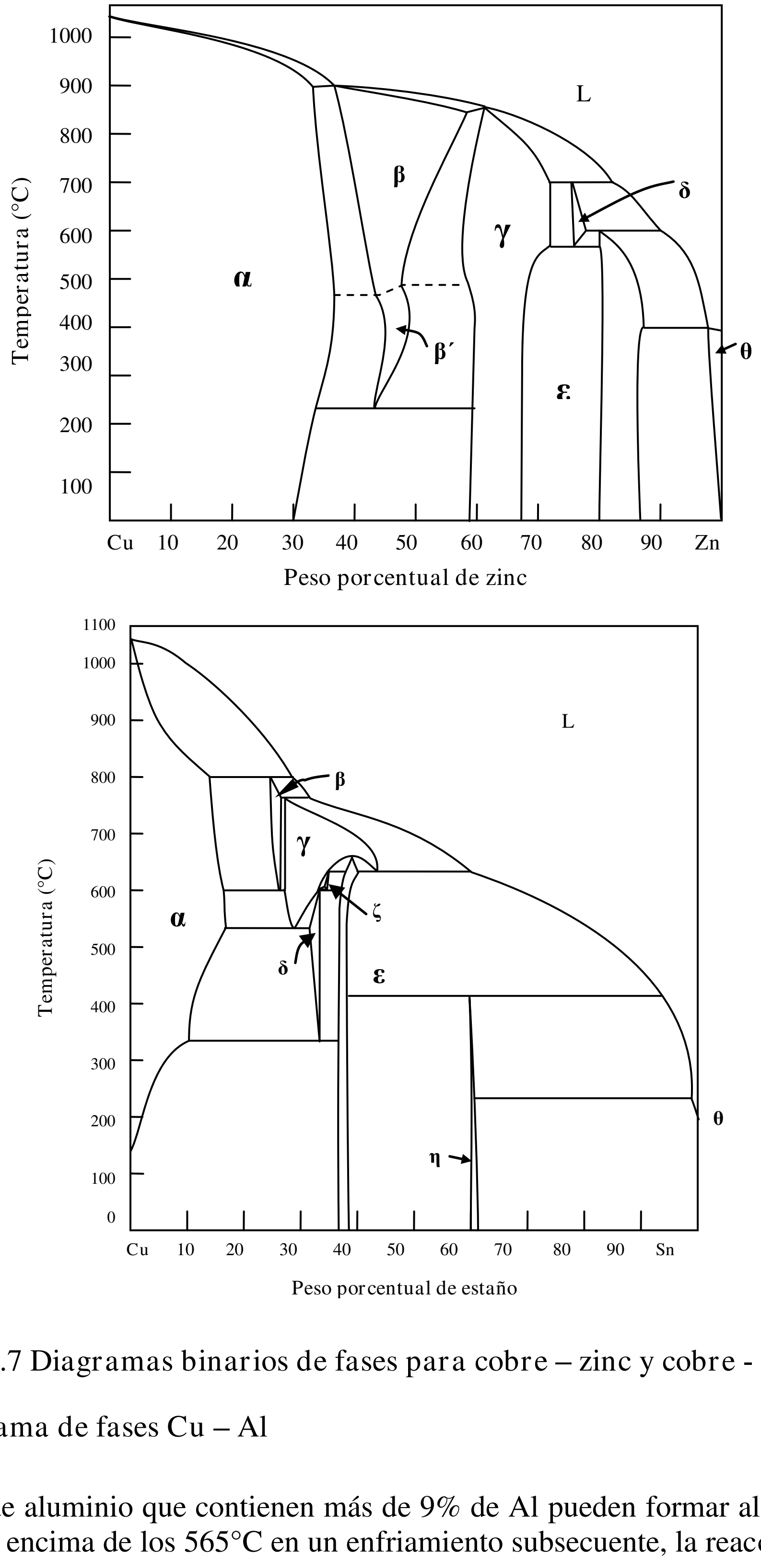


Fig. 2.7 Diagramas binarios de fases para cobre – zinc y cobre - estaño

2.2.4.2 Diagrama de fases Cu – Al

Los bronces de aluminio que contienen más de 9% de Al pueden formar algo de fase β al calentarse por encima de los 565°C en un enfriamiento subsecuente, la reacción eutectoide produce una estructura laminar o perlítica que contiene un compuesto frágil y débil γ_2. Sin embrago, la aleación puede ser calentada a 900°C y enfriada rápidamente (templada) para producir martensita (β') la cual tiene una alta resistencia mecánica y baja ductibilidad, pero que al ser revenida entre 400 y 650°C gana ductibilidad y sobre todo en tenacidad.

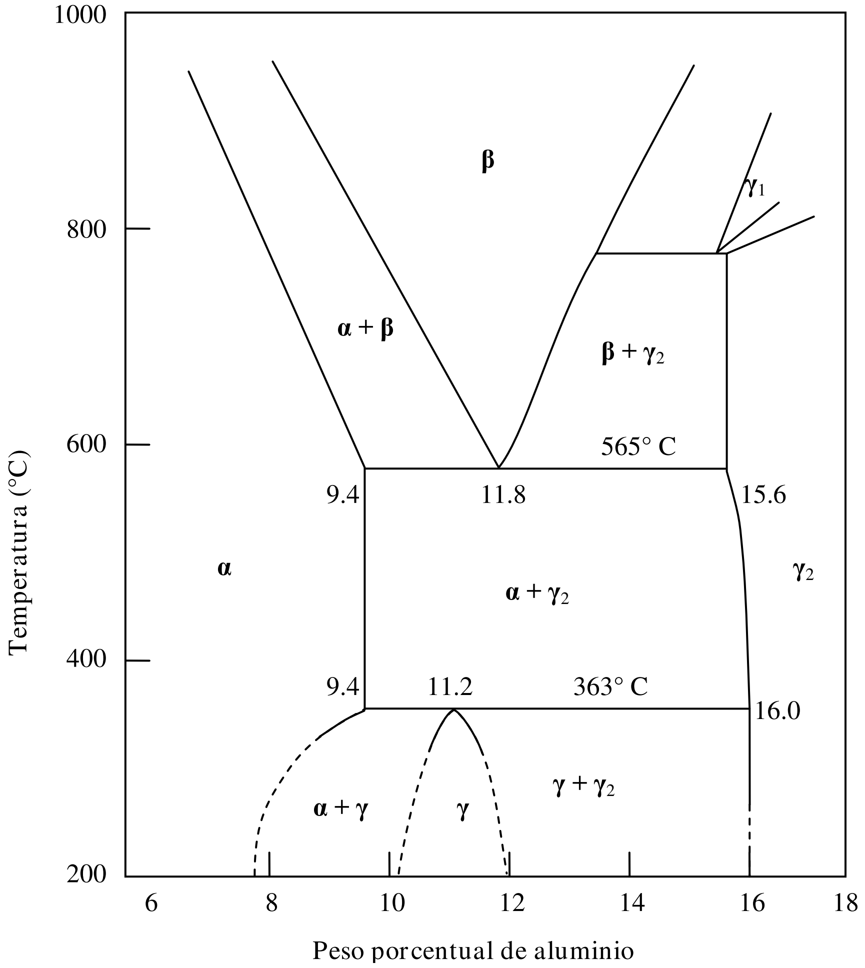


Fig. 2.8 Porción eutectoide del diagrama de fases cobre - aluminio

2.3 MAGNESIO

El magnesio es un metal blanco parecido a la plata, es más liviano que el aluminio, su densidad es aproximadamente $^2/_3$ del aluminio y ¼ del acero. Es el más liviano de todos los metales comerciales.

En estado puro tiene poca aplicación debido a su baja resistencia, sin embargo, sus aleaciones son resistentes y muchas de ellas pueden endurecerse por tratamiento al calor.

El magnesio y sus aleaciones tienen una buena resistencia a la corrosión atmosférica, pero el Mg puro se corroe cuando se lo sumerge en agua salada. Este material se lo produce de:

a) La dolomita (Ca CO_3 Mg CO_3)
b) La magnesita (Mg CO_3)
c) El agua de mar
d) Sales naturales que contienen cloruro de magnesio

Aleaciones de magnesio: Usualmente contienen aluminio, magnesio y zinc. La más popular de las aleaciones contienen 6% Al y 3% Zinc y hay otra que contiene 9% de Aluminio y 2% de Zinc que se usa mucho en piezas de fundición que deben soportar grandes presiones.

Propiedades: Es muy similar al comportamiento de las aleaciones de aluminio, estos dos grupos metálicos tienen en común: a) una alta conductibilidad al calor, b) bajo punto de fusión y c) elevada expansión térmica.

Estas aleaciones pueden soldarse mediante:

a) Gas
b) Arco eléctrico protegido con gas inerte (helio)
c) Por el método más común de resistencia eléctrica

Las aleaciones de magnesio no deben soldar a otros metales debido a la fragilidad de los compuestos metálicos y el efecto corrosivo que se genera en presencia de un electrolito.

Debido a que el magnesio fundido se combina fácilmente con el oxígeno y se combustiona, debe tenerse mucha precaución durante el proceso de fabricación. Si se lo corta con una herramienta roma o se lo esmerila, la fricción generará el calor suficiente para que se combustione el metal (al adicionar a la mezcla un 0,001% de berilio o un 0,5% de calcio metálico se retardará la ignición).

Las aleaciones de magnesio se usan en partes de maquinarias como: carters, bombas de aceite, múltiples de admisión y en general en la manufactura de muchos aditamentos de equipos portátiles.

En la figura de la siguiente página se muestra el procedimiento para la obtención del magnesio del mar y de las conchas de ostras y ostiones.

2.4 ZINC

El zinc ha sido usado desde la antigüedad como un elemento de la aleación del latón. En el estado metálico se lo produjo en el siglo XIV en la India.

Los más importantes minerales de zinc que se encuentran en la naturaleza son:

a) Combinado con azufre (blenda de zinc) Zn S (7% Zn)
b) Calamina Zn Co3 (3% Zn)

Hay dos procesos de producción de zinc:

1) Hidrometalúrgico con precipitación electrolítica; y
2) Por destilación.

El zinc se lo usa principalmente en piezas fundidas en matriz y en galvanizados, pero su aplicación más importante quizá sea en las aleaciones con cobre para obtener latones.

Su color es blanco azulado y tiene excelente resistencia a la corrosión atmosférica. Así mismo, tiene excelentes cualidades aleatorias y es barato. Su densidad es ligeramente inferior a la del cobre.

Al zinc se lo considera el gran protector de los metales, por dos razones principales:

a) En el aire se corroe a una velocidad bastante baja, comparado con el hierro y el acero.
b) Cuando se lo usa para protección galvánica, el zinc es el metal de sacrificio, debido a su posición en la serie galvánica.

Galvanizado de zinc: Hay varios métodos mediante los cuales se aplica el zinc al acero y al hierro para el galvanizado, los principales son:

1) Electro galvanizado o electrochapeado: Usualmente se usa una capa muy fina que es depositada electrolíticamente sobre el metal a proteger.

2) Galvanizado en caliente por inmersión: En este proceso se aprovecha el bajo punto de fusión del zinc (419°C). Este proceso produce una superficie irregular. Es recomendado para aplicaciones marinas, siempre y cuando no se abuse de él.

3) Metalizado: Se recubre la superficie con spray, utilizando zinc fundido. Con este proceso generalmente se obtienen las capas de recubrimiento más gruesas y son aplicables o recomendadas para uso marino.

4) Cherardizado (esherardizado): Se hace con impregnación de polvo de zinc. Los artículos a ser procesados se entierran en polvo de zinc y mediante el uso de calor y un poco de fuerza centrífuga se adhiere el zinc a la pieza. Debido a la capa muy delgada que se forma, no es recomendable para usos de tipo marino.

5) Pintado: El zinc también se aplica en forma de pintura, si esta se aplica en capas gruesas puede dar una adecuada protección.

Para cualquiera d los métodos utilizados, lo más importante para la duración es el espesor de la capa de recubrimiento.

Aplicaciones.- Los productos chapeados basados en cromo y zinc (tornillos, tuercas, pernos, anillos, etc.) no son adecuados para su uso en botes. Estos son productos comunes de supermercado que no resisten la corrosión a la intemperie.

2.5 NIQUEL

El níquel es un metal duro, de color plateado, tiene aproximadamente la misma densidad del cobre, tiene una excelente resistencia a la corrosión y oxidación aún a altas temperaturas.

El níquel se combina fácilmente con muchos otros metales y sirve de base para un sin número de aleaciones con acero y cobre.

La más importante de las aleaciones de níquel con cobre es el monel (67% Ni, 28% Cu, 5% Mn). Puesto que su coeficiente térmico de expansión es aproximadamente igual al del acero, a menudo se los usa juntos.

Al monel se lo considera el mejor material de uso marino debido a su alta resistencia, gran ductilidad y excelente resistencia a la corrosión atmosférica y en el agua salada.

El uso más común del monel es en forma de clavos, pernos, tornillos, tuercas, hélice, ejes de hélices y cables.

Debido a la posición del monel en la serie galvánica puede ocasionar la corrosión de otros metales como el aluminio, cuando está en la presencia de un electrolito como el agua salada.

El monel K tiene un adicional del 2 al 4% de Aluminio. Los moneles H y S son hechos añadiendo del 3 al 4% de silicio. Los moneles R tienen un 0,35% de azufre y los moneles N poseen una resistencia extremadamente buena a la oxidación, corrosión e impacto.

El inconel, es una aleación de cromo y níquel, tiene una elevada resistencia a la corrosión por ácidos y compuestos alcalinos.

El monel puede soldarse con oxiacetileno, con gas inerte y arco eléctrico.

Propiedades de las aleaciones de níquel

En la tabla a continuación se dan las propiedades y aplicaciones de algunas aleaciones de níquel. En la figura 8-16 se muestra la variación de las propiedades mecánicas de una aleación de Cu - Ni de acuerdo al contenido de cada uno de ellos.

Material	Resistencia a la tensión (psi)	Esfuerzo de fluencia (psi)	Elongación (%)	Aplicaciones
Ni puro (99.9% Ni)				Resistencia a la corrosión
Recocido	50.000	16.000	45	
Trabajado en frío	95.000	90.000	4	Válvulas, bombas cambiadores de calor
Monel 400 (Ni–31.5% Cu)	78.000	39.000	37	
Superaleaciones de Ni				
Hastelloy B–2 (Ni–28% Mo)	130.000	60.000	61	Resistencia a la corrosión
MAR–M246	140.000	125.000	5	Motores de reacción

(Ni–10% Co–9% Cr–10% W+Ti, Al, Ta)				Turbinas de gas
DS–Ni	71.000	48.000	14	
(Ni–2% ThO_2)				
Superaleaciones de Fe–Ni				
Incoloy 800	89.000	41.000	37	Cambiadores de calor
(Ni–46% Fe–21% Cr)				
Superaleaciones de Co				Motores de reacción
Haynes 25	135.000	65.000	60	Resistencia al
(50% Co–20% Cr–15% W-10% Ni)				desgaste por
Estelita 6B	177.000	103.000	4	abrasión.
(60% Co–30% Cr–4.5% W)				

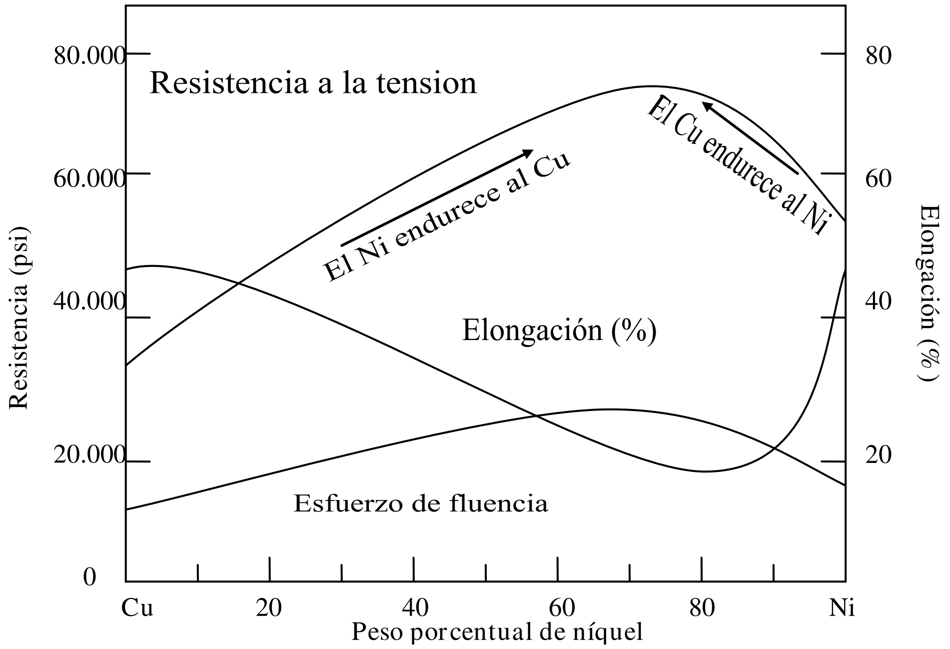


Fig. 2.9 Propiedades mecánicas de las aleaciones cobre-níquel. El cobre es endurecido con un 60% de Ni y el níquel con un 40% de Cu

2.6 PLOMO

Es uno de los metales más antiguos que conoce el hombre, los chinos hicieron sus primeras monedas de plomo (2000 A. C.) y los romanos lo utilizaron para hacer tuberías de agua.

En estado natural se lo encuentra como galena (Pb S) también como cerucita ($PbCO_3$). Es un metal pesado y un contaminante del medio ambiente.

La reducción de plomo no es tan simple debido a que los minerales con que está combinado en la naturaleza forman compuestos muy complejos.

El plomo comercialmente está disponible en cuatro formas:

1. Plomo antimónico (6% de antimonio) se lo usa mucho en baterías.

2. Plomo de alta pureza (corroding lead) que se lo usa principalmente en la confección de pigmentos para pinturas.
3. Plomo común, es de menor pureza que el anterior y se lo usa donde no es necesario un plomo de alta pureza (recubrimiento de cables, lastre de veleros y aleaciones con otros metales).
4. Plomo químico (contiene 0,04 % a 0,08% de cobre) y se lo usa mucho en la industria química.

Al plomo se lo suelda con oxiacetileno, aire acetileno y arco de carbono.

Al plomo combinado con el estaño se lo usa como una aleación antifricción en los cojinetes de los descansos (eje propulsor, winches, etc.)

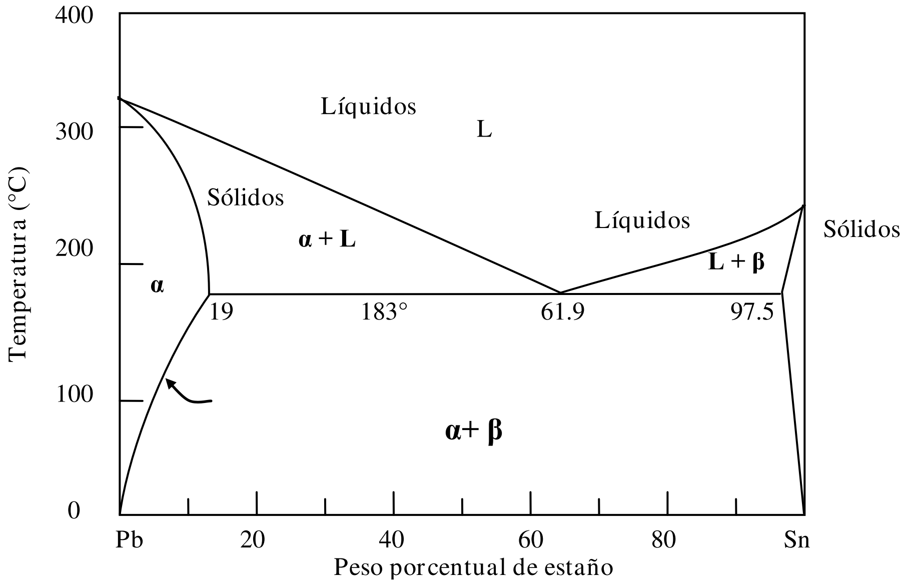
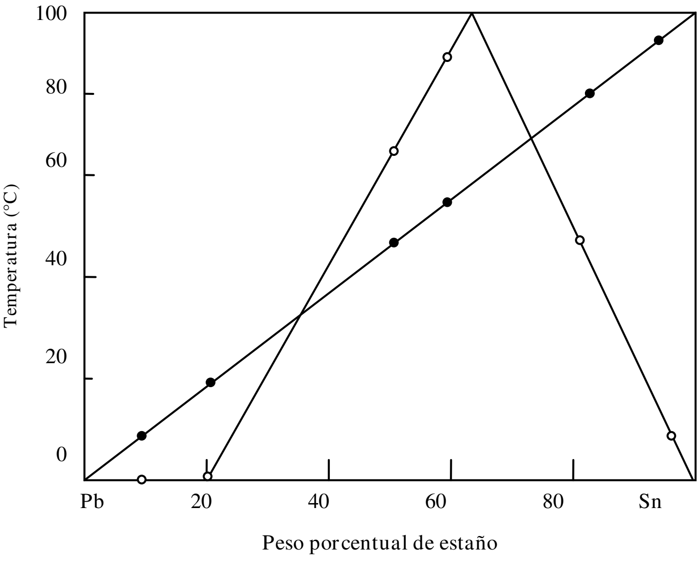


Fig. 2.10 Diagrama de fases en equilibrio plomo-estaño



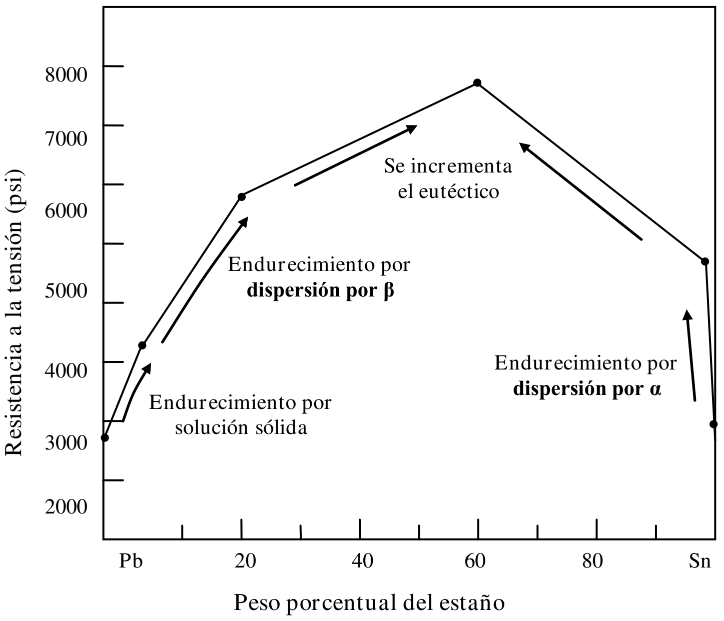


Fig. 2.11 Efecto de la composición y el mecanismo de endurecimiento de la resistencia a la tensión de las aleaciones plomo-estaño

2.7 CADMIO

No existe como mineral en estado natural, sino que se lo obtiene como un subproducto durante el procesamiento y reducción del zinc y del plomo. Se lo usa principalmente en aleaciones con puntos de fusión bajos.

Al cadmio se usa comúnmente como recubrimiento de tipo marino. Es comparable al zinc en muchas maneras, pero también tiene sus diferencias:

1. Tiene una apariencia blanquecina platinada que lo hace más atractivo que el zinc.
2. Tiene mejor resistencia que el zinc a la corrosión atmosférica marina y salpicado.
3. El cadmio lo protege al acero de la corrosión galvánica en el agua salada, pero no tan bien como lo hace el zinc.
4. Se lo aplica por electrochapeado en vez del proceso de inmersión.
5. El cadmio es más caro que el zinc, pero es más barato que el cromado o niquelado.
6. Los vapores de cadmio y sus derivados son venenosos. Al soldar no debe respirarse sus vapores y no deben entrar en contacto con productos alimenticios.

2.8 TITANIO

Es un metal muy especial con una alta resistencia (con respecto a su peso) es tan resistente como el acero y pesa solamente la mitad.

Es más resistente que el acero inoxidable y la plata a la corrosión en agua salada.

Cuando entra en contacto con otros metales aumenta la velocidad de corrosión de estos (debido a su posición en la serie galvánica).

El punto de fusión del titanio es de 1.660°C. Esto originó una serie de problemas en las etapas iniciales de su desarrollo, debido a que se fundían los recipientes que se usaban para su fundición.

En la actualidad se lo produce en recipientes con chaquetas enfriadas con agua, en una atmosférica de argón para prevenir la contaminación con el oxígeno.

Se vuelve muy frágil cuando se lo funde en una atmósfera abierta, debido a que absorbe grandes cantidades es oxígeno y nitrógeno.

Como metal puro tiene una resistencia y ductilidad similar a la del cobre. Al combinarse con pequeñas cantidades de otros elementos aumenta considerablemente su resistencia, por lo que, los productos más utilizados son sus aleaciones.

Es difícil para soldar debido a su facilidad para absorber oxígeno cuando está caliente. Se usa generalmente los procesos TIG y MIG.

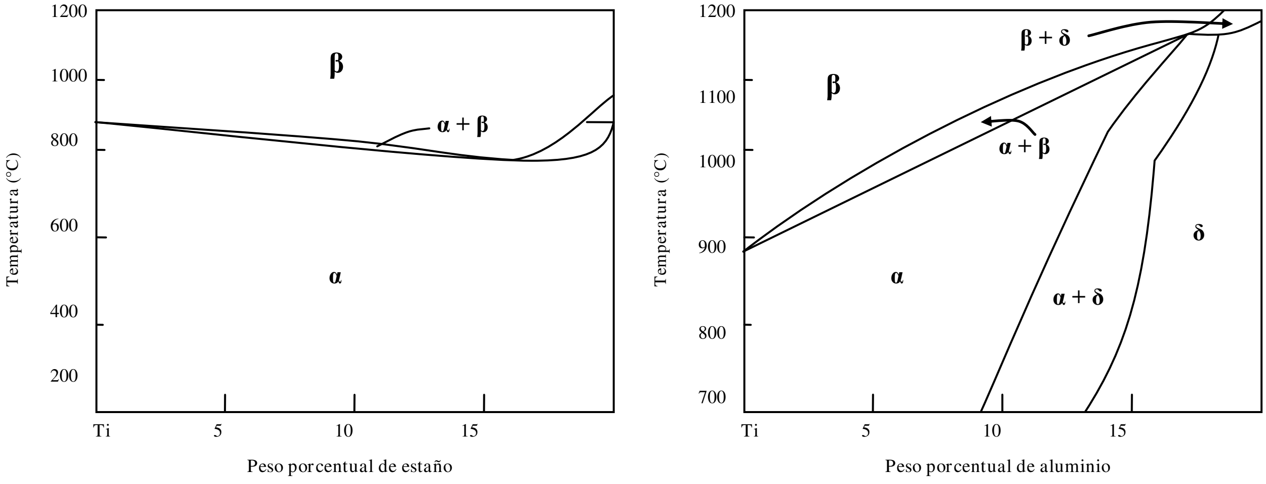
Las aleaciones de titanio se usan en barra, alambre, láminas. En mástiles de botes y veleros se está incrementando su uso, debido a que es alrededor de cuatro veces más flexible que el aluminio (lo que ayuda a controlar la forma de vela), también se lo usa en varios otros productos de botes de placer, en el futuro se lo usará mucho en hélices, ejes de hélice, herramientas de mano y cuchillería.

En las dos tablas que se muestran a continuación se dan las propiedades de algunas aleaciones de titanio. En la siguiente página se muestra los diagramas de fase de las aleaciones de Ti – Sn, Ti – Al, Tl – Mn y Ti - Mo.

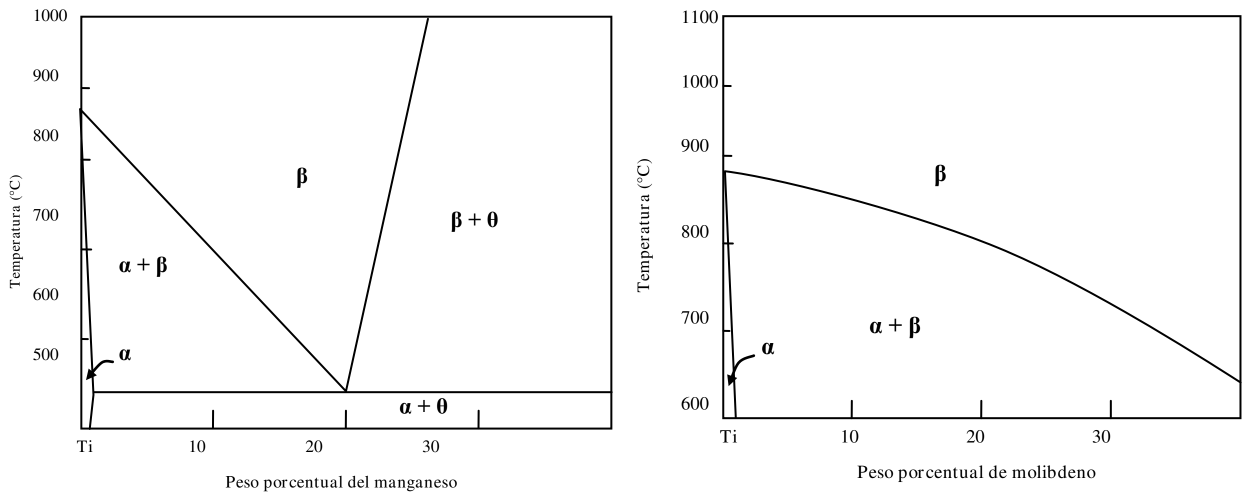
Aleaciones de Titanio		
Tipo	Esfuerzo	Formas disponibles
Ti – 4Al – 4Mn	133.000	Alambres
Ti – 5Al – 2.5Sn	90.000 a 120.0000	Formas varias
Ti – 6Al – 4V	100.000 a 130.000	Formas varias (extrusión)
Ti – 7Al – 4Mo	116.000 a 135.000	Alambres
Ti – 8Mn	110.000 a 140.000	Láminas
Ti – Titanium	Al – Aluminio	Mn – Manganeso
Sn – Tin	V – Vanadio	Mo – Molibdeno

Propiedades de algunas aleaciones de Titanio			
Material	Resistencia a la tensión (psi)	Esfuerzo de fluencia (psi)	Elongación (%)

Titanio comercialmente puro 99.5% Ti	35.000	25.000	24
99.0% Ti	80.000	70.000	15
Aleaciones Ti alfa			
5% Al-2.5% Sn	125.000	113.000	15
Aleaciones Ti beta			
13% V-11% Cr-3% Al	187.000	176.000	5
Aleaciones Ti casi alfa			
8% Al-1% Mo-1% V	140.000	120.000	14
6% Al-4% Zr-2% Sn-2% Mo	146.000	144.000	3
Aleaciones Ti alfa beta			
8% Mn	140.000	125.000	15
6% Al-4% V	150.000	140.000	8



(a) (b)



(c) (d)

Fig. 2.12 Diagrama de fases para aleaciones (a) Titanio-estaño, (b) titanio-aluminio, (c) titanio-magnesio y (d) titanio-molibdeno

3. POLIMEROS

Los polímeros son materiales que contienen como ingrediente principal una sustancia orgánica de elevado peso molecular, que varia entre 10.000 y 1´000.000 g/g. mol , y que en alguna etapa de su manufactura ha sido o puede ser confirmado por la aplicación de calor a temperatura y de ambas.

- La polimerización es el proceso por el cual pequeñas moléculas se unen para crear moléculas más grandes.

- Conforme aumenta el tamaño de la molécula del polímero se incrementa su punto de fusión o de reblandecimiento y el polímero se hace más resistente y rígido.

Características Generales

Los polímeros son ligeros, resistentes a la corrosión y aislantes eléctricos, pero tienen baja resistencia a la tensión y no son adecuados para uso a temperaturas altas.

Usos

Artículos de hogar, juguetes, piezas estructurales y decorativas, recubrimientos, pinturas, adhesivos, neumáticos, empaques, tuberías y accesorios.

3.1. CLASIFICACIÓN

Se puede clasificar de varias maneras:

Mecanismo de polimerización
- Por adición, las moléculas se unen covalentemente formando cadenas.
- Por condensación (reacciones químicas).

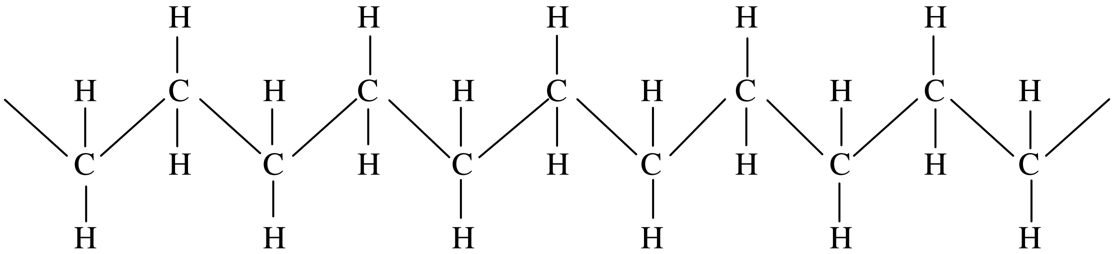
Estructura del polímero
- Polímeros lineales, forman cargas cadenas (miles de moléculas).
- Polímeros de red, estructuras reticulares tridimensionales.

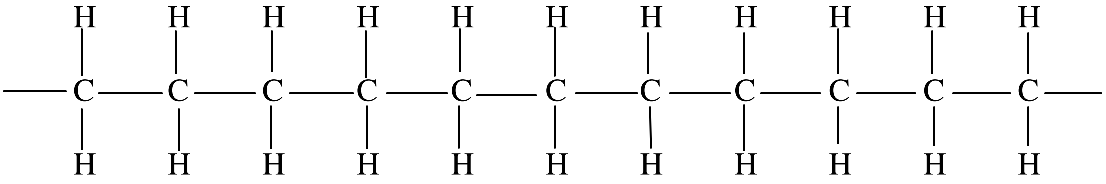
Comportamiento del polímero
- Polímeros termo plásticos (se plastifican a elevadas temperaturas).
- Polímeros termo estables (no pueden ser reprocesados)
- Elastómeros (cauchos, hules). Se deforman elásticamente en alto grado, sin cambiar permanentemente de forma.

Representación de la estructura de los polímeros

En la figura a continuación se muestra dos formas de representación de la estructura de un segmento del polietileno, este es un polímero termo-plástico por adición lineal simple.

En (a) se representa el modelo bidimensional de la cadena polimérica y el (b) el modelo bidimensional simple.

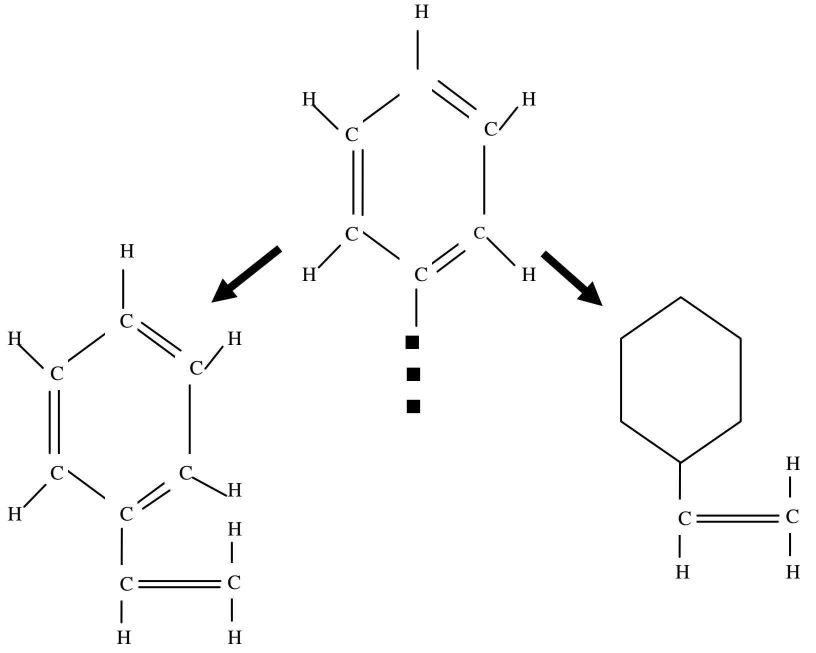




$$\begin{array}{ccccccccccccccccccccccc} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} \\ & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | \\ — & & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — & \mathrm{C} & — \\ & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | & & | \\ & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} \end{array}$$

También hay estructuras en anillo como el benceno que se encuentran en el estireno y en las moléculas fenólicas.

A continuación se muestra dos formas de representar el anillo de benceno, el cual se muestra unido a un par de átomos de carbono produciendo estireno.



Grado de polimerización

El grado de polimerización describe la longitud promedio a la cual crece una cadena. Si el polímero tiene un solo tipo de monómero, el grado polimerización es el número promedio de moléculas o meros que están presentes en la cadena.

Se puede definir también el grado de polimerización como:

$$\frac{\text{Peso molecular del polímero}}{\text{Peso molecular del mero}}$$

Cuando la cadena está compuesta por más de un tipo de mero, se puede definir el peso molecular promedio del mero como:

$$M = \Sigma f_i M_i$$

fi: es la fracción molecular de meros que tienen el peso molecular Mi

Comportamiento de los polímeros termo – plásticos

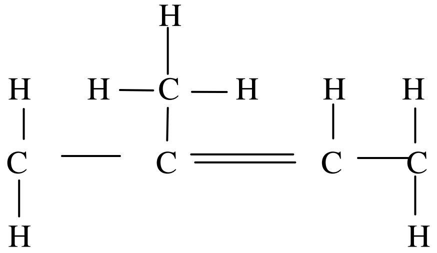
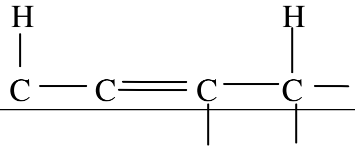
Al igual que los metales, los polímeros pueden deformarse elástica y plásticamente.

- La deformación elástica se debe a los mecanismos de estiramiento y distorsión de los enlaces dentro de la cadena.
- La deformación plástica ocurre cuando las cadenas en el polímero se deslizan una sobre otra, rompiendo los débiles enlaces de Van der Waals.

3.2. ELASTÓMEROS

Ciertos polímeros llamados elastómeros, muestran una gran deformación elástica cuando se les aplica una fuerza y la deformación puede desaparecer completamente cuando se elimina el esfuerzo. En la tabla 3.1 se indica las características y propiedades de algunos elastómeros.

Tabla 3.1 Unidades repetitivas y propiedades de algunos elastómeros

Polímero	Estructura	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación (%)	Densidad (g/cm^3)
Poliisopreno		3.000	800	0.93
Polibutadieno		3.500		0.94

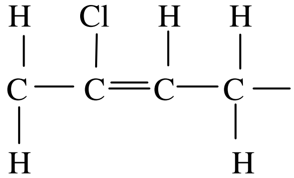
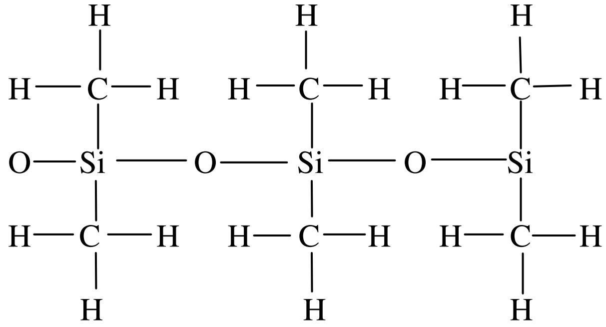
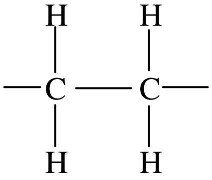
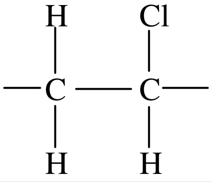
			
Policloropreno  $-CH_2-CCl=CH-CH_2-$	3.500	800	1.24
Silicon  $-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-$	350 – 1.000	100 – 700	1.5

Tabla 3.2 Meros y las propiedades de algunos termoplásticos producidos mediante polimerización

Polímero	Estructura	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación (%)	Modulo de elasticidad (ksi)	Densidad (g/cm^3)
Polietileno Baja densidad (BD) Alta densidad (AD)	 $-CH_2-CH_2-$	600 – 3.000 3.000 – 5.500	50 – 800 15 - 130	15 – 40 60 - 180	0.92 0.96
Cloruro de polivinilideno	 $-CH_2-CHCl-$	5.000 – 9.000	2 – 100	300 – 600	1.40
					

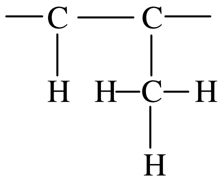
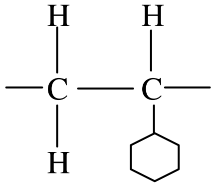
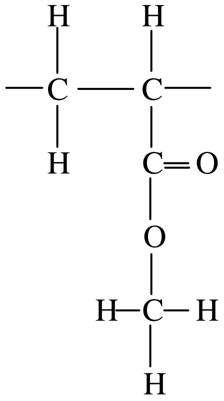
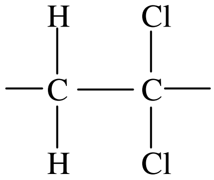
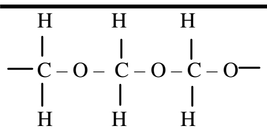
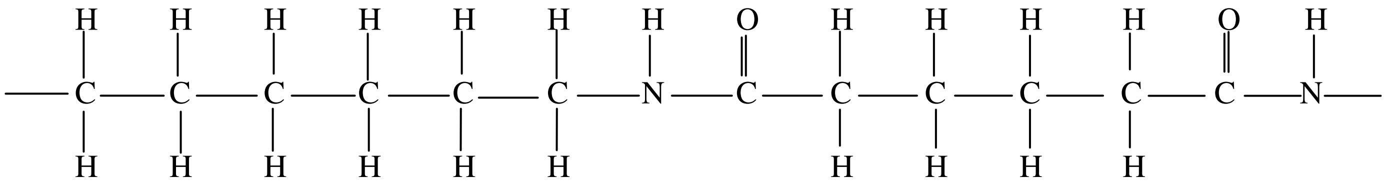
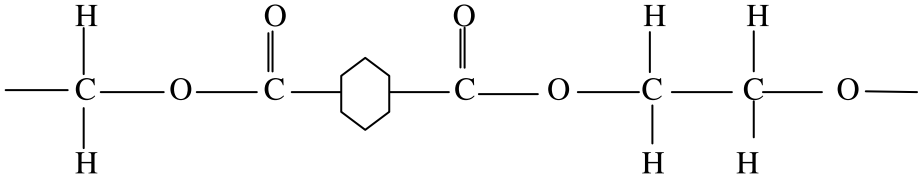
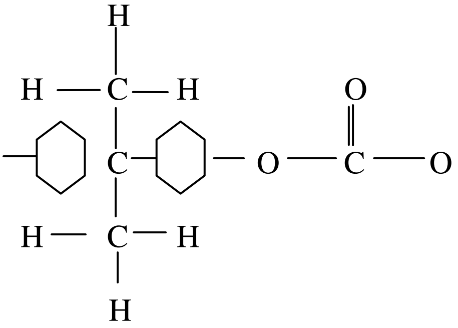
Polipropileno	 $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH(CH_3)}-$	4.000 – 6.000	10 – 700	160 – 220	0.90
Poliestireno		3.200 – 8.000	1 – 60	380 – 450	1.06
Polimetilmetacrilato (plexiglass acrilico)	 $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH(COOCH_3)}-$	6.000 – 12.000	2 – 5	350 – 450	1.22
Cloruro de polivinilo	 $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CCl_2}-$	3.500 – 5.000	160 – 240	50 – 80	1.15

Tabla 3.3 Unidades repetitivas y propiedades para termoplásticos típicos que tienen estructuras de cadena complicadas

Polímero	Estructura	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación (%)	Modulo de elasticidad (ksi)	Densidad (g/cm^3)
Polieter (acetal)	 $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{O}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{O}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{O}-$	9.500 – 12.000	25 – 75	520	1.42
Poliamida (nylon)		11.000 – 12.000	60 – 300	400 – 500	1.14

 $-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-NH-CO-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CO-NH-$				
Poliester (dracon)	8.000 – 10.500	50 – 300	400 – 600	1.36
				
Policarbonato	9.000 – 11.000	110 – 130	300 – 400	1.2
				

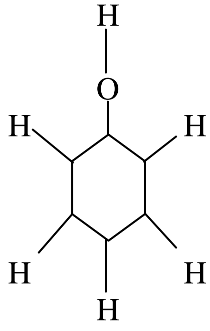
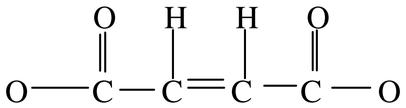
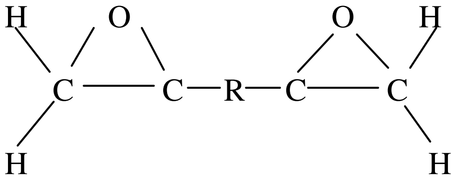
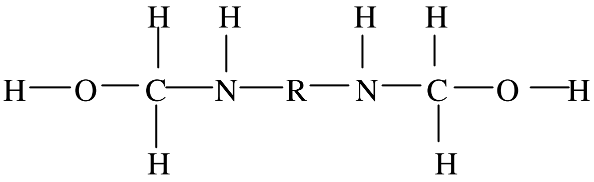
3.3. POLÍMEROS TERMO – ESTABLES

Normalmente se forman produciendo primero cadenas lineales y después ligándolas en forma cruzada para producir una estructura tridimensional.

A menudo los polímeros termo – estables se obtienen en forma de dos resinas líquidas que cuando se mezclan se inicia la reacción de entrelazamiento.

Los grupos funcionales de varios polímeros termo estables se resumen en la tabla 3.4

La mayoría de los polímeros termo estables tienen alta resistencia, baja ductilidad, alto módulo de elasticidad y baja resistencia al impacto.

Tabla 3.4 Grupos funcionales para varios polímeros termoestables					
Polímero	Estructura	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación (%)	Modulo de elasticidad (ksi)	Densidad (g/cm^3)
Fenólicos		5.000 – 9.000	0 – 2	400 – 1.300	1.27
Poliesteres		6.000 – 13.000	0 – 3	300 – 650	1.28
Epóxicos		4.000 – 15.000	0 – 6	400 – 500	1.25
Uretanos		5.000 – 10.000	3 – 6		1.30

3.4. ADITIVOS PARA POLÍMEROS

Los aditivos le imparten características especiales al polímero:

Pigmentos.- producen coloración en los plásticos y en las pinturas, deben ser compatibles, estables, resistentes a las temperaturas y presiones durante el procesamiento.

Estabilizantes.- Impiden el deterioro del polímero provocado por el medio ambiente.

Agentes anti - etáticos.- los polímeros generan electricidad estática (debido a que son aislantes) los agentes anti – estáticos atraen la humedad del aire a la superficie del polímero mejorando la conductividad superficial reduciendo la posibilidad de una descarga eléctrica o chispa.

Retardantes de la combustión o llama.- los polímeros al ser materiales orgánicos son inflamables. Los aditivos como cloruros, bromuros, fósforo o sales metálicas reducen la posibilidad de combustión.

Lubricantes.- la cera o estearato de calcio reduce la viscosidad del plástico fundido y le dan mayor conformabilidad.

Plastificantes.- son moléculas de baja densidad o peso molecular y le dan mayor conformabilidad al polímero.

Rellenos.- Los rellenadores se añaden con muchos fines: negro de humo al hule o caucho, fibras u hojuelas de materiales orgánicos, extensores para aumentar el volumen, carbonato de calcio, arcilla, sílice, etc.

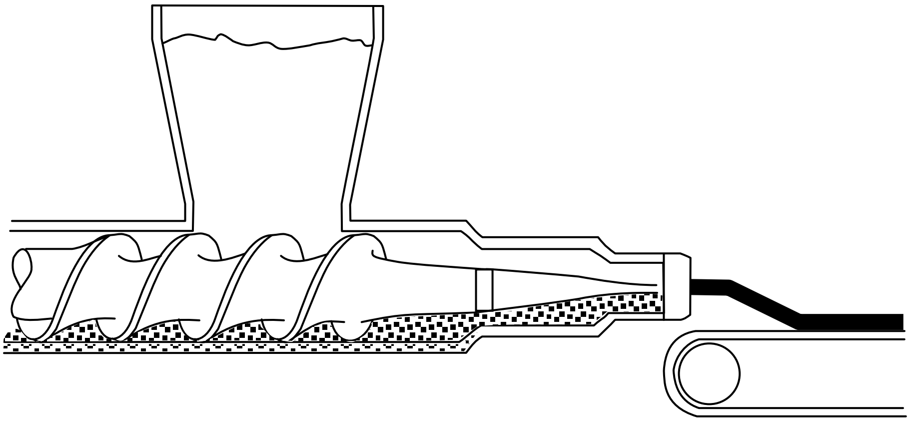
Refuerzos.- la resistencia y rigidez de los polímeros se mejora introduciendo filamentos de vidrio, polímero grafito y otro tipos de fibras.

3.5. CONFORMADO DE POLÍMEROS

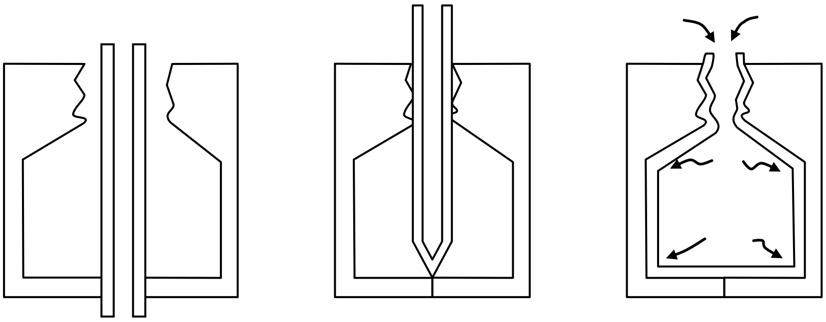
Se usan varias técnicas para el conformado de polímeros, estas dependen de la naturaleza del polímero, si es termo – plástico o termo – estable, estos se muestran en las siguientes figuras

Para conformar los polímeros termo – plásticos se usa una diversidad de técnicas como se muestra en la figura 12-24; mientras que los termo – estables usan pocas técnicas debido a que una vez que ha ocurrido la polimerización no se los puede conformar más.

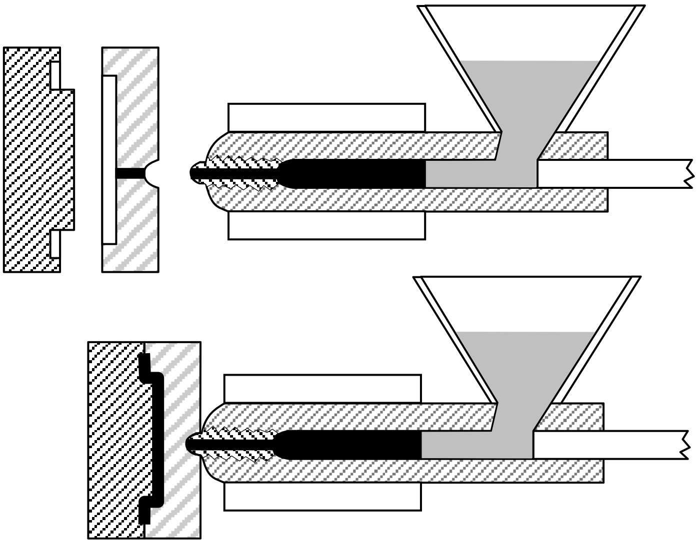
Extrusión.- el termo – plástico caliente es forzado a pasar a través de un dado abierto o boquilla para producir formas sólidas, películas, hojas o tubos. Se usa también para recubrir cables.



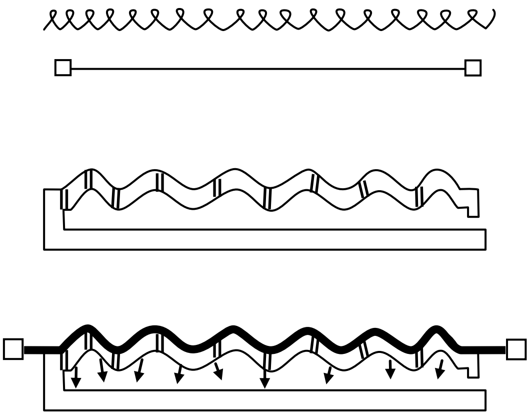
Moldes por soplado.- un globo caliente de polímero (preforma) es introducido en un molde y se lo expande contra las paredes soplando gas a presión. Se usa para hacer botellas plásticas y recipientes.



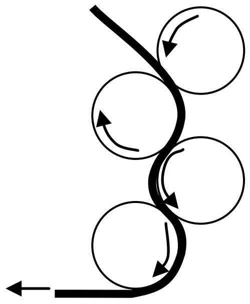
Inyección.- los termoplásticos que son calentados por encima de la temperatura de fusión pueden ser forzados dentro de un molde cerrado para producir una figura moldeada. Este proceso es similar al de moldeo en coquilla para los metales. Un embolo o mecanismo especial de sinfín aplica la presión para forzar al polímero dentro del molde.



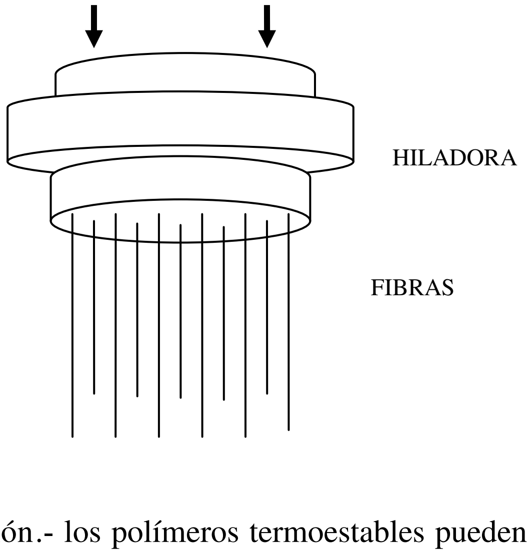
Conformado al vacío.- las láminas termoplasticas calentadas dentro de la región plástica se colocan sobre un molde o patrón conectado a un sistema de vacío. Las pequeñas rendijas en el molde o patrón, permiten que el vacío tire de la hoja caliente de plástico sobre el patrón. Una aplicación singular de esta técnica es el proceso para la fabricación de moldes en la industria del moldeo metálico.



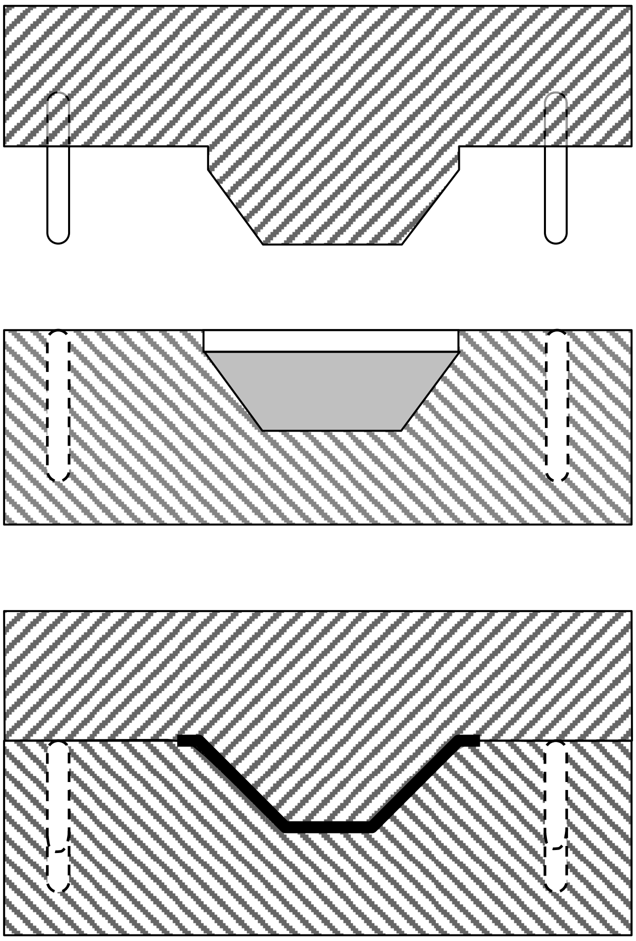
Calandrado.- en una calandra, se vierte plástico fundido entre un grupo de rodillos con una pequeña abertura. Los rodillos generan una delgada capa o película de polímero. Gran cantidad de laminados de cloruro de polivinilo se fabrica de este modo.



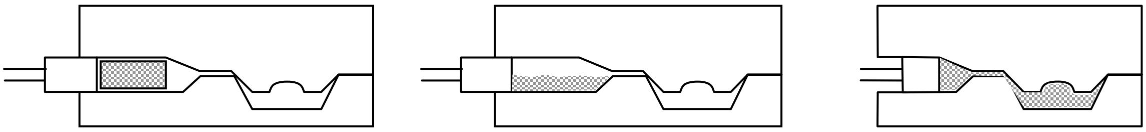
Hilado.- los filamentos y fibras pueden ser producidos a través del hilado, que en realidad es un proceso de extrusión. El polímero termoplástico es forzado a pasar a través de una boquilla o dado que contiene muchos pequeños agujeros. El dado, llamado hilador, puede girar y producir una fibra o cordón.



Moldeo por compresión.- los polímeros termoestables pueden conformarse colocando el material sólido en un molde caliente. La aplicación de temperaturas y presiones altas causa que el polímero se licue, llene el molde e inmediatamente empiece a endurecerse.



Moldeo por transferencia.- Aquí se usa un doble intercambiador para los polímeros termofijos. El polímero es alentado bajo presión en un intercambiador; después de fundido, el polímero es inyectado en molde adyacente. Este proceso combina elementos tanto del moldeo por presión como del moldeo por inyección y permite que algunas de las ventajas del moldeo por inyección sean usadas en los polímeros termofijos.



4. MATERIALES COMPUESTOS

Cuando dos materiales se unen para dar una combinación de propiedades que no pueden obtenerse en los materiales originales se llaman “Materiales Compuestos”. Las propiedades a obtenerse son especiales o poco usuales, se relacionan con la rigidez, resistencia, peso, resistencia a las temperaturas altas o bajas, resistencia a la corrosión, elevada dureza o conductividad.

Los compuestos pueden ser:

Metal – Metal

Metal – Cerámica

Metal – Polímero

Cerámica – Polímero

Cerámica – Cerámica

Polímero – Polímero

Los compuestos se clasifican en tres categorías:

a) Particulados

b) Reforzados con fibras

c) Laminares

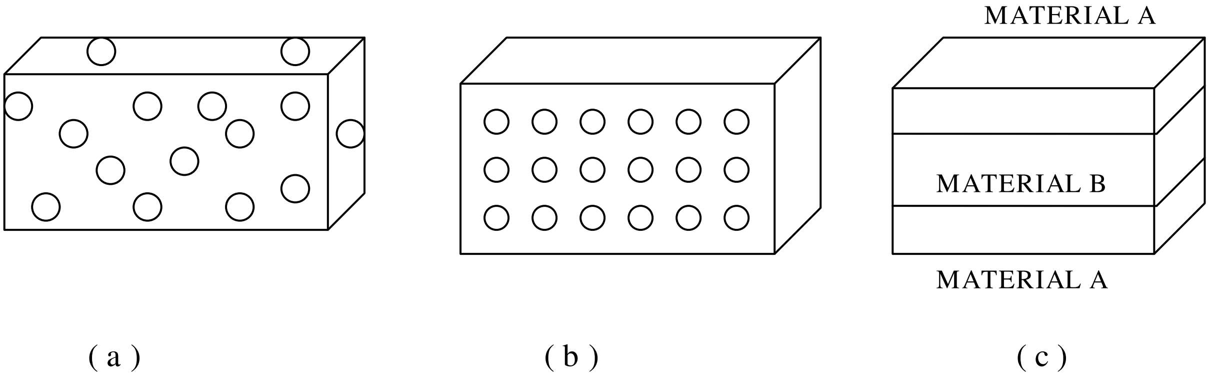


Fig. 4.1 Comparación de los tres tipos de materiales compuestos. (a) con partículas (b) reforzado con fibras (c) laminar

4.1. COMPUESTOS PARTICULADOS

Estos compuestos tienen grandes cantidades de partículas gruesas (que obstaculizan de manera efectiva el movimiento intermolecular) e incluyen muchas combinaciones de metales con cerámicas y polímeros y su objetivo es producir combinaciones poco frecuentes de propiedades.

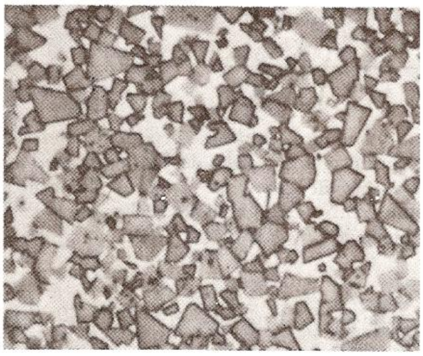
Algunos ejemplos de estos compuestos particulados son:

I. Los carburos cementados (partículas duras dispersas en una matriz metálica) como el carburo de tungsteno.

II. Los contactos eléctricos (plata reforzada con tungsteno), tienen una adecuada resistencia al desgaste y una buena conductividad eléctrica.

III. Los polímeros (negro de humo en una matriz de hule vulcanizado), el negro de humo mejora la resistencia, la rigidez, la dureza y la resistencia al desgaste.

Carburos cementados.- Estos son compuestos de partículas de cerámicas duras dispersas en una matriz metálica. Se las utiliza como cuchillas de corte de tornos. El carburo de tungsteno puede cortar aceros templados y revenidos. Como estas herramientas son muy frágiles, para mejorar su tenacidad debe tratárselas con cobalto, el cual sirve como pegamento para las partículas de carburo de tungsteno.



Microestructura del carburo de tungsteno —20% de cobalto-carburo cementado—. De *Metals Handbook*, Vol. 7, 8a. ed., American Society for Metals, 1972.

Contactos eléctricos.- Los interruptores y relays deben tener una buena resistencia al desgaste y conductividad eléctrica. El compuesto de la plata reforzada con tungsteno tiene esta combinación de dureza y conductividad. Utilizando el proceso de metalurgia de polvos que se indica en la figura, se fabrican contactos eléctricos resistentes al desgaste.

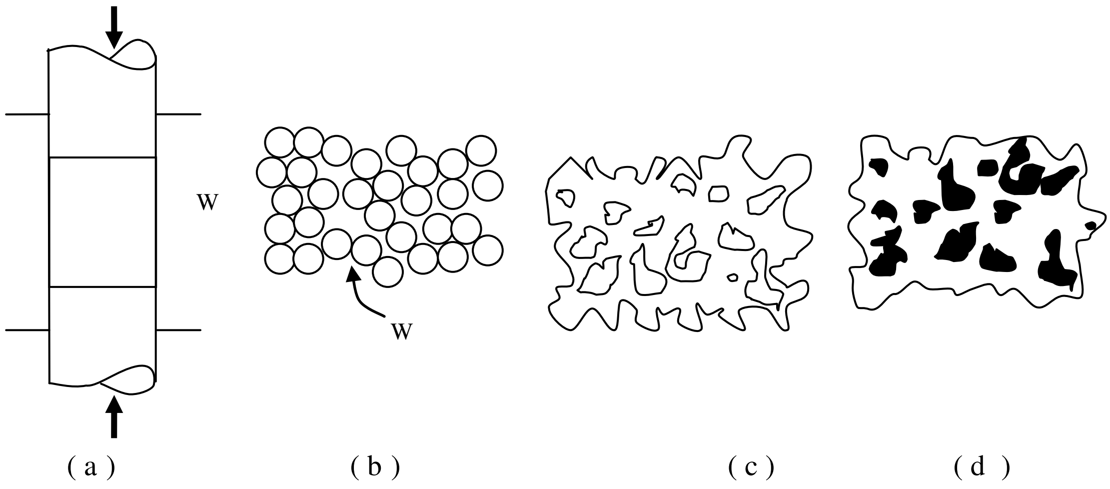


Fig. 4.2 Etapas de la producción de un compuesto eléctrico de plata-tungsteno. (a) se comprime el polvo de tungsteno, (b) se produce un compacto de baja densidad, (c) la sinterizacio une las partículas de tungsteno, y (d) la plata liquida se infiltra en los poros situados entre las partículas.

4.2 COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS.-

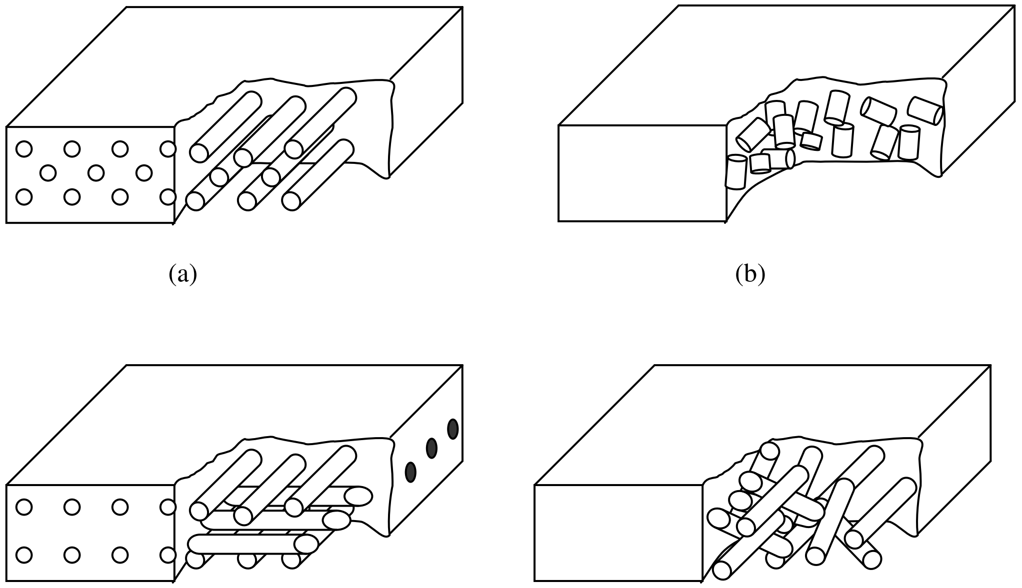
Estos compuestos mejoran la resistencia al esfuerzo mecánico, a la fatiga, la rigidez y la relación resistencia – peso, mediante la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil.

El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras dándole ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

En la figura se puede apreciar varias morfologías de compuestos reforzados con fibras.

Un ejemplo sencillo de este tipo de refuerzo es la paja que por siglos se ha utilizado para darle mayor resistencia a los adobes. En el hormigón se utiliza varillas de hierro para darle al concreto una mayor resistencia a la tracción.

Las fibras vítreas en una matriz polimérica se utilizan para obtener lo que conocemos como fibra de vidrio en la construcción de embarcaciones menores y otras aplicaciones de transporte y aerospaciales. Las fibras hechas de boro, grafito y polímeros proporcionan un esfuerzo excepcional.



(a) (b)

(c) (d)

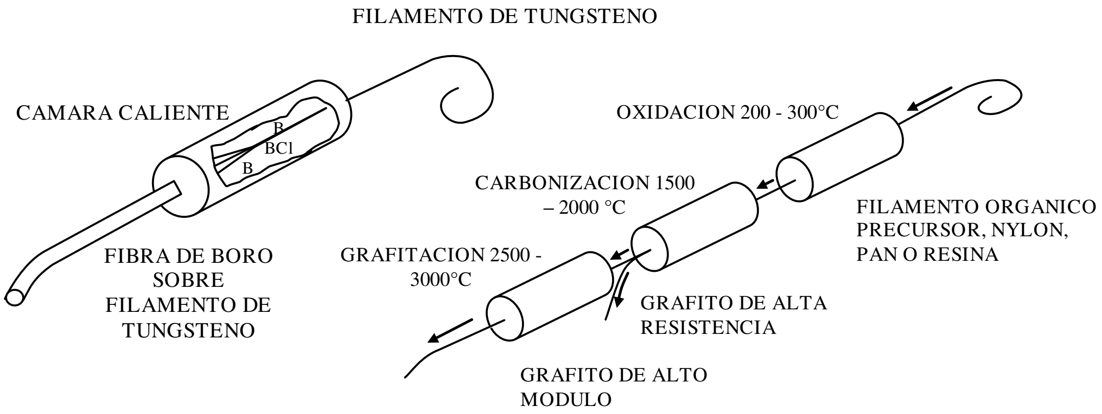
Fig. 4.3 Varias morfologías de compuestos reforzados con fibras. (a) fibras continuas unidireccionales, (b) fibras discontinuas orientadas al azar, (c) fibras ortogonales, (d) fibras en capas.

4.3 FABRICACIÓN DE FIBRAS PARA MATERIALES COMPUESTOS

Fibras.- Las fibras gruesas, son producidas por laminación. Las fibras más finas, como el alambre, se fabrican mediante trefilado. Materiales como tungsteno, berilio, acero inoxidable y nylon pueden ser trefilados en diámetros pequeños.

El boro y el grafito son demasiado frágiles y reactivos para elaborarse mediante procesos convencionales de trefilado. Un filamento de tungsteno muy fino de 0,0005 pulg es usado como substrato, pasando a través de una cámara caliente. Los compuestos de boro vaporizado, como el BCl, son introducidos en la cámara, se descomponen, y permiten que el boro se precipite sobre el alambre de tungsteno. La fibra final puede tener un diámetro de 0,001 plg. A 0,08 plg.

Las fibras de grafito de aproximadamente 0,0003 plg. De diámetro se hacen por carbonización o pirolización de un filamento orgánico, el cual es más fácilmente trefilado en forma delgada y continua.



(a) (b)

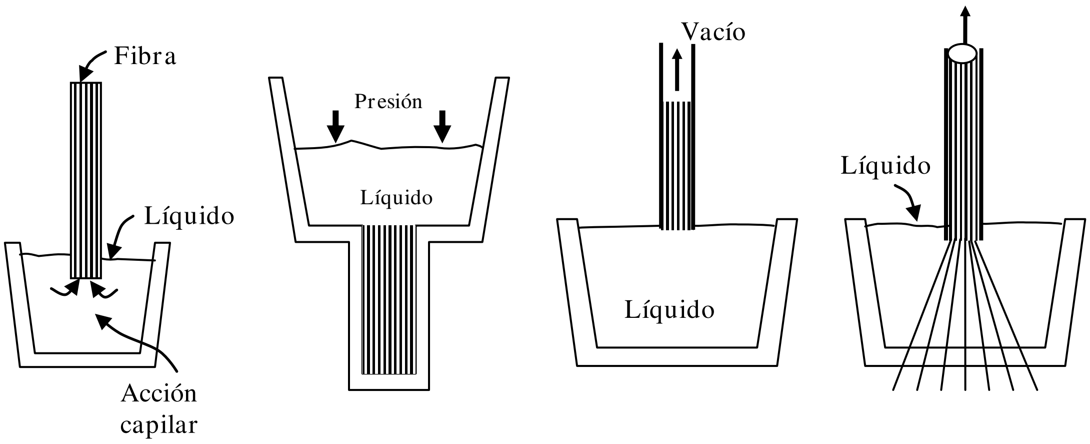
Fig. 4.4 Métodos para la producción de fibras de (a) boro y de (b) grafito

Los wiskers o bigotes son monocristales muy delgados y cortos y tienen resistencias muy altas.

Compuestos, reforzamientos con fibras

Para obtener óptimos resultados las fibras deben ser colocadas en la matriz con el espaciamiento y el alineamiento adecuados.

Hay varias técnicas de moldeo para rodear las fibras con la matriz. En la figura a continuación se muestran algunas de ellas.



(a) (b) (c) (d)

Fig. 4.5 Técnicas de moldeo para la producción de materias compuestas (a) por capilaridad, (b) por presión, (c) por infiltración al vacío, (d) por colada continua.

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Gran diversidad de factores deben ser considerados cuando se diseña un compuesto reforzado con fibras.

Discontinuidad de las fibras.- Cuando las fibras son discontinuas es más difícil predecir las propiedades del compuesto, la resistencia del compuesto es inferior a la predicha por la regla de las mezclas.

El error de cálculo se reduce cuando la longitud real **"l"** de las fibras es mayor que la longitud de la fibra crítica **"lc"** o cuando la relación l/α de la fibra excede un valor crítico; a esta relación de aspecto de 30 tiene una resistencia a la tracción de 16000psi mientras que con una relación de aspecto de 800 producen una resistencia de 35000psi.

Relación de aspectos.- Las fibras continuas, que proporcionan las mayores resistencias, son a menudo difíciles de producir y de introducir en el material de la matriz. En cambio, las fibras discontinuas con una alta relación de aspecto, son más fáciles de introducir en una matriz produciendo una alta rigidez y resistencia.

Fracción volumétrica de fibras.- Una mayor fracción volumétrica de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del compuesto. El límite superior, de aproximadamente 80%, está determinado por la posibilidad para rodear las fibras con el material de la matriz.

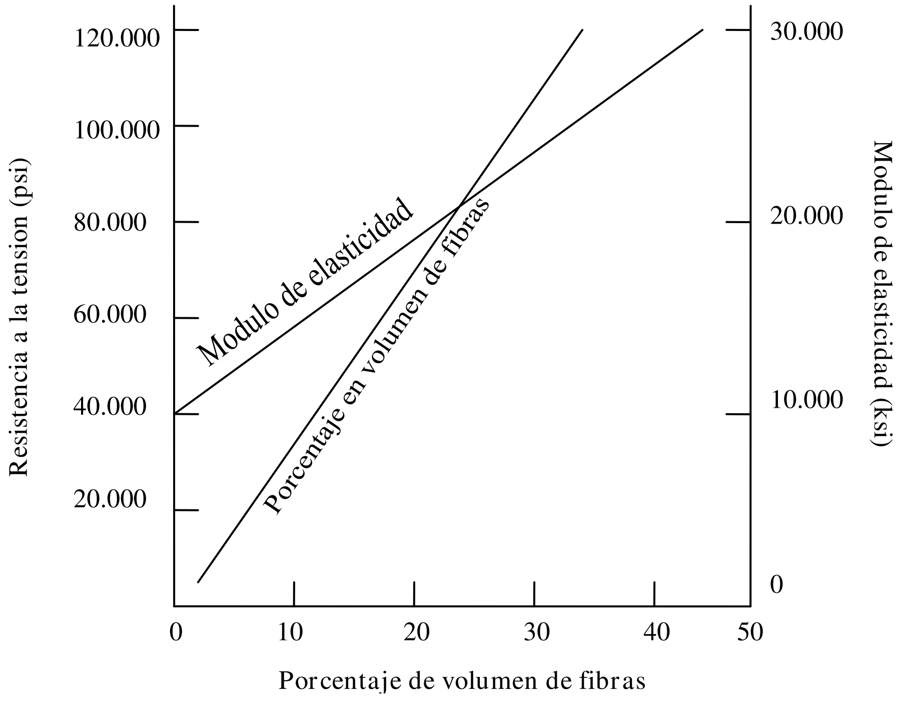


Fig. 4.6 Influencia del porcentaje en volumen de fibras bóricas (Borsic) en las propiedades del aluminio reforzado con Borsic paralelamente a las fibras

Orientación de las fibras.- Las fibras unidireccionales tienen rigidez y resistencia óptimas cuando la carga aplicada es paralela a las fibras (Figura 13-11). Sin embrago, las propiedades son muy anisotrópicas y estas dependen de la orientación de las fibras con respecto al esfuerzo aplicado. Podemos en su lugar, usar fibras colocadas de una manera ortogonal o en capas cruzadas; sacrificando la máxima resistencia se obtienen propiedades más uniformes en el compuesto.

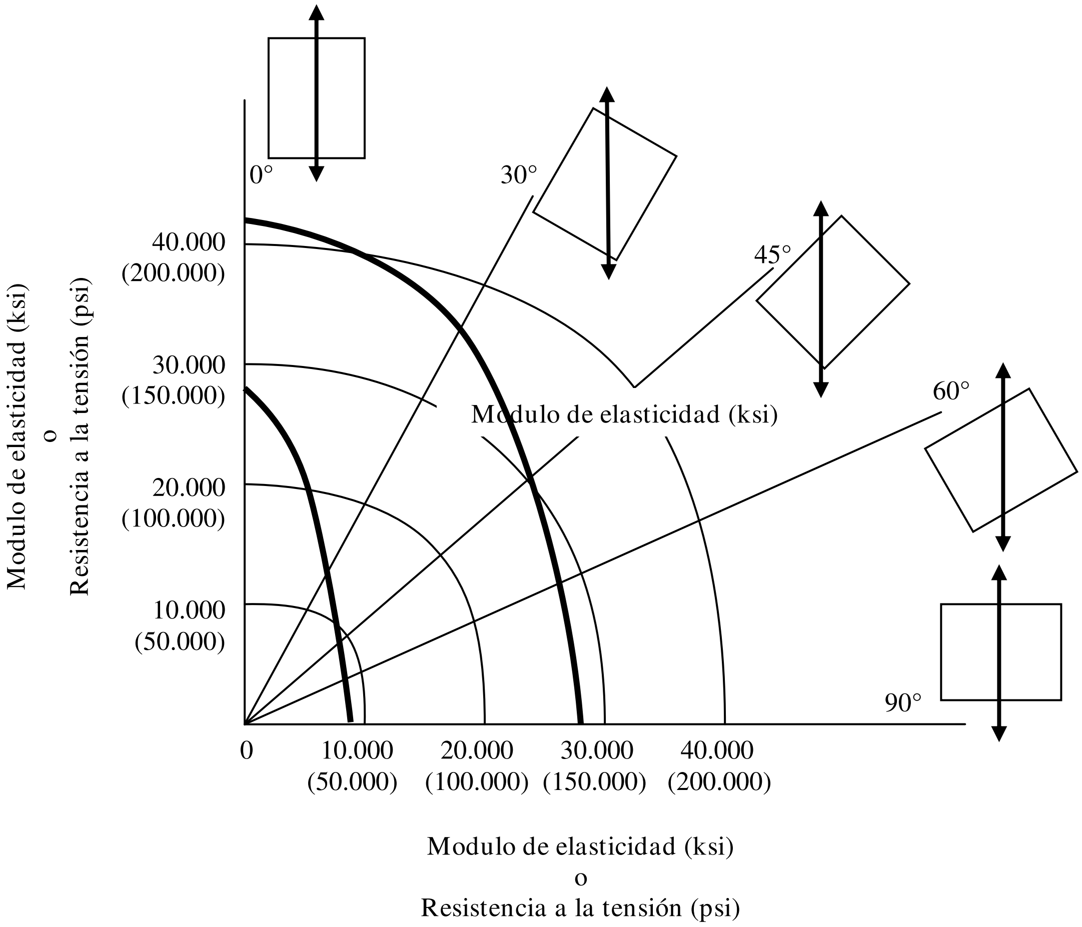


Fig. 4.7 Efecto de la orientación de las fibras con respecto al esfuerzo aplicado en un compuesto de fibras de boro en matriz de titanio

4.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

La resistencia mecánica a los esfuerzos que soportan un compuesto depende de la unión entre las fibras y la matriz (adherencia) y esta limitada por la deformación de esta ultima.

Otras propiedades como la ductibilidad, tenacidad, termofluencia y resistencia a la fatiga son más difíciles d predecir.

Mucho tiene que ver en la resistencia de un material compuesto la relación de aspecto. Las fibras continuas dan lugar a una resistencia mayor del compuesto; sin embargo, los compuestos con fibras discontinuas, pero con una elevada velación de aspecto, pueden dar también una alta rigidez y resistencia.

4.5.1 Regla de las mezclas

Esta regla predice la densidad de los compuestos reforzados con fibras

$$c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

f = fracción volumétrica del constituyente

ρ= densidad del constituyente

Los subíndices m y f se refieren a la matriz y ala fibra respectivamente.

Si las fibras son continuas y unidireccionales se puede predecir también la conductividad eléctrica y térmica del compuesto.

$$Kc = f_m k_m + f_f k_f$$

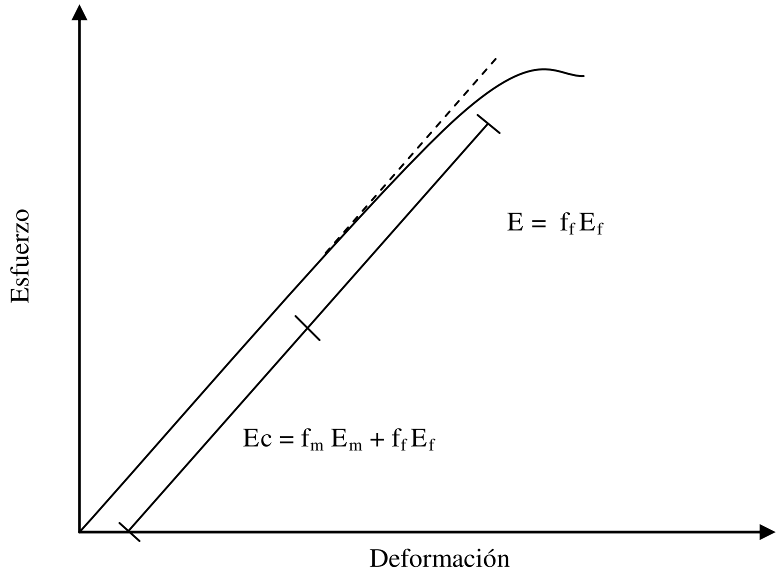
$$\Sigma c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f$$

K es la conductividad térmica y σ la conductividad eléctrica.

También se puede predecir el modulo de elasticidad del compuesto cuando se aplica una carga paralela a las fibras continuas unidireccionales.

$$Ec = f_m E_m + f_f E_f$$

Sin embargo, cuando el esfuerzo es muy grande la matriz empieza a deformarse como se indica en la figura.



Curva esfuerzo deformación para un compuesto reforzado con fibras. A bajos esfuerzos el E está dado por la regla de las mezclas. A esfuerzos mayores la matriz se deforma y la regla de las mezclas ya no se cumple.

Cuando la carga aplicada es perpendicular a las fibras, cada componente actúa independientemente del otro y su modulo se calculara como sigue:

$$\frac{1}{Ec} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f}$$