**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
   1. Hierro Fundido
      1. Producción
      2. Clasificación
      3. Cambios de su estructura interna con la temperatura
   2. Aceros
      1. Producción
      2. Aceros ácidos y básicos
      3. Impurezas presentes en el acero
      4. Diagramas de fase del Fc – C
      5. Tratamientos térmicos
      6. Nomenclatura e identificación de los aceros
      7. Aceros al carbono
      8. Aceros de aleación
      9. Aceros inoxidables
      10. Aceros resistentes al desgaste
      11. Aceros especiales para tratamiento térmico
      12. Aceros usados en la construcción de buques.
2. Metales ferrosos
   1. Aluminio
   2. Cobre
      1. Aleaciones de cobre para uso marino
      2. Latones
      3. Bronces
      4. Diagramas de fase del cobre
   3. Magnesio
   4. Zinc
   5. Níquel
   6. Plomo
   7. Cadmio
   8. Titanio
3. Polímeros
   1. Clasificación
   2. Elastómeros
   3. Termoestables
   4. Aditivos
   5. Conformado
4. materiales compuestos
   1. Compuestos particulados
   2. Compuestos reforzados con fibras
   3. Fabricación de fibras
   4. Características de los compuesto reforzados con fibras
   5. Determinación de las propiedades de los compuestos reforzados con fibras.
5. **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. **HIERRO FUNDIDO**
     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.

**Cucharón**

**chimenea**

**zona de derretimiento**

**zona de combustión**

**Crucible**

**Aire**

**Escoria**

**Caja de aire**

**Hierro**

# **Puerta**

**de carga**

**carbón (coke)**

**arrabio**

**carbón**

**arrabio**

**carbón y hierro**

**derretido**

**Fig. 1.1 HORNO CUPOLA**

* + 1. **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.

**HIERRO FUNDIDO**

HIERRO FUNDIDO ORDINARIO

H. F. PARA TRABAJO PESADO

HIERRO FUNDIDO DE ALEACION

RESISTENTE AL CALOR

RESISTENTE A LA CORROSION

RESISTENTE AL DESGASTE

NO MAGNETICO

HIERRO FUNDIDO ESFEROIDAL GRAFITADO

MEEHANITE

HIERRO FUNDIDO GRIS

HIERRO FUNDIDO BLANCO

HIERRO FUNDIDO MALEABLE

BLANCO

NEGRO

**Fig. 1.2 DIFERENTES TIPOS DE HIERRO FUNDIDO**

* + - 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. 1.4**

**Fig. 1.3**

**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. **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.

TIEMPO

**° C**

LIQUIDO

SOLIDO

HIERRO DELTA

CUERPO CENTRADO

(9 ATOMOS)

HIERRO GAMA

CARA CENTRADA (14 ATOMOS)

HIERRO ALFA (no magnético)

HIERRO ALFA (magnético)

1538°

1400°

910°

768°

TEMPERATURA

**Fig. 1.7 CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL HIERRO**

(9 ATOMOS)

**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

**Aire**

**CAJA DE AIRE DE SOPLADO**

**GOZNE**

**TUBO DE AIRE**

**METAL**

**RECUBRIMIENTO REFRACTARIO**

**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.

**BAÑO**

**GAS AIRE**

**CAMARAS DE PRECALENTAMIENTO**

**PUERTAS DE CARGA**

**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.

**Corriente de alta frecuencia**

**Descarga**

**TIPO INDUCCION DE ALTA FRECUENCIA**

**TIPO DETROIT ROCKER**

**TIPO HERAULT**

**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 Fe3 C, se controla el grado de endurecimiento por dispersión y las propiedades del acero.

**1600**

**1400**

**1200**

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**0 1 2 3 4 5**

**2912**

**2552**

**2192**

**1832**

**1472**

**1112**

**752**

**392**

**32**

**Temperatura**

**Contenido de Carbón**

**Líquido**

**Líquido + Austenita**

**Austerita + Cementita**

**Cementita**

**+**

**Perlita**

**+**

**Ferrita**

**Ferrita**

**+**

**Austenita**

4.3% C

**Cementita**

**+**

**Perlita**

**Ferrita**

**Perlita**

**δ + ɣ**

**δ + L**

**δ**

**°F**

**°C**

ɣ **Austenita**

**Fe3C**

1.7 % C

0.83 % C

ɣ

**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 (Fe3 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

-2 -4 -6 -8 -10 -12

1000

800

600

400

200

**Después de endurecido**

**Antes de endurecer**

**Porcentaje de carbón**

**Dureza V.P.N.**

**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:

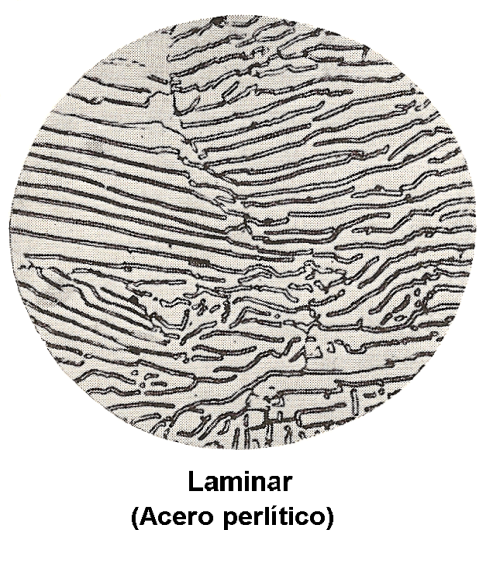
**Pajizo pálido** \_\_\_\_\_\_ 230°C **Pajizo oscuro** \_\_\_\_\_ 240°C

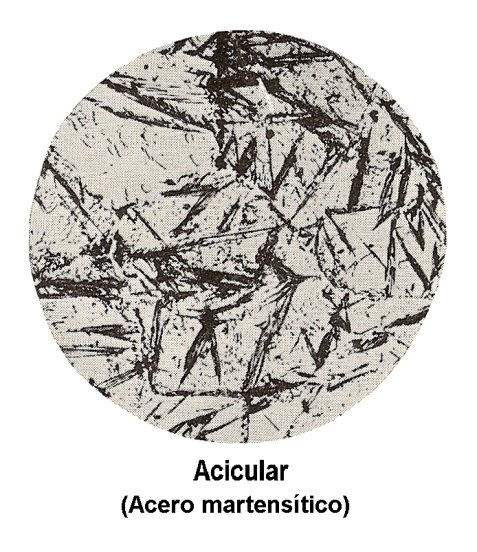
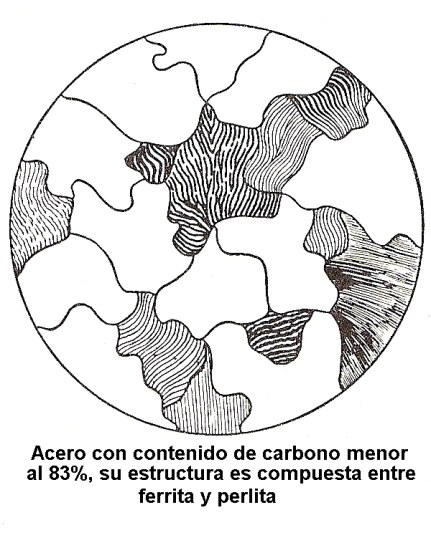
**Castaño** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 250°C **Castaño púrpura** \_\_\_ 260°C

**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.



**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.

**140**

**120**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**0**

**0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Resistencia a la tensión en p.s.i. x 1000**

**Resistencia al impacto**

**Dureza Brinell**

**Porcentaje de Carbón**

**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 Austeníticos

y Martensíticos

Aceros resistentes a la corrosión Ferríticos

Aceros resistentes al desgaste Alto contenido de manganeso

Cr, Si

Níquel – Cromo – Molibdeno

Cromo – Vanadio

Aceros de alta resistencia 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:

1. Pérdida de la resistencia
2. Proclives al deslizamiento plástico
3. 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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:

1. Como recubrimiento de planchaje, en espesores de 1,3 a 2,5 mm.
2. 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.

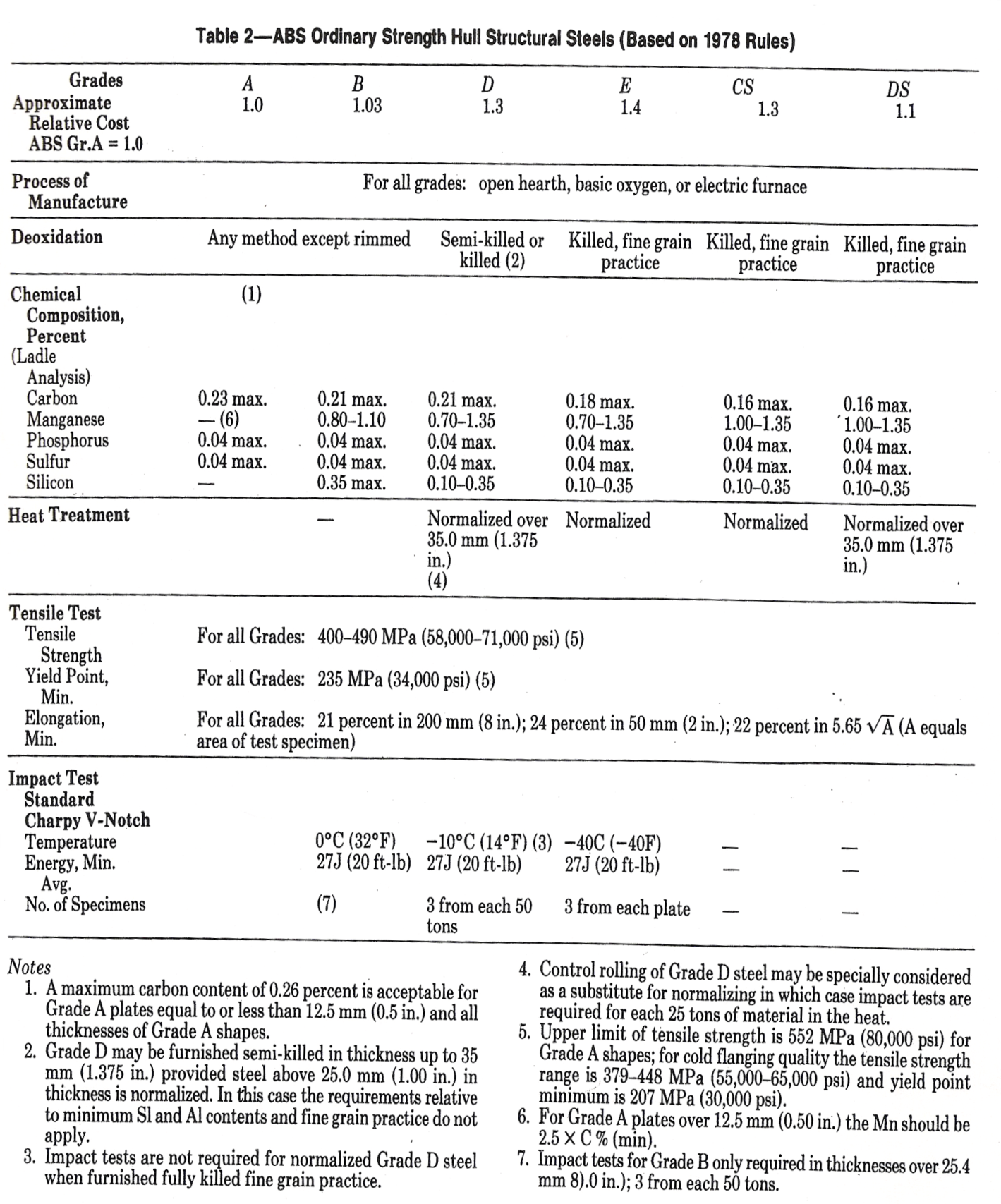
Ciertos grados de acero ASTM se han usado como sustitutos de aceros A.B.S. a continuación se indican algunas equivalencias:

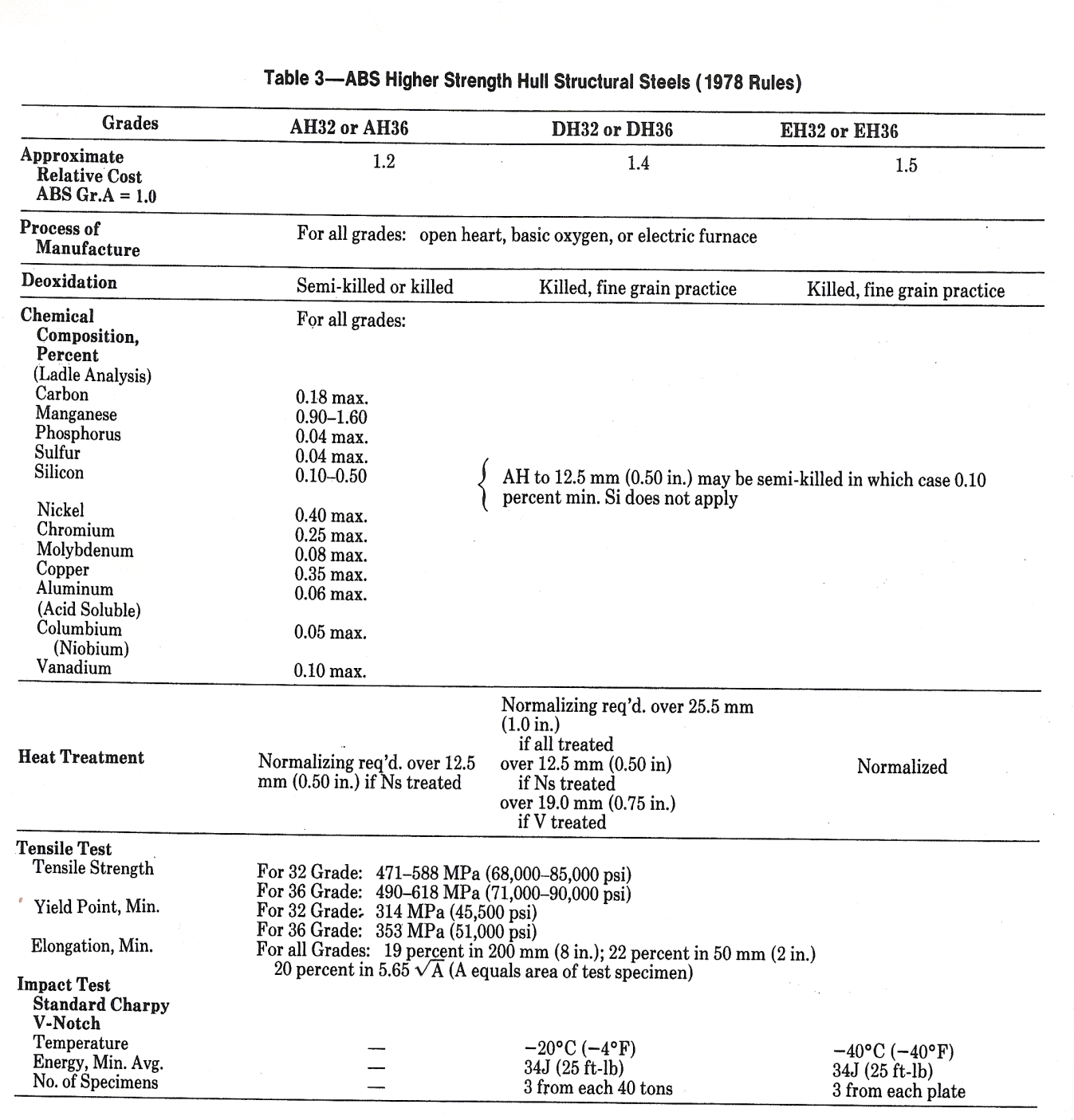
|  |  |
| --- | --- |
| **ASTM A 36** | Puede sustituir el grado A, en planchas con espesores menores a 1/2" y a todos los perfiles. El grado B puede usarse hasta espesores de 1". |
| **ASTM A 131** | Equivalente a los grados ABS (A = A,B = B,DH = DH). |
| **ASTM A 242** | Del tipo 2: Similar al AH32,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





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

**-80 -60 -40 -20 0 20 40**

**160**

**140**

**120**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**-120 -80 -40 0 40 80**

**240**

**210**

**180**

**150**

**120**

**90**

**60**

**30**

**Energia absorvida - Jules**

**Temperatura °F**

**FT LBS**

**Temperatura °C**

**Grado Cs**

**Grado E**

**Grado EH 36**

**Grado B**

**Fig. 1.15 VARIACION DE LA TENACIDAD DE VARIOS ACEROS NAVALES**

# **Metales NO FERROSOS**

# **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.

### 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 O2
3. Reducción a alúmina Al2 O3; y
4. Refinación del aluminio.

### 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/cm2 (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.

1. 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.

1. 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.

**MINERAL**

**TRITURADORA**

**Precipitado**

**Na AlO2 más impurezas**

**Aluminato de Sodio**

**FILTRADO**

**Na AlO2 Líquido**

**LODO ROJO (Impurezas)**

**Bauxita Al (OH)3 más impurezas**

**LAVADO**

**SINTERIZADO**

**Al (OH)3**

**Al2O3**

**Alumina**

**REFINADO**

**Al (99.5%)**

**Al (99.9%)**

**FUNDICION**

**SODA CAUSTICA**

**Na (OH)**

**Cristales (OH) Al**

**Fig. 2.1 PROCESO DE PRODUCCION DEL ALUMINIO**

#### 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.

H1 Indica que la aleación fue tratada al frío o endurecida por estiramiento.

H2 La aleación fue trabajada en frío y luego parcialmente recocida.

H3 Se usa solamente para aleaciones Al – Mg

El segundo dígito indica el grado de templado.

H12, H22, H32........ Un cuarto duro de temple

H14, H24, H34........ Medio duro de temple

H16, H26, H36........ Tres cuartos duro de temple

H18, H28, H38........ Templado

H19, H29, H39........ Templado extra duro

T1 Envejecido naturalmente a una condición estable.

T2 Recocido (fundiciones solamente)

T3 Solución tratada al calor y luego trabajada en frío y naturalmente envejecido.

T4 Solución tratada al calor luego envejecido naturalmente a una condición estable.

T5 Envejecido artificial solamente.

T6 Solución tratada al calor y envejecida artificialmente (mástiles de veleros)

T7 Solución tratada al calor y luego sobre envejecida (mejora la resistencia a la corrosión)

T8 Solución tratada al calor, luego trabajada en frío y envejecida artificialmente.

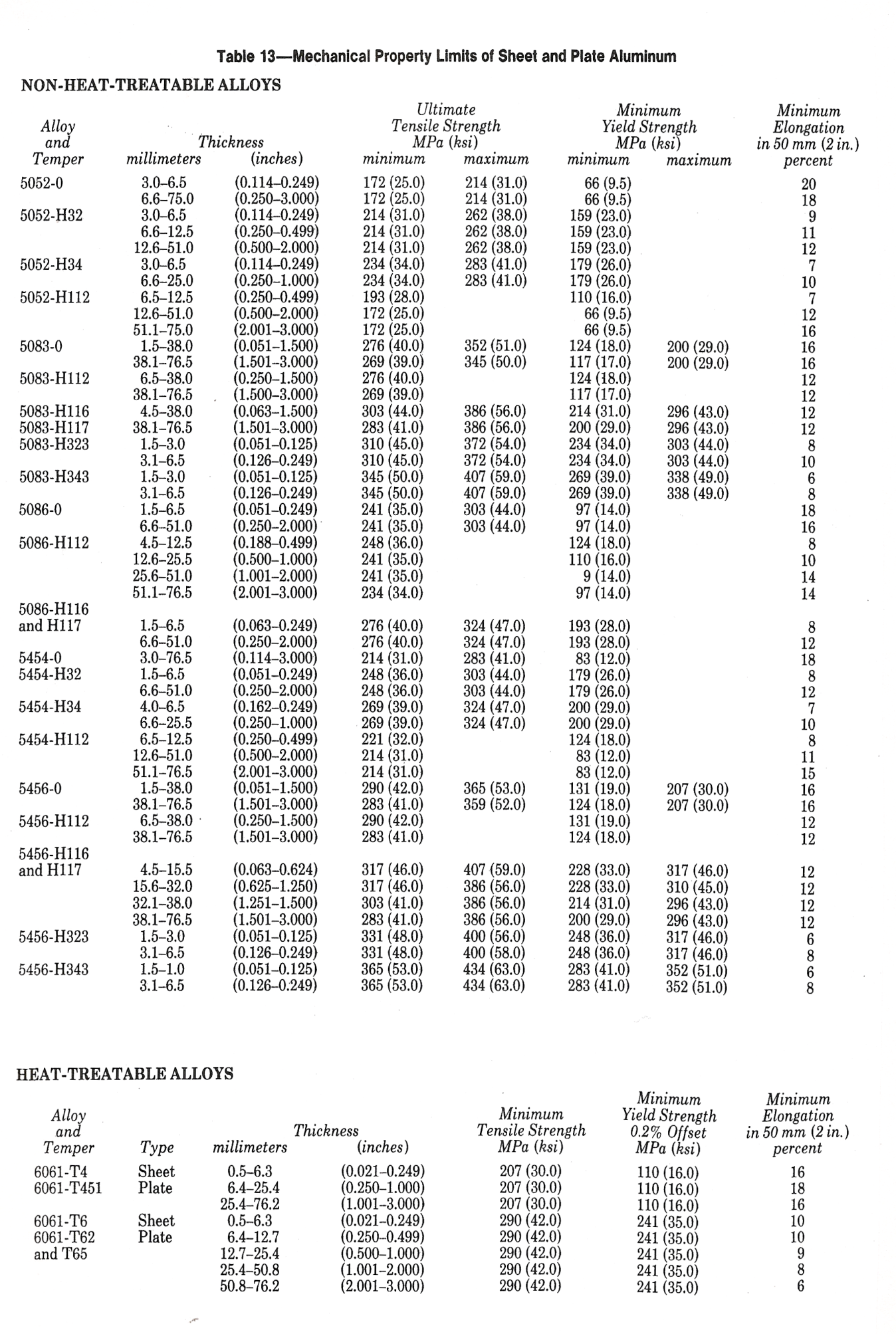
T9 Solución tratada al calor, envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.

T10 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 |
| 1100-H18 |  | 24.000 | 22.000 | 10 | metálicas finas (papel), |
| 3003-O | 1.2 % Mn | 16.000 | 6.000 | 35 | resistencia a la corrosión |
| 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, |
| 5056-H18 |  | 60.000 | 50.000 | 15 | recipientes, componentes marinos |
| **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, |
| 6061-T6 | 1% Mg – 0.6% Si | 45.000 | 40.000 | 15 | astronáutica y otras |
| 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  41.000  19.000  23.000  33.000 | 23.000  35.000  8.000  9.000  16.000 | 3.5  1  8  10  9 | Molde permanente  Coquilla  Arena  Molde permanente  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 |



#### Diagrama de fase de algunas aleaciones de Al

* + - 1. **Al – Si**

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

**1500**

**1000**

**α**

**500**

**0**

**α + L**

**L**

**β + L**

**577°**

**1.65 12.6**

**99.83**

**α+ β**

**Temperatura (°C)**

**Al 20 40 60 80 Si**

**Peso porcentual de 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.

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Al 10 20**

**α + β**

**659 °C**

**β + L**

**γ + L**

**710 °C**

**L**

**1.95**

**α 1.82**

**β**

**Aleación 3003**

**Temperatura (°C)**

**Peso porcentual de manganeso**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Al 10 20 30**

**α + β**

**14.9**

**α + L**

**451 °C**

**L**

**α**

**β**

**Aleación 5056**

**Temperatura (°C)**

**Peso porcentual de magnesio**

**35.0**

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

##### 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, Cu2 S
* Calcopirita, Cu Fe S2
* Cuprita, Cu2 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/cm2, y trabajado en frío su resistencia puede incrementarse a (60.000 psi) 4.227 Kg/cm2.

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 | Solución sólida |
| Cu – 30% Ni tal como se fabrica | M20 | 55,000 | 20,000 | 45 |
| 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) | | |

#### 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:

1. 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.

1. Se usa como metal base para otras aleaciones como el latón, bronce, cupro – níquel y plata – níquel.
2. 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.

* + 1. **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.

###### **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:

1. Bronces tratables al calor
2. 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 resistance; available in most forms |
| Phosphor bronze (% tin) | 20.000 to 75.000 | 49.000 to 81.000 |
| 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 |

* + 1. **Diagrama de fase**
       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.

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**Cu 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Zn**

**α**

**β**

**β´**

**γ**

**L**

**δ**

**θ**

**ε**

**Peso porcentual de zinc**

**Temperatura (°C)**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Cu 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Sn**

**α**

**β**

**η**

**γ**

**L**

**δ**

**θ**

**ε**

**Peso porcentual de estaño**

**Temperatura (°C)**

**ζ**

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

#### 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 γ2. 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.

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**6 8 10 12 14 16 18**

**9.4 11.2 363° C**

**α + γ2**

**9.4 11.8 15.6**

**565° C**

**α + β**

**β + γ2**

**γ1**

**β**

**γ2**

**16.0**

**α + γ**

**γ**

**γ + γ2**

**α**

**Peso porcentual de aluminio**

**Temperatura (°C)**

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

* 1. 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:

1. La dolomita (Ca CO3 Mg CO3)
2. La magnesita (Mg CO3)
3. El agua de mar
4. 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:

1. Gas
2. Arco eléctrico protegido con gas inerte (helio)
3. 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.

* 1. **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:

1. Combinado con azufre (blenda de zinc) Zn S (7% Zn)
2. 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:

1. En el aire se corroe a una velocidad bastante baja, comparado con el hierro y el acero.
2. 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.

* 1. **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)  Recocido  Trabajado en frío  Monel 400  (Ni–31.5% Cu) | 50.000  95.000  78.000 | 16.000  90.000  39.000 | 45  4  37 | Resistencia a la corrosión  Válvulas, bombas cambiadores de calor |
| Superaleaciones de Ni  Hastelloy B–2  (Ni–28% Mo)  MAR–M246  (Ni–10% Co–9% Cr–10% W+Ti, Al, Ta)  DS–Ni  (Ni–2% ThO2) | 130.000  140.000  71.000 | 60.000  125.000  48.000 | 61  5  14 | Resistencia a la corrosión  Motores de reacción  Turbinas de gas |
| Superaleaciones de Fe–Ni  Incoloy 800  (Ni–46% Fe–21% Cr) | 89.000 | 41.000 | 37 | Cambiadores de calor |
| Superaleaciones de Co  Haynes 25  (50% Co–20% Cr–15% W-10% Ni)  Estelita 6B  (60% Co–30% Cr–4.5% W) | 135.000  177.000 | 65.000  103.000 | 60  4 | Motores de reacción  Resistencia al desgaste por abrasión. |

**80.000**

**60.000**

**40.000**

**20.000**

**0**

**Cu 20 40 60 80 Ni**

**80**

**60**

**40**

**20**

**Peso porcentual de níquel**

**Resistencia (psi)**

**Elongación (%)**

**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**

* 1. **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 (Pb CO3). 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.)

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Pb 20 40 60 80 Sn**

**Peso porcentual de estaño**

**Temperatura (°C)**

**L**

**α+ β**

**α**

**19 183° 61.9 97.5**

**α + L**

**L + β**

**Sólidos**

**Líquidos**

**Sólidos**

**Líquidos**

**Fig. 2.10 Diagrama de fases en equilibrio plomo-estaño**

**Temperatura (°C)**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**0**

**Pb 20 40 60 80 Sn**

**Peso porcentual de estaño**

**8000**

**7000**

**6000**

**5000**

**4000**

**3000**

**2000**

**1000**

**0**

**Pb 20 40 60 80 Sn**

**Resistencia a la tensión (psi)**

**Peso porcentual del estaño**

**Se incrementa**

**el eutéctico**

**Endurecimiento por solución sólida**

**Endurecimiento por dispersión por β**

**Endurecimiento por dispersión por α**

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

* 1. **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.
   1. **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  Sn – Tin | Al – Aluminio  V – Vanadio | Mn – Manganeso  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  99.0% Ti | 35.000  80.000 | 25.000  70.000 | 24  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  6% Al-4% Zr-2% Sn-2% Mo | 140.000  146.000 | 120.000  144.000 | 14  3 |
| Aleaciones Ti alfa beta  8% Mn  6% Al-4% V | 140.000  150.000 | 125.000  140.000 | 15  8 |

**Temperatura (°C)**

**1200**

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**Ti 5 10 15**

**Peso porcentual de estaño**

**α**

**β**

**α + β**

**Peso porcentual de aluminio**

**1200**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**Ti 5 10 15**

**Temperatura (°C)**

**α**

**β**

**α + β**

**β + δ**

**δ**

**α + δ**

**(a) (b)**

**Temperatura (°C)**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**500**

**Ti 10 20 30**

**Peso porcentual del manganeso**

**α**

**β**

**α + β**

**β + θ**

**α + θ**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**Peso porcentual de molibdeno**

**Temperatura (°C)**

**Ti 10 20 30**

**α**

**β**

**α + β**

**(c) (d)**

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

1. **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.

* 1. **CLASIFICACIÓN**

Se puede clasificar de varias maneras:

Por adición, las moléculas se unen

Mecanismo de polimerización covalentemente formando cadenas.

Por condensación (reacciones químicas).

Polímeros lineales, forman cargas cadenas

(miles de moléculas).

Estructura del polímero

Polímeros de red, estructuras reticulares

tridimensionales.

Polímeros termo plásticos

(se plastifican a elevadas temperaturas).

Polímeros termo estables

Comportamiento del polímero (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.

H H H H H

H C H C H C H C H C H

C H C H C H C H C H C

H H H H H H

H H H H H H H H H H H

C C C C C C C C C C C

H H H H H H H H H H H

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.

C

C

C

C

C

H

H

H

H

H

C

C

C

C

C

C

H

H

H

H

H

H

H

H

C

C

H

H

H

C

C

**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:

**Peso molecular del polímero**

**-----------------------------------------**

**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 =** Σfi Mi

**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.
  1. **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/cm3) |
| Poliisopreno |  | 3.000 | 800 | 0.93 |
| H  H H C H H H  C C C C    H H | | | | |
| Polibutadieno |  | 3.500 |  | 0.94 |
| H H  C C C C    H H H H | | | | |
| Policloropreno |  | 3.500 | 800 | 1.24 |
| H Cl H H    C C C C    H H | | | | |
| Silicon |  | 350 – 1.000 | 100 – 700 | 1.5 |
| H H H    H C H H C H H C H  O Si O Si O Si    H C H H C H H C H  H H H | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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/cm3) |
| Polietileno  Baja densidad (BD)  Alta densidad (AD) | H H  C C  H H | 600 – 3.000  3.000 – 5.500 | 50 – 800  15 - 130 | 15 – 40  60 - 180 | 0.92  0.96 |
| Cloruro de polivinilideno | H Cl  C C  H H | 5.000 – 9.000 | 2 – 100 | 300 – 600 | 1.40 |
| Polipropileno | H H  C C  H H C H  H | 4.000 – 6.000 | 10 – 700 | 160 – 220 | 0.90 |
| Poliestireno | H H  C C  H | 3.200 – 8.000 | 1 – 60 | 380 – 450 | 1.06 |
| Polimetilmetacrilato (plexiglass acrilico) | H H  C C  H C O  O  H C H  H | 6.000 – 12.000 | 2 – 5 | 350 – 450 | 1.22 |
| Cloruro de polivinilo | H Cl  C C  H Cl | 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/cm3) |
| Polieter  (acetal) | H H H  C – O – C – O – C – O  H H H | 9.500 – 12.000 | 25 – 75 | 520 | 1.42 |
| Poliamida  (nylon) |  | 11.000 – 12.000 | 60 – 300 | 400 – 500 | 1.14 |
| H H H H H H H O H H H H O H  C C C C C C N C C C C C C N  H H H H H H H H H H | | | | | |
| Poliester (dracon) |  | 8.000 – 10.500 | 50 – 300 | 400 – 600 | 1.36 |
| H O O H H  C O C C O C C O  H H H | | | | | |
| Policarbonato |  | 9.000 – 11.000 | 110 – 130 | 300 – 400 | 1.2 |
| H  H C H O  C O C O    H C H    H | | | | | |

* 1. **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/cm3)** |
| Fenólicos | H  O  H H  H H  H | 5.000 – 9.000 | 0 – 2 | 400 – 1.300 | 1.27 |
| Poliesteres |  | 6.000 – 13.000 | 0 – 3 | 300 – 650 | 1.28 |
| O H H O  O C C C C O | | | | | |
| Epóxicos |  | 4.000 – 15.000 | 0 – 6 | 400 – 500 | 1.25 |
| H O O H  C C R C C  H H | | | | | |
| Uretanos |  | 5.000 – 10.000 | 3 – 6 |  | 1.30 |
| H H H H  H O C N R N C O H  H H | | | | | |

* 1. **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.

* 1. **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.

FIBRAS

HILADORA

**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:

1. Particulados
2. Reforzados con fibras
3. Laminares

**MATERIAL A**

**MATERIAL B**

**MATERIAL A**

**( a ) ( b ) ( c )**

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

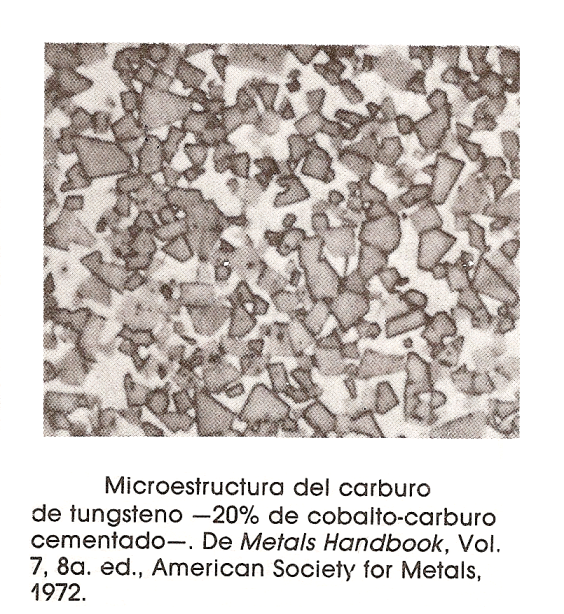
**4.1. COMPUESTOS PARTICULADOS**

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:

1. Los carburos cementados (partículas duras dispersas en una matriz metálica) como el carburo de tungsteno.
2. Los contactos eléctricos (plata reforzada con tungsteno), tienen una adecuada resistencia al desgaste y una buena conductividad eléctrica.
3. 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.



**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.

**W**

**W**

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

**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.

**B**

**BCl**

**B**

**FILAMENTO DE TUNGSTENO**

**CAMARA CALIENTE**

**FIBRA DE BORO SOBRE FILAMENTO DE TUNGSTENO**

**GRAFITO DE ALTO MODULO**

**OXIDACION 200 - 300°C**

**GRAFITO DE ALTA RESISTENCIA**

**CARBONIZACION 1500 – 2000 °C**

**GRAFITACION 2500 - 3000°C**

**FILAMENTO ORGANICO PRECURSOR, NYLON, PAN O RESINA**

**(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.

**Líquido**

**Fibras**

**Acción capilar**

**Líquido**

**Presión**

**Líquido**

**Vacío**

**Líquido**

**(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.

120.000

100.000

80.000

60.000

40.000

20.000

0 10 20 30 40 50

30.000

20.000

10.000

0

**Resistencia a la tension (psi)**

**Modulo de elasticidad (ksi)**

**Porcentaje de volumen de fibras**

**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.

**0°**

**30°**

**45°**

**60°**

**90°**

**40.000**

**(200.000)**

**30.000**

**(150.000)**

**20.000**

**(100.000)**

**10.000**

**(50.000)**

**0 10.000 20.000 30.000 40.000**

**(50.000) (100.000) (150.000) (200.000)**

**Modulo de elasticidad (ksi)**

**o**

**Resistencia a la tensión (psi)**

**Modulo de elasticidad (ksi)**

**o**

**Resistencia a la tensión (psi)**

**Modulo de elasticidad (ksi)**

**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 = fm ⍴m + ff ⍴f

f = fracción volumétrica del constituyente

⍴= 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 = fm km + ff kf

Σc = fm σm + ff σf

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 = fm Em + ff Ef

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

**E = ff Ef**

**Ec = fm Em + ff Ef**

Deformación

Esfuerzo

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:

1 = fm + ff

Ec Em Ef