

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA
"JOSE SIMEON CAÑAS", UCA**
Departamento de Mecánica Estructural, Apartado Postal (01)168, Autopista Sur, San Salvador, El Salvador, América Central

Materia: MATERIALES DE CONSTRUCCION

GUIA DE CLASES No. 7 MATERIALES DE CONSTRUCCION



El 8º edificio más alto es el Shun Hing Square en Shenzhen, China se alza a 384 metros sobre el suelo y tiene 69 pisos por encima del suelo. Se terminó en 1996 y es actualmente el edificio más alto construido con acero en China.

<http://www.astroseti.org/vernew.php?codigo=926>

5. Materiales metálicos.

5.1. Metalurgia.

La metalurgia es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos, hasta la producción de aleaciones: obtención del metal a partir del mineral en estado natural, separándolo de la ganga (material inútil); el afino, enriquecimiento o purificación; eliminación de las impurezas que quedan en el metal: elaboración de aleaciones; y otros tratamientos del metal para facilitar su uso.

5.1.1. Aleaciones y diagramas de fases.

<http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica1/aleacion.htm> (abril 2006)

Una aleación es una mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos. Las aleaciones están constituidas por elementos metálicos en estado elemental (estado de oxidación nulo), por ejemplo Fe, Al, Cu, Pb; pueden contener algunos elementos no metálicos por ejemplo P, C, Si, S, As; y para su fabricación en general se mezclan los elementos llevándolos a temperaturas tales que sus componentes fundan.

Las aleaciones generalmente se clasifican teniendo en cuenta cuál o cuales elementos se encuentran presentes en mayor proporción, denominándose a estos

elementos componentes base de la aleación. Los elementos que se encuentran en menor proporción serán componentes secundarios o componentes traza.

Las aleaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos: aleaciones ferrosas y aleaciones no ferrosas:

- **ALEACIONES FERROSAS:** la base de la aleación es el hierro (Fe) y los componentes secundarios pueden ser metales como: Mn, Ni, V, Cr, Co, o bien elementos no metálicos como: C, P, Si, S)
- **ALEACIONES NO FERROSAS;** pueden tener como base el cobre (Cu), que se emplean ampliamente en la industria debido a que presentan alta conductividad térmica y eléctrica. Los ejemplos más significativos son el latón, que es una aleación de cobre en la que el cinc es un constituyente importante; el bronce es una aleación de cobre que contiene estaño o algún otro elemento como fósforo o aluminio como constituyente esencial.

Otras aleaciones no ferrosas pueden tener como base de la aleación el Aluminio (Al), y se utilizan en la fabricación de frascos o contenedores. Dado que son aleaciones livianas pueden utilizarse también en construcción aeronáutica y en fabricación de barcos.

También hay aleaciones con base en el plomo (Pb), que son muy dúctiles y se deforman progresivamente. Las aleaciones de Pb y Sn se emplean para soldaduras. El plomo aleado con otros metales aumenta su dureza. Con Sn, Cd y Bi forman aleaciones fácilmente fusibles.

En la Guía de Clases No. 2, sección 2.5.2 se describió la técnica del Diagrama de fase (<http://gis.uca.edu.sv/cursos/materiales/apuntes/Tema%2006.pdf>), con la cual se pueden conocer los conjuntos de granos sólidos que poseen una misma estructura cristalina (fases). En una aleación es importante este conocimiento porque muchas propiedades pueden así ser previstas antes del posible uso del material teniendo en cuenta su constitución; siempre y cuando se encuentre en el estado de equilibrio estable, (el de menor energía libre).

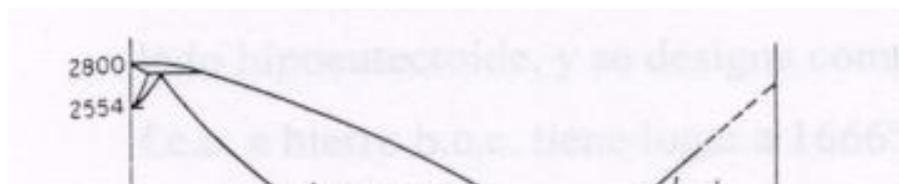
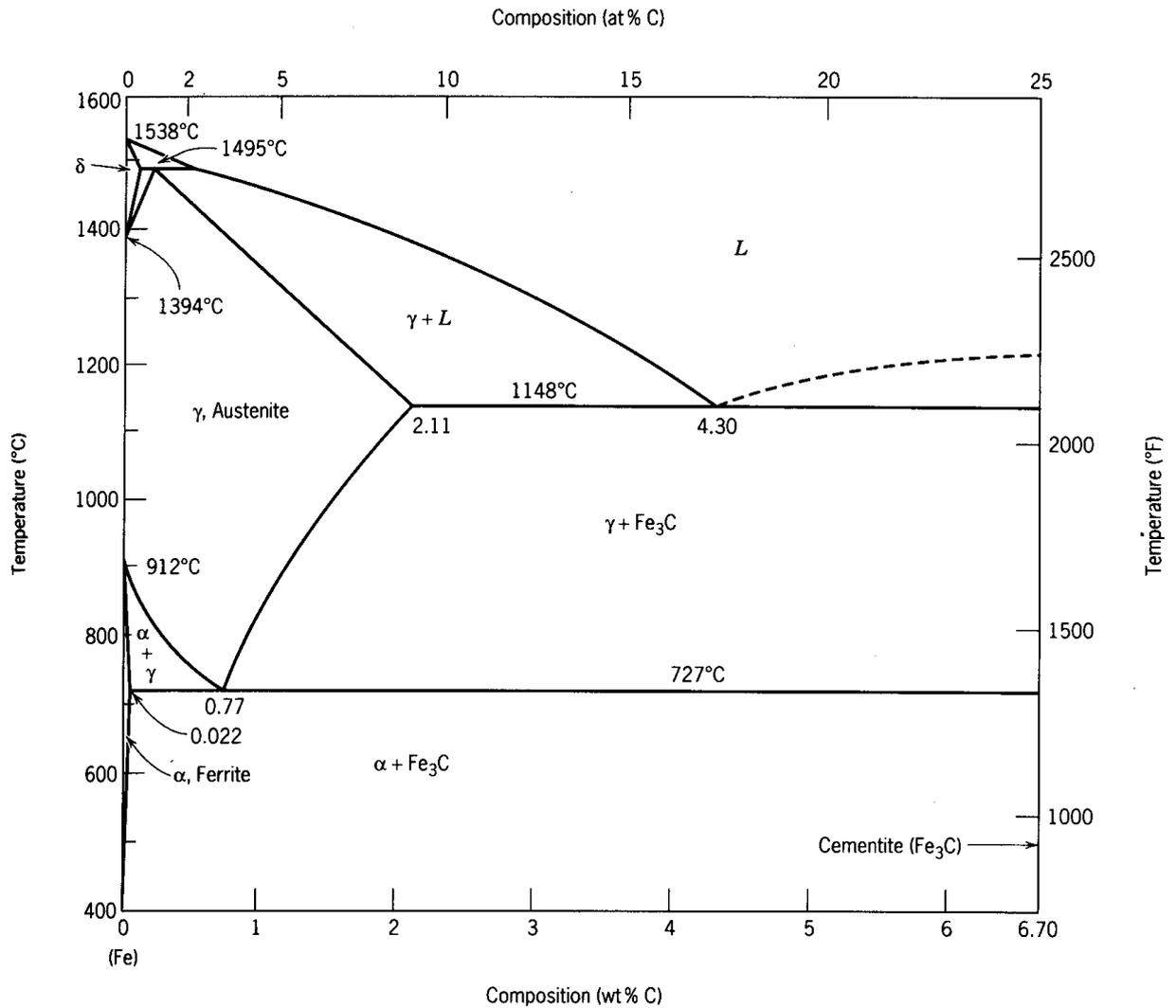
Muchas veces el sistema constituido por la aleación no se encuentra en el estado de equilibrio estable sino en otros, metaestables, que son dependientes de la historia a la que ha sido sometido el material durante un dado procesamiento. En estos casos, en la conformación de la microestructura, intervienen además fenómenos cinéticos relacionados con las velocidades de los cambios o transformaciones.

En los siguientes apartados se estudiará el caso particular de las aleaciones de acero

5.1.2. Microestructuras en aleaciones de acero.

<http://gis.uca.edu.sv/cursos/materiales/apuntes/Tema%2013.pdf> .

El acero se obtiene cuando se mezcla hierro con carbono. El acero aleado es un acero al que se le añaden elementos de aleación adicionales al carbono. Al acero que está formado simplemente por hierro y carbono se le suele llamar "acero al carbono". En la figura a continuación se muestra el diagrama de fases del acero al carbono.



A partir de la gráfica anterior se ve que el acero puede tener las siguientes fases de equilibrio:

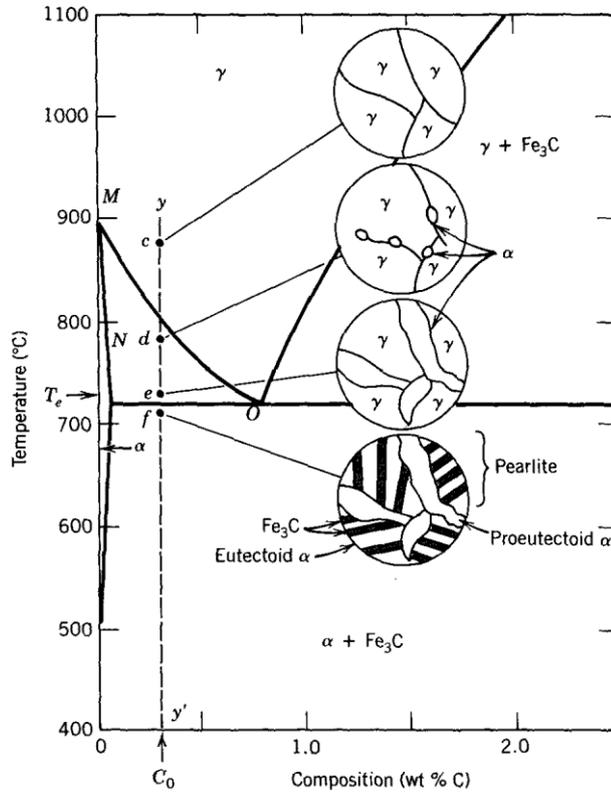
- **Ferrita (α).** Consiste en átomos de hierro con estructura cristalina BCC y átomos de carbono en los sitios intersticiales. La cantidad de átomos de carbono presentes en la ferrita es pequeña. La ferrita es una fase muy suave, dúctil y magnética.
- **Austenita (γ).** Consiste en átomos de hierro con estructura FCC y átomos de carbono en los sitios intersticiales. Presenta menor suavidad y ductilidad que la ferrita. Es una fase no magnética.
- **Cementita (Fe_3C).** También se llama Carburo de Hierro. Es un compuesto inter metálico. Es una fase muy dura y frágil.
- **Perlita.** Es una fase que resulta de la reacción eutectoide del acero. La reacción eutectoide permite que la austenita en estado sólido se transforme en ferrita y cementita, ambas también en estado sólido. Esta transformación es similar a la reacción eutéctica, por lo que la fase resultante tiene una apariencia similar al sólido eutéctico.

En función de las fases presentes, los aceros pueden clasificarse de la siguiente forma.

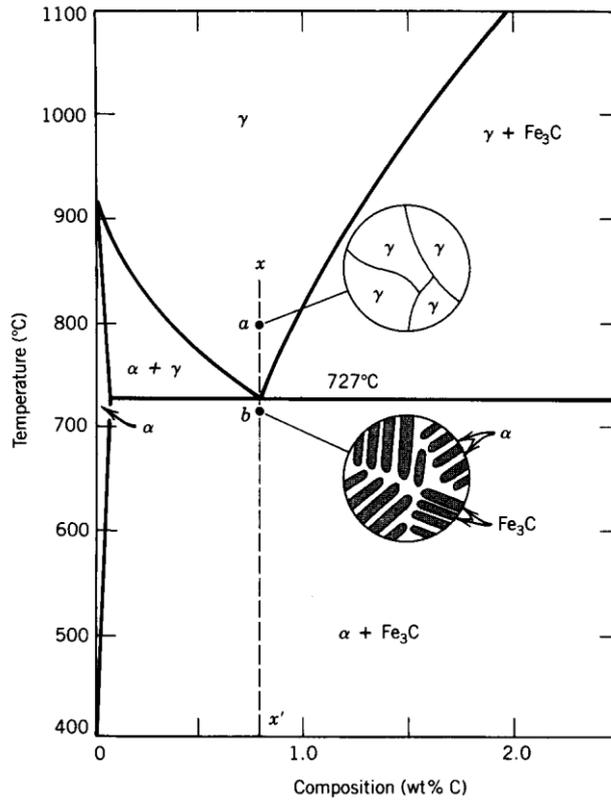
- **Aceros hipoeutectoides.** Son aquellos que poseen menos de 0.77% de carbono. La microestructura presente en estos aceros consiste de ferrita y perlita.

$$\% \text{ de ferrita} = \frac{0.77 - \%C}{0.77 - 0.022} \times 100$$

$$\% \text{ de perlita} = \frac{\%C - 0.022}{0.77 - 0.022} \times 100$$



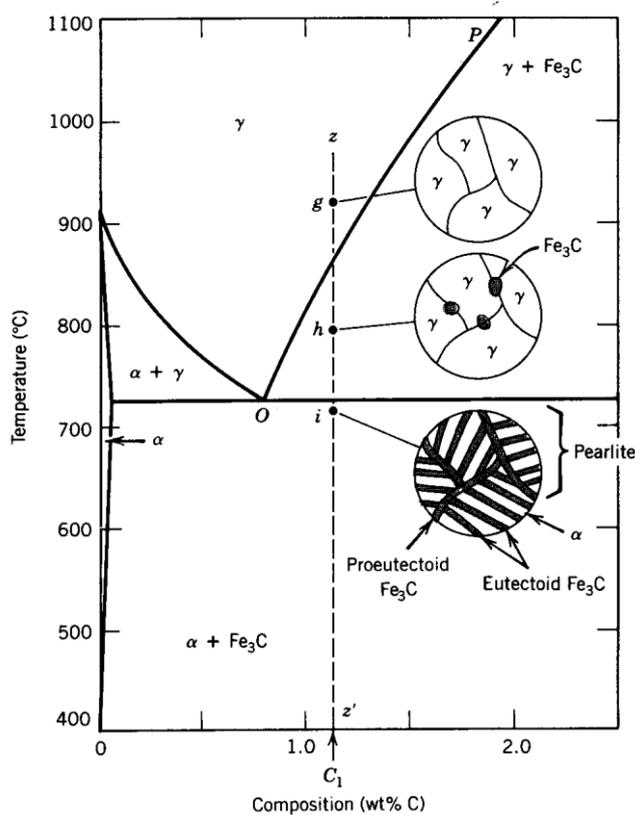
- **Aceros eutectoides.** Son aquellos que poseen exactamente 0.77% de carbono. Su microestructura está formada totalmente por perlita.



- **Aceros hipereutectoides.** Son aquellos que poseen más de 0.77% de carbono. Su microestructura consiste en cementita y perlita.

$$\% \text{ de cementita} = \frac{\%C - 0.77}{6.67 - 0.77} \times 100$$

$$\% \text{ de perlita} = \frac{6.67 - \%C}{6.67 - 0.77} \times 100$$



Los aceros al carbono también pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Aceros de bajo carbono.** Su porcentaje de carbono es menor a 0.25%. Su microestructura está formada en mayor proporción por ferrita (aunque también contiene perlita) por lo que son suaves, dúctiles, tenaces, de baja resistencia, fáciles de deformar plásticamente y soldables. Son los que se producen comercialmente en mayor cantidad por tener un bajo costo de producción. No responden a tratamientos térmicos que forman martensita (ver sección 5.1.3) Sus aplicaciones típicas son: componentes de automóviles, perfiles estructurales, láminas, tuberías.
- **Aceros de medio carbono.** El porcentaje de carbono oscila entre 0.25 y 0.6%. Su microestructura está formada por la mezcla de ferrita y perlita. Constituyen la mayoría de aceros al carbono disponibles comercialmente y sus propiedades mecánicas dependen de la cantidad de ferrita y perlita que posean. Pueden ser tratados térmicamente por austenizado, templado y revenido. (ver sección 5.1.3) Normalmente se utilizan en la condición revenida. Se utilizan en aplicaciones que requieren la combinación de elevada resistencia, resistencia al desgaste y tenacidad.
- **Aceros de alto carbono.** El porcentaje de carbono varía entre 0.6% y 1.4%. Tienen dureza y resistencia elevadas; ductilidad y tenacidad bajas.

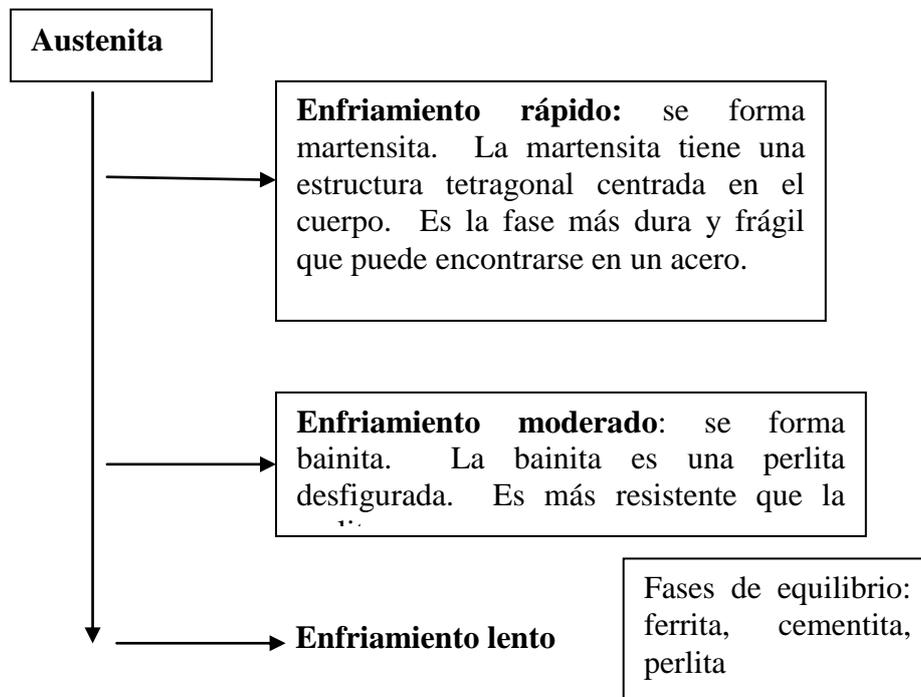
Son los aceros más duros, más resistentes y menos dúctiles de los aceros al carbono.

Casi siempre se utilizan revenidos, por ello tienen una resistencia al desgaste especial y son capaces de mantener un filo cortante.

Los aceros para herramienta (tool steels) caen dentro de la categoría de aceros de alto carbono. Contienen cromo, vanadio, tungsteno y molibdeno. Esos elementos de aleación se combinan con el carbono para formar carburos muy duros y resistentes al desgaste (Cr_23C_6 , V_4C_3 , WC). Se utilizan para fabricar herramientas de corte.

5.1.3. Transformaciones de fase. y tratamientos térmicos de aleaciones de acero.

Las fases en equilibrio solamente pueden darse cuando el material se enfría muy lentamente desde la fase de austenita. Cuando el enfriamiento de un acero no es lento (fuera de equilibrio) se forman fases en su microestructura que no están representadas en el diagrama hierro - carbono.



Las fases fuera de equilibrio no pueden estimarse de un diagrama hierro – carbono. Se requiere de un diagrama adicional que considere el tiempo de enfriamiento del material. Controlando la cantidad de carbono que posee el acero así como el tiempo en el que se enfría desde la fase de Austenita se pueden hacer variar las fases que estarán presentes en el material. Esta versatilidad del acero de poseer varias fases diferentes hace que las propiedades de este material puedan variar en un rango muy amplio.

Un tratamiento térmico es un proceso donde se calienta al metal y luego se controla la temperatura y el tiempo de enfriamiento con el propósito de obtener las fases que se deseen.

Existen muchos tratamientos térmicos. Los más comunes para el acero son:

- **Austenizado.** Consiste en crear austenita en la estructura del acero. La austenita se utiliza para ser transformada en otras fases en un tratamiento térmico posterior.
- **Recocido (Annealing).** Consiste en enfriar muy lentamente a un acero austenizado con el propósito de generar las fases de equilibrio en el material. Los aceros recocidos tienen la menor resistencia y dureza, y la mayor ductilidad posibles.
- **Normalizado (Normalizing).** El acero austenizado se somete a un enfriamiento moderado con el propósito de formar bainita o perlita muy fina.
- **Templado (Quenching).** El acero austenizado se enfría rápidamente con el propósito de generar martensita en su microestructura.
- **Revenido (Tempering).** La martensita es una fase demasiado frágil. Su presencia en un acero lo convierte en un material quebradizo. El revenido consiste en recalentar a un acero templado con el propósito de incrementar su ductilidad sin reducir significativamente su resistencia. Las propiedades finales del acero revenido dependen de la temperatura a la que se recalentó el metal, la cual se llama temperatura de revenido.

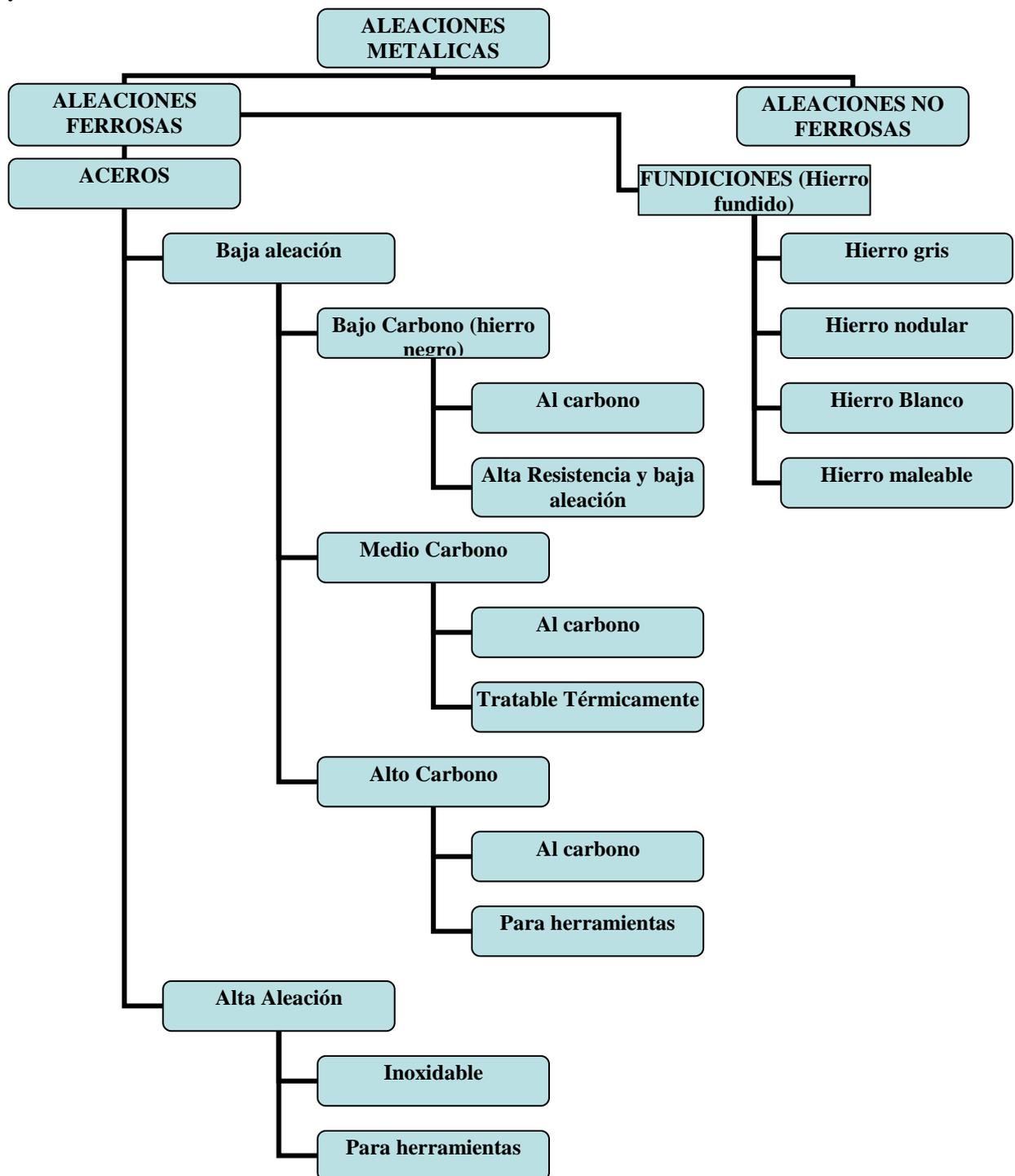
Existe una propiedad de los aceros que se llama capacidad de endurecimiento. Se considera que un acero es endurecible cuando es posible incrementar su dureza y su resistencia por medio de un templado. Un acero es más fácil de templar si es posible formar martensita con un enfriamiento no muy rápido, de modo que no se formen grietas ni distorsiones debido al cambio brusco de temperatura.

La forma como se enfría una pieza de acero durante un tratamiento térmico hace que la superficie del mismo se enfríe con mayor rapidez que el interior del material. Esta diferencia en las propiedades de la superficie se mide con el concepto de templabilidad.

La templabilidad es la facilidad con la cual se puede formar martensita en el acero. Los aceros de bajo carbono tienen baja templabilidad, es decir, forman martensita con mucha dificultad o simplemente no pueden formar martensita.

Los aceros de alto carbono o los aceros aleados tienen alta templabilidad, lo que significa que forman martensita con mucha facilidad.

5.1.4. Clasificación de los metales ferrosos.



Aceros al carbono de bajo, medio y alto contenido de carbono se discutieron en la sección 5.1.2.

Aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA).

- Contienen elementos de aleación como cobre, vanadio, níquel y molibdeno en concentraciones combinadas de 10% o menos.
- Poseen mayor resistencia que los aceros al carbono.
- Muchos de ellos pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Además son dúctiles, formables y maquinables.
- En condiciones normales, los aceros HSLA son más resistentes a la corrosión que los aceros al carbono.

Aceros de medio carbono tratables térmicamente.

- Al añadir cromo, níquel y molibdeno se mejora la capacidad de estas aleaciones de ser tratadas térmicamente. Estas aleaciones tienen mayor resistencia que los aceros de bajo carbono pero sacrificando ductilidad y tenacidad.
- Se utilizan en aplicaciones que requieren la combinación de elevada resistencia, resistencia al desgaste y tenacidad.

Aceros de alto carbono para herramientas:

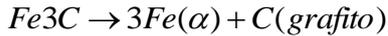
- Los aceros para herramienta (tool steels) caen dentro de la categoría de aceros de alto carbono. Contienen cromo, vanadio, tungsteno y molibdeno. Esos elementos de aleación se combinan con el carbono para formar carburos muy duros y resistentes al desgaste (Cr_{23}C_6 , V_4C_3 , WC). Se utilizan para fabricar herramientas de corte.

Aceros inoxidables.

- Poseen una resistencia elevada a la corrosión en una variedad de entornos, especialmente el medio ambiente.
- El elemento principal de aleación es el cromo (se requiere de al menos 11% de cromo en el acero). La resistencia a la corrosión puede mejorarse al añadir níquel y molibdeno.
- Se dividen en tres clases: martensítico, ferrítico y austenítico.
- Los aceros inoxidables austeníticos y ferríticos sólo pueden endurecerse por trabajo en frío.
- Los aceros inoxidables austeníticos son los que tienen mayor resistencia a la corrosión debido a su contenido elevado de cromo. Se producen en grandes cantidades.
- Los aceros inoxidables martensíticos y ferríticos son magnéticos. Los aceros austeníticos son no-magnéticos.

Hierros fundidos o fundiciones.

- Son aleaciones ferrosas con contenidos de carbono mayores al 2.1%. La mayoría de fundiciones tienen entre 3 y 4.5% C.
- Estas aleaciones pasan al estado líquido entre 1150° y 1300° C. Estas temperaturas son considerablemente más bajas que las de los aceros. Por esa razón se utilizan en procesos de fundición.
- La mayoría de estas aleaciones son muy frágiles, siendo la técnica de fundición la mejor forma de fabricar geometrías con ella.
- La cementita (Fe_3C) es un compuesto metaestable y bajo ciertas condiciones se descompone en ferrita y grafito.



- La formación del grafito depende de la composición química, la rapidez de enfriamiento y la presencia de silicio en concentraciones mayores al 1%.
- La mayoría de hierros fundidos posee grafito en su microestructura.
- Las fundiciones se clasifican en gris, nodular, blanca y maleable.

Hierro gris.

- Contiene entre 2.5 y 4% C y 1 a 3% de Si.
- El grafito existe en forma de hojuelas (similares a las del corn flakes) rodeadas por una matriz de ferrita o perlita. Debido a las hojuelas de grafito, la superficie de fractura de estos materiales toma un color grisáceo, y de ahí su nombre.
- Mecánicamente, el hierro gris es más débil y frágil en tensión que en compresión. Esto es a consecuencia de su microestructura ya que los extremos de la hojuela de grafito son afilados y puntiagudos, y sirven como puntos de concentración del esfuerzo cuando una fuerza externa en tensión es aplicada. La resistencia y ductilidad son mucho mayores bajo cargas en compresión.
- Estas aleaciones son muy efectivas disipando energía de vibraciones. Por esta razón, las estructuras de base de maquinaria y equipo pesado se fabrican con este material.
- El hierro gris posee una elevada resistencia al desgaste. Además, en estado líquido poseen una fluidez elevada lo cual permite fabricar piezas con geometrías complejas. Además, la pérdida de volumen por solidificación es bajo.
- El hierro gris es la aleación más barata de todas las aleaciones metálicas.

Hierro nodular o dúctil.

- Si al hierro gris se le añaden pequeñas cantidades de magnesio y/o cerio, se produce en el material una microestructura y propiedades mecánicas muy diferentes a las del hierro gris. El grafito siempre se forma, pero no como hojuelas sino como nódulos o partículas esféricas. La aleación que resulta se llama hierro nodular o dúctil.
- La fase que rodea a los nódulos puede ser perlita o ferrita, dependiendo del tratamiento térmico.
- Las piezas fundidas fabricadas con esta aleación son mucho más resistentes y dúctiles que las fabricadas con el hierro gris.

Hierro blanco y hierro maleable.

- Para hierros fundidos bajos en silicio (menos del 1%) y velocidades de enfriamiento elevadas, la mayoría del carbono en la aleación se forma como cementita en vez de grafito. La superficie de fractura de este material tiene un color blancuzco y de ahí su nombre fundición blanca.
- Debido a la gran cantidad de cementita que poseen, las fundiciones blancas son extremadamente duras pero también muy frágiles, al grado que prácticamente son imposibles de maquinar. Su uso se limita a aplicaciones que requieren una superficie muy dura y resistente al desgaste y sin un alto grado de ductilidad.

- El hierro blanco se utiliza como material intermedio para la fabricación del hierro maleable.
- Cuando se calienta el hierro blanco a temperaturas entre 800 y 900° C por un período de tiempo prolongado y en una atmósfera neutra (para evitar la oxidación), la cementita se descompone en grafito, el cual existe en la forma de clusters o rosetas rodeados por una matriz de ferrita o perlita.
- La forma del grafito en el hierro maleable produce una elevada resistencia y ductilidad apreciable.

5.2. Resistencia y propiedades del acero de construcción <http://dei.uca.edu.sv/mecanica/> (abril 2006)

El acero al carbono de baja y media cantidad de carbono se utiliza en construcción para la fabricación de:

- Varillas lisas y corrugadas para acero de refuerzo en el concreto.
- Mallas de varillas de acero de refuerzo para el concreto.
- Alambre de refuerzo corrugado.
- Malla electrosoldada de alambre liso o corrugado.
- Alambre de refuerzo para concreto presforzado
- Acero estructural (perfiles laminados)
- Tubería de hierro negro
- Tubería galvanizada
- Tubo industrial
- Tubo estructural
- Láminas lisas
- Pernos y tuercas
- Alambre de amarre
- Alambre galvanizado
- Electrodo para soldadura.
- Fibras de acero

El acero de alto contenido de carbono se usa para fabricar elementos de alta resistencia como: varillas, alambres y torones de alta resistencia para presfuerzo; Pernos, tuercas y Electrodo, para conexiones.

El acero aleado se usa para aplicaciones estructurales especiales en puentes, instalaciones industriales especializadas, equipos de acero inoxidable.

El peso específico de aproximadamente 7.8; es un buen conductor del calor y la electricidad; con una baja resistencia a la corrosión.

Tiene un módulo de elasticidad de aproximadamente 2.1×10^6 kg/cm², su resistencia a la tensión varía dependiendo del tipo de acero y está relacionada con su límite de fluencia.

Por ejemplo, el acero en barras (varillas) normado por la ASTM A 615 tiene tres categorías de "grados"

	GRADO	RESISTENCIA	RESISTENCIA
--	-------	-------------	-------------

		MINIMA DE FLUENCIA psi (MPa)	MINIMA ULTIMA psi (MPa)
A615	40	40000 (276)	70000 (483)
	60	60000 (414)	90000 (621)
	75	75000 (517)	100000 (689)

5.3. Acero para refuerzo.

<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/Facilitadores/PM%20Alfabetico2.htm> (abril 2006)

Se define como aquellas piezas de acero que sirven para incrementar las propiedades mecánicas del concreto simple para formar concreto armado o concreto reforzado. El uso general del acero de refuerzo es en combinación con el concreto para conformar el concreto armado o concreto reforzado, y su uso será en cualquier tipo de obra civil que en alguna etapa esté compuesta por cualquier elemento de concreto armado.

El acero de refuerzo se clasifica según la forma de presentación.

CLASIFICACION	DESCRIPCION
Acero de refuerzo en barras	Acero en forma de barras circulares y alambrones, cuya longitud es considerable mayor que su sección transversal.
Acero de refuerzo en mallas de varillas	Acero de refuerzo en barras, dispuestas de tal forma que forman una cuadrícula, se ocupa principalmente como refuerzo en losas de concreto.
Acero de refuerzo en mallas electrosoldadas	Acero de refuerzo en forma de alambrones dispuestos unos sobre otros formando una cuadrícula, y unidos entre sí por medio de soldadura eléctrica.
Acero de refuerzo en fibras	Filamentos delgados de acero de tamaños irregulares.

El acero de refuerzo en barras (varillas), es el tipo más común de acero de refuerzo y consiste en alambrones y varillas cilíndricas, que asociadas correctamente con el concreto simple, forman un sólido llamado concreto reforzado o armado, tienen diferentes formas de presentación.

Pueden clasificarse según la forma de presentación o según su origen.

CRITERIO DE CLASIFICACION	CLASIFICACION
FORMA DE PRESENTACION	<ul style="list-style-type: none"> · Barras lisas · Barras corrugadas
POR SU ORIGEN	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Acero de lingote</i>: Cuando se obtiene del mineral de hierro. Está reglamentado por la ASTM A615. · <i>Acero de riel</i>: Es el obtenido de la parte superior de rieles de tren. Se encuentra especificado por la ASTM A616. · <i>Acero de eje</i>: Obtenido de ejes de vagones de tren. Sus requisitos son especificados por la ASTM A617.

Se encuentran en el mercado en longitudes de 6, 9 0 12 metros y se designan por el diámetro en pulgadas o por un número:

No	Diámetro (Plg)	Area de acero (cm ²)	Peso (Kg/m)	Número de varillas de 6.0 m por quintal
2	¼	0.317	0.25	30.64
3	3/8	0.713	0.56	13.63
4	½	1.267	0.99	7.67
5	5/8	1.979	1.54	4.91
6	¾	2.850	2.22	3.41
7	7/8	3.879	3.03	2.50
8	1	5.067	3.95	1.92
9	1 1/8	6.413	5.00	1.51
10	1 ¼	7.917	6.18	1.23

El acero de refuerzo en mallas es un tipo de acero de refuerzo para el concreto, que consiste en dos capas de barras de acero de refuerzo (corrugadas o lisas) colocadas una sobre otra, generalmente se colocan formando una cuadrícula. Todos los puntos de intersección deben estar correctamente unidos, por medio de alambre de amarre o soldadura, esta última debe hacerse conforme a la sección 12.8, del ACI 318-95. El tamaño de las varillas y su espaciamiento obedecen a criterios del diseñador. Estas mallas pueden fabricarse con varillas de refuerzo corrugado y deben de cumplir con los requisitos de la especificación ASTM A184.

Las mallas electrosoldadas son alambrones de acero, colocados de manera longitudinal y transversal formando una cuadrícula de ángulos rectos entre ellos. La intersección de los alambrones debe unirse firmemente por medio de un proceso de soldado eléctrico-resistente, el cual se basa en un principio de fusión combinado con presión. Para asegurar el espaciamiento y la alineación precisa

de los alambres de la malla terminada, los alambrones deben ser armados con máquinas automáticas.

El acero de refuerzo en fibras consiste en filamentos delgados dispuestos o no en forma de haces, aumentan la capacidad del **concreto** y el **mortero** para absorber energía y no agrietarse. La designación ASTM A820 contiene los requisitos que las fibras de acero deben cumplir.

Se presentan en forma de:

- Fibras de acero redondas con diámetros entre 0.010 y 0.03 pulg.
- Fibras de acero planas con secciones transversal entre 0.006 y 0.016 pulg. de espesor y de 0.010 a 0.035 plg. de ancho.
- Paquetes de fibras de 10 a 30 fibras.

El estudio de las fibras como elemento de refuerzo data desde épocas antiguas. Una gran cantidad de patentes se han elaborado en diversos países desde las primeras décadas del presente siglo. La patente con más aceptación, es la presentada por G. Constantinesco (Inglaterra 1943 y Estados Unidos 1954), en la que propone parámetros para las fibras, muy similares a los existentes actualmente para fibras de acero para refuerzo de concreto.

El proceso de obtención más común de fibras de acero es el de extracción y fundido, en el cual se utiliza un disco rotatorio que toca la superficie del acero fundido, llevando el metal líquido y enfriándolo en forma rápida, quedando en su interior las fibras, las cuales son lanzadas por la fuerza centrífuga existente. Estas fibras, tienen una superficie irregular y sección transversal semicircular.

5.4. Acero estructural.

El acero estructural es usado para soportar las solicitaciones impuestas a la estructura de la cual forme parte. Los aceros que se ocupan de forma estructural son: los aceros no aleados, o comúnmente llamados "aceros al carbono", los aceros aleados de baja aleación y los aceros sometidos a tratamientos térmicos.

El carbono es el componente que tiene mayor influencia sobre las propiedades mecánicas del acero estructural, así por ejemplo, la dureza y la fragilidad aumentan con el porcentaje de carbono dentro de la aleación. Una cantidad menor de carbono hará al acero más suave y dúctil, pero también más débil. La adición de cromo, silicio y níquel dan como resultado aceros con resistencias mucho mayores, pero lamentablemente son difíciles de fabricar, por lo que resultan más caros.

Si se pinta periódicamente para protegerlo de la corrosión puede durar indefinidamente, o bien, puede someterse a un recubrimiento metálico con zinc fundido (galvanizado)

Los aceros usados estructuralmente se clasifican de acuerdo a la cantidad porcentual de elementos aleantes que contienen, y a los tratamientos térmicos al que son sometidos:

TIPO DE ACERO	DESCRIPCION	ESFUERZO DE FLUENCIA kg/cm2 (kips/pulg2)
ACEROS AL CARBONO	Aceros cuyos componentes principales son carbono y manganeso. La proporción máxima de carbono es 2.11%, de manganeso 1.65%, de sílice 0.60% y de cobre 0.60%.	2532 – 2953 (36 – 42)
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN. *	Aceros que aparte del carbono y manganeso, se les añade otros componentes, tales como el columbio, vanadio, cromo, sílice, níquel y otros. Estos tienen mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros al carbono.	2813 – 4570 (40 – 65)
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA, BAJA ALEACIÓN Y RESISTENTES A LA CORROSIÓN.	Aceros que se alean con pequeños porcentajes de cobre, para desarrollar resistencia a la corrosión atmosférica. Cuando son sometidos a la atmósfera, su superficie se oxida y se forma una película impermeable que queda adherida, llamada "patina", la cual impide una mayor oxidación y reducir la necesidad de pintarlos.	2953 – 3516 (42 – 50)
ACEROS TEMPLADOS Y REVENIDOS.	Aceros que poseen componentes aleantes en exceso en comparación a los anteriores, y que también son tratados térmicamente para darles mayor dureza e incrementarles el esfuerzo a la fluencia. Son los únicos que no tienen bien definido el punto de fluencia en el diagrama esfuerzo – deformación.	6328 – 7031 (90 – 100)

* El término arbitrario "baja aleación" se utiliza para hacer referencia a que la suma de los componentes de aleación no excede el 5 % de la composición total.

En las especificaciones de la ASTM, los aceros estructurales se clasifican según sus propiedades a la tensión, como el esfuerzo de fluencia, esfuerzo último y elongación. Las especificaciones ASTM cubren variables de producción, tales como: proceso de fabricación, composición química, tratamiento térmico, así como también rendimientos mínimos de resistencia a la tensión y dureza.

DESIGNACION POR ASTM	TIPO DE ACERO CORRESPONDIENTE A LA	SECCIONES	USOS RECOMENDADOS	ESFUERZO DE	RESISTENCIA A LA
----------------------	------------------------------------	-----------	-------------------	-------------	------------------

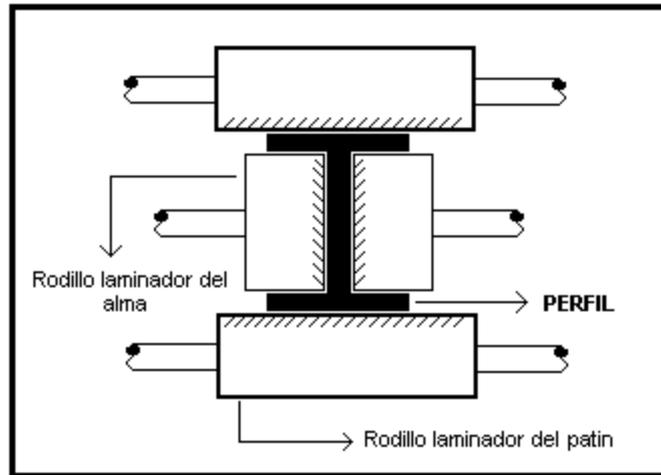
	CLASIFICACION GENERAL			FLUENCIA MINIMO	TENSION
				kg/cm ² (kips/pulg ²)	kg/cm ² (kips/pulg ²)
A36	Acero al carbono.	Perfiles, barras y placas.	Puentes, edificios y estructuras atornilladas, soldadas o remachadas.	2532 (36)*	4078 – 5625 (58 – 80)
A529	Acero al carbono.	Perfiles, placas hasta 1/2 pulg.	Puentes, edificios y estructuras atornilladas, soldadas o remachadas.	2953 (42)	4219 – 5977 (60 – 85)
A441	Acero de alta resistencia y baja aleación.	Perfiles, placas y barras hasta 8 pulg.	Puentes, edificios y estructuras atornilladas, soldadas o remachadas.	2813 – 3516 (40 – 50)	4219 – 4922 (60 – 70)
A572	Acero de alta resistencia y baja aleación.	Perfiles, placas y barras hasta 6 pulg.	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas. No usar en puentes soldados.	2953 – 4569 (42 – 65)	4219 – 5625 (60 – 80)
A242	Acero de alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica.	Perfiles, placas y barras hasta 4 pulg.	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas.	2953 – 3516 (42 – 50)	4430 – 4922 (63 – 70)
A588	Acero de alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica.	Placas y barras	Construcciones atornilladas y remachadas.	2953 – 3516 (42 – 50)	4430 – 4922 (63 – 70)
A514	Aceros templados y revenidos.	Placas hasta 4 pulg	Estructuras soldadas. No usar si la ductilidad es importante en el diseño.	6328 – 7031 (90 – 100)	7031 – 9140 (100 – 130)

Las secciones más usadas son:

PERFILES LAMINADOS;

El término “laminado” se refiere al proceso de transformación de lingotes de acero obtenidos en la etapa de fundición, que pasan entre dos rodillos que giran a la misma velocidad pero en direcciones opuestas, resultando un producto casi terminado de forma

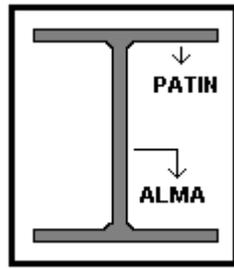
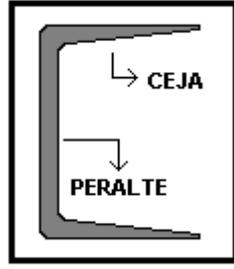
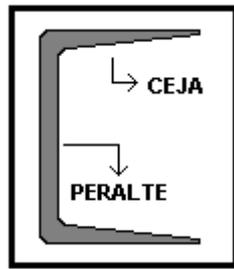
rectangular y largo, llamado "plancha" o "lingote", dependiendo de su sección transversal. Finalmente se envía a rodillos laminadores para producir el perfil geométrico de la sección transversal deseada, como perfiles estructurales, barras, alambres, tiras, placas y tubos.

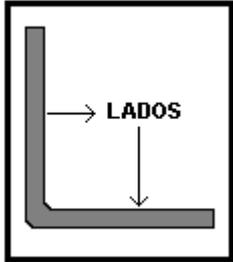


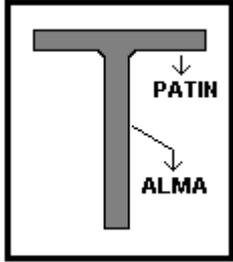
El proceso de laminación, además de producir el perfil de sección deseada, tiende a mejorar las propiedades de tenacidad, resistencia a la tensión y maleabilidad.

A continuación la descripción de los perfiles, según designación del Manual del American Institute of Steel Construction (AISC)

SECCION*	DESCRIPCION	ILUSTRACION
<p>PERFILES W</p>	<p>Son perfiles doblemente simétricos. La superficie interna del patín es paralela a la superficie externa, o bien, casi paralela con una pendiente interior máxima del 5%, dependiendo del fabricante. Se caracterizan por tener mayor espesor en el patín que en el alma. Se le conoce también como "sección de patín ancho".</p> <p>DESIGNACION: W AXB</p>	
<p>PERFILES S</p>	<p>A diferencia de los perfiles W, la superficie interna del patín posee una pendiente del 16 2/3 %, lo que dificulta las conexiones en ese lugar. Se caracterizan por tener mayor espesor en el patín que en el alma. Se le conoce como "viga estándar americana".</p> <p>DESIGNACION: S AXB</p>	

<p>PERFILES HP</p>	<p>Son perfiles doblemente simétricos. Se caracterizan por tener igual espesor en el alma y en el patín. Su sección transversal es similar al del perfil W.</p> <p>DESIGNACION: HP AXB</p>	
<p>PERFILES M</p>	<p>Son perfiles doblemente simétricos que no se clasifican como perfiles W, S o HP, porque únicamente están disponibles por un número limitado de productores, o bien, porque sus secciones son roladas con poca frecuencia. Su sección transversal es igual al del perfil W.</p> <p>DESIGNACION: M AXB</p>	
<p>PERFILES C</p>	<p>Son perfiles de canal. Al igual que los perfiles S, la superficie interna del patín posee una pendiente del 16 2/3 %, lo que dificulta las conexiones en ese lugar.</p> <p>DESIGNACION: C AXB</p>	
<p>PERFILES MC</p>	<p>Son perfiles de canal que no se clasifican como perfiles C, porque únicamente están disponibles por un número limitado de productores, o bien, porque sus secciones son roladas con poca frecuencia. Su sección transversal es similar al del perfil C.</p> <p>DESIGNACION: MC AXB</p>	

PERFILES L	<p>Son llamados “angulares”, que pueden ser de lados iguales o desiguales. Todos los angulares tienen paralelas las caras de los lados.</p> <p>DESIGNACION: L axbxt</p>	
-----------------------	---	---

PERFILES T	<p>Se obtienen cortando perfiles W (para WT), S (para ST), o M (para MT) por mitad. Por lo general el corte se realiza de tal manera que se produzca un perfil con un área equivalente a la mitad del área de la sección original. El corte se hace por aserramiento o con soplete.</p> <p>DESIGNACION: WT AXB</p>	
-----------------------	---	---

BARRAS Y PLACAS:

REDONDAS	<p>Son secciones circulares sólidas, generalmente con un diámetro que varía de 1/16 y 12 pulg, en incrementos de 1/16 de pulgada. La longitud y diámetros mayores están determinados por el fabricante.</p>	 <p>BARRA REDONDA</p>
CUADRADAS	<p>Son secciones cuadradas sólidas, generalmente con lados que varían entre 1/16 y 12 pulg, en incrementos de 1/16 de pulgada. La longitud y lados mayores están determinados por el fabricante.</p>	 <p>BARRA CUADRADA</p>
RECTANGULAR	<p>Son secciones rectangulares sólidas, generalmente con un ancho que varía entre 1/4 y 8 pulg, en incrementos variables; y con un peralte que varía entre 3/16 y 1 pulg. Su longitud esta determinada por el fabricante.</p>	 <p>BARRA RECTANGULAR</p>

<p>PLACAS</p>	<p>Producto laminado plano, de sección transversal rectangular. Se clasifican en dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • • Grupo 1: Su ancho varía de 8 a 48 pulg, con peralte de 0.230 pulg a más. • • Grupo 2: Su ancho es mayor a 48 pulg, con peralte de 0.180 pulg a más. 	 <p>PLACA</p>
----------------------	---	--

TUBOS:

SECCION*	DESCRIPCION	ILUSTRACION
<p>REDONDO</p>	<p>Son secciones circulares huecas, cuyo diámetro externo oscila entre 1/2 y 12 pulg. Los diámetros mayores tienden a fabricarse por forjado. Existen tres clases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • • Estándar. • • Extrafuertes. • • Doble extrafuertes. <p>Los tubos "estándar" y "extrafuertes" tienen el mismo diámetro exterior, pero los "extrafuertes" tienen un diámetro interior menor, lo que los hace tener mayor espesor. Los "doble extrafuertes" tienen un espesor doble que los "extrafuertes".</p>	 <p>TUBO REDONDO</p>
<p>CUADRADO</p>	<p>Son secciones cuadradas huecas, cuyos lados externos varían de 2 a 16 pulg. Los tubos con lados mayores tienden a fabricarse por forjado.</p>	 <p>TUBO CUADRADO</p>
<p>RECTANGULAR</p>	<p>Son secciones rectangulares huecas, que generalmente su ancho varía de 2 a 12 pulg, y su peralte de 3 a 20 pulg. Las medidas dependen del fabricante. Los tubos con lados mayores tienden a fabricarse por forjado.</p>	 <p>TUBO RECTANGULAR</p>

Con el acero estructural se pueden construir diferentes tipos de elementos:

SECCION	USOS
PERFILES W, S, M	Vigas y columnas de edificios, naves industriales, puentes y pasos a desnivel. Escaleras.
PERFILES HP	Pilotes.
PERFILES C, MC	Largueros en estructura de techo. Sección compuesta para cuerdas en armadura de puente.
PERFILES L	Secciones compuestas para vigas y columnas en edificaciones pequeñas (viga macomber). Torres de transmisión. Soportes de anuncios publicitarios. Armaduras. Arriostramientos de armaduras de techo y andamios metálicos. Sujeciones de respaldo en uniones viga – columna. Sujeciones de respaldo en los largueros de estructuras de techo.
PERFILES T	Vigas de edificios. Cuerdas en armaduras de techo.
TUBOS	Columnas de edificaciones pequeñas. Armaduras. Barandales de pasos a desnivel y pasarelas. Andamios. Cañerías. Arriostramiento de edificios. Marcos para techos en pasillos.
BARRAS	Tensores en armaduras de techo.
LAMINAS	Marcos. Placas de unión en conexiones viga-columna y viga-viga en edificios y obras de paso. Atiesadores de vigas y columnas. Cubreplacas en vigas. Secciones compuestas para armaduras de puentes, vigas y columnas de edificios pequeños.

Nota: ver fotos en <http://dei.uca.edu.sv/mecanica/Facilitadores/PM%20Alfabetico2.htm>
(abril 2006)

Investigar:

1. Formas de conexión de elementos metálicos (atornillado, remachado y soldado)
2. Otros materiales metálicos usados en construcción
3. Problemas de calidad en el proceso de soldadura.