



2. PERFILES LAMINADOS EN CALIENTE.

Los perfiles de acero laminados en caliente son aquellos que su proceso de elaboración se realiza a altas temperaturas, sin un cambio apreciable en sus propiedades físicas; laminándose económicamente en una amplia variedad de formas y tamaños. Normalmente, los miembros más ventajosos, son aquellos que tienen grandes módulos de sección en proporción con el área de sus secciones transversales.

Después de ver una gran variedad de estructuras de acero nos sorprendería el saber que el acero no se fabricó económicamente si no hasta finales del siglo XIX y que las primeras vigas de patín ancho, no se laminaron hasta 1908.

La supuesta perfección de este material, tal vez el más versátil de todos los materiales estructurales, parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades.

2.1 Ventajas de los Perfiles Laminados en Caliente

A continuación mencionaremos algunas propiedades mecánicas del acero estructural, que permiten que este material presente algunas ventajas respecto a otros materiales, mencionándose también algunas condiciones de uso en la construcción.

- **Alta resistencia.** La resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con malas condiciones en la cimentación.
- **Uniformidad.** Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.
- **Elasticidad.** El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos

bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero, pueden calcularse exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

- **Durabilidad.** Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado, durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

- **Ductilidad.** La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una considerable reducción de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino. Otra ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la eminencia de la falla.

- **Tenacidad.** Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante por que implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material de absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

2.2 Consideraciones de Uso.

Existen algunos problemas que a menudo deben considerarse en el uso de componentes estructurales de acero para edificios.

- Un problema será la Oxidación, en donde los componentes expuestos al aire y a la humedad se oxidan en la superficie de la masa de acero. La oxidación, generalmente, continúa a una cierta proporción hasta que toda la masa del acero quede, al fin muy deteriorada. La solución a este problema puede envolver las siguientes acciones:

1. No hacer nada, si esencialmente no hay exposición, como cuando el elemento de acero queda ahogado o embebido en el concreto colado u otra construcción similar.
2. Pintar la superficie de acero con material antioxidante o pinturas alquídicas.
3. Cubrir la superficie con material inoxidable, tal como zinc o aluminio.
4. Utilizar un acero que contenga ingrediente en el material básico que prevengan o retarden la acción oxidante.

- Por otra parte el fuego, que al igual que para todos los materiales, la respuesta del acero al esfuerzo y la deformación varía de acuerdo con su temperatura. La rápida pérdida de resistencia y rigidez (la cual puede ser mas importantes cuando hay posibilidades de pandeo), a altas temperaturas, junto con el súbito calentamiento debido a la alta conductividad y el uso frecuente de partes esbeltas, hace que las estructuras de acero sean muy susceptibles al fuego. Por otra parte, el material es incombustible y menos crítico con respecto a otras consideraciones, en comparación con construcciones de elementos esbeltos de madera.

La principal estrategia para mejorar la seguridad contra incendios en las estructuras de acero, es evitar que el fuego llegue al acero por medio de algún recubrimiento o revestimiento con materiales aislantes, resistentes al fuego. Los métodos comunes para esto incluyen el uso de concreto, mampostería, enyesado, fibra de asbesto o elementos prefabricados de cartón y yeso.

- Finalmente tenemos el Costo, ya que el acero es un material relativamente caro, en base al volumen. El costo real de interés, sin embargo, es el costo de instalación final, es decir el costo total de la estructura montada. Las cuestiones económicas inician con los intentos de usar el menor volumen de material. Sin embargo, esto es aplicable solo en el diseño de un solo tipo de elementos. Los perfiles estructurales laminados, no cuestan lo mismo por kilo que las viguetas de alma abierta. Además cada uno debe transportarse al lugar de la obra y montarse, valiéndose de varios accesorios auxiliares para completar la estructura, tales como elementos para el armado de componentes estructurales y atizadores para vigas.

2.3 Procesos de Elaboración del Acero

La mayor parte del trabajo de laminar acero se realiza como parte de grandes operaciones integradas que incluyen la reducción del mineral en altos hornos, la reducción del carbono en hornos de oxígeno básico, la manufactura del coque para la operación de los altos hornos, el rolado preliminar en las laminadoras de tochos y barras y el rolado final.

Todos los talleres ocupan grandes plantas de varios acres y representan una gran inversión económica en equipo. La localización de una planta por lo general es un problema, debido a que el mineral de hierro, el carbón para el coque, la mano de obra y los mercados no existen juntos en un mismo lugar.

Debido a las grandes cantidades de mineral que deben manejarse y a los grandes requerimientos de potencia para algunos procesos de reducción, no siempre existe tal grado de integración en la producción de las formas básicas no ferrosas. Con frecuencia, la reducción del mineral se hace en el sitio del mineral y el metal se funde en arrabio o lingotes que se envían al taller de laminación, donde se realizan las operaciones de formación de perfiles, barras y placas.

2.4 Métodos de Fabricación de Perfiles Estructurales.

2.4.1 Proceso de Rolado.

El rolado en caliente comúnmente es la operación inicial, siendo una de las operaciones más habituales de laminación, el rolado del metal en formas planas y en perfiles de dos dimensiones. Esto se realiza al pasar el material entre rodillos cilíndricos o ranurados para crear fuerzas que opriman el material y que lo hagan fluir en una forma alargada mientras se reducen las dimensiones de la sección transversal.

Para materiales que tienen poca ductilidad y para grandes cambios de sección en cualquier material, el trabajo usualmente se hace en caliente para reducir los requisitos de energía y para permitir la recuperación de la ductilidad por recristalización, conforme ocurre el proceso de deformación.

Después de la reducción del material o en el caso del acero, después de la reducción del carbono, la mayoría de los metales principian como lingotes fundidos que se rolan inicialmente en tochos, losas o billets. Los tochos y los billets son aproximadamente de secciones transversales cuadradas de gran y pequeño espesor, respectivamente, y las losas son formas rectangulares. Todo el material se destina para trabajo adicional de deformación por rolado, forja o extrusión, usualmente en el mismo taller, pero algunas veces en la planta de un fabricante individual.

El rolado de laminación se hace pasando el material a través de trenes de rolado donde los rodillos, aplican presión para reducir el espesor de la sección y alargar el metal. La porción mayor de esfuerzo es a la compresión y se aplica en tal dirección que el efecto en las dimensiones del ancho es menor en comparación con las otras.

En la laminadora de tocho donde se hace el primer trabajo de deformación en el material, el lingote fundido se rola adelante y atrás entre rodillos o continuamente a través de juegos de trenes, conforme los rodillos se cierran más para controlar la relación de reducción y establecer las nuevas dimensiones. Se usan manipuladores mecánicos para girar el

bloque o se usan rodillos verticales adicionales para formar aproximadamente un tocho de sección transversal cuadrada o una losa rectangular que puede tener una longitud tal como 60 o 70 pies.

Los tochos frecuentemente se reducen al tamaño del billet, con secciones transversales máximas de 36 pulgadas cuadradas, en un tren similar con características de inversión, aunque algunas instalaciones se han hecho con un número de trenes de rolado en secuencia de modo que los billets puedan formarse por paso continuo a través de la serie.

En las figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 se observa ilustradamente, el proceso de elaboración y laminación del acero.

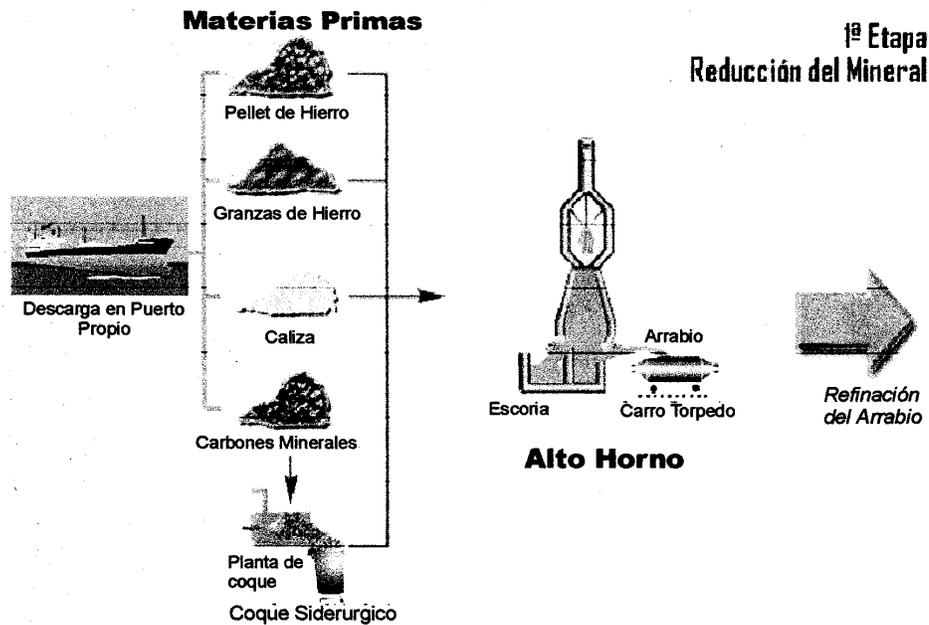


Fig. 2.1 1ª Etapa. Reducción del Mineral.

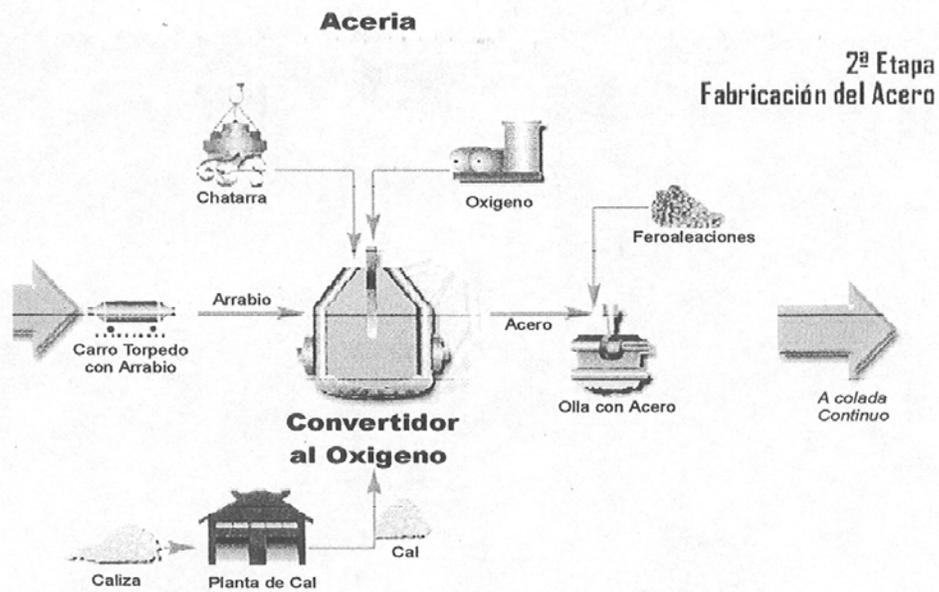


Fig. 2.2 2ª Etapa. Fabricación del Acero.

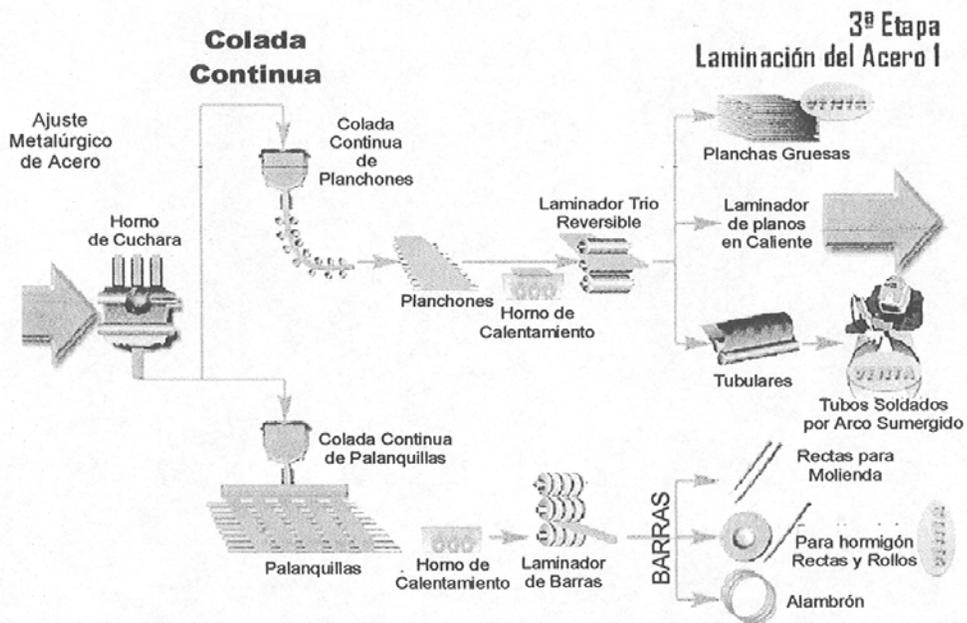


Fig. 2.3 3ª Etapa. Laminación del Acero 1

3ª Etapa
Laminación del Acero 2

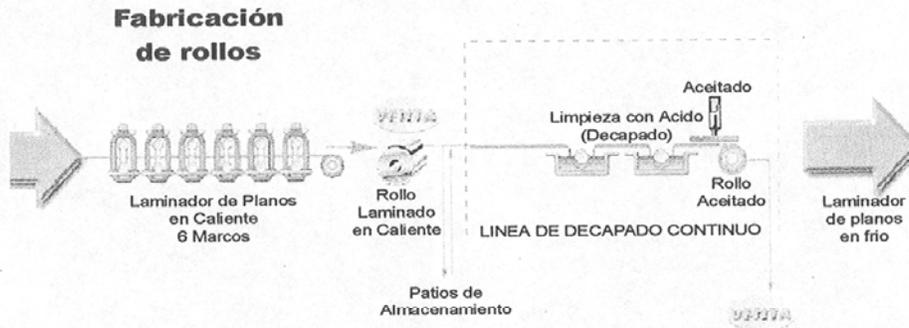


Fig. 2.4 3ª Etapa. Laminación del Acero 2.

3ª Etapa
Laminación del Acero 3

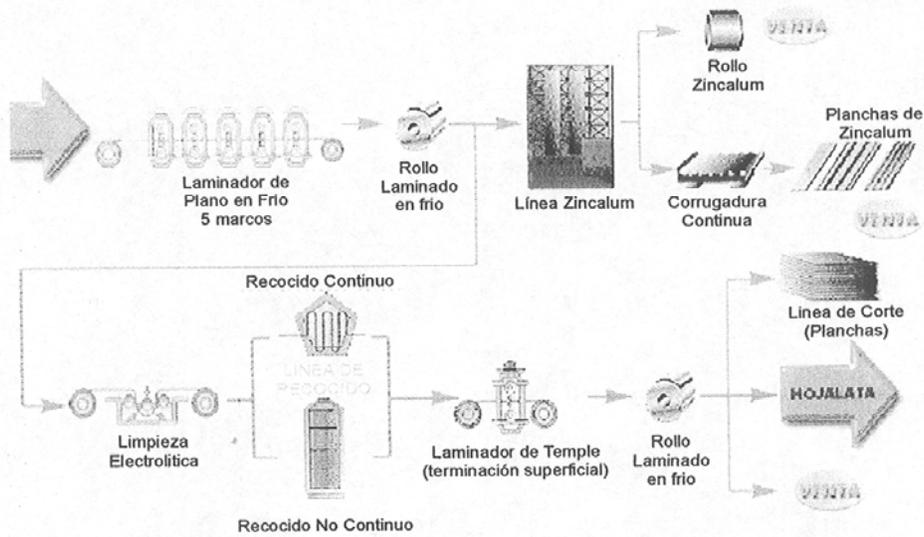


Fig.2.5 3ª Etapa. Laminación del Acero 3.

3ª Etapa Laminación del Acero 4

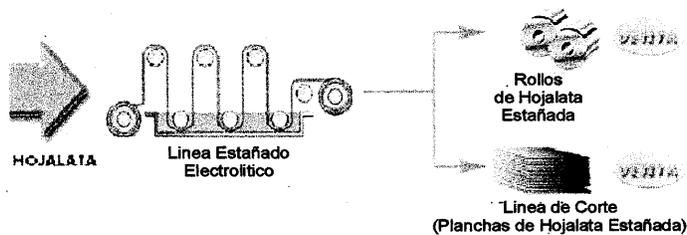


Fig. 2.6 3ª Etapa. Laminación del Acero 4.

2.4.2 Proceso de Laminación en Caliente.

Los trenes de laminación comercial producen una variedad de perfiles pequeños; de los productos laminados en caliente los perfiles estructurales, barras y rieles representan los tonelajes más grandes que se usan, tal como fueron rodados en el tren de laminación. Aun así debido a la amplia variedad de tamaños y perfiles, el rodado es principalmente una operación de orden de trabajo a taller con demanda insuficiente para cualquier tamaño perfil, para permitir el rodado continuo de tipo que se usa para la hoja y la placa. Con frecuencia se usa un tren de laminación comercial para los perfiles de uso más común, tales como barras rectangulares, ángulos y canales, sobre todo en los tamaños pequeños. Este tren de laminación consiste en muchas bancadas pequeñas que se dejan más o menos permanentemente preparadas con medios para guiar el material a las bancadas adecuadas para el perfil particular por rolar. Los trenes de laminación comercial tienen muchos diseños, la mayoría de los cuales incorporan cuando menos algunas

bancadas continuas de rolado, pero la característica de todos ellos es la gran flexibilidad que permite un cambio rápido de un perfil y tamaño a otro.

Para los grandes perfiles que tienen una demanda aun mas pequeña, la inversión requerida en las grandes bancadas de rodillos es demasiado grande para permitir que permanezcan ociosas por tanto tiempo como si estuvieran en un tren comercial de laminación, y los rodillos se cambian de un producto al siguiente. Para reducir el número de bancadas usadas y el número de rodillos que deben cambiarse, con mas frecuencia se usan rodillos de ranuras múltiples, en general en un arreglo en trío vertical.

La oxidación de la superficie representa un problema , ya que las propiedades mecánicas del material que se trabaja en caliente se alteran debido al calor al que se le expone. El trabajo a alta temperatura permite la deformación máxima, pero para aquellos materiales en los cuales la temperatura de trabajo esta arriba de la temperatura de oxidación para algunos de los constituyentes, se tendrán como resultado la escama y el quemado y ocurrirán efectos adversos en el acabado. Antes de usar un producto en el estado de rolado en caliente, o antes que se realicen las operaciones de acabado en frío, se requiere limpiar la superficie. Con frecuencia se hace la limpieza por inmersión del material en baños ácidos que atacan la escama a relaciones mas altas que al metal base.

La exactitud en el rolado en caliente esta limitada, debido a las diferencias en las temperaturas de trabajo que afectan la contracción a las diferencias en las profundidades de oxidación y al desgaste mas rápido de los rodillos, es mas difícil mantener las dimensiones en los procesos de rolado en caliente que cuando el acabado se hace en frío. Las tolerancias dependen hasta cierto punto del perfil y el material.

2.5 Tipos de Perfiles Estructurales Laminados en Caliente.

Los productos de los molinos de laminación de acero utilizados como vigas, columnas y otros miembros estructurales, se conocen como perfiles y sus denominaciones se relacionan con las formas de sus secciones transversales.

Las vigas I estándar americanas fueron las primeras secciones laminadas en Estados Unidos de América. En la actualidad, se producen en tamaños de 3 a 24 pulgadas de peralte. Los perfiles de patín ancho, son una modificación de la sección transversal I y se caracterizan por tener las superficies de sus patines paralelas. Están disponibles en peraltes de 4 a 36 pulgadas. En la figura 2.1 se observa la sección transversal de los perfiles individuales de acero estructural que además de las secciones I estándar y los de patín ancho, son utilizados con mas frecuencia en la construcción.

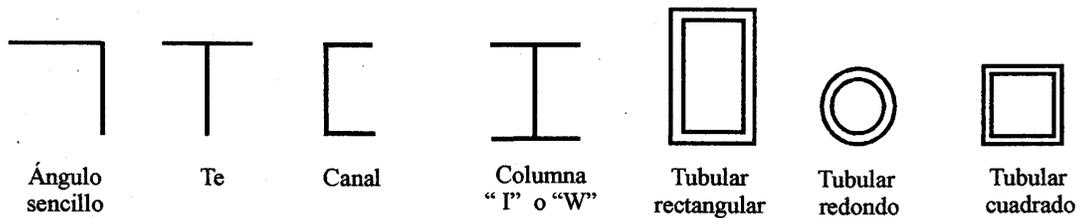


Fig. 2.7 Perfiles Laminados en Caliente.

A continuación se describirán algunos de estos perfiles:

- **Perfiles de Patín Ancho.** Estos perfiles, tienen patines mas anchos y almas mas esbeltas que las vigas I estándar; y como se señaló anteriormente, las superficies interiores de los patines, son paralelas a las superficies exteriores. Estas secciones se identifican por el símbolo alfabético W, seguido por el peralte nominal en pulgadas y el peso en libras por pie. Así la designación W 12 X 36 indica un perfil de patín ancho con un peralte nominal de 12 pulg. y un peso de 36 lb. por pie.

Los peraltes reales de los perfiles W varían dentro de los grupos de peralte nominal. Este es el resultado de los procesos de laminación en el que las áreas de las secciones transversales se incrementan al pasar sobre ellas los rodillos de laminación, tanto vertical como horizontalmente. De este modo, se agrega material adicional a la sección para incrementar el espesor del patín y el alma, así como el ancho del patín. El porcentaje de material adicional resultante en los patines hace que los perfiles de patín ancho sean mas

efectivos estructuralmente que las vigas I estándar. Una gran variedad de pesos están disponibles dentro de cada grupo de peralte nominal.

Además de los perfiles con formas similares a la W 12 X 26, que tiene un ancho de patín de 6.490 pulg., muchos perfiles W se laminan con anchos de patín aproximadamente iguales a sus peraltes. Las configuraciones H resultantes de estas secciones son más adecuadas para utilizarse como columnas que los perfiles I. Del manual del IMCA, se encontró que los siguientes perfiles entre otros, se incluyen dentro de esta categoría: W 14 X 90, W 12 X 65, W 10 X 60 y W 8 X 40. En México por lo regular se denominan "IR" y los fabrica Altos Hornos de México, entre otros.

- **Vigas I Estándar.** Las vigas I estándar americanas se identifican con la letra S, la denominación S 12 X 25 representa un perfil estándar de 12 pulgadas de peralte con un peso de 35 lb. por pie. A diferencia de los perfiles de patín ancho, las vigas I estándar comprendidas en un grupo de peralte dado tienen peraltes uniformes y los perfiles con mayor área de sección se hacen desplazando los rodillos de laminación en una sola dirección. Así el peralte permanece constante, en tanto que se incrementan el ancho del patín y el espesor del alma.

Todas las vigas I estándar, tienen una pendiente en las caras interiores de los patines de 16 2/3 % o bien, de 1 en 6. En general, las vigas I estándar no son estructuralmente eficientes como las secciones de patín ancho y consecuentemente, no son tan ampliamente utilizadas. Así mismo, la variedad en estos perfiles no es muy grande en comparación a los perfiles de patín ancho. Las características que pueden favorecer el uso de las vigas I estándar en cualquier situación particular son: peralte constante, patines angostos y almas más gruesas. En México se fabrican bajo la denominación "IE".

- **Canales Estándar.** Estos perfiles se identifican con el símbolo alfabético "C". La denominación C 10 X 20 indica un canal estándar de 10 pulgadas de peralte y un peso de 20 lb. por pie. Al igual que en las vigas I, el peralte de un grupo particular, permanece constante y el área de la sección transversal, se incrementa extendiendo los rodillos de

laminación para aumentar el ancho del patín y el espesor del alma. A causa de su tendencia a pandearse cuando se utilizan independientemente como vigas o columnas, los canales requieren de postes o arriostramiento lateral. Generalmente, se utilizan como elementos de secciones armadas, como por ejemplo, columnas o dinteles. Sin embargo, la ausencia de un patín en uno de sus lados hace que los canales sean, particularmente, adecuados para enmarcar alrededor de aberturas en el piso. La fabricación nacional los denomina "CE".

- **Ángulos.** Los ángulos estructurales son secciones laminadas en forma de L. Los ángulos se denominan mediante el símbolo alfabético L, seguido de las dimensiones de sus lados y su espesor. Así, la designación L 4 X 4 X ½, indica un ángulo de lados iguales de 4 pulgadas cada uno y un espesor de ½ pulgada.

Los ángulos a menudo se utilizan como dinteles y en pares, como miembros de armaduras ligeras de acero. Los ángulos se utilizaron como elementos de secciones armadas, como trabes armadas y columnas pesadas, pero el advenimiento de los perfiles de patín anchos mas pesados ha eliminado, en gran parte, su utilidad para este uso. Los tramos cortos de ángulos se utilizan como miembros conectores comunes en vigas y columnas. En México se reconocen dos tipos de ángulo. Los "LI" (Lados Iguales) y los "LD" (Lados Desiguales).

- **Tes Estructurales.** Una Te estructural se hace cortando el alma de un perfil de patín ancho o una viga I estándar. El corte, normalmente hecho a lo largo del alma, produce tes con un peralte igual a la mitad del peralte de la sección original. Las tes estructurales cortadas de perfiles W se identifican con el símbolo WT; aquellas cortadas de perfiles I estándar, con ST. La designación WT 6 X 53 indica una Te estructural con peralte de 6 pulgadas y un peso de 56 lb. por pie. Este perfil se produce cortando un W 12 X 106.

Las Tes estructurales se pueden emplear para construir los miembros de cuerdas de las armaduras de acero soldadas y para los patines en ciertos tipos de trabe armada. La fabricación nacional la reconoce como "T.E." o "T.R." según sean cortadas de un perfil "IE" o un "IR" o fabricadas así.

- **Placas y Barras.** Las placas y barras se hacen en diferentes medidas. El acero plano para uso estructural generalmente se clasifica como sigue:

- Barras. 6 pulgadas o menos de ancho, 0.203 pulgadas o mas de espesor.
- Placas. Mas de 8 pulgadas de ancho, 0.230 pulgadas o mas de espesor.
Mas de 48 pulgadas de ancho, 0.180 pulgadas o mas de espesor.

Las barras están disponibles en anchos variables y virtualmente, en todos los espesores y longitudes requeridos. La practica común es especificar las barras en incrementos de $\frac{1}{4}$ de pulgada para los anchos y $\frac{1}{8}$ para el espesor.

En placas, los incrementos preferidos para el ancho y espesor son los siguientes:

- Anchos. Varían en pulgadas pares, aunque se pueden obtener incrementos menores.
- Espesor. Incrementos de $\frac{1}{32}$ de pulgada hasta $\frac{1}{2}$ de pulgada.
Incrementos de $\frac{1}{16}$ de pulgada para mas de $\frac{1}{2}$ hasta 2 pulgadas.
Incrementos de $\frac{1}{8}$ de pulgada para mas de 2 hasta 6 pulgadas.
Incrementos de $\frac{1}{4}$ de pulgada para mas de 6 pulgadas.

La secuencia dimensional estándar cuando se describe la placa de acero es:

Espesor X Ancho X Largo

Todas las dimensiones están dadas en pulgadas, fracciones o decimales de pulgada.

2.6 Tipos de Aceros.

Con el objeto de comprender las variaciones de las propiedades mecánicas de los diversos aceros estructurales disponibles en la actualidad, se les puede agrupar por tipos y resistencia, para facilitar su estudio. Estos grupos son los de los aceros estructurales al

Carbono, Aceros de Alta Resistencia y baja aleación, Aceros al Carbono tratados y templados y Aceros de Aleación para construcción.

- **Aceros Estructurales al Carbono.** Este tipo de aceros dependen de la cantidad de carbono usado para desarrollar su resistencia, a través de un amplio rango de espesores. El primer tipo dentro de esta categoría, el A-7, fue por muchos años el principal acero empleado para la construcción de puentes y edificios. Los diseñadores de puentes, prefirieron un acero mas estrictamente controlado en cuanto al contenido de carbono y la Industria Metalúrgica, desarrollo un tipo de acero, designado A-373, con características mejores de soldabilidad.

En 1960 la industria del acero, anunció un acero al carbono mejorado, el ASTM A-36, con punto de fluencia mas elevado y un contenido de carbono adecuado para propósito de soldadura.

- **Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación.** Este grupo de aceros incluye varios niveles de resistencias y también aceros cuyas composiciones químicas se varían para adaptarse a los diferentes requisitos de construcción. Los mas utilizados son ASTM A-242, A-440, A-441 y A-572.

- **Aceros al Carbono Tratados y Templados.** Se ha introducido un nuevo tipo de acero estructural, desarrollado para cubrir los requisitos de resistencia comprendidos entre los 3,515 y los 7,030 kg/cm². algunos de estos aceros son propiedad de empresas fundidoras y hasta esta fecha no se les ha asignado una clasificación en la ASTM.

- **Acero de Aleación Tratados y Templados.** Estos aceros requieren, además del carbono, de varios elementos de aleación y de tratamientos térmicos para obtener sus elevadas resistencias de fluencia y de tensión. Dentro de esta clasificación se puede mencionar el ASTM A-514.

- **Otros Tipos de Acero.** Existe una gran variedad de aceros diferentes que se producen todos los días para servir a las muchas y variadas necesidades especiales de las industrias de manufactura y de construcción; muchos de estos aceros no son adecuados para propósitos de construcción, ya sea por el alto costo del material y de la fabricación, por que no tienen la suficiente ductilidad, o por que carecen de tenacidad adecuada. Se han desarrollado algunos aceros para aplicaciones específicas, tales como el "HY-80" para cascos de submarinos, proyectiles y equipo espacial, o de aplicaciones en ferrocarriles, etc. Estos son aceros para propósitos específicos y el diseñador debe estar conciente de su existencia.

- **Esfuerzo de Fluencia.** El Esfuerzo de Fluencia, F_y , es la propiedad mas importante que diferencia a los aceros estructurales. Se define como el valor del esfuerzo que define la frontera entre la zona elástica y plástica de la curva Esfuerzo–Deformación a tensión.

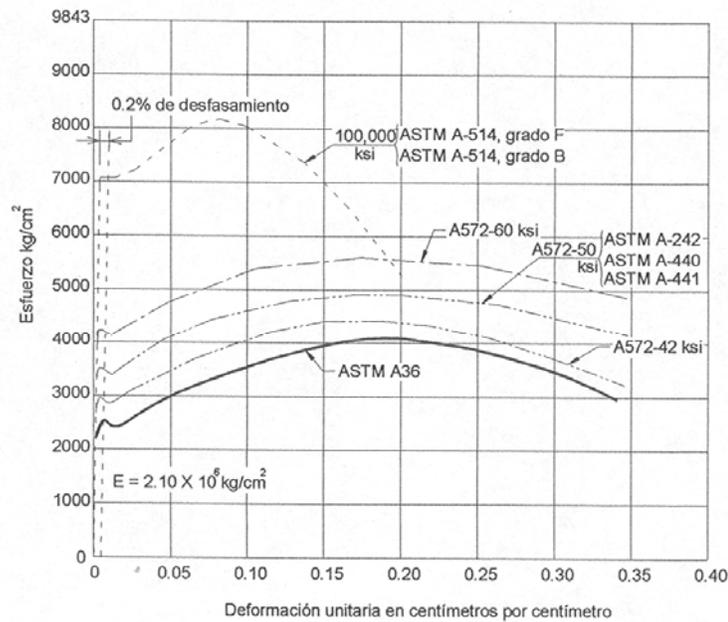


Fig. 2.8 Diagrama Esfuerzo – Deformación del Acero A36 y otros Aceros típicos.