

CAPITULO 1

2. LA CONSTRUCCION EN ACERO

ALGUNOS CONCEPTOS INTRODUCTORIOS

En nuestro país, hablar de *construcciones metálicas* es referirse casi exclusivamente a las construcciones de acero; en otros países se utiliza también el aluminio y sus aleaciones, especialmente para la fabricación de estructuras con requerimientos especiales. El aluminio se utiliza en estructuras de difícil acceso, para las que los elementos componentes deben ser prefabricados y transportados (a pie o por aire), con exigencias de peso propio reducido y eventualmente también, en lugares altamente corrosivos.

Como normal fundamental de elección y diseño podemos establecer que:

*“Se empleará acero para la fabricación de una estructura si su aplicación como materia prima, en un análisis **global** de costos, resulta más económica que cualquier otro material”*

En general, el hormigón armado es el principal competidor del acero en estructuras convencionales, pero la ventaja de éste se acentúa en estructuras cuyas luces requieran pesos propios reducidos. No obstante, en este caso también debe competir con el hormigón pretensado. Por lo tanto, utilizaremos estructura de acero cuando:

- a) Es económica frente a otros tipos de materiales, haciendo intervenir en el análisis todos los factores que intervienen en la construcción, incluso los financieros.
- b) Cuando por sus características intrínsecas, de elevada resistencia y bajo peso propio, despliega ciertas ventajas que la hacen imprescindible en muchos casos.

Podemos mencionar como principales ventajas de las estructuras de acero:

- 1) Su menor peso propio lo que implica una notable reducción en el total de las cargas gravitatorias.
- 2) Menor tamaño de las secciones transversales. En los edificios de altura la diferencia de tamaño, a nivel de planta baja, entre la sección de una columna de acero y una equivalente de hormigón puede alcanzar valores muy importantes. En efecto, la sección de una columna de acero puede ser del orden del 10% de la requerida por una columna de hormigón (en cm^2).
- 3) Cuando las características del suelo de fundación impliquen bajas capacidades portantes y resulte conveniente reducir el peso propio de las estructuras.
- 4) Cuando es necesario cubrir grandes luces el acero es, como ya lo dijimos, altamente competitivo.
- 5) Las estructuras de acero permiten el acomodamiento, en el transcurso del tiempo, a las distintas necesidades de las fábricas. Por ejemplo, el refuerzo de las cerchas para colgar equipos o monorrieles no previstos, refuerzo de vigas carriles para puentes grúas de mayor capacidad portante, vigas comunes reforzadas con platabandas, etc. En la industria automotriz la estructura de acero es irremplazable.
- 6) La rapidez de ejecución, tanto en las etapas de fabricación y de montaje, incide en la economía global de la obra, especialmente si se tienen en cuenta los costos financieros.
- 7) Son apropiadas para construcciones en lugares de muy bajas temperaturas (Antártida, Sur Patagónico, etc.) y sin interrupciones. El montaje es frecuentemente sencillo y se puede realizar aún en condiciones climáticas adversas.

Las principales aplicaciones del acero en nuestro país, desde el punto de vista de las construcciones, son:

1) Edificios Industriales servidos con puentes de grúas:

Astilleros
Siderurgias
Salas de Máquinas, etc.

2) Edificios Industriales sin puentes grúas

Edificios para depósitos o almacenes
Garajes
Estadios, etc.

3) Edificios Civiles

En nuestro país hay escasos ejemplos, no obstante, se ha empezado a considerar como una alternativa posible frente a la construcción convencional de hormigón armado. Los ejemplos más destacables lo constituyen los edificios:

Ex – Somisa
Edificio Intercontinental
Edificio Telecom

4) Puentes

Se proyectaron puentes carreteros, ferroviarios y mixtos.

Puente Zárate-Brazo Largo: Mixto de 360 m de luz.

5) Torres

5.1) Para transmisión de energía eléctrica (Chocón-Bs.As., Salto Grande-Bs.As.).

5.2) Para sistemas de transmisión de micro-ondas: sistemas de teledisco y alturas de 100 a 150 m.

6) Elementos auxiliares de edificios industriales

Puentes de cañerías en la industria petroquímica, cabinas, cajas de escaleras, pasarelas, etc.

7) Depósitos de combustibles, Silos.

8) Vivienda industrializada construída a base de perfiles de chapa conformada en frío, la cual en los últimos años ha tomado un impulso considerable.

Es posible considerar que la estructura de acero en nuestro país, se desarrolla razonablemente en los rubros antes mencionados, a pesar de las trabas e inconvenientes que se mencionan a continuación:

1) Muy escasa o casi nula variedad de perfiles de laminación nacional.

Se debe recurrir al armado de piezas a partir de elementos planos (chapas) laminados en el país o importados. O bien, cuando el tamaño de la construcción lo

justifica, se recurre a la importación de perfiles laminados en caliente desde USA, Europa, etc.

- 2) Son muy pocas las fábricas de estructuras metálicas que se han modernizado y que posean equipos de procesamiento automático (para corte, punzonado o agujereado, soldeo, etc.), como es común a nivel internacional. El equipamiento en muchos establecimientos es relativamente modesto y no es posible alcanzar todavía, producciones mensuales – medidas en toneladas - en condiciones competitivas.

Es indudable que estos aspectos “atan” el desarrollo de las estructuras de acero, sobre todo en forma competitiva con el exterior e impiden su crecimiento en escala.

En países tecnológicamente más desarrollados y de costos relativos distintos al nuestro (materia prima y mano de obra), las aplicaciones estructurales del acero son mucho más frecuentes y numerosas, por ejemplo, en los Estados Unidos, el acero es un material casi excluyente, porque en ese país para edificios de gran altura el acero resulta más competitivo que el hormigón.

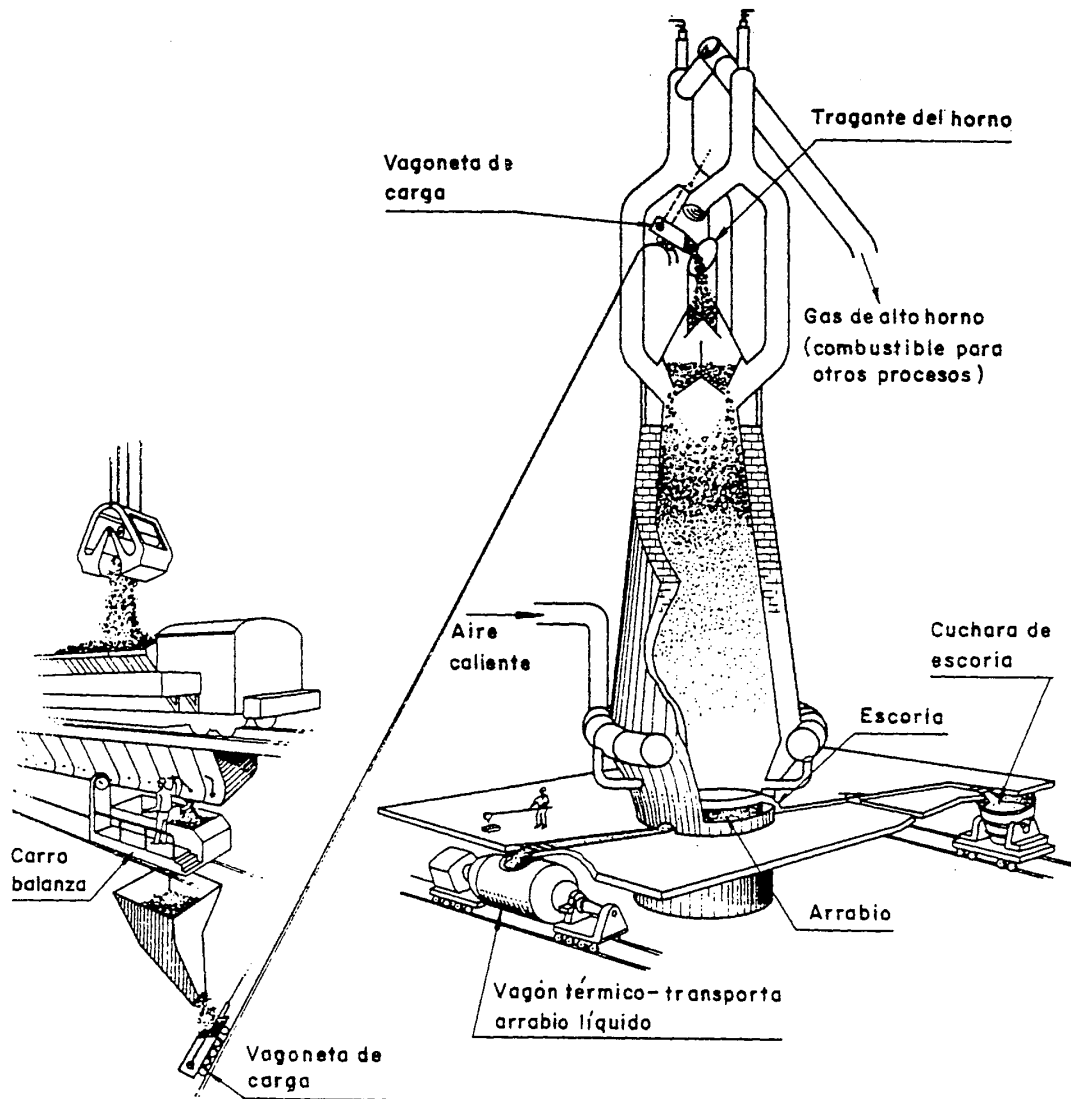
CAPITULO 1.

3. EL ACERO

BREVE RESEÑA SOBRE LA OBTENCION DEL ACERO

Etapas de obtención

- 1) Los *minerales de hierro* (óxidos, carbonatos y sulfuros, con el agregado o no de *chatarra*), mezclados con *coque* (carbón poroso, residuo de la hulla) y *fundente* (cal u óxido de calcio) destinados a transformar la *ganga* (impurezas de los minerales) en escorias, se funden y se *reducen* (eliminación del oxígeno) en los Altos Hornos mediante la insuflación de aire caliente. El material fundido se denomina *arrabio*, que presenta las composiciones químicas que se indican a continuación y cuyas denominaciones dependen del tratamiento al que será sometido posteriormente, así se obtiene:



ESQUEMA DE ALTO HORNO

	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Arrabio Thomas	3.2/3.6	0.3/0.4	0.5/1.5	1.8/2	0.05/0.12
Arrabio Básico	3.0/4.0	< 1.0	2.0/6.0	0.08/0.12	< 0.04
Arrabio para Fundición	3.5/4.2	1.8/2.5	< 1.0	0.5/2.0	< 0.06

- 2) Los lingotes del *arrabio para fundición* se emplean para la obtención de “*fundición o hierro colado*” fundiéndolos en los Hornos de Cubilote, junto con chatarra de acero y fundición. De esta manera se obtiene:

- . El hierro colado con inclusiones “*laminares*” de grafito de naturaleza frágil y no forjable.

- . El hierro colado con inclusiones “*esferolíticas*” de grafito transformado, mediante la inclusión de Mg, en un producto que posee en parte las propiedades mecánicas del acero colado no aleado.

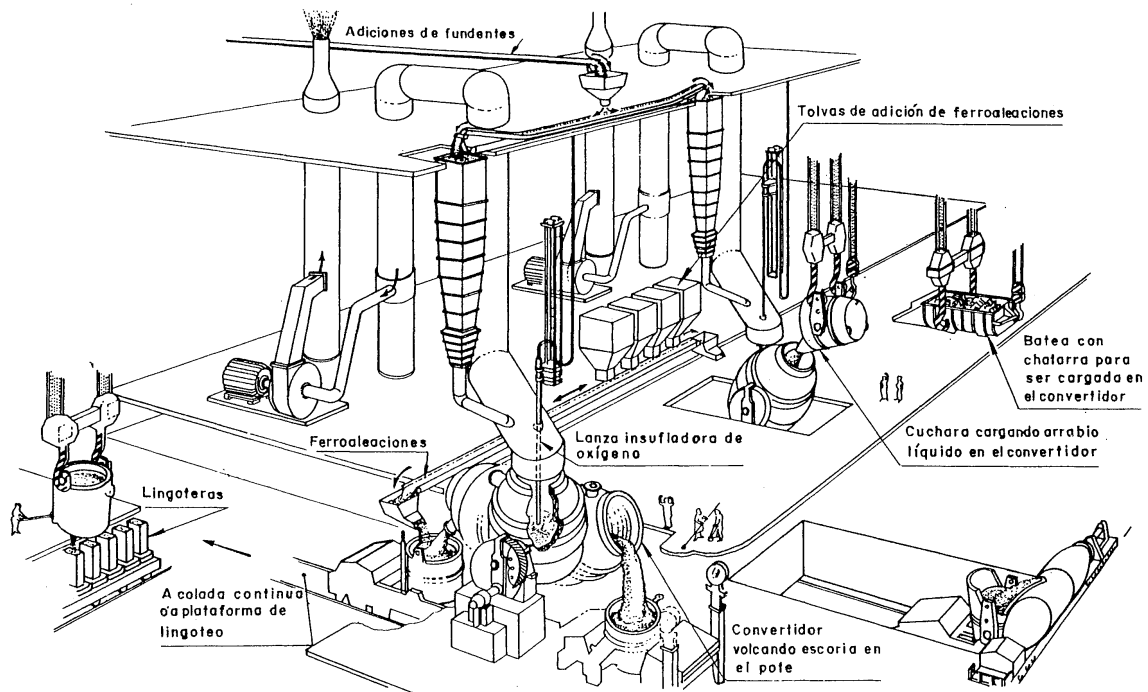
- 3) A partir del *arrabio Thomas* en estado líquido, vertido en los *Hornos Convertidores*, cuyo revestimiento interior está constituido por ladrillos de *dolomía* (CO_3 doble de cal y magnesita) alquitranada (revestimiento básico), se obtiene acero de ciertas características.

En el horno convertidor se procede a la purificación del arrabio, proceso denominado *afino*, realizado mediante el insuflado de aire a través de la base del horno. El soplado de aire tiene por objeto provocar la combustión (oxidación) del **P**, del **C** y de los elementos que los acompañan.

El acero Thomas así obtenido contiene, en un análisis de colada, elevados porcentajes de P (0.10%) y de N (0.012%). La presencia del P determina un comportamiento frágil del acero y el alto contenido de N le confiere al acero ciertas características indeseables de “*envejecimiento*” el cual implica, un comportamiento frágil bajo procesos de soldadura, plegado y enderezado en frío, etc.

Las propiedades que presentan estos aceros de fácil obtención son, no obstante, suficientes para numerosas aplicaciones y son empleados en gran escala. Es el material principal de las construcciones remachadas y abulonadas, y pueden utilizarse en construcciones soldadas de espesor reducido y poco exigidas.

- 4) El N es absorbido durante el proceso de desfoforización que se da al final del soplado. Para reducir el porcentaje de N se recurre a enriquecer el aire insuflado con oxígeno, junto con otras medidas adicionales como es la adición de siderita (espato de hierro). Con este procedimiento, los contenidos de N se reducen hasta un 0.06% y el P, también hasta un 0.06%. Se los designa, según la nomenclatura clásica, aceros W o aceros VK (Aceros al convertidor mejorados).



**PROCESO DE OBTENCION DE ACERO
MEDIANTE CONVERTIDOR LD**

Otro procedimiento para mejorar los aceros Thomas es el procedimiento LD (desarrollado en Linz-Donawitz). En él se insufla al arrabio oxígeno líquido puro mediante una lanza desde arriba, hacia dentro del convertidor de revestimiento básico. Los aceros obtenidos presentan porcentajes reducidos de P y N, del orden de los aceros Siemens-Martin, lo cual los califica para su utilización en aplicaciones antes reservadas para esos aceros.

- 5) El *arrabio básico* (sólido y líquido) y la chatarra agregada, se funden y oxidan en la solera de un Horno Siemens Martin, mediante la llama de una mezcla de gas y aire o de petróleo y aire, obteniéndose el acero como consecuencia de la combustión de los elementos químicos que acompañan al hierro.

Mediante el análisis de colada se controla la composición química, no debiendo exceder:

$$P \leq 0.06 \%$$

$$S \leq 0.05 \%$$

$$N \leq 0.008 \%$$

- 6) El acero líquido o fundido se vierte en moldes de fundición (lingoteras) de forma prismática, para obtener los lingotes de acero. La rápida solidificación en la lingotera tiene dos efectos:

- . Se crea un entrante cónico en la cabeza del lingote, denominado "rechupe" el cual debe ser eliminado antes del proceso de laminación.

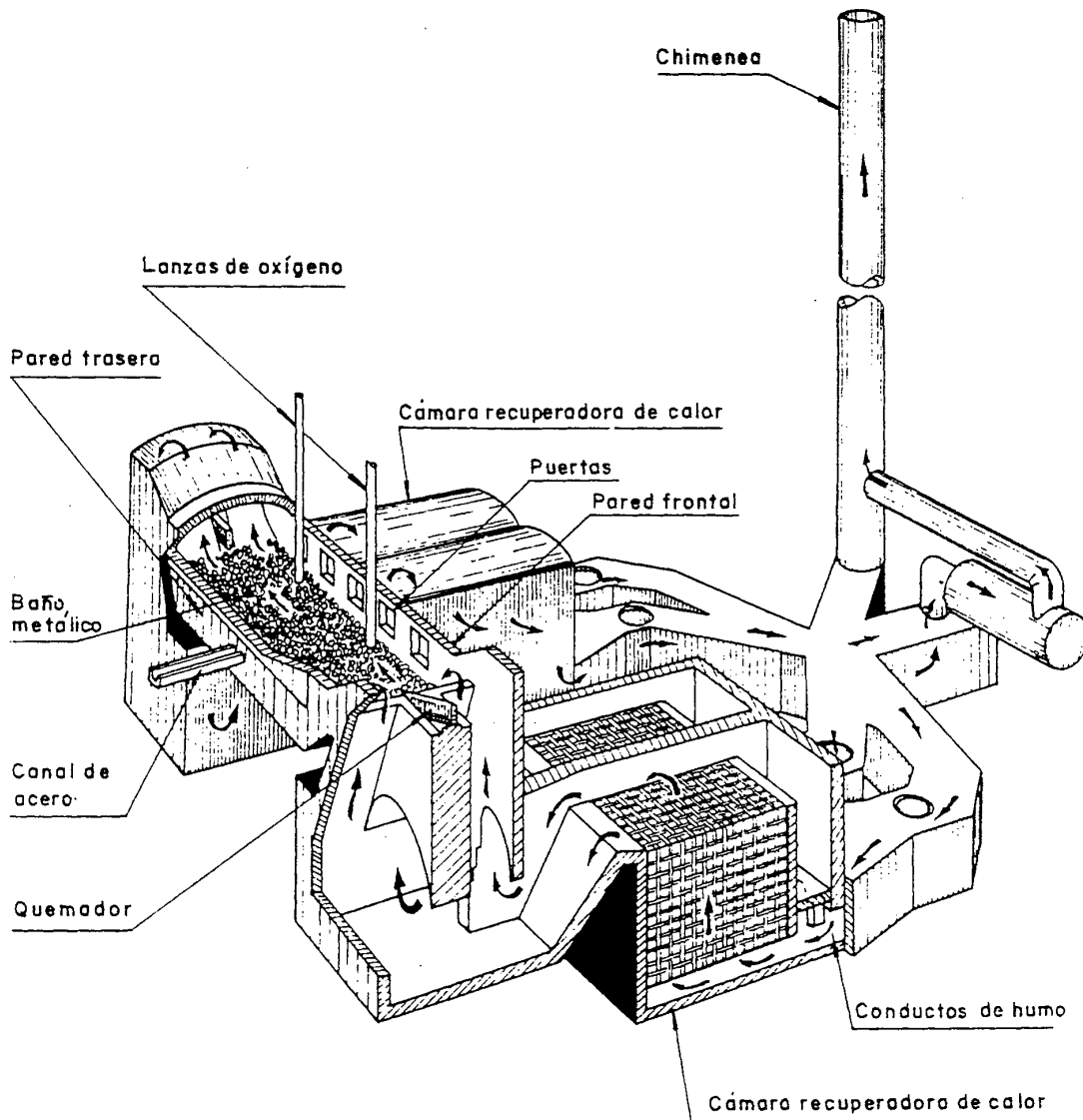
- . Se producen fenómenos de *desmezcle* (diferencias en las concentraciones de un elemento) y *segregación* (separación del hierro de los otros componentes), de manera que la superficie del lingote queda rica en hierro y sopladuras y la zona central se enriquece en C, P y S.

En las figuras siguientes se ilustran las distribuciones, en líneas de igual porcentaje, de los contenidos de C, P y S en una sección vertical de un lingote.

Luego del desmoldeo los lingotes se introducen en hornos donde se iguala su temperatura de superficie con la interior, pasan después al tren desbastador y posteriormente a los trenes de laminación.

- 7) El carbono contenido en el acero líquido reacciona con el oxígeno en él disuelto y con el oxígeno del aire formando monóxido de carbono (CO) en estado gaseoso que se desprende de la masa líquida. Durante el enfriamiento parte del CO queda retenido en forma de burbujas. El acero en estas condiciones se denomina “*acero efervescente*” o “*acero no calmado*”.

Añadiendo elementos que presentan mayor afinidad con el O que el C, por ejemplo: Si, Al,

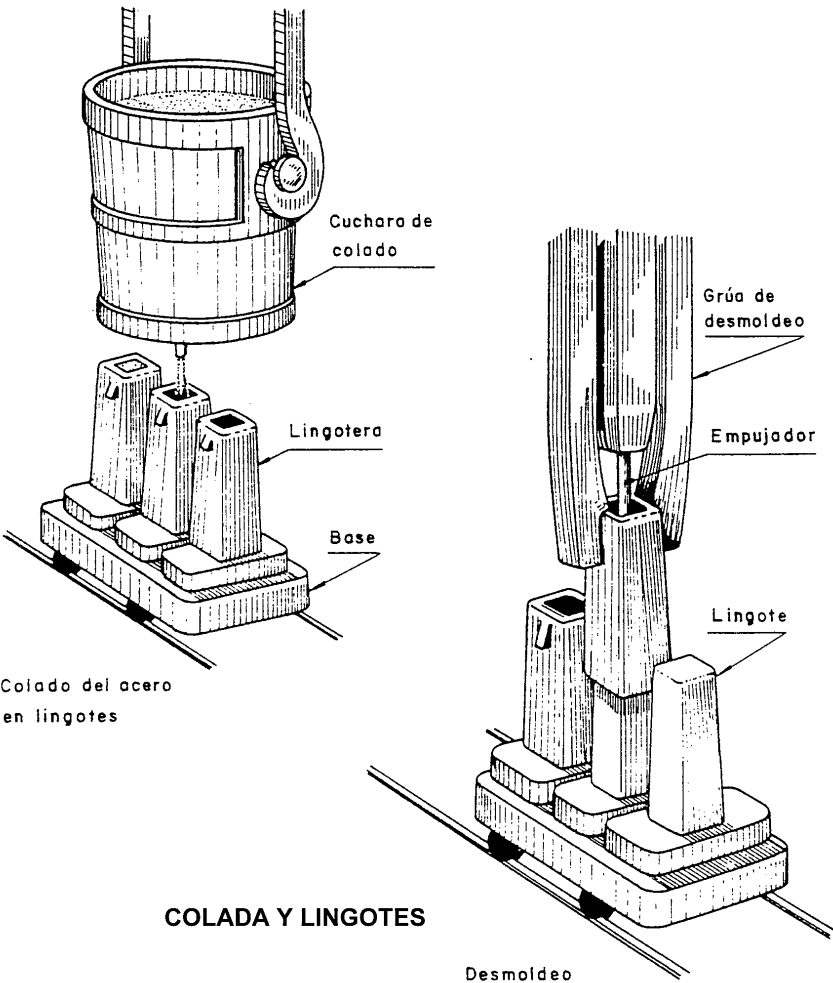


HORNO SIEMENS MARTIN

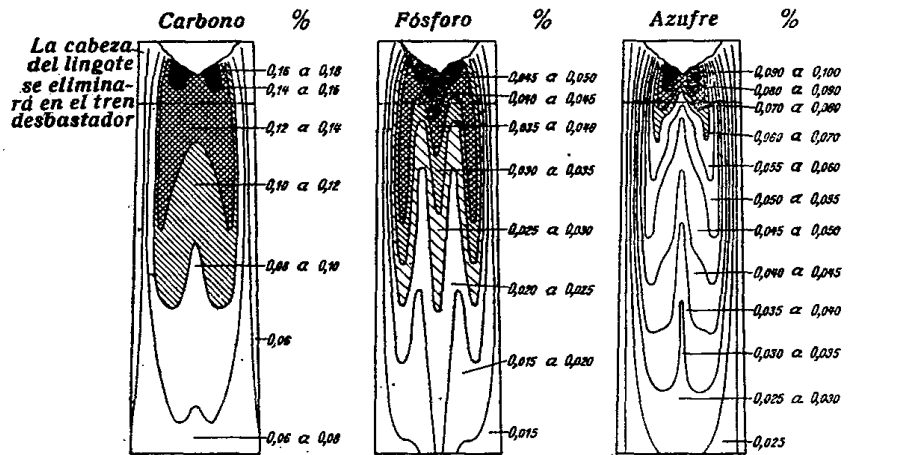
Titano o Ca, se consigue fijar el O disuelto mediante la formación de óxidos que a su vez quedan disueltos, no hay formación de burbujas y el acero resultante se denomina “*acero calmado*”.

Los aceros calmados presentan menores fenómenos de *desmezcla* (desmezcla es la concentración de un determinado elemento dentro de la masa del lingote, lo cual implica una pérdida de uniformidad del mezclado) en cambio, los no calmados son especialmente

propensos al *envejecimiento* (envejecimiento es la pérdida de tenacidad con el transcurso del tiempo) debido a las altas concentraciones de P y S que se alcanzan.



LINGOTE NO CALMADO CON SEGREGACIONES



Segregaciones en un lingote de 3 t de acero dulce sin calmar, al silicio. Análisis de colada: C = 0,09 %; Si = indicios; Mn = 0,49 %; P = 0,02 %; S = 0,04 %.

CAPITULO 1

4. PROPIEDADES DEL ACERO

DEFINICION

El acero es un material férreo, una aleación metálica en la que el contenido en peso del elemento hierro es superior a la de cualquier otro, que debe cumplir las condiciones siguientes:

- Debe tener menos del 2% en peso de Carbono.
- Debe conformarse en caliente y en frío (se debe poder laminar, trabajar, cortar, etc).

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS

CARATERÍSTICAS MECÁNICAS

Las características mecánicas de los aceros pueden determinarse mediante un conjunto de ensayos realizados sobre probetas normalizadas. Todos los ensayos que mencionaremos a continuación permiten determinar la adecuación de un acero, a los requerimientos impuestos por el proyecto y la construcción de las estructuras de acero.

Algunos de ellos permiten obtener datos cuantitativos que pueden ser utilizados en el dimensionamiento de miembros estructurales (tensiones de fluencia, módulo de elasticidad, etc) asegurando su capacidad portante durante toda la vida útil de la estructura.

De otros ensayos, de carácter tecnológico, pueden obtenerse datos cualitativos que aseguren la ejecución de procesos de transformación a que será sometido el acero durante la fabricación de estructuras, como son las: operaciones de soldeo, de trabajabilidad, etc.

Entre los primeros, que definen las *propiedades mecánicas*, podemos mencionar:

- 1) Ensayo de Tracción
- 2) Ensayo de Dureza
- 3) Ensayo de Duración o de Fatiga

Entre los que definen *propiedades tecnológicas* es posible mencionar:

- 4) Ensayo de Rotura Frágil o Ensayo de Flexión por Choque
- 5) Ensayo de Plegado sin o con depósito de Soldadura

A) Ensayos para la determinación de Propiedades Mecánicas

1) Ensayo de Tracción

Es el ensayo fundamental y más importante mediante el cual se definen las diversas clases de acero, acero fundido y acero colado. Sobre las probetas, proporcionales o no, se aplican fuerzas paulatinamente crecientes (graduales, predominantemente estáticas) y se miden ciertos valores característicos de carga y deformación. Estos valores característicos son:

- 1.1) El *límite proporcional* es la carga máxima, dividida la sección inicial F_o , para la cual los alargamientos son proporcionales a las cargas aplicadas. El coeficiente de proporcionalidad es, por definición, el *Módulo de Elasticidad* E :

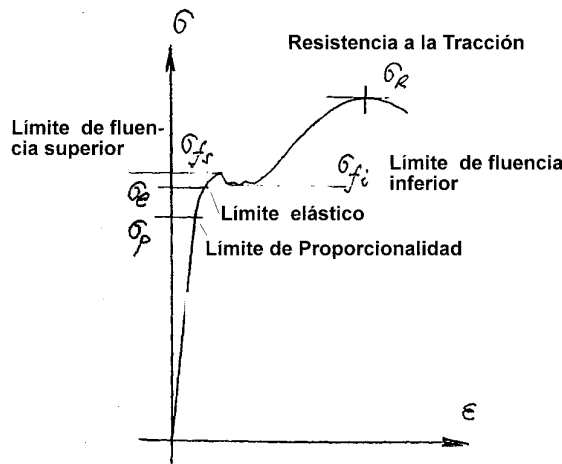


Diagrama de Tensiones-Deformaciones para un acero no aleado

de la probeta.

Por lo tanto, podemos escribir:

$$\sigma_p = \varepsilon \cdot E$$

- 1.2) Para incrementos posteriores de cargas podemos definir también el *Límite elástico*. Este límite está dado por el cociente entre la máxima carga de tracción aplicada a la probeta - dividida por la "sección inicial" F_o - para la cual, una vez eliminada la carga, la probeta no queda afectada por ninguna deformación permanente (medida con un error no superior al 0.01%).

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_o}$$

- 1.3) Si se aumenta la carga más allá del límite elástico, comienza un período de deformaciones plásticas en el cual, al principio, la relación entre tensiones y deformaciones son inestables. La iniciación de este período se manifiesta mediante una brusca caída de la carga aplicada. Luego de transcurrido un tiempo reducido se establece - a un nivel inferior de tensión - un régimen constante de tensiones.

La tensión existente en el instante previo a la iniciación de fluencia, se la denomina *límite superior de fluencia*; la tensión correspondiente al régimen constante establecido posteriormente, se la denomina *límite inferior de fluencia*. En los aceros corrientes (F22, F24) se adopta como *tensión convencional de fluencia* la correspondiente al límite inferior, en cambio para aceros semi-duros se adopta como tensión de fluencia, aquella que produce una *deformación permanente* de $\varepsilon = 0.2\%$.

Como veremos más adelante, en las cuestiones de resistencia, el límite convencional de fluencia no es lo esencial; son mucho más importantes las propiedades del acero que garantizan una deformación previa al momento de la rotura (*rotura dúctil*) y que eviten una peligrosa rotura sorpresiva - sin aviso previo - definida como *rotura frágil*.

Un aspecto que adquiere especial relevancia, es la extensión de la *meseta* o *plafón* de fluencia, la cual indica la posibilidad real de que en la sección más

$$E = \frac{P}{F_o} \frac{L}{\Delta L}$$

$$\Delta L = L - L_o$$

L_o : es la longitud inicial de la probeta.

L : es la longitud medida bajo la carga P .

En esta expresión: $\sigma_p = \frac{P}{F_o}$ es

la tensión correspondiente al límite de proporcionalidad y: $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ es el *alargamiento específico* en la dirección del eje

solicitada de una barra, se concrete la formación de una rótula plástica que satisfaga las hipótesis de cálculo adoptadas.

El valor de la tensión de fluencia no es una característica que dependa solamente de las propiedades del material, sino que depende también del tipo de elemento del cual se extrajo la probeta y de su ubicación dentro del mismo. Por ejemplo, dará resultados distintos si la probeta pertenece a una chapa laminada o a un perfil laminado. Y en el caso de las chapas, los valores de las tensiones de fluencia diferirán entre los que corresponden a chapas de distintos espesores, aun cuando el acero sea de la misma calidad o colada.

- 1.4) Cuando finaliza el plafón de fluencia, para seguir aumentando las deformaciones de la probeta es necesario aumentar la intensidad de la carga de tracción aplicada. Esto se explica por el endurecimiento que sufre el material, debido a las deformaciones (estiramiento) provocadas en frío. El proceso de carga puede continuar hasta que la misma alcanza un valor máximo, a partir de ese momento la deformación deja de ser uniforme en toda la probeta y se localiza en un tramo reducido de su longitud. En ese tramo se produce una contracción lateral de la probeta – *estricción* o reducción de la sección transversal – con una brusca disminución de la carga aplicada y continúa hasta que se produce la rotura (división física de la probeta en dos partes) para una carga considerablemente inferior aplicada sobre una sección que se ha reducido.

No obstante, se define como *tensión de rotura* o *resistencia a la tracción* del acero, al cociente entre el máximo esfuerzo aplicado en el instante en que comienza la estricción y la sección inicial F_0 .

El alargamiento de la probeta que se ha producido – *alargamiento uniforme más el alargamiento de estricción* – se expresa como porcentaje de la longitud inicial de la probeta y se lo designa con el nombre de *alargamiento de rotura del acero*. A este alargamiento se le fijan valores *mínimos* reglamentarios (20% a 25%) que aseguren una adecuada tenacidad del acero estructural utilizado.

La sección de la probeta estruida referida a la sección inicial F_0 , da una medida de la ductilidad del material:

$$\varphi = \frac{\Delta F}{F} \cdot 100$$

φ : Coeficiente de estricción.

2) Ensayo de Dureza

El ensayo de dureza Brinell se basa en la presión ejercida por una bola de acero endurecido contra la superficie del acero que se ensaya, con una fuerza constante. Es un ensayo poco utilizado, pero es útil para subsanar confusiones de materiales laminados ya que la dureza (cociente entre la fuerza y la superficie del casquete estampado) da valores aproximados de la tensión de rotura del material, que es del orden del 35% de la dureza.

3) Ensayo de Duración con Cargas Variables o Ensayo de *Fatiga*

Es sabido que cuando un miembro estructural o una unión está sujeta a cargas cíclicamente variables, la misma puede fallar después de un cierto número de aplicaciones de la carga aun cuando la máxima tensión nominal, que corresponde a un ciclo simple, es mucho menor que la tensión de fluencia del material, del material de la soldadura o del medio de unión.

Una rajadura puede iniciarse en coincidencia con una discontinuidad (generalmente oculta e inevitable) mecánica o metalúrgica del material sobre la cual, se produce un fenómeno de concentración de tensiones. El proceso de concentración de tensiones, combinado con los procesos de carga y descarga, modifica las condiciones de ductilidad del material en el entorno de la discontinuidad transformándolo, en un material cada vez más frágil. La rajadura se propagará a través del material con las sucesivas repeticiones de carga, hasta que las partes afectadas pierden su capacidad para soportar las cargas actuantes y se produce una fractura brusca del material. Este fenómeno de fractura es conocido como fatiga del material.

Los ensayos de duración permiten determinar algunas características del comportamiento del acero durante su vida útil, cuando el mismo está sometido a cargas variables. Las sollicitaciones a las que se someten las probetas durante los ensayos pueden ser, en este caso, de tracción, compresión, de tracción y compresión y de flexión.

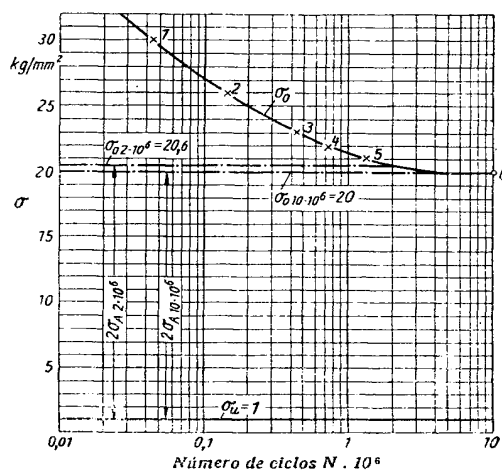
Las normas o especificaciones distinguen tres casos diferentes de resistencia a la fatiga relacionados, cada uno, con los respectivos regímenes de cargas variables actuantes:

3.1) *Resistencia a la fatiga con carga periódicamente variable o simplemente resistencia a la fatiga*: se presenta cuando hay inversión de signo de las cargas actuantes o de las sollicitaciones producidas y el valor medio de las mismas es distinto de cero.

En este caso la *Resistencia a la Fatiga* está definida por la amplitud de la oscilación de la tensión, medida a partir de una tensión media dada, que una probeta puede soportar para un número de ciclos tan elevado como se quiera sin que se produzca la rotura o una deformación excesiva.

3.2) *Resistencia a la fatiga con carga oscilante*: se presenta cuando hay inversión de signo de las cargas actuantes o de las sollicitaciones producidas y el valor medio de las mismas es igual a cero. La tensión producida oscila entre dos valores absolutos iguales, pero de distinto signo.

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA



CURVA DE WÖHLER

El valor numérico de la *Resistencia a la Fatiga* coincide con la amplitud de oscilación de la tensión.

3.3) *Resistencia a la fatiga con carga pulsatoria*: también es un caso particular de la primera y se presenta cuando las tensiones producidas oscilan entre cero y un valor máximo. La tensión media es igual a la amplitud de la oscilación; la *Resistencia a la Fatiga*, se define en este caso, a diferencia de los anteriores, como el doble de la amplitud de la oscilación.

El diagrama que ilustra más claramente la obtención de las resistencias de fatiga es el debido Wöhler.

Para obtener dicho diagrama, se someten a sollicitaciones periódicas variables – con valores escalonados de cargas decrecientes - a un conjunto de probetas equivalentes, determinando el número de ciclos necesario para que cada probeta, con el nivel de carga fijo que se le asigna, alcance la falla o rotura.

De acuerdo al resultado que se persiga (resistencia para carga pulsatoria, oscilante, etc) se fija la tensión media σ_m o la tensión inferior σ_u , para todas las probetas de una misma serie. Luego, se hace variar σ_a - la amplitud de la oscilación - o bien σ_o - la tensión superior - en forma escalonada, de probeta en probeta, hasta hallar finalmente, la máxima sollicitación que el material puede soportar para un número de ciclos tan elevado como se quiera. En la práctica, para las investigaciones de elementos constructivos de la construcción metálica, el número de ciclos se limita a $2 \cdot 10^6$.

Dentro de las construcciones de acero, este tema adquiere una relevante importancia en el diseño de las vigas carriles de una nave industrial, volveremos entonces sobre aspectos específicos relativos a la aplicación de este concepto.

B) Ensayos para la determinación de Propiedades Tecnológicas

Se describen a continuación las propiedades tecnológicas fundamentales requeridas al acero, para garantizar los procesos de fabricación:

Trabajabilidad: los aceros no deben ser frágiles ni en frío ni en caliente, deben poder doblarse 180° en un *ensayo de plegado*, sin presentar fisuras en la zona de tracción, con diámetros de mandril establecidos.

Soldabilidad: la aptitud de los aceros para la *soldadura por fusión* (con electrodos) está determinada por su inclinación al *endurecimiento por temple* y con ello por su contenido de carbono, y en mayor proporción por su *sensibilidad a la fragilidad*. No puede establecerse una calificación general de aptitud de los aceros, ya que la misma depende no sólo del material, sino también de los *espesores* del material unido, de las condiciones de *acabado* (entallas) y de *servicio* (esfuerzos alternativos).

4) Ensayo de Rotura Frágil

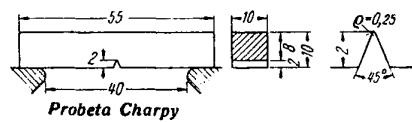
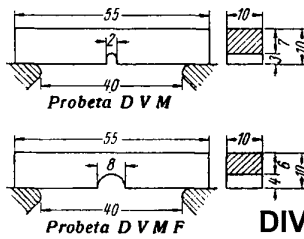
Para determinar la propensión a la fragilidad del acero, se han diseñado numerosos ensayos mediante los que se trata de analizar la influencia de múltiples factores condicionantes, por eso existen:

- . Ensayos encarados desde el punto de vista de la *solicitación* (tracción o flexión), o
- . Ensayos diseñados desde el punto de vista de la *velocidad de aplicación de las cargas* (ensayos estáticos o dinámicos).

Casi todos los métodos de ensayo – para determinar la propensión a la rotura frágil - *tienen en común el que se provoque, mediante un estado de tensiones desfavorable* (estado triple de tensiones, picos de tensiones debidas a entallas o ambas influencias actuando simultáneamente), *un obstáculo a las deformaciones y cuyas influencias se agudizan mediante una sollicitación dinámica* (impacto).

Con este objeto, se utiliza fundamentalmente el *ensayo de flexión por choque* siendo el más conocido, el que utiliza la *probeta de Charpy*, cuyas características se ilustran en la figura siguiente. La entalladura estandarizada que se observa, es la responsable del estado de tensiones complejo que se busca provocar.

El ensayo consiste en hacer chocar un péndulo contra una probeta, el cociente entre el trabajo necesario para romper la probeta y la sección de la misma define la *resiliencia*, que resulta así medida en kgm/cm^2 . Se puede comprobar en los ensayos, la influencia de la temperatura en los valores de la resiliencia que se obtienen para distintas probetas, de un mismo tipo y de igual material. En general, la experiencia confirma que, cuanto más aguda es la entalla en la probeta, más se eleva la temperatura de falla y decrecen los valores de resiliencia. Por ello,



solamente son comparables los ensayos realizados con la misma forma de probeta y en las mismas condiciones.

DIVERSOS TIPOS DE PROBETA PARA EL ENSAYO DE FLEXION POR CHOQUE

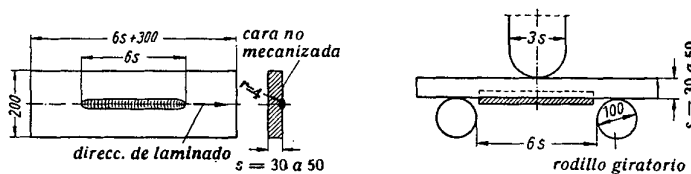
Los valores de resiliencia sólo sirven para calificar la sensibilidad de un determinado acero a la fragilidad, pero no es un parámetro utilizado en el dimensionamiento de componentes estructurales.

5) Ensayo de Plegado con Depósito de Soldadura

Este ensayo de doblado o plegado se aplica sobre una muestra plana del material, apoyada sobre rodillos y cuyas dimensiones se ilustran en la figura. La ranura se rellena con soldadura de una sola capa, sin aplicar posteriormente ningún tipo de tratamiento o terminación al cordón depositado. Para la operación de doblado, la probeta se coloca de modo que el cordón de soldadura quede del lado traccionado.

Los productos ensayados deben presentar una rotura con deformación plástica; los aceros propensos a la rotura frágil conducen a roturas casi sin deformación, aún con ángulos de plegado relativamente pequeños. La magnitud de este ángulo de plegado junto con el tipo de rotura (rotura con o sin deformación) constituye un criterio importante de calificación.

PROBETA PARA EL ENSAYO DE PLEGADO



Ensayo de plegado con depósito de soldadura

Los ensayos deben prolongarse hasta la rotura y hasta que alcance como mínimo, un ángulo de plegado de 90°. La rotura sin deformación plástica (rotura frágil) se presenta cuando las fisuras que se presentan en el cordón **no se prolongan** en el material

de la probeta (material base). Cuanto más grande o importante sea la porción de probeta involucrada en la deformación o deslizamiento, más favorablemente debe juzgarse el acero.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El conocimiento y control de los componentes del acero tiene una influencia decisiva en sus propiedades; algunos de sus componentes son indeseables pero difíciles de eliminar y otros en pequeñas cantidades mejoran sus cualidades. Los componentes habituales determinados mediante análisis químicos son:

C P S N Si Mn

Los que se agregan para mejorar sus propiedades, son habitualmente:

Cr Ni Mo Cu V Ti

Veremos a continuación las proporciones en que estos elementos integran el acero y la influencia que cada uno de ellos tiene sobre el mismo. Antes, conviene aclarar que los porcentajes de los componentes que integran la mezcla, son determinados mediante análisis químicos que se realizan durante dos etapas distintas del proceso de fabricación del acero: uno es el *análisis de fusión o colada* y el otro es un análisis realizado *sobre la pieza o lingote*.

Los porcentajes más pequeños de los que se indican a continuación, corresponden en general, al análisis de colada en donde – antes del enfriamiento - el fenómeno de desmezcla es menor.

Carbono (C) : Es el componente principal del acero; su contenido normal está entre el 0.15% al 0.5% en peso; en los aceros que se aplican en las estructuras metálicas, la proporción es del 0.15% al 0.25%.

Mayores cantidades de carbono producen un aumento de su resistencia a la rotura σ_R , aumenta la dureza y la fragilidad pero disminuye la *soldabilidad*; aceros con porcentajes de C mayores al 0.4% son imposibles de soldar.

Fósforo (P) : Es un elemento indeseable y está presente porque no es posible eliminarlo mediante los procedimientos usuales de fabricación del acero; se lo considera una impureza.

Aumenta la resistencia a la rotura σ_R , la dureza y la fragilidad en frío (con elevados porcentajes rompe como si fuera vidrio). Las diversas normas o especificaciones limitan el máximo contenido de P del 0.05% al 0.10%.

Azufre (S) : Es también un elemento indeseable, aumenta la fragilidad en caliente y disminuye la ductilidad, especialmente la transversal (en dirección perpendicular al plano de laminación). Los contenidos máximos permitidos van del 0.05% al 0.07%.

Nitrógeno (N): Es un elemento indeseable, produce el envejecimiento del acero haciéndolo más frágil y favorece además la oxidación en los cordones de soldadura. Contenido máximo 0.007% a 0.010%.

Silicio (Si): Es un componente deseable en proporciones limitadas, se utiliza para “calmar” los aceros por su afinidad con el oxígeno, obteniéndose un material libre de poros. La cantidad máxima es de 0.10% a 0.50%, cantidades mayores disminuyen la soldabilidad.

Manganeso (Mn):

Tiene un comportamiento similar al carbono: aumenta σ_R , aumenta la dureza y la fragilidad pero en menor grado que el carbono. Sirve para tener una buena textura del acero y un adecuado grano; se combina con el azufre formando sulfuro de manganeso (SMn) evitando la formación de sulfuro de hierro (Sfe) que es inconveniente para el acero. El contenido máximo es de aproximadamente 1.7%.

Los componentes *mejoradores* de propiedades son:

Cromo (Cr) y Niquel (Ni):

Aumentan notoriamente la resistencia a la corrosión del acero (Acero inoxidable), aumenta σ_R y σ_f , disminuyen la soldabilidad, son componentes caros y sus porcentajes son:

$$\text{Cr} \leq 0.6\%$$

$$\text{Ni} \leq 0.3\%$$

Cobre (Cu): En pequeñas cantidades aumenta la resistencia a la corrosión (Acero CORTEN). Su contenido máximo es de 0.8%.

Molibdeno (Mo):

Disminuye la fragilidad mejorando la ductilidad del acero, contenido máximo 0.2%.

Vanadio (V) y Titanio (Ti):

Mejoran la calidad del grano y se utilizan para obtener aceros calmados.

TIPIFICACION Y NORMALIZACION DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES

Los aceros para aplicaciones estructurales, están normalizados por los países usuarios de acuerdo a las características mecánicas, químicas y a sus propiedades tecnológicas.

En Alemania la norma que regla la calidad de los “*Aceros Generales para la Construcción*” es la DIN 17100.

En EEUU se siguen las recomendaciones de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

En nuestro país los aceros para la construcción y de uso estructural tienen sus características reguladas por las Normas IRAM-IAS U 500-503 “*Aceros para Construcción de Uso General*” e IRAM IAS U 500-42 “*Chapas de Acero al Carbono para Uso General y Estructural*”.

Calidad de los aceros según DIN 17100

Analizaremos en particular la norma DIN 17100, ya que su presentación resulta muy clara y sintetiza en parte, los aspectos mecánicos y tecnológicos que hemos estudiado hasta ahora. También conviene familiarizarse un poco con ella, porque es una norma que ha sido tradicionalmente muy utilizada por los proyectistas y constructores de nuestro país.

La norma DIN 17100 define a los aceros generales para la construcción metálica como “*aquellos aceros no aleados o poco aleados, que en estado conformado en caliente, después de un normalizado o después de una conformación en frío, se emplean normalmente debido a su resistencia a la tracción y a su límite de fluencia, por ejemplo en la construcción de edificios, puentes, obras hidráulicas, depósitos, maquinaria y vehículos*”.

Las características mecánicas y químicas de los aceros están expuestas en la **Tabla 1** de dicha norma (ver página 556 de “*El Acero en la Construcción*”, Edit. Reverté). En la misma cada tipo de acero queda identificado por una sigla *St* (de la palabra acero en alemán *Stahl*) y un número puesto a continuación, que indica la resistencia a la tracción de dicho acero en kg/mm^2 , por ejemplo, para el acero:

St37: se trata de un acero de 37 kg/mm^2 de resistencia a la tracción.

Es de hacer notar, que las características fijadas en esta norma son *condiciones mínimas* que deben ser garantizadas para los diversos productos siderúrgicos.

Haremos hincapié en nuestro estudio a los tres tipos de acero más comunes, contenidos en esta norma, utilizados en las construcciones metálicas y que son:

St33

St37

St52

Cada uno de estos aceros es presentado dentro de esta norma, en diferentes calidades que se diferencian entre sí desde el punto de vista de los *procedimientos o métodos de fabricación* mediante los cuales cada uno de ellos fue obtenido (Por ejemplo, si su procedencia es del Convertidor Thomas, Horno Siemens Martin, LD, etc.) y también

atendiendo al *tratamiento posterior de colada* (proceso de desoxidación: *calmado* o *no calmado*).

En ese sentido el acero *St37.1*, indicado en la Tabla 1 mencionada, es acero *St37* de calidad 1, lo cual significa, que este acero puede obtenerse del procedimiento Thomas, S.

Aceros generales para la construcción, prescripciones de calidad DIN 17 100

Tabla 1. Clasificación de los tipos y valores garantizados para las propiedades mecánicas														
Tipo de acero		Número del material	Tipo de desoxidación ¹⁾ Estado de tratamiento ²⁾		Tipos de acero similares según la Euronorma 25 ²⁾	Propiedades mecánicas								
						Resistencia a la tracción ³⁾ ⁴⁾ ⁵⁾ kg/mm ²	Límite de fluencia ⁶⁾ kg/mm ² como mínimo	Alargamiento de rotura ⁷⁾ ⁸⁾ (L ₀ = 5 d ₀) % como mínimo	Ensayos de resiliencia ISO		Resiliencia		Ensayos DVM ¹⁰⁾ para ± 0° C Valor medio aislado kgm/cm ² como mínimo	Diámetro del mandril en el ensayo de plegado ¹¹⁾
Valor medio ⁹⁾ [*]	Para °C	Antiguos ensayos DVM ¹⁰⁾ para + 20° C Valor medio [*]	Valor medio aislado											
St33-1	1.0033	—	—	Fe33-0	33	19 ¹⁴⁾	18 ¹⁴⁾	—	—	—	—	—	—	3a
St33-2	1.0035	—	—	—	a 50		(14)	—	—	—	—	—	—	
USt34-1	1.0100	U	U,N	Fe34-A	34	21	28	—	—	—	—	—	—	0,5a
RSt34-1	1.0150	R	U,N	Fe34-A	a 42		(20)	3,5	+ 20	8	5	—	—	
USt34-2	1.0102	U	U,N	Fe34-B3FU				3,5	+ 10 ¹⁵⁾	10	6	—	—	
RSt34-2	1.0108	R	U,N	Fe34-B3FN										
USt37-1	1.0110	U	U,N	Fe37-A(Fe42-A)	37	24	25	—	—	—	—	—	—	1a
RSt37-1	1.0111	R	U,N	Fe37-A(Fe42-A)	a 45		(18)	3,5	+ 20	8	5	—	—	
USt37-2	1.0112	U	U,N	Fe37(Fe42)-B3FU				3,5	+ 10 ¹⁵⁾	10	6	—	—	
RSt37-2	1.0114	R	U,N	Fe37(Fe42)-B3FN				3,5	± 0	—	—	7	3,5	
St37-3	1.0116	RR	U,N	Fe37-C3				3,5	- 20	—	—	9	4,5	
				Fe37-D3										
USt42-1	1.0130	U	U,N	Fe42-A(Fe45-A)	42	26	22	—	—	—	—	—	—	2a
RSt42-1	1.0131	R	U,N	Fe42-A(Fe45-A)	a 50		(16)	3,5	+ 20	8	5	—	—	
USt42-2	1.0132	U	U,N	Fe42-B3FU				3,5	+ 20	8	5	—	—	
RSt42-2	1.0134	R	U,N	Fe42(Fe45)-B3FN				3,5	± 0	—	—	7	3,5	
St42-3	1.0136	RR	U,N	Fe42-C3				3,5	- 20	—	—	9	4,5	
				Fe42-D3										

Martin o VK (*VK verbesserte Konverter*: aceros al convertidor mejorados), mientras que las calidades indicadas como *St37.2* y *St37.3* solo incluyen los aceros derivados de los procedimientos Siemens Martin, VK o LD. Para estas últimas calidades se fijan en la norma, los límites superiores de N en 0.007% y 0.009%.

Como se recordará en los convertidores Bessemer y Thomas se insufla aire, en cambio en los convertidores LD se insufla oxígeno puro para reducir de esta forma el contenido de N que naturalmente tiene el aire, el cual queda – utilizando los otros procedimientos - disuelto en la masa líquida del acero.

Esa calificación determina que el acero *St37.1* deba ser utilizado en estructuras con uniones abulonadas o con uniones soldadas poco comprometidas de espesores delgados.

Desde el punto de vista de la desoxidación, según esta norma, los aceros se clasifican con una abreviatura adicional:

- U:** Acero efervescente (o no calmado) – *Rimmed Steel*
- R:** Acero Calmado – *Semikilled Steel*
- RR:** Acero doblemente calmado – *Killed Steel*

Recordemos que el *calmado* es un proceso que tiende a eliminar el burbujeo del CO mediante el agregado de elementos de tengan mayor afinidad con el oxígeno que el propio carbono (por ejemplo el Si, Al, Ti, etc.); de esta manera se evita la segregación y el desmezcle, fenómenos que ya hemos definido. Con estos procesos los aceros se vuelven más aptos para las operaciones posteriores de fabricación, como lo es la conformación en frío, la soldadura, etc.

Tabla 1 (Continuación)

Composici6n quimica de los aceros generales para la construcci6n																
Tipo de acero		Composici6n quimica en % del peso								Aptitud para el						
		Análisis de la fusi6n				Análisis de la pieza				Recanteado	Estirado en barras		Forjado en estampa			
		C ¹²⁾	P	S	N ¹³⁾	C	P	S	N ¹³⁾	Queda garantizada para los tipos de acero						
Abre- viaci6n	Núm. del mate- rial	como máximo								Abre- viaci6n	Núm. del material	Abre- viaci6n	Núm. del material	Abre- viaci6n	Núm. del material	
St33-1	1.0033	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
St33-2	1.0035	—	0,060	0,050	0,007	—	0,075	0,063	0,009	—	—	—	—	—	—	
USt34-1	1.0100	0,17	0,080	0,050	—	0,21	0,10	0,063	—	—	—	UZSt34-1	1.0101	UPSt34-1	1.0107	
RSt34-1	1.0150					0,19	0,088	0,055	—	—	—	—	—	—	—	
USt34-2	1.0102	0,15	0,050	0,050	0,007	0,19	0,063	0,063	0,009	UQSt34-2	1.0104	UZSt34-2	1.0151	UPSt34-2	1.0177	
RSt34-2	1.0108					0,17	0,055	0,055	0,008	RQSt34-2	1.0109	—	—	RPSt34-2	1.0178	
USt37-1	1.0110	0,20	0,07	0,050	—	0,25	0,090	0,063	—	—	—	UZSt37-1	1.0120	UPSt37-1	1.0118	
RSt37-1	1.0111					0,22	0,080	0,055	—	—	—	—	—	—	—	
USt37-2	1.0112	0,18 ¹⁵⁾ 0,17	0,050	0,050	0,007	0,22 ¹⁶⁾	0,063	0,063	0,009	UQSt37-2	1.0121	UZSt37-2	1.0161	UPSt37-2	1.0160	
RSt37-2	1.0114					0,19	0,055	0,055	0,008	RQSt37-2	1.0122	RZSt37-2	1.0165	RPSt37-2	1.0172	
St37-3	1.0116	0,17	0,045	0,045	0,009	0,19	0,050	0,050	0,010	QSt37-3	1.0123	—	—	—	—	
USt42-1	1.0130	0,25	0,080	0,050	—	0,31	0,10	0,063	—	—	—	UZSt42-1	1.0140	—	—	
RSt42-1	1.0131					0,28	0,088	0,055	—	—	—	—	—	RZSt42-1	1.0139	—
USt42-2	1.0132	0,25	0,050	0,050	0,007	0,31	0,063	0,063	0,009	UQSt42-2	1.0141	UZSt42-2	1.0181	—	—	
RSt42-2	1.0134					0,25	0,055	0,055	0,008	RQSt42-2	1.0142	RZSt42-2	1.0185	RPSt42-2	1.0191	
St42-3	1.9136	0,23	0,045	0,045	0,009	0,25	0,050	0,050	0,010	QSt42-3	1.0143	—	—	—	—	

Según esta clasificación los aceros de calidades 1 y 2 pueden ser *U* o *R*, pero los aceros de calidad 3 son *RR*.

Existe otra clasificación de los aceros, diferenciando aquellos que han recibido tratamiento térmico o no, después del proceso de laminación:

U: Acero conformado en caliente, *no tratado*.

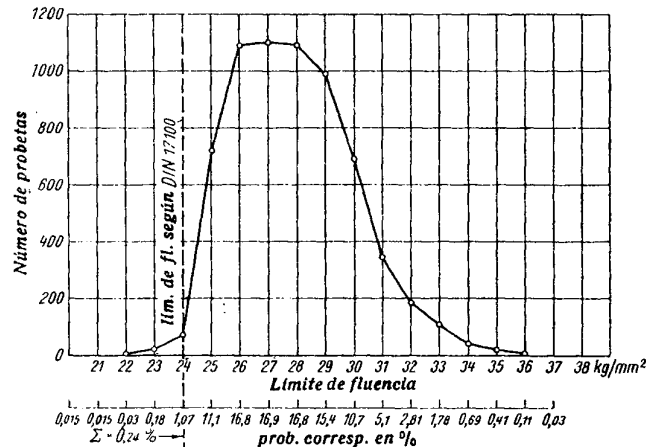
N: Acero *Normalizado*. (El Normalizado es un tratamiento térmico que permite lograr en el acero, una estructura uniforme de grano fino. La temperatura de normalizado está unos 50° por encima de la línea de transformación, en el Diagrama Hierro-Carbono, de Ferrita a Austenita - entre 850° y 950°. El enfriamiento puede ser por exposición al aire, en condiciones normales (tranquilas). No obstante, para evitar la formación de tensiones residuales puede hacerse el enfriamiento dentro del horno.

Podemos observar también en la Tabla 1, que a medida que mejoramos la calidad de un determinado tipo de acero, los porcentajes de sus componentes disminuyen, por ejemplo en el acero *St37*, tenemos:

St37	1	2	3
C	0.20	0.18	0.17
P	0.07	0.05	0.045
S	0.05	0.05	0.045
N	-	0.07	0.09

Se aprecia también en dicha tabla, una diferencia entre los porcentajes del “análisis de fusión o de colada” y los porcentajes del “análisis de la pieza” (después de la laminación) y esto es debido a las alteraciones producidas por el fenómeno de desmezcle, siendo las diferencias más apreciables en los aceros efervescentes (U).

Los valores de las tensiones de fluencia fijados en la Tabla 1, para los distintos aceros, han sido adoptados luego de numerosos ensayos que duraron alrededor de tres años y aplicados sobre 6502 probetas. Para el acero St37 se obtuvo, como resultado de esos ensayos, una *distribución de frecuencias* como la que se ilustra a continuación:



Límite de fluencia para el acero St 37. Curvas de frecuencia para los resultados de ensayos realizados con 6502 probetas desde 1952 hasta 1955.

El valor *mínimo* de $\sigma_f = 24 \text{ kg/mm}^2$, fijado para el acero St37, es convencional, ya que en los estudios realizados, se admitieron 16 probetas (el 0.24% \equiv percentil de 0.24%) con valores menores al mínimo especificado.

Hay una versión más actualizada de esta norma que es la Euronorm 25 que presenta algunos cambios de nomenclatura.

Clasificación de los aceros según la ASTM

A continuación incluiremos una Tabla 1-1, publicada en el libro *Diseño de Estructuras Metálicas* de Mc Cormac, en la cual se indican los aceros estructurales de uso corriente en EEUU y Canadá.

Los aceros más utilizados de los que allí se indican, para miembros estructurales, son el ASTM A36 y el ASTM A572 Grado 50 los cuales son equivalentes, aproximadamente al St37 y al St52 de la DIN 17100.

Los números que siguen a la letra A (A36, A50, etc.) indican la resistencia de rotura a la tracción expresada en kips (1kilopounds/square inch \equiv 0.0707 ton/cm²), así se obtiene:

ASTM	σ_f	σ_R
	t/cm ²	t/cm ²
A36	2.54	4.24 a 5.65
A572 G50	3.53	4.45 a 4.95

Tabla 1-1 PROPIEDADES DE ACEROS ESTRUCTURALES (del libro Diseño de Estructuras Metálicas - Mc. Cormac)

Designación de la ASTM	Tipo de acero	Formas	Usos recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia F_y^a , klb/plg ²	Resistencia especificada mínima a la tensión F_u^b , klb/plg ²
A36	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Puentes, edificios y otras estructuras atornilladas, soldadas o remachadas	36, pero 32 si el espesor es mayor de 8 plg	50-80
A529	Al carbono	Perfiles y placas hasta 1/2 plg	Similar al A36	42	60-85
A441	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta 8 plg	Similar al A36	40-50	60-70
A572	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta 6 plg	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas. No para puentes soldados de acero con $F_y = 55$ o mayores	42-65	60-80
A242	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Perfiles, placas y barras hasta 4 plg	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas; técnica de soldado muy importante	42-50	63-70
A588	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Placas y barras	Construcciones atornilladas y remachadas	42-50	63-70
A852	De baja aleación, templado y revenido	Placas sólo hasta 4 plg	Construcción soldada, remachada o atornillada; principalmente para puentes y edificios soldados. Técnica de soldado de importancia fundamental	70	90-110
A514	Aleados templados y revenidos	Placas sólo hasta 4 plg	Estructuras soldadas con mucha atención a la técnica empleada; no se use si la ductilidad es importante	90-100	100-130

^a Los valores F_y varían con el espesor y el grupo (véanse las tablas 1 y 2 en la parte I del manual ASD.)

^b Los valores F_u varían con el grado y el tipo.

En rigor, la denominación “Acero al Carbono” no es correcta, por cuanto todos los aceros tienen como principal elemento componente el carbono, por lo tanto, el agregado *al carbono* es redundante.

Clasificación de los aceros según IRAM-IAS (IRAM: *Instituto Argentino de Racionalización de Materiales*, IAS: *Instituto Argentino de Siderurgia*)

La norma IRAM-IAS U 500-503 de “Aceros para construcción de uso general” indica que su objetivo es establecer las características de los productos de acero laminados en caliente que se emplean en estructuras metálicas (atornilladas, roblonadas o soldadas) y en construcciones mecánicas.

La designación de los aceros, dentro de esta norma, se realiza mediante la letra F (fluencia) seguida por un número que indica la tensión de fluencia en decanewton/mm² o lo que es lo mismo en kg/mm². Por ejemplo, indica que los aceros que se emplearán en estructuras metálicas corresponden a la siguiente designación:

F20 F24 F26 F36 y F45

Establece en el artículo 4.4 las condiciones de Soldabilidad que estos aceros deben satisfacer para que sean considerados soldables:

- 1) Para ello define el concepto de carbono equivalente dado por la siguiente expresión:

$$C_e(\%) = C(\%) + \frac{Mn(\%)}{6} + \frac{Cr(\%) + Mo(\%) + V(\%)}{5} + \frac{Ni(\%) + Cu(\%)}{15} \leq 0.55\%$$

- 2) Los contenidos de impurezas sean normales y los contenidos de elementos residuales sean limitados;
- 3) Las segregaciones sean las propias del acero calmado y semicalmado.

Para los dos últimos casos no define límites cuantitativos.

En la Tabla III, la norma establece las Características Mecánicas y en la Tabla V la Composición Química, las cuales según el artículo 5.1, deben ser garantizadas.

TABLA III
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Designación del acero		Límite de fluencia mínimo (R _e) (MPa)			Resistencia a la tracción mínima R (MPa)	Alargamiento de rotura A (%) L ₀ = 5,65 √ S ₀		Doblado a 180° sobre calza de:			
Actual	Anterior	e ≤ 16	16 < e ≤ 40	40 < e ≤ 63		e ≤ 40	40 < e ≤ 63	e ≤ 16	16 < e ≤ 40	40 < e ≤ 63	
F-19	A-33	190	-	-	330	18	19	3 e	3 e	3 e	
F-20	A-34	210	200	190	340	28	27	0,5e	1 e	1 e	
F-24	A-37	240	230	220	370	25	24	1 e	1,5e	1,5e	
F-26	A-42	260	250	240	420	22	21	1,5e	2 e	2 e	
			16 < e ≤ 25	25 < e ≤ 40							
F-36	A-52	360	350	340	330	520	22	21	2,5e	3 e	3 e
F-45	A-55	450	430	410	400	550	19	18	2,5e	3,5e	3,5e
F-30	A-50	300	290	280	270	500	20	19	-	-	-
F-34	A-60	340	330	320	310	600	15	14	-	-	-
F-37	A-70	370	360	350	340	700	10	9	-	-	-

e : el espesor nominal del producto, en milímetros.
10 MPa ≅ 1 kgf/mm²

Los aceros F30, F34 y F37 son para aplicaciones mecánicas.

La norma IRAM-IAS U 500-42 se refiere a chapas de acero al carbono para uso general y estructural y establece para las mismas condiciones similares a las indicadas más arriba. En el caso del requerimiento para el carbono equivalente la expresión correspondiente queda

reducida a:

$$C_e(\%) = C(\%) + \frac{Mn(\%)}{6}$$

Los porcentajes de C_e , en este caso, están dados en función del espesor de las chapas a unir y de la calidad del acero especificado.

TABLA V
COMPOSICIÓN QUÍMICA

Designación del acero		Análisis de colada			Análisis de comprobación para aceros calmados y semicalmados		
Actual	Anterior	C máx. (%)	P máx. (%)	S máx. (%)	C máx. (%)	P máx. (%)	S máx. (%)
F-19	A-33	-	0,050	0,050	-	-	-
F-20	A-34	0,17	0,050	0,050	0,21	0,060	0,060
F-24	A-37	0,20	0,050	0,050	0,24	0,060	0,060
F-26	A-42	0,25	0,050	0,050	0,29	0,060	0,060
F-36	A-52	0,22	0,050	0,050	0,26	0,060	0,060
F-45	A-55	0,22	0,050	0,050	0,26	0,060	0,060
F-30	A-50	~0,25	0,050	0,050	-	0,060	0,060
F-34	A-60	~0,40	0,050	0,050	-	0,060	0,060
F-37	A-70	~0,50	0,050	0,050	-	0,060	0,060

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DISPONIBLES

De los trenes de laminación se obtienen los “productos finales laminados en caliente y en frío”, entre estos se distinguen los “productos planos” (chapas, planos anchos, etc.) y los “perfiles” conformados en caliente o en frío.

En general, estos productos están normalizados según normas de los países productores, así tenemos las series americanas, las series alemanas y europeas y las producciones locales que siguen normas americanas y alemanas, según la procedencia de los trenes laminadores.

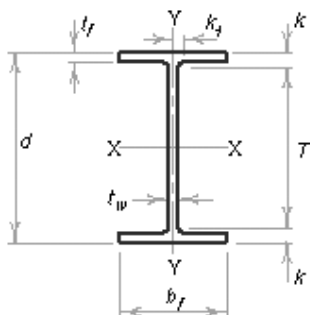
El proceso de producción consiste en la laminación mediante rodillos de la palanquilla que se conforma en caliente. Se requiere un número determinado de pasadas a través de los rodillos, hasta alcanzar la geometría de la sección final deseada.

Series Americanas (Nomenclatura según el American Institute of Steel Construction- AISC)

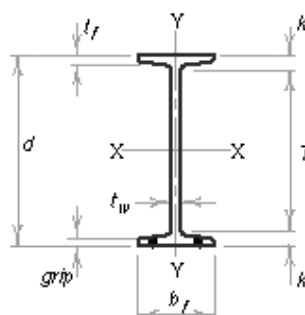
Las series americanas se laminan en las formas:

W	Son perfiles de ala relativamente ancha y de caras paralelas.
M	Son más livianos que los perfiles W, de alas medianas y caras paralelas.
S	Se trata de perfiles de ala angosta con la cara interior de las alas taluzada.
HP	Parecidos a los perfiles W con el alma más robusta.
L	Perfiles angulares de alas iguales y desiguales.
C	Perfiles U o C estándar y misceláneos.
T	Perfiles T obtenidos por corte de los perfiles W, M y S.
○	Perfiles estructurales de sección hueca circular
□	Perfiles estructurales de sección hueca cuadrada
	Perfiles estructurales de sección hueca rectangular

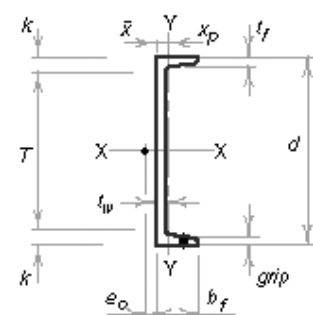
Perfil W, M y HP



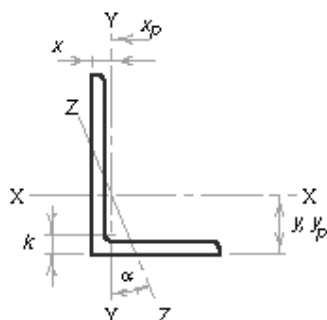
Perfil S



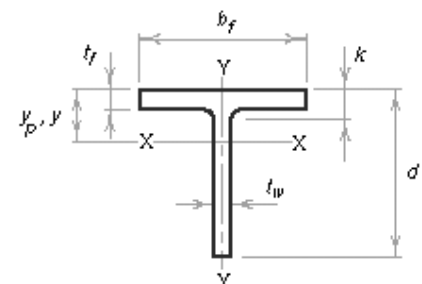
Perfil U o C

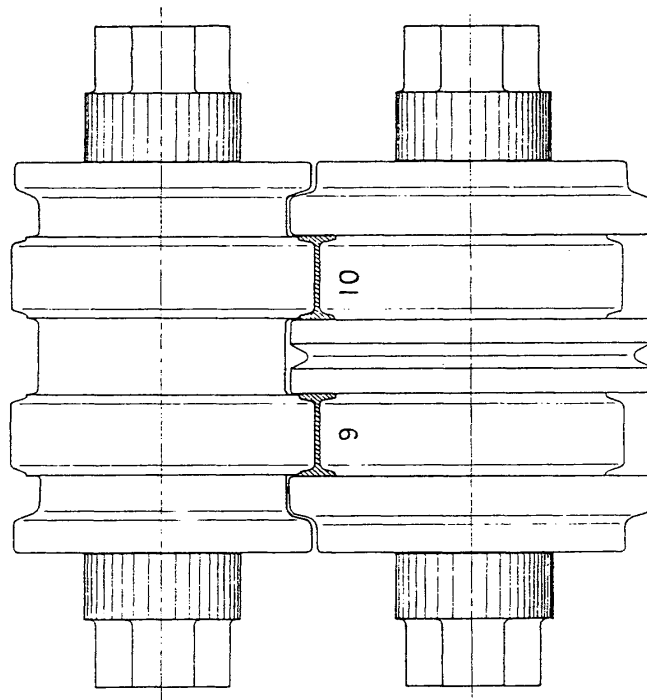
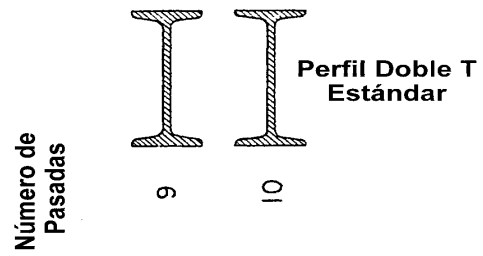


Perfil L de alas iguales o desiguales



Perfil T



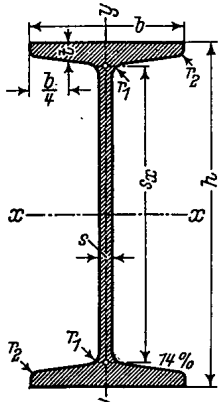


RODILLOS TERMINADORES
(Número de Pasadas)

Series Alemanas y Europeas (Ver el Acero en la Construcción – Edit Reverté)

En nuestro país se laminan perfiles L según la serie americana y alemana y perfiles doble T y U según la serie alemana, de tamaños reducidos. También se laminan chapas de hasta 12.5 mm de espesor.

Vigas I de ala estrecha, taluzada interiormente, serie I (laminada en caliente), según DIN 1025 hoja 1, Edición octubre 1963



F = Sección
 G = Peso
 U = Superficie exterior por m de pieza
 J = Momento de inercia
 W = Momento resistente
 $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$ = Radio de giro

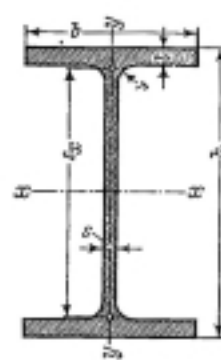
} referido al eje correspondiente de flexión

S_x = Momento estático de media sección de la I
 $s_x = \frac{J_x}{S_x}$ Separación entre los centros de tracción y compresión

Datos sobre largos, ejemplos de designación, de pedidos, y tolerancias, ver capítulo 2.9.

Material : Preferentemente clases de acero según DIN 17 100

Vigas I de ala mediana y caras paralelas — Serie IPE *) — (laminadas en caliente) según DIN 1025 hoja 5, Edición marzo 1965



F = Sección
 G = Peso
 U = Superficie exterior por m de longitud
 J = Momento de inercia
 W = Momento resistente
 $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$ = radio de giro

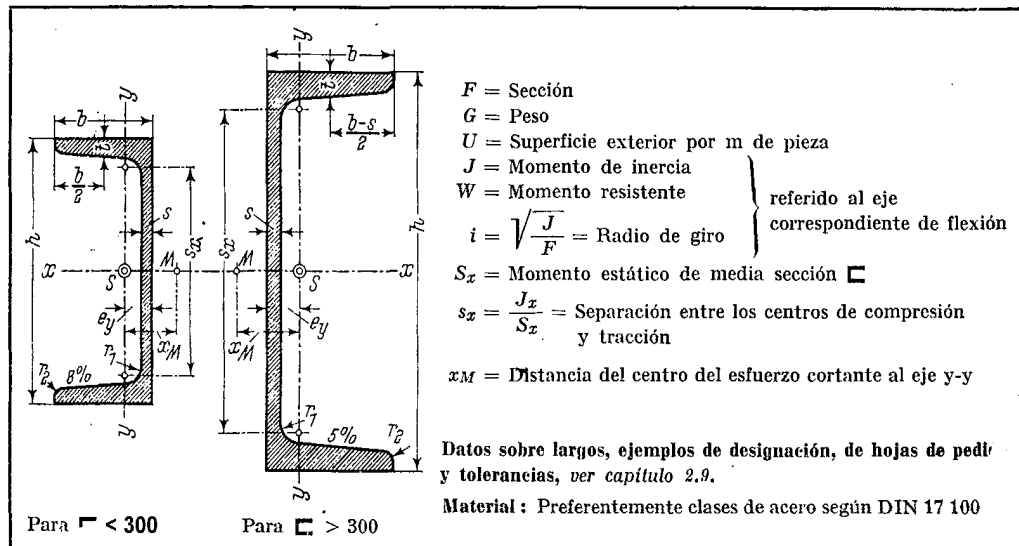
} referido al eje correspondiente de flexión

S_x = Momento estático de media sección I
 $s_x = \frac{J_x}{S_x}$ = separación entre los centros de tracción y compresión

Datos sobre largos, ejemplos de designación, ejemplos de pedido, y tolerancias admisibles, ver cap. 2.3.

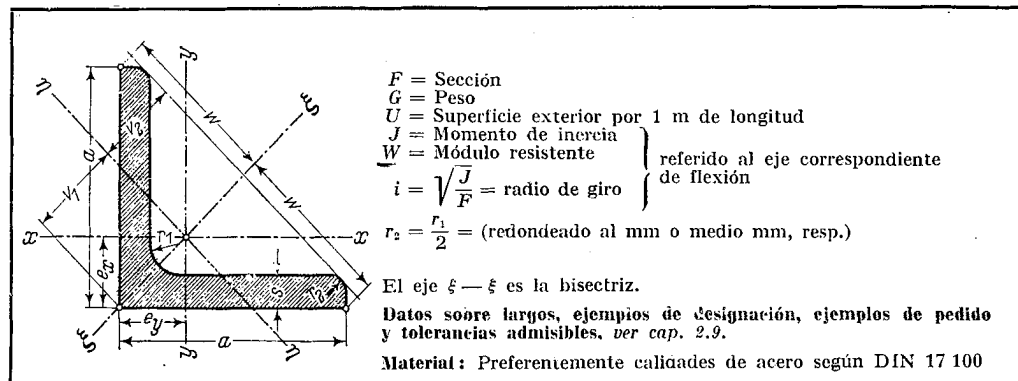
Material : Preferentemente calidades de acero según DIN 17 100

Perfiles \square de canto redondo ¹⁾ (lámin. en caliente), DIN 1026, Ed. Oct. 1963



Perfiles L (angulares) de cantos redondos

Aceros ang. L de lados iguales y canto redondo *) (laminados en caliente), según DIN 1028, Edición octubre 1963 ×



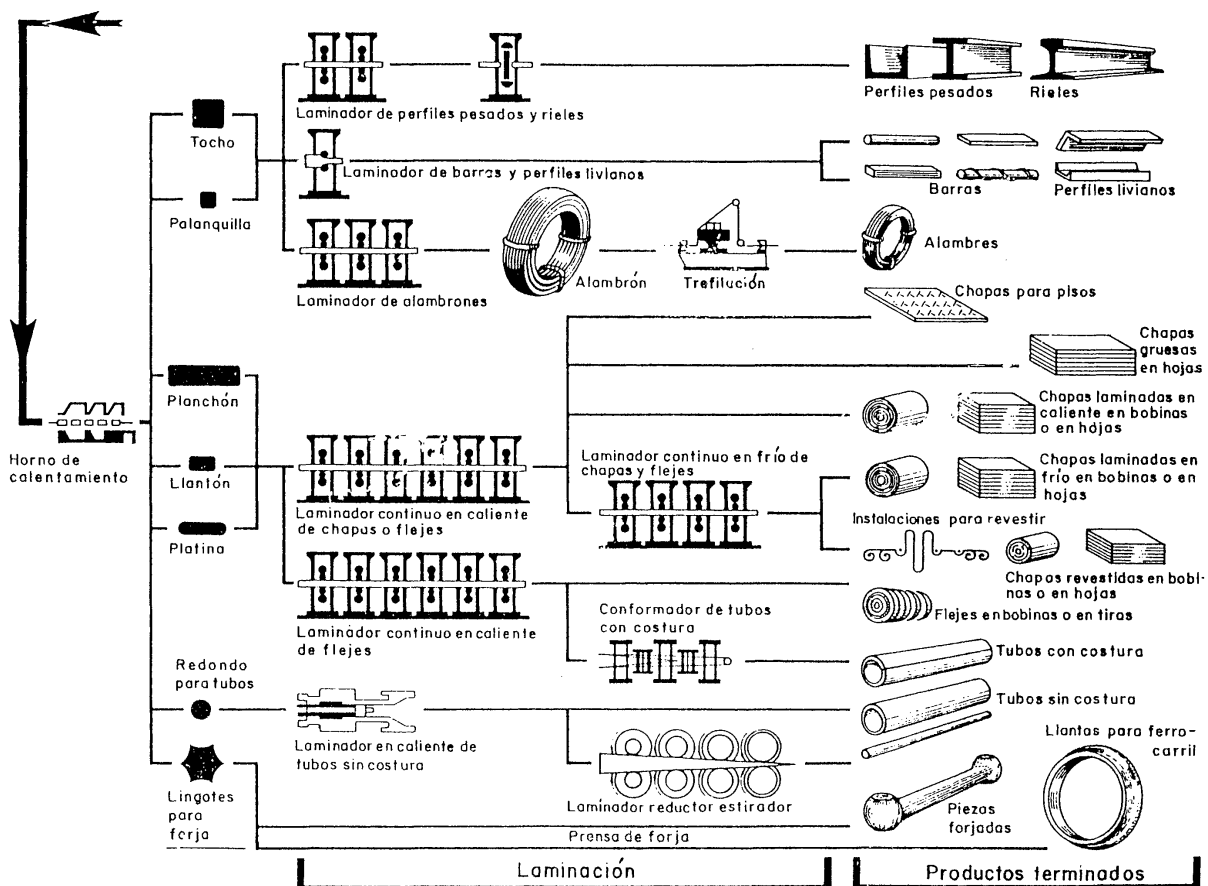
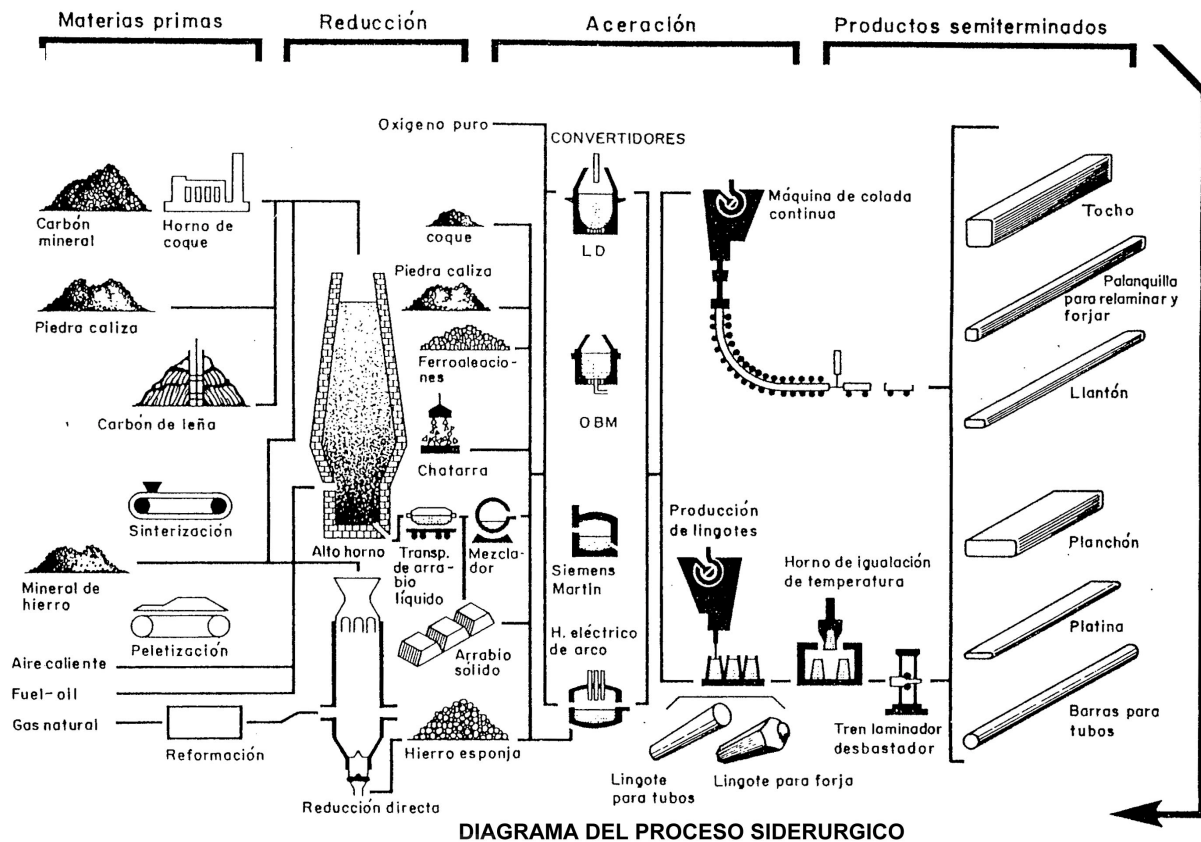


DIAGRAMA DEL PROCESO SIDERURGICO (2)