

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**TEMA 6
PRODUCTOS DE ACERO
INGENIERÍA CIVIL**

ÍNDICE

1. Aceros
2. Armaduras pasivas
3. Armaduras activas
4. Perfiles laminados
5. Soldaduras, electrodos
6. Tracción, elasticidad

BIBLIOGRAFÍA

1- Aceros

1.1.- Introducción

Los productos de acero que se incluyen en este tema, son los utilizados en la construcción, y más concretamente en los elementos que constituyen las estructuras, como son: las armaduras de las estructuras de hormigón armado y los perfiles laminados de las estructuras metálicas, todos ellos fabricados en la industria siderúrgica.

Se trata de productos básicos estructurales de acero, metal polivalente constituido por hierro (Fe) con adición de carbono (C), en una proporción variable de 0,10% a 2%, lo que influye sobre las características del metal.



Cantera de mineral de hierro (Vizcaya)



Mineral triturado para la fabricación de acero

La materia prima original es el hierro, que es un metal abundante en la corteza terrestre, ya que se encuentra en forma de mineral, combinado con otros elementos, por lo que desde la antigüedad se elaboró hierro con procesos de calentamiento de minerales ferruginosos, que después se forjaban.

Posteriormente, se elaboró el acero, es decir, hierro enriquecido con carbono en hornos rudimentarios, consiguiendo un material más duro y resistente; y después llegó la fundición (siglo XV), con los primeros "altos hornos" de 4 a 6 metros de altura, que permitió un descubrimiento fortuito, pero trascendente, el de un metal ferroso en estado líquido, la fundición, que se prestaba a la fabricación de numerosos objetos metálicos (marmitas, tuberías, verjas, etc.).

Asimismo, la fundición permitía la producción de hierro en abundancia, gracias al afino: el lingote de fundición se calentaba, sometiéndose a aire soplado, lo que provocaba la combustión del carbono contenido en la fundición y generaba un flujo de hierro gota a gota, formando una masa pastosa de hierro bruto, pero frágil.



Fabricación de acero en siderurgia



Colada para acero estructural

El material acero, como le conocemos en la actualidad, tuvo su gran desarrollo en el siglo XIX, cuando se impuso como el metal rey de la revolución industrial, coincidiendo con la aparición de los hornos Bessemer, Thomas y Martin; ya que hasta entonces se había fabricado en pequeñas cantidades.

Para diferenciar los productos derivados del mineral de hierro, se define:

- Hierro: metal de Fe, con impurezas y contenido de carbono (C) $< 0,10\%$
- Fundición: metal de Fe, con contenido de carbono (C) $(2,5\% < C < 6\%)$
- Aceros: metal de FE, con contenido de carbono (C) $(0,10\% < C < 2\%)$

El termino hierro está en desuso y, ya no se habla de hierro, sino de aceros "de muy bajo contenido en carbono.

1.2-Propiedades

Las propiedades más destacables de los aceros, y por las que se considera un material imprescindible en la construcción de estructuras, son:

Resistencia.- La elevada resistencia a compresión, y principalmente a tracción, convierte al acero en un material que soporta grandes esfuerzos con elementos de secciones reducidas. (*Limite elástico $f_y = 200$ a 600 Mpa; 2000 a 6000 Kp/cm²*)

Elasticidad.- Se trata de un material que combina su elevada resistencia, con una gran elasticidad, lo que supone que ante determinados esfuerzos, experimente mayores deformaciones que otros materiales, en estado elástico.

Esto significa que es un material con un buen comportamiento elástico. (*Módulo Elasticidad del acero: 210.000 N/mm²; ó E= 2,1x10⁶ Kg/cm².*

Ductilidad.- La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo grandes esfuerzos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así daños prematuros.

Tenacidad.- Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La tenacidad es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades.

Densidad.- La densidad del acero es muy elevada, comparada con otros materiales estructurales (3 veces la del hormigón). Esta relación entre el peso y el volumen del material es de *Densidad del acero: $\gamma_{acero} = 7.850 \text{ kg/m}^3$*

Uniformidad.- Las propiedades del acero son muy uniformes en las distintas zonas de las piezas y entre distintas piezas, lo que unido al exhaustivo control en los procesos de fabricación, hace que ofrezca mayores garantías de seguridad y de comportamiento que el hormigón armado.

Durabilidad.- Con un plan de mantenimiento adecuado, que preserve las estructuras de acero de la oxidación y de la corrosión, se consigue que estas alcancen una gran durabilidad.

Es importante tener en cuenta la susceptibilidad térmica del acero, para evitar los importantes efectos de la dilatación (*Coefficiente de dilatación térmica: $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$*).

Otros factores destacables para favorecer el uso del acero estructural, son:

- Facilidad para el montaje con la unión de diversos elementos por distintos métodos: conectadores, soldadura, tornillos y bulones.
- Posibilidad de laminación y de conformar gran variedad de tamaños y formas.
- Acortamiento de plazos, por su rapidez de montaje.
- Posibilidad de prefabricación de los elementos de una estructura.
- Resistencia a los esfuerzos de fatiga.
- Posible reutilización del material procedente de estructuras desmontadas.

2- Armaduras pasivas

Las armaduras pasivas son los productos de acero laminados en caliente (barras) ó en frío (alambres), con sección circular, normalizadas y fabricadas en forma de:

- Barras corrugadas.
- Mallas electrosoldadas.
- Armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Se denominan “pasivas” porque se colocan en los moldes de hormigón sin tensión, y solamente cuando la estructura entra en carga, llegan los esfuerzos a la armadura y entra en tensión, aportando su resistencia a las tracciones.

Los diámetros nominales de las barras corrugadas se ajustarán a la serie siguiente:

6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 32 y 40 mm. ; y los diámetros nominales de los alambres corrugados empleados en las mallas electrosoldadas:

4 - 4,5 - 5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7 - 7,5 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 - 10 - 10,5 - 11 - 11,5 - 12 y 14 mm.

2.1.-Barras Corrugadas

Son barras de acero laminado en caliente, de sección maciza circular, con al menos dos filas de corrugas transversales uniformemente distribuidas a lo largo de toda su longitud, que sirven para incrementar la adherencia con el hormigón.

Estas corrugas aumentan el peso de la barra, por lo que se define el *diámetro equivalente* “ \varnothing_{eq} ” de la misma, al que resulta de distribuir uniformemente el grosor de las corrugas sobre toda la superficie de la barra: $Peso (ml) / \gamma_{acero} \rightarrow \varnothing_{equivalente}.$;

Esta sección equivalente no será inferior al 95,5 por 100 de su sección nominal.



Barras corrugadas de acero B-500 S



Paneles de mallas electrosoldadas

Se designan con la “B” de barra, seguida por el tipo de acero, definido por su límite elástico (f_y) en Mpa., que es el valor de la tensión que produce una deformación remanente del 0,2%, y una “S” de soldable ó “SD” de soldable de alta ductilidad.

La Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08, establece las prescripciones para estas barras, que se incluyen en la tabla adjunta:

Características mecánicas mínimas garantizadas de las barras corrugadas

Designación	Clase de acero	Límite elástico f_y (N/mm ²) no menor que (1)	Carga unitaria de rotura f_s en N/mm ² no menor que (1)	Alargamiento de rotura en (%) sobre base de 5 diámetros no menor que	Relación f_s/f_y en ensayo, no menor que (2)
B 400 S	Soldable	400	440	14	1,05
B 500 S	Soldable	500	550	12	1,05

(1) Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal.

(2) Relación mínima admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenido en cada ensayo.

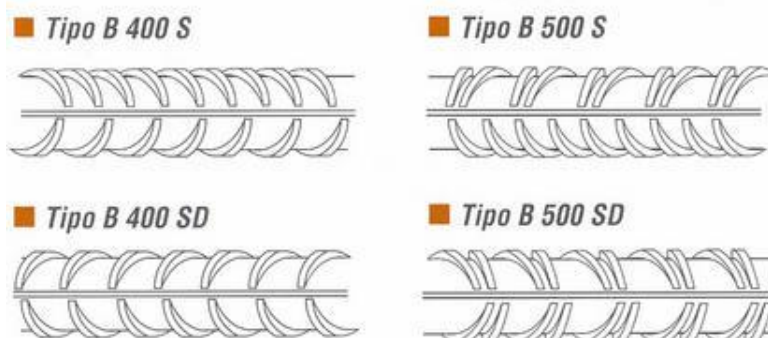
2.1.1.-Ficha del fabricante:

Los suministros de estos productos deben aportar además de su correspondiente albarán una ficha con la siguiente información:

DATOS DE LA FICHA	CARACTERISTICAS GARANTIZADAS
-Designación del fabricante	Diámetro nominal
-Fabrica de procedencia	Masa por metro lineal
-Marcas de identificación: X—XXXXXXXX--XXXXX--XXXX	Características: corrugado, mecánicas y de adherencia
-Tipo de acero	Condiciones de soldeo
Nº de colada o de referencia de control	Recomendaciones de empleo

2.1.2.--Identificación de las barras

El acero se identifica por la disposición de las corrugas transversales, de esta manera se conoce la resistencia, procedencia y características.



Tipo B 400 S

Todas las corrugas tienen la misma inclinación, pero presentan separaciones diferentes en cada uno de los sectores de la barra

Tipo B 500 S

Las corrugas de un sector tienen la misma inclinación y están uniformemente separadas. Las del otro sector están agrupadas en dos series igual separación pero distinta inclinación.

Tipo B 400 SD

Todas las corrugas tienen la misma separación y la misma inclinación.

Tipo B 500 SD

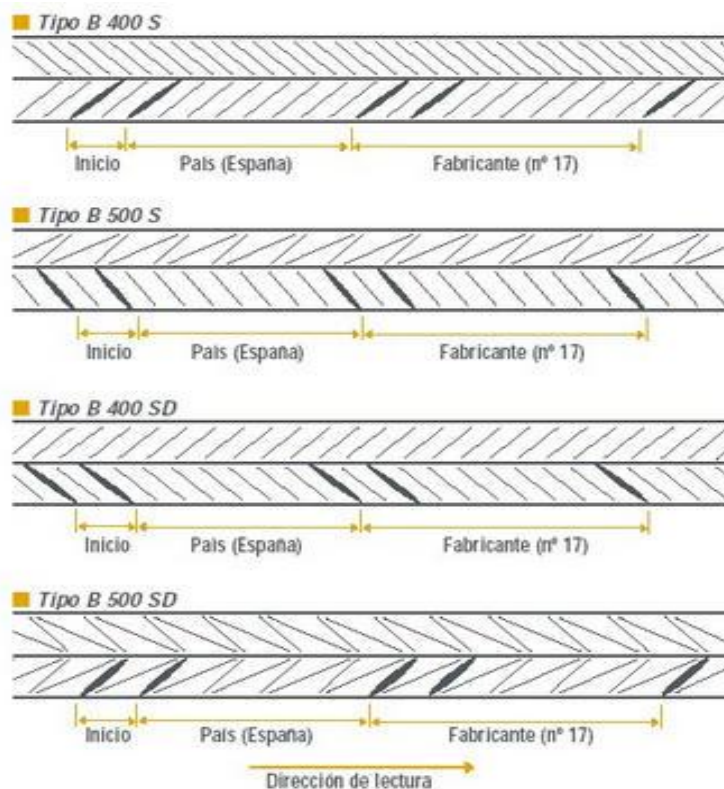
Las corrugas están agrupadas en dos series con igual separación pero de distinta inclinación, que es igual en ambos sectores.

2.1.3.-Identificación del fabricante

El fabricante se identifica mediante el engrosamiento de ciertas corrugas en uno de los sectores de la barra. El comienzo de la identificación y la dirección de lectura se señalan mediante una corruga normal entre dos engrosadas, que se sitúa a la izquierda del observador.

El fabricante se identificará con dos números de corrugas transversales normales entre corrugas transversales engrosadas, según el *Informe Técnico (UNE 36811 IN)*.

• Ejemplos:



IDENTIFICACION DEL FABRICANTE POR LA DISPOSICIÓN DE CORRUGAS

- (1) Inicio: 1 corruga normal entre dos gruesas
 - (2) País: (España) 7 corrugas normales entre dos gruesas
 - (3) Fabricante: 2 cifras de corrugas normales entre corrugas gruesas.
- (esquema de figura adjunta)

2.1.4.- Ensayos de recepción y control

Los ensayos de recepción y control que se realizan sobre estas barras, son:

- Ensayo de tracción, determinación de límite elástico f_y y alargamiento.
- Ensayo de doblado de barras a 180°
- Ensayo de doblado-desdoblado a 90°

Comprobando la ausencia de grietas en las barras después de los ensayos.

En el almacenamiento se debe evitar el contacto con aceites y grasas, así como la oxidación de las barras. Se suministran en barras de 12 m ó en rollos, según el \emptyset .

2.1.5.- Empalme de barras

Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme.

Los empalmes pueden realizarse por solapo o por soldadura, aunque se admiten también otros tipos, siempre que se demuestre su eficacia mediante ensayos.

2.2. Mallas electrosoldadas

Es el producto formado por dos sistemas de elementos (barras corrugadas o alambres corrugados) que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso de producción en serie.

Las barras corrugadas, con las que se fabrican estas mallas, deben cumplir lo especificado en el apartado anterior, o si se trata de alambres corrugados, cumplirán las condiciones de adherencia especificadas para los mismos.

Cada paquete debe llegar al punto de suministro (obra, taller de ferralla o almacén) con una etiqueta de identificación conforme a lo especificado en la norma UNE.

Las barras o alambres que constituyen los elementos de las mallas electrosoldadas, deberán llevar grabadas las marcas de identificación, de acuerdo con los Informes Técnicos.

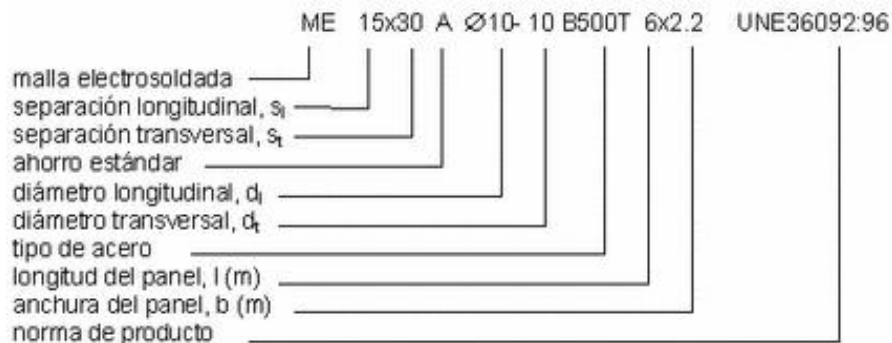
Los aceros empleados en la fabricación de las mallas electrosoldadas pueden ser de tipo B 500 T, B 400 S y B 500 S; y las características mecánicas y geométricas de la malla electrosoldada corresponden a la de los elementos componentes, sean barras o sean alambres

2.2.1.--Identificación de las mallas electrosoldadas

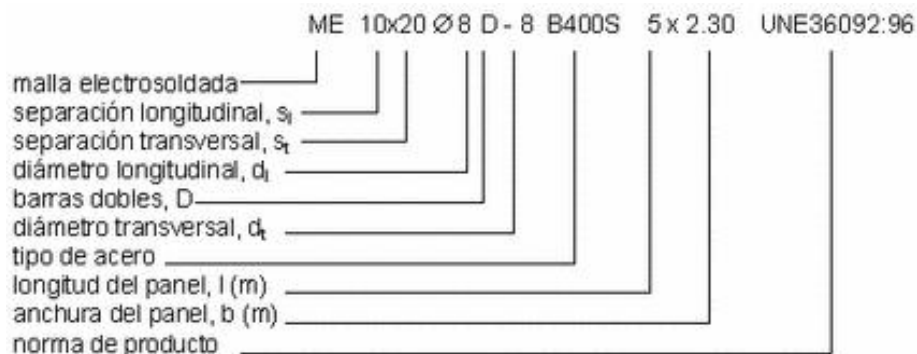
Las mallas se designan por los siguientes conjuntos correlativos de símbolos:

- a) Las letras ME distintivas del producto
- b) Las separaciones “Sl” y “St” expresadas en centímetros y unidas por el signo “x”
- c) Distintivo, de si el panel es con o sin ahorro, de acuerdo con el siguiente código:
 - Con ahorro estándar “A”
 - Con ahorro no estándar o especial “E”
 - Sin barras de ahorro Ningún símbolo
- d) El símbolo Ø seguido de diámetros “dl” y “dt” separados por guión, expresados en milímetros. En las mallas dobles el símbolo Ø irá seguido de la letra D
- e) La letra B indicativa del tipo de acero (acero para hormigón armado), seguida de un número de tres cifras que indica el valor del límite elástico nominal del acero, expresado en MPa, y una letra indicativa de la clase de acero empleado (S y T).
- f) La longitud “l” y la anchura “b” del panel, expresadas en metros.
- g) Referencia a la norma de producto (UNE 36092:96)

Ejemplo: Malla electrosoldada de 15X30 y barras de 10x10 mm.(B500)



Ejemplo: Malla electrosoldada de 10x20 y barras dobles de 8x8 mm.(B400)



Cada paquete de paneles de malla lleva una etiqueta resistente a la intemperie en la que se incluye:

- Logotipo de la Marca, que incluye el número de contrato con AENOR.
- Identificación del fabricante
- Designación de las mallas de acuerdo con la norma UNE 36092.
- Número de colada o número de referencia de control.

El suministro de las mallas se realiza en paneles de 6,00x 2,30 m. ó en rollos dependiendo del diámetro de las barras; y en cuanto al almacenamiento y los empalmes se siguen los mismos criterios que para las barras.

3- Armaduras activas

Se denominan armaduras activas a los productos de acero de alta resistencia, mediante las cuales se introduce la fuerza del pretensado, es decir, se ponen en tensión para transmitírsela al elemento estructural. Están tensionadas desde su colocación, antes de que actúen las cargas en la estructura.

Sus elementos constituyentes pueden ser: alambres, barras o cordones. La definición de estos elementos es la siguiente:

- Alambre: Producto de sección maciza, procedente de un estirado en frío o trefilado de alambrón, que normalmente se suministra en rollo. ($\varnothing < 10 \text{ mm}$)
- Torzal ó cordón de 2 ó 3 alambres: Conjunto formado por dos o tres alambres de igual diámetro nominal d , todos ellos arrollados helicoidalmente, con el mismo paso y el mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común.
- Cordón de 7 alambres: Conjunto formado por seis alambres de igual diámetro nominal d , arrollados helicoidalmente, con igual paso y en el mismo sentido de torsión, alrededor de un alambre central recto de diámetro ($1,02 d < \varnothing < 1,05 d$).
- Cable: Está formado por varios cordones arrollados helicoidalmente alrededor de un núcleo central, formado por un alambre, un muelle u otro cordón.
- Barra: Producto de sección maciza, que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos, con extremos roscados para tesar con paso de tuerca.

Se denomina "tendón" al conjunto de las armaduras paralelas de pretensado que, alojadas dentro de un mismo conducto, y se consideran en los cálculos como una sola armadura.

3.1.-Características mecánicas

Las características fundamentales que se utilizan para definir la calidad de los aceros de las armaduras activas son las siguientes:

Características mecánicas de las armaduras activas

<i>Diagrama tensión-deformación</i>	<i>Módulo de elasticidad (E_s).</i>
<i>Carga unitaria máxima a tracción ($f_{m\acute{a}x}$).</i>	<i>Estricción (η), expresada en porcentaje</i>
<i>Límite elástico (f_y).</i>	<i>Aptitud al doblado alternativo (alambres)</i>
<i>Alargamiento remanente c. de rotura (ϵ_u).</i>	<i>Relajación a las 1000 horas</i>
<i>Alargamiento bajo carga máxima ($\epsilon_{m\acute{a}x}$)</i>	<i>Susceptibilidad a la corrosión bajo tensión</i>
<i>Resistencia a la fatiga.</i>	<i>Resistencia a la tracción desviada</i>

3.2. -Alambres

Los valores del diámetro nominal, en milímetros, de los alambres se ajustan a la serie siguiente: 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 7,5 - 8 - 9,4 - 10

A diferencia de las barras, disponen de tres sectores de corrugas, en lugar de dos.

Las características mecánicas, obtenidas a partir del ensayo a tracción, deben cumplir las siguientes prescripciones, establecidas en la Instrucción EHE-08.

Características mecánicas de los alambres

<i>Designación</i>	<i>Serie de diámetros nominales, en mm</i>	<i>Carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm² no menor que</i>
<i>Y 1570 C</i>	<i>9.4 - 10.0</i>	<i>1.570</i>
<i>Y 1670 C</i>	<i>7.0 - 7.5 - 8.0</i>	<i>1.670</i>
<i>Y 1770 C</i>	<i>3.0 - 4.0 - 5.0 - 6.0</i>	<i>1.770</i>
<i>Y 1860 C</i>	<i>4.0 - 5.0</i>	<i>1.860</i>

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de $20^\circ \pm 1^\circ$ C, y para una tensión inicial del 70% de la carga unitaria máxima, no será superior al 2%.

3.3.-Cordones

Son los productos utilizados en el pretensado del hormigón y están formados por alambres, que pueden ser lisos o grafilados, y sus características mecánicas, obtenidas a partir del ensayo a tracción, deben cumplir las prescripciones de los cuadros adjuntos, en función del número de alambres y la carga unitaria necesaria en cada caso, indicada en la designación del tipo de cordón.

Características mecánicas de los Cordones de 2 ó 3 alambres

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm ²
Y 1770 S2	5,6 - 6,0	1.770
Y 1860 S3	6,5 - 6,8 - 7,5	1.860
Y 1960 S3	5,2	1.960
Y 2060 S3	5,2	2.060

Características mecánicas de los Cordones de 7 alambres.

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm ²
Y 1770 S7	16,0	1.770
Y 1860 S7	9,3 - 13,0 - 15,2 - 16,0	1.860

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de $20^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C, y para una tensión inicial del 70% de la carga unitaria máxima, no será superior al 2%.

Otras características exigidas, son: Módulo elástico: $195 \text{ kN/mm}^2 \pm 7\%$ y el Mínimo alargamiento bajo carga máxima: 3,5%.



Cordones del postesado de un puente



Cordones de pretensado en el molde de vigas

3.3.1.--Identificación de las cordones

La identificación de cada rollo de cordón se realiza a través de una etiqueta que debe contener los datos siguientes:

- Designación del producto
- Número de rollo
- Nombre del fabricante y planta de fabricación
- Identificación del organismo de certificación y número de la certificación

3.3.2.- Designación del cordón

La designación del cordón se compondrá de los siguientes símbolos:

a) Referencia a la norma de producto (UNE 36094:97)

b) Designación del acero, compuesta por:

- la letra Y indicativa del acero para pretensado (la resistencia nominal, en MPa).

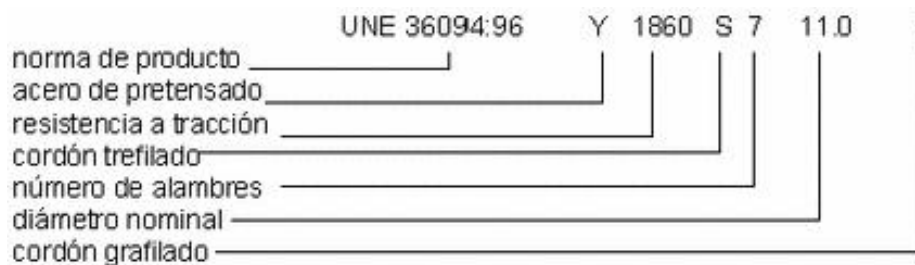
- la letra S indicativa de los cordones trefilados

- el número 2, 3 ó 7 que indica el número de alambres que componen el cordón

c) Diámetro nominal del cordón (mm)

d) La letra I cuando se trate de cordones grafilados. No se añade ningún identificador cuando se trate de cordones lisos

Ejemplo: Cordón de 7 alambres grafilados, 11 mm. de \varnothing , tipo Y-1860 S 7



El suministro se realiza en rollos; y en cuanto al almacenamiento y los empalmes, se siguen las mismas recomendaciones que para las barras corrugadas.

Las armaduras de pretensado se han de transportar debidamente protegidas contra la humedad, deterioro, contaminación, grasas, etc.

3.4.-Barras

Las características mecánicas de las barras de pretensado, deducidas a partir del ensayo de tracción, deben cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ debe ser superior a 980 N/mm².
- El límite elástico f_y , debe estar comprendido entre el 75 y el 90 por 100 de la carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$.
- El alargamiento bajo carga máxima, medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante ($\pm 7\%$)

Las barras soportarán sin rotura ni agrietamiento el ensayo de doblado.

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de $20^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ y para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada, no será superior al 3 por 100. El ensayo se realizará según la UNE 36422:85.

4- Perfiles laminados

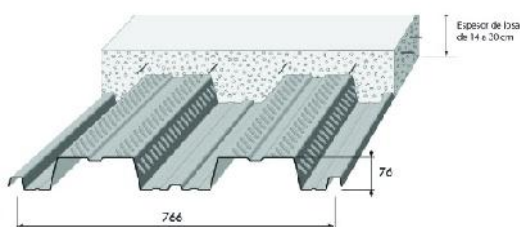
Se incluyen, en este grupo de productos de acero, los perfiles fabricados por laminación en caliente ó en frío, en la industria siderúrgica.

Los más pesados, laminados en caliente y con mayores espesores, constituyen los distintos elementos (pilares, vigas, ménsulas, etc.) de las estructuras metálicas, por lo que se denominan perfiles estructurales.

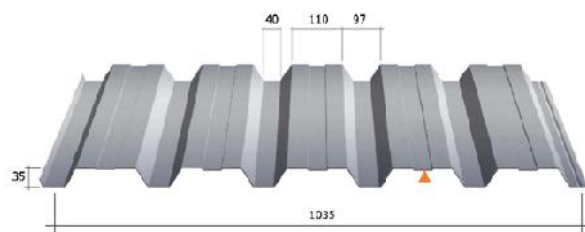


Distintos tipos de perfiles laminados estructurales (I , H , U , L , I aligerada)

En cambio, en los procesos de laminación en frío se obtiene chapas, con pequeño espesor, con perfiles abiertos ó cerrados, siendo las chapas plegadas (abiertas) las más utilizadas en la construcción, como elementos complementarios de forjados, cubiertas y fachadas.



Chapa colaborante para forjados



Chapa plegada para cubiertas

4.1.-Tipo y grado de los aceros certificados

Los tipos de acero se establecen en función de sus características mecánicas y se identifican mediante un número que indica el valor mínimo garantizado del límite elástico, expresado en N/mm^2 . (Ejemplo: S 275 JR)

La designación de los aceros laminados en caliente para perfiles estructurales de uso general se indica en la Norma UNE-EN 10025.

El grado está determinado por el valor de la energía absorbida en el ensayo de flexión por choque y por la soldabilidad (b, c, d ó JR, JO, J2)

4.2.-Correspondencia con las antiguas designaciones

Es frecuente encontrar todavía referencia a las designaciones anteriores de los aceros estructurales, por lo que resulta de gran utilidad disponer de una tabla de correspondencia.

Las referencias de la designación anterior (en desuso) y las de la designación actual se recogen en la tabla adjunta:

DESIGNACIONES			
<i>Anteriores (fuera de uso)</i>			Actual (en vigor)
<i>UNE 36080:1973</i>	<i>UNE 36080:1985</i>	<i>UNE 36080: 1990</i>	<i>UNE-EN 10025:1994</i>
-	<i>AE 235 B</i>	<i>Fe 360 B</i>	S 235 JR
<i>A 37 c</i>	<i>AE 235 C</i>	<i>Fe 360 C</i>	S 235 JO
<i>A 44 b</i>	<i>AE 275 B</i>	<i>Fe 430 B</i>	S 275 JR
<i>A 44 c</i>	<i>AE 275 C</i>	<i>Fe 430 C</i>	S 275 JO
<i>A 44 d</i>	<i>AE 275 D</i>	<i>Fe 430 D1</i>	S 275 J2
<i>A 52 b</i>	<i>AE 355 B</i>	<i>Fe 510 B</i>	S 355 JR
<i>A 52 c</i>	<i>AE 355 C</i>	<i>Fe 510 C</i>	S 355 JO
<i>A 52 d</i>	<i>AE 355 D</i>	<i>Fe 510 D</i>	S 355 J2

4.3.- Características certificadas

Todos los perfiles laminados se suministran certificados, con lo que se garantiza el cumplimiento de las características del producto, por parte del fabricante.

Con esta certificación se verifica el cumplimiento de las principales características, como son:

- Características mecánicas (límite elástico, resistencia a tracción y alargamiento de rotura), conforme a la Norma UNE-EN 10025
- Características geométricas, dimensionales, de forma y peso, conforme a la norma de producto correspondiente en cada caso.
- Composición química, conforme a la Norma UNE-EN 10025
- Resiliencia, conforme a la Norma UNE-EN 10025 (*)

Esta garantía se materializa mediante el marcado que se realiza sobre las piezas de los distintos productos laminados.

() La Resiliencia es la magnitud que mide la cantidad de energía, por unidad de superficie, que el acero puede absorber al romperse por efecto de un impacto.*

4.4.- Características mecánicas especificadas

El tipo de acero se designa identificando su tipo (referencia al límite elástico) y grado (referencia a la resiliencia): S 000 00.

Las características mecánicas mínimas que deben cumplir los aceros según se prescribe en la Norma UNE-EN 10025 son las que se incluyen en la tabla inferior:

Características mecánicas especificadas para los aceros (según UNE-EN 10025).

DESIGNACION	Espesor nominal t (mm)				Temperatura en ensayo Charpy(°C)
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de Rotura F_u (N/mm ²)	
	$t \leq 16$	$<16 \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$	
S235JR S235J0 S235J2	235	225	215	360	20 0 -20
S275JR S275J0 S275J2	275	265	255	410	20 0 -20
S355JR S355J0 S355J2 S355K2	355	345	335	470	20 0 -20 -20 (1)
S450J0	450	430	410	550	0

4.5.- Medios de unión

Los aceros de los elementos de unión (tornillos, arandelas y tuercas) deben ser compatibles con el tipo de acero a unir. Si se utilizan tornillos, el diámetro nominal mínimo será de 12 mm.

Cuando la unión se realiza por soldadura, se deben utilizar electrodos en calidad estructural, apropiadas a las condiciones de la unión y del soldeo y con las características mecánicas superiores a los del material base.



Montaje de vigas de 50 m. en un puente.



Estructura metálica con perfiles normalizados.

4.6.-Marcado

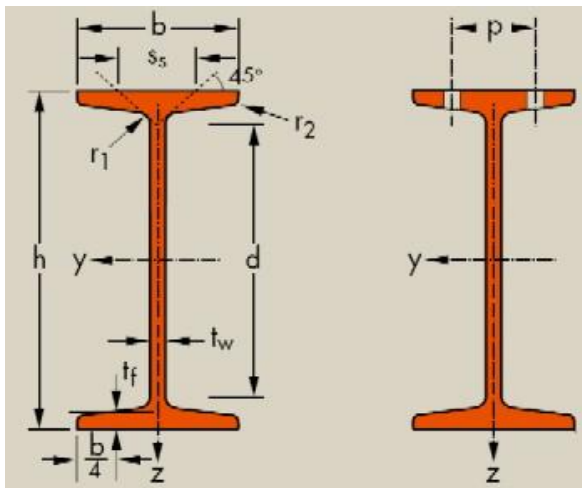
Cada paquete de perfiles comerciales, suministrado por un fabricante registrado de una marca normalizada debe llevar, una etiqueta con la siguiente información:

- Logotipo de Marca normalizada, que incluya en el cajetín inferior nº de contrato
- Identificación del fabricante
- Identificación del producto, de acuerdo con la norma de producto
- Designación del tipo y grado de acero

4.7.- Tipos de perfiles normalizados

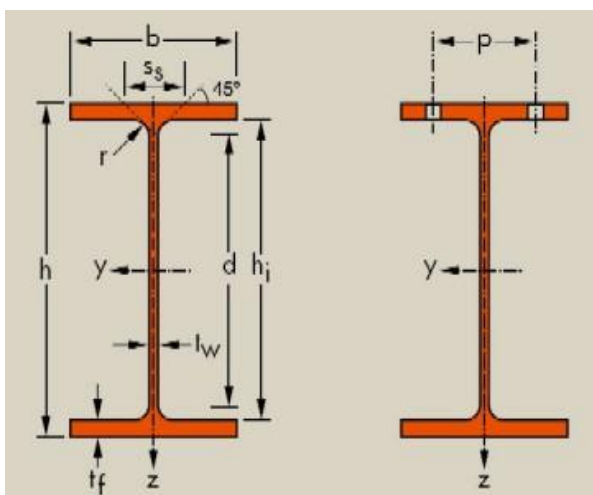
Se designan por el tipo de perfil seguido de la dimensión principal “h” en mm.

a) Perfil IPN: Perfiles en I con alas inclinadas (IPN- h)



PERFIL IPN - 200			
G(kg/m)	26.2	$I_y(\text{mm}^4) \times 10^4$	2140
h (mm)	200	$W_y(\text{mm}^3) \times 10^3$	214
b (mm)	90	$i_y(\text{mm}) \times 10$	8.0
tw (mm)	7.5	$Av_z(\text{mm}^2) \times 10^2$	16.03
tf (mm)	11.3	$I_z(\text{mm}^4) \times 10^4$	117
r1 (mm)	7.5	$W_z(\text{mm}^3) \times 10^3$	26.0
r2 (mm)	4.5	$i_z(\text{mm}) \times 10$	1.87
A(mm ²)	33.4	Ss (mm)	42.0
d (mm)	159.1	$I_t(\text{mm}^4) \times 10^4$	13.5
Al (m ² /m)	0.709	Ag(m ² /t)	27.04

b) Perfil IPE A - IPE - IPEO: Perfiles en I con alas paralelas (IPE-h)



PERFIL IPE - 300			
G(kg/m)	42.2	$I_y(\text{mm}^4) \times 10^4$	8356
h (mm)	300	$W_y(\text{mm}^3) \times 10^3$	557
b (mm)	150	$i_y(\text{mm}) \times 10$	12.5
tw (mm)	7.1	$Av_z(\text{mm}^2) \times 10^2$	25.7
tf (mm)	10.7	$I_z(\text{mm}^4) \times 10^4$	604
r (mm)	15.0	$W_z(\text{mm}^3) \times 10^3$	80.5
hi (mm)	278.6	$i_z(\text{mm}) \times 10$	3.35
A(mm ²)	53.8	Ss (mm)	46.1
d (mm)	248.6	$I_t(\text{mm}^4) \times 10^4$	20.1
Al (m ² /m)	1.160	Ag(m ² /t)	27.46

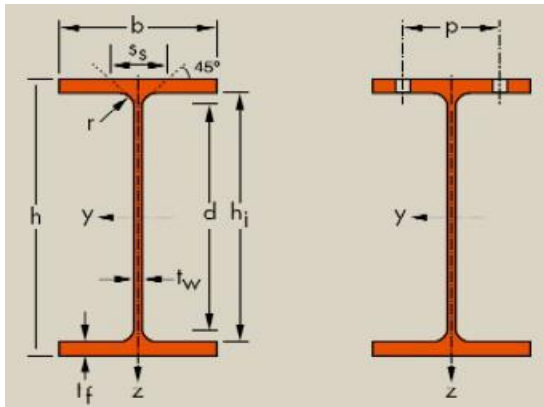
IPE- A: Perfiles I de alas paralelas aligeradas.

IPE: Perfiles I de alas paralelas

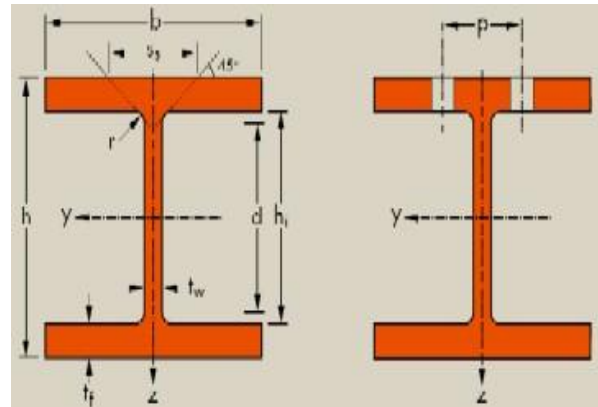
IPEO: Perfiles I de alas paralelas reforzadas.

Perfiles europeos de largo de ala limitado a 260 mm.

c) Perfil HE (HEAA, HEA, HEB, HEM)

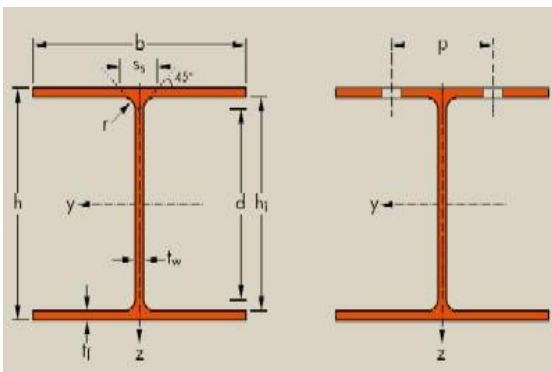


d) Perfil HD: Pilares de alas anchas

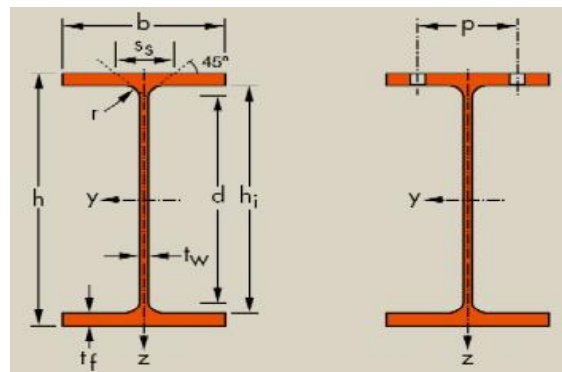


HEAA : Perfiles de alas aligeradas.
 HEA : Perfiles de alas aligeradas.
 HEB : Perfiles de largas alas.
 HEM : Perfiles de alas reforzadas.
 Perfiles europeos de largo de ala limitado a 300 mm.

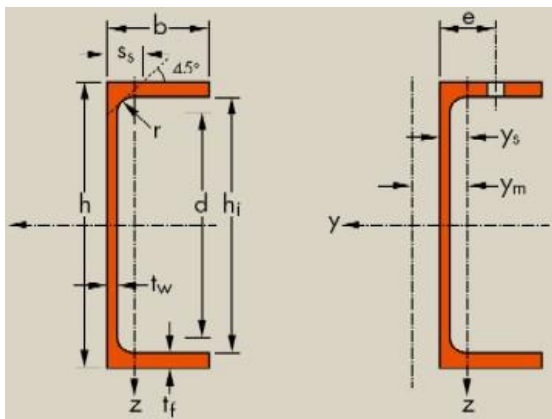
e) HL: Perfil H de alas extra anchas



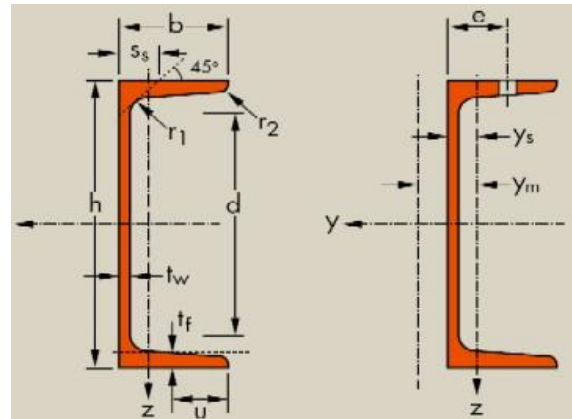
f) HP: Perfil H alas y caras paralelas



g) UPE: Perfil en U de alas paralelas

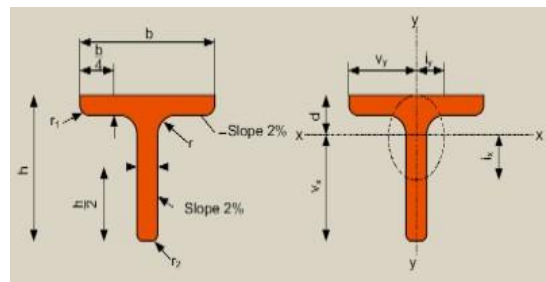
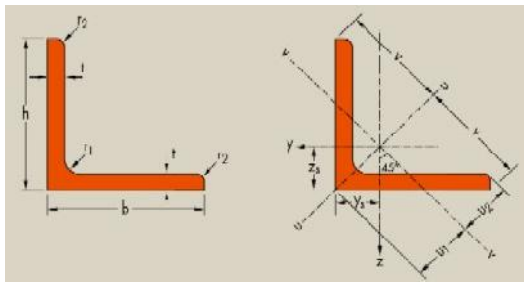


h) UPN: Perfil en U de alas inclinadas

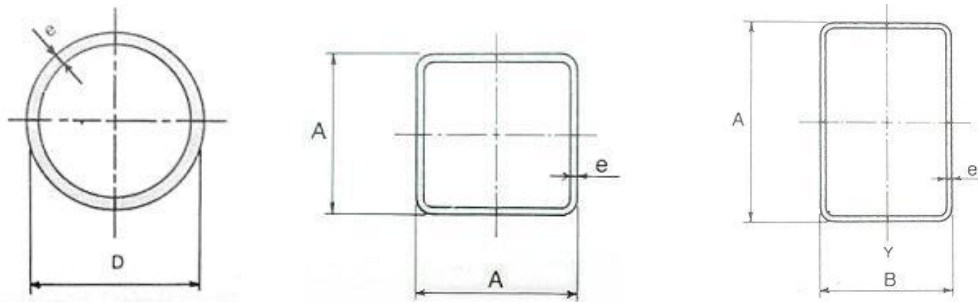


i) Perfiles angulares de lados iguales

j) Perfiles en T de alas iguales



k) Otras secciones pueden ser huecas, como la circular, la cuadrada y la rectangular.



Estas se designan por el símbolo de su sección, seguido de sus dimensiones D, A, B y del espesor de la chapa “e” en mm.

5. Soldadura, electrodos.

5.1- Soldadura

La soldadura es una operación que se utiliza tanto en el proceso de fabricación, como en el de montaje de estructuras metálicas, con la finalidad de unir dos ó más elementos, lo que se consigue por la fusión del metal de las piezas, o por aportación de un material externo que rellena la junta que forman estas.

En ambos casos, el procedimiento de soldadura requiere la aportación de energía en forma de calor, para provocar la fusión de las piezas o la del material de aportación, quedando el conjunto como una sola pieza.

Las formas de energía que se utilizan para realizar la soldadura, pueden ser una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, etc.

Las soldaduras más habituales para la unión de piezas de acero son:

- Eléctrica : electricidad inducida por un arco eléctrico (3.500°C)
- Térmica ó autógena: calor (1.300°) de llama de gas (acetileno y oxígeno).

En función de de que la soldadura sea provisional ó definitiva, se diferencian:

- S. de atado ó de fijación: realizada para fijar la posición en el montaje.
- S de fuerza: es la que consigue dar una unión resistente a las piezas.

Tanto el material de aportación, como el procedimiento utilizado para la soldadura, deben ser compatibles con la composición de los aceros a soldar, y con las características geométricas de las piezas.

5.1.1.-Clasificación de las soldaduras

Los cordones de soldadura se pueden clasificar, por la posición de las piezas, por la posición del cordón y por la situación para soldar.

a) - Por la posición geométrica de las piezas a unir.

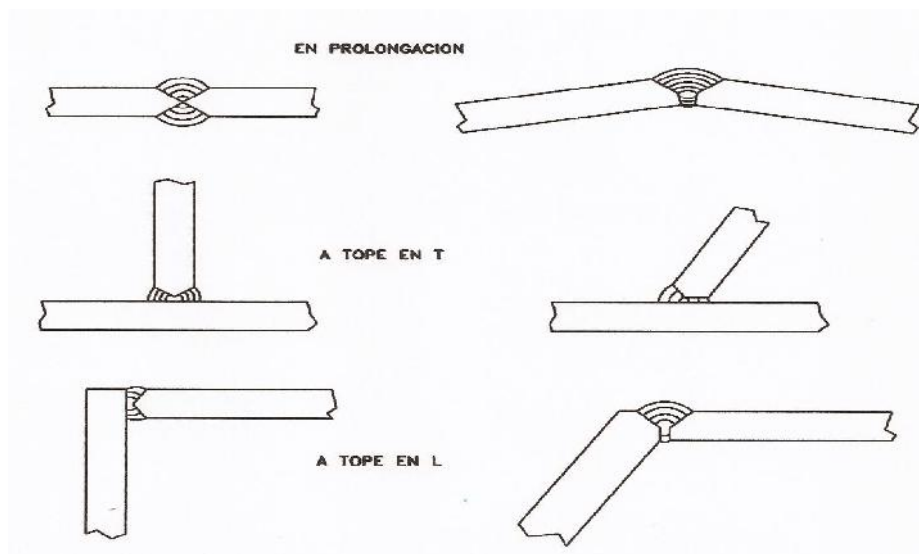
- Soldaduras a tope (en prolongación, a tope en T ó a tope en L)
- Soldaduras en ángulo (en rincón, en solape, en esquina y en ranura)

b) -Por la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo

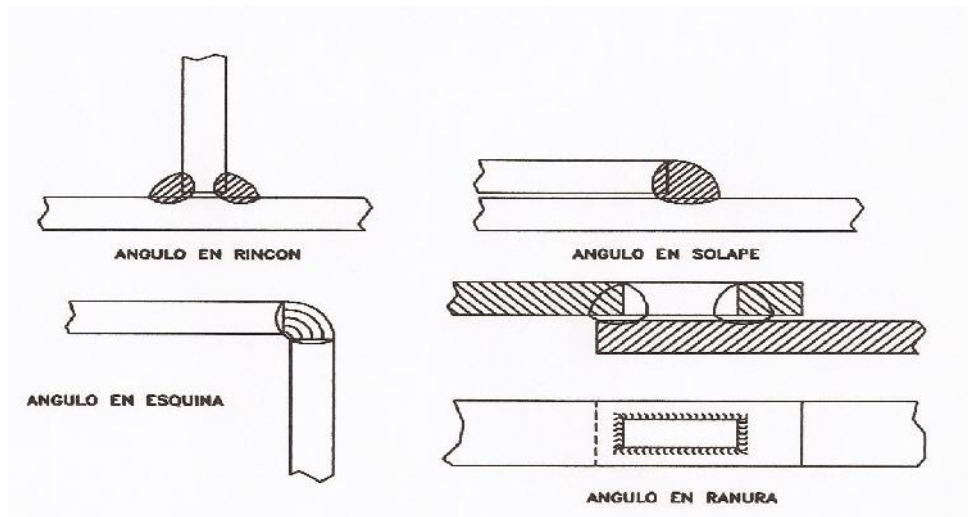
- Cordón frontal
- Cordón lateral
- Cordón oblicuo

c) -Por la situación del cordón respecto al equipo de soldadura

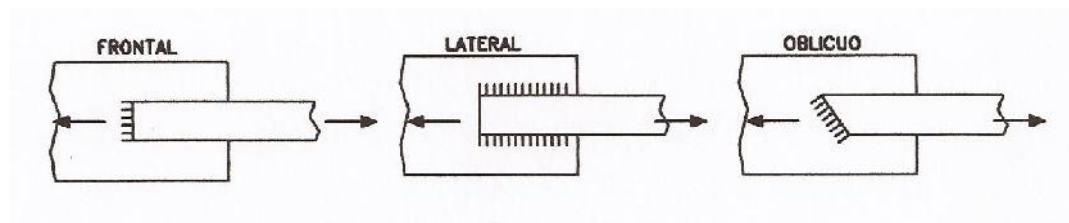
- Cordón plano (se designa con H)
- Cordón horizontal u horizontal en ángulo (se designa por C).
- Cordón vertical (se designa con V)
- Cordón en techo o en techo y en ángulo (se designa con T)



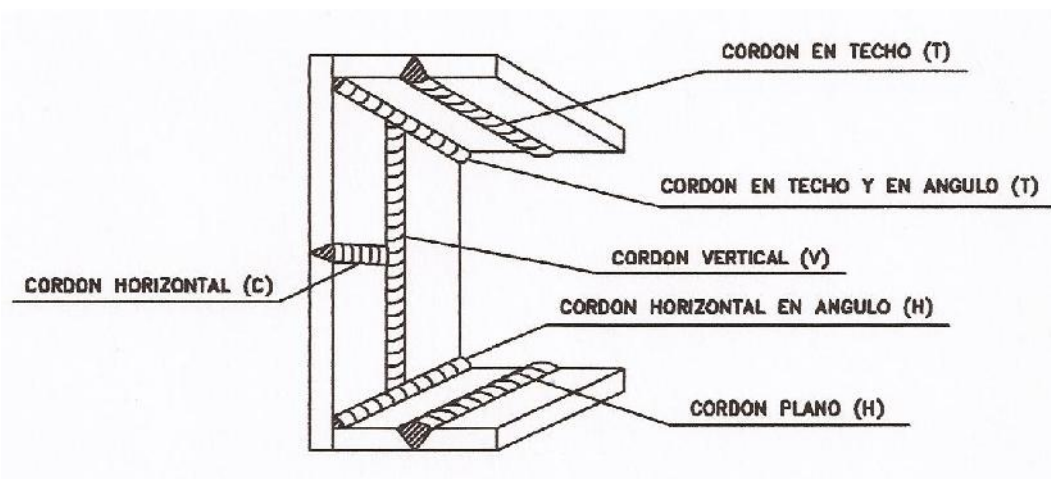
a.1) Esquema de soldaduras a tope: en prolongación, a tope en T y a tope en L



a.2) Esquema de soldaduras en ángulo: en rincón, en solape, en esquina y en ranura.



b) Esquema de cordones de soldaduras en posición: frontal, lateral y oblicua.



c) Posiciones de cordón respecto al equipo de soldadura (H, C, V, T)

5.1.2.-El cordón de soldadura

El cordón de soldadura tiene tres partes bien diferenciadas:

a)- Zona de soldadura: Es la zona central y está formada fundamentalmente por el metal de aportación.

b)- Zona de penetración: Es la parte de las piezas que ha sido fundida por los electrodos.

La mayor o menor profundidad de esta zona, define la *penetración* de la soldadura, que debe cumplir con un valor mínimo en cada caso.

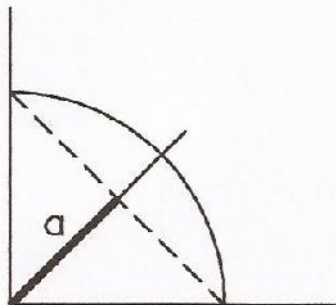
Cuando en una soldadura se produce poca penetración, es probable que no se comporte correctamente, y por tanto, se considera defectuosa.

c)- Zona de transición. Es la más próxima a la zona de penetración. Esta zona, aunque no ha sufrido la fusión, sí ha soportado altas temperaturas, que la han proporcionado un efecto térmico con posibles consecuencias desfavorables, por las tensiones internas que ha soportado.

Las dimensiones fundamentales que sirven para definir un cordón de soldadura son la garganta y la longitud ("a" y "l").

La garganta (a) es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales, que están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura.

La longitud eficaz " l_e " se determina con: $l_e = l_{geométrica} - 2 \times a$



Triángulo que define el cordón de soldadura



Medición de garganta del cordón en ángulo

5.1.3.-Prescripciones para las soldaduras

- Soldaduras a tope

-Se debe sanear la raíz antes de depositar el primer cordón de la cara posterior o el cordón de cierre.

-Se han de realizar de forma continua en toda la longitud y con penetración completa.

-Siempre que no sea posible acceder por la cara posterior, se debe realizar una penetración completa.

-En las uniones de piezas con distinta sección, se debe reducir el espesor de la mayor con una pendiente inferior al 25%.

- Soldaduras en ángulo

-El valor de la garganta (a) de una soldadura en ángulo que une dos perfiles de espesores e_1 y e_2 , debe estar comprendido entre un mínimo y un máximo, especificados en función de los espesores de los perfiles.

-La longitud eficaz de una soldadura lateral en ángulo con esfuerzo axial está relacionada con la garganta y con las dimensiones de las piezas.

-Las uniones longitudinales se pueden realizar con soldaduras discontinuas, excepto en estructuras expuestas a ambientes agresivos ó con estanqueidad.

5.1.4.-Dimensiones del cordón

Para las soldaduras a tope, la normativa no especifica las dimensiones de los cordones, ya que se trata unir de forma correcta el espacio entre las piezas.

En las soldaduras en ángulo, es bien diferente, y en el cálculo se ha de dimensionar el espesor del cordón necesario para que la unión sea resistente, asimilando la sección del cordón al triángulo isósceles, que forma las dos piezas con la altura de garganta (a).

Se toma como sección de cálculo la definida por la altura “ a ” (garganta) del triángulo, por ser la menor sección, y por tanto, la más desfavorable.

5.2.- Electrodo

Son los elementos utilizados como material de aportación en las soldaduras eléctricas, que se presentan en forma de varillas de metal recubiertas con distintos materiales en función del uso indicado.

La unión se consigue al provocar un arco eléctrico entre las piezas a unir y el electrodo que sirve de material de aportación.

El operario establece un contacto inicial entre el electrodo y la pieza a soldar (llamada trabajo), con lo que se inicia un flujo de corriente. A continuación se retira ligeramente el electrodo y se establece un arco, que funde el electrodo y los bordes de la pieza a unir, formándose el cordón de soldadura.

Los diámetros más habituales de los electrodos son, en milímetros:

2, 2.5, 3.25, 4, 5, 6.3, 8, 10 y 12.

La elección del diámetro del electrodo depende del espesor del cordón de soldadura que requiere depositar, siendo la intensidad de corriente necesaria, para soldar, función de este diámetro.

Los principales tipos de revestimiento de los electrodos son los siguientes:

<i>Principales tipos de revestimiento de los electrodos</i>		
<i>Tipo de revestimiento</i>	<i>Pocentaje de Nitrógeno</i>	<i>Volumen de H por 100 g/cm3</i>
<i>Acido</i>	<i>0.034</i>	<i>9.0</i>
<i>Básico</i>	<i>0.015</i>	<i>2.5</i>
<i>Celulósico</i>	<i>0.028</i>	<i>15.0</i>
<i>Oxidante</i>	<i>0.035</i>	<i>1.5</i>
<i>Rutilo</i>	<i>0.025</i>	<i>12.0</i>

La corriente a utilizar puede ser continua (CC) o alterna (CA). La capacidad de corriente necesaria en la salida, para realizar un trabajo, depende del espesor del metal que se vaya a soldar y del diámetro del electrodo.

La corriente continua permite una selección más amplia de electrodos y escalas de corriente con arco más estable, por lo que suele preferirse para trabajos en posiciones difíciles y chapas finas.

La corriente alterna consume menos energía y produce menos salpicaduras, se usa donde hay problemas de soplo del arco y en trabajos de soldadura en posición plana con chapas gruesas

5.2.1.-Designación de electrodos

La simbología y descripción de los electrodos, se recoge en la Norma europea UNE-EN ISO 2560:2010, en la que se referencian estos con una serie de dígitos, que dan la información necesaria, y para el caso concreto de electrodos revestidos para la soldadura manual por arco eléctrico de aceros no aleados y aceros de grano fino, es como sigue:

Ejemplo de interpretación de un electrodo: E 46 6 1Ni B 42 H5

E	46	6	1Ni	B	4	2	H5
<i>Electrodo revestido</i>	<i>Tabla 1A</i>	<i>Tabla 2A</i>	<i>Tabla 3A</i>	<i>Capítulo 4.5A</i>	<i>Tabla 5A</i>	<i>Tabla 6A</i>	<i>Tabla 7</i>

Tabla 1A – Símbolo para la resistencia y alargamiento del metal de soldadura

Símbolo	Límite elástico Mínimo (N/mm²)	Resistencia a la tracción (N/mm²)	Alargamiento Mínimo (%)
35	355	440 a 570	22
38	380	470 a 600	20
42	420	500 a 640	20
46	460	530 a 680	20
50	500	560 a 720	18

a) Para el límite elástico. Se debe usar el límite inferior (ReL) cuando tiene lugar el límite elástico, de otro modo se debe usar el límite aparente de elasticidad al 0,2% (Rp0,2).
b) La longitud calibrada es igual a 5 veces el diámetro de la probeta.

Tabla 2A – Símbolo para las propiedades al impacto del metal de soldadura

Símbolo	Temperatura para una energía al Impacto media mínima de 47J (°C)
Z	Sin requisito
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

Capítulo 4.5A – Símbolo para el tipo de revestimiento del electrodo – Clasif. Por límite elástico y energía al impacto de 47J

Símbolo	Tipo de revestimiento
A	Revestimiento ácido
C	Revestimiento celulósico
R	Revestimiento de rutilo
RR	Revestimiento de rutilo grueso
RC	Revestimiento de rutilo-celulosa
RA	Revestimiento de rutilo-ácido
RB	Revestimiento de rutilo-básico
C	Revestimiento básico

Tabla 3A – Símbolo para la composición química del metal de soldadura

Símbolo de aleación	Composición química (% en peso) a, b, c		
	Mn	Mo	Ni
Sin símbolo	2,0	-	-
Mo	1,4	0,3 a 0,6	-
Mimo	1,4 a 2,0	0,3 a 0,6	-
1Ni 1,4	1,4	-	0,6 a 1,2
2Ni 1,4	1,4	-	1,8 a 2,6
3Ni	1,4	-	2,6 a 3,8
Mn1Ni	1,4 a 2,0	-	0,6 a 1,2
1NiMo	1,4	0,3 a 0,6	0,6 a 1,2
Z	Cualquier otra composición acordada		

- a) Si no está especificado, Mo<0,2; Ni<0,3; Cr<0,2; V<0,05; Nb<0,05; Cu<0,3
b) Valores únicos mostrados en la tabla significan valores máximos
c) Los resultados deben redondearse al mismo número de cifras significativas que el valor especificado, de acuerdo con la regla A del anexo B de la norma ISO 31-0:1992

Tabla 5A – Símbolo para el rendimiento nominal del electrodo y tipo de corriente.		
Símbolo	Rendimiento nominal del electrodo (%)	Tipo de corriente a, b
1	≤ 105	c.a. + c.c.
2	≤ 105	c.c.
3	> 105 pero ≤ 125	c.a. + c.c.
4	> 105 pero ≤ 125	c.c.
5	> 125 pero ≤ 160	c.a. + c.c.
6	> 125 pero ≤ 160	c.c.
7	>160	c.a. + c.c.
8	>160	c.c.

a) Para demostrar el funcionamiento en c.a., los ensayos se deben efectuar con una tensión en vacío no mayor a 65v.
b) c.a.= corriente alterna, c.c. = corriente continua.

Tabla 6A – Símbolo para la posición de soldeo	
Símbolo	Posición
1	PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG
2	PA, PB, PC, PD, PE, PF
3	PA, PB
4	PA
5	PA, PB, PG

Tabla 7 – Símbolo para el contenido de hidrógeno del metal depositado	
Símbolo	Contenido de Hidrógeno Máximo MI/100 de metal de soldadura depositado
H5	5
H10	10
H15	15

También se utiliza la designación americana AWS (American Welding Society), con una letra y cuatro dígitos (E6012), en la que la “E” significa electrodo, los primeros dos dígitos indican la resistencia mínima a la tracción del metal, la tercera se refiere a la posición de soldadura (1-todas, 2-plana y horizontal, 3-vertical) y el último el tipo de revestimiento.

6.- Tracción, elasticidad.

Los aceros son muy utilizados en la construcción, principalmente en las estructuras metálicas, y esto es así, por su buen comportamiento resistente y por su elasticidad, en especial ante los esfuerzos de tracción.

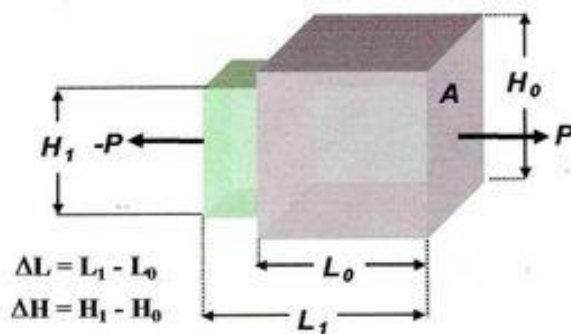
6.1-Esfuerzos de Tracción

Cuando se somete a un sólido a un esfuerzo (P), llamaremos sección transversal (A) al esfuerzo, a la sección de la pieza, normal al vector de la fuerza F, es decir, a la dirección de ese esfuerzo.

El cociente $\sigma = P/A$ se denomina *tensión* de tracción a la que sometemos a la sección considerada del sólido (A). Se mide en unidades de presión (kg/cm², T/m², etc.)

El esfuerzo σ provocado por la fuerza P , producirá una deformación absoluta del sólido en cuestión (ΔL) en la dirección de la aplicación de la fuerza. Con respecto a su dimensión inicial L_0 , la deformación unitaria se define con la expresión:

$$\epsilon_L = \Delta L / L_0 \text{ (deformación total dividida por la longitud inicial).}$$



Esquema del esfuerzo de tracción



Ensayo para medir la tensión "σ"

La deformación en el sentido de la fuerza aplicada, no sólo modifica la dimensión en la dirección esta fuerza (alargamiento), sino que también deforma al cuerpo en las direcciones perpendiculares y en el sentido contrario a estas, con una reducción de estas dimensiones, se que se conoce como estricción.

La reducción de las longitudes en el sentido perpendicular al de la fuerza aplicada serán (ΔH), cuya variación relativa, respecto de la dimensión inicial H_0 , se deduce de: $\epsilon_H = \Delta H / H_0$.

La relación entre las dos variaciones dimensionales como consecuencia de la aplicación de la fuerza P , se denomina *módulo de Poisson*: $\nu = - \epsilon_H / \epsilon_L$

6.2 Elasticidad

La propiedad más destacable de los aceros, además de su resistencia a la tracción, es la elasticidad, propiedad mecánica de algunos materiales de sufrir deformaciones reversibles, cuando se encuentran sometidos a fuerzas externas y recuperar la forma original, si estas fuerzas desaparecen.

6.2.1.-La Ley de Hooke

Esta ley relaciona las tensiones que soporta un material y las deformaciones producidas por las mismas, que serán función directa de la elasticidad de este.

$$\text{Fuerzas (P)} \rightarrow \text{Tensiones } (\sigma=P/A) \rightarrow \text{Deformaciones } (\epsilon= \sigma/E)$$

La elasticidad de cada material viene dada por su módulo de elasticidad, que relaciona las tensiones con las deformaciones.

Los aceros presentan un comportamiento elástico ante tensiones de tracción (o de compresión), con una proporcionalidad entre las tensiones (σ) y los alargamientos unitarios (ϵ).

La constante de proporcionalidad entre ambos parámetros se denomina módulo de elasticidad o también *módulo de Young*, y se representa por la letra E , que se calcula con la siguiente expresión, conocida como la *Ley de Hooke*:

$$\sigma = E \cdot \epsilon. \rightarrow E = \sigma / \epsilon = \frac{P/A}{\Delta L / L_0} ; \text{ que para el acero es } E = 2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2.$$

Esta ley supone que las tensiones y las deformaciones están relacionadas proporcionalmente, en la fase elástica, y que si la tensión desaparece, las dimensiones del material retornan a sus valores originales.

6.2.2.-Ensayo de tracción para los aceros

Se realiza sobre probetas, que sujetas por sus extremos mediante mordazas, en máquinas especiales homologadas, son sometidas a un proceso de tracción, hasta la rotura. Se miden, de manera continua y simultánea las fuerzas de tracción y los alargamientos producidos, representando en un diagrama cartesiano los resultados del ensayo de tracción.

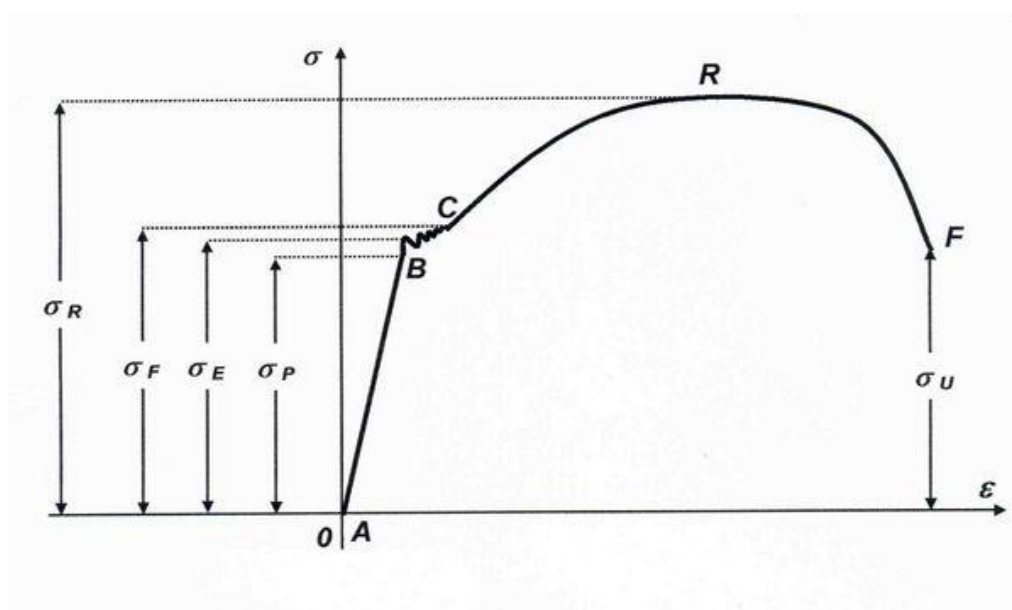


Gráfico de tensiones y deformaciones en el ensayo de tracción de acero (Ley de Hooke).

En ordenadas se representan las *tensiones* (σ), cociente entre la fuerza aplicada P y la sección inicial de la probeta; en abscisas, los alargamientos unitarios (ϵ), o cociente entre el alargamiento total y la longitud inicial.

La primera parte de la curva (segmento AB) es prácticamente una recta, que muestra la proporcionalidad entre la deformación con respecto a la fuerza aplicada (Fase elástica). Si en cualquiera de los puntos entre A y B se anula el esfuerzo, el acero recobra sus dimensiones iniciales.

La tensión correspondiente al punto B, σ_P se denomina *límite de alargamiento proporcional ó límite elástico*. El final de la línea oscilante BC, represente el *límite de fluencia* y determina el valor σ_F . Desde C hasta R los alargamientos se reparten uniformemente en toda la probeta. Para tensiones superiores a σ_R , el alargamiento se produce de una manera rápida, por una fuerte reducción de la sección, y rotura cuando se alcanza el valor σ_U , siempre inferior a σ_R .

En el tramo BF, el acero se encuentra en estado plástico y las deformaciones no son reversibles, es lo que se llama Fase plástica.

Este ensayo es el que tiene más importancia a los efectos del uso del acero laminado para la construcción de estructuras metálicas.

6.2.3.-Dilatación térmica de los aceros

La dilatación térmica afecta a todos los materiales, pero cada uno tiene un comportamiento diferente, que depende de la susceptibilidad térmica, que viene dada por el Coeficiente de dilatación " α ".

Este coeficiente mide el cambio relativo de dimensiones, que se produce cuando un material sufre un cambio de temperatura, y en el caso de la dilatación lineal, se determina con la expresión:

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad \rightarrow \quad L_T = L_0 + \Delta L = L_0 + \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T), \text{ siendo}$$

L_0 – la longitud inicial, ΔT – el incremento de temperatura y L_T – la longitud final.

Para el caso de los aceros, se calculan las estructuras teniendo en cuenta las dilataciones previstas y los efectos derivados de las mismas, utilizando el coeficiente de dilatación lineal del acero que es $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$, y que se puede comparar con el de otros materiales en la tabla adjunta.

Material	Coeficiente de dilatación lineal α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Vidrio	$0.4 - 0,6 \times 10^{-5}$
Hormigón	$0.8 - 1.2 \times 10^{-5}$
Acero	1.2×10^{-5}
Oro	1.5×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Latón	1.8×10^{-5}
Plata	2.0×10^{-5}
Aluminio	2.4×10^{-5}
Zinc	2.6×10^{-5}
Plomo	3.0×10^{-5}

----- 0 -----

BIBLIOGRAFÍA

- Generalidades sobre M. de Construcción (M. Metálicos). Francisco Arredondo
- Catalogo de productos Calidad Siderúrgica (AENOR)
- Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08
- Prontuario de Arcelor Mital
- Instrucción del Acero Estructural EAE-11
- Documento Básico SE-A (Seguridad Estructural. Acero). C.T.E.
- Normas UNE de ensayos sobre aceros (AENOR).