

## CAPITULO II: EL ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN METÁLICA.

### 2.1. EL ACERO ESTRUCTURAL

En este apartado se presentan los tipos de acero utilizados en la construcción metálica, su designación, sus características mecánicas y el modo de llevar a cabo su elección con un tratamiento diferenciado según la Norma Española NBE-EA95 y el EC3 o el CTE. Previamente, en el cuadro siguiente se dan los valores de las principales constantes de los aceros así como las condiciones de ductilidad que deben verificar.

Constantes de los aceros:		Condiciones de ductilidad
Módulo $E$	210000 $N/mm^2$	$\frac{f_u}{f_y} \geq 1,2$
Módulo $G$	81000 $N/mm^2$	
Poisson, $\mu$	0,3	$L_{rot} = 5,65\sqrt{S_0} \geq 15\%$
Dilatación térmica, $\alpha$	$1,2 \cdot 10^{-5} (^\circ C)^{-1}$	
Densidad, $\rho$	7850 $kg/m^3$	$\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \geq 20\%$

#### 2.1.1 Clasificación de los aceros estructurales según la NBE-EA95

En la NBE-EA95 las clases de aceros estructurales se definen por su tipo y su grado, estableciendo tres tipos de aceros: A37, A42 y A52, en los que el número que sigue a la letra A en su designación indica en  $kp/mm^2$  la mínima resistencia requerida a dicho tipo de acero en el ensayo de tracción.

Asimismo se definen tres grados: “b”, “c” y “d”. De modo que los aceros ordinarios para perfiles y chapas son el A37b y el A42b, mientras que los grados “c” y “d” se emplean en casos de exigencias especiales de alta soldabilidad o aquellos en que se requiera menor sensibilidad a la rotura frágil. Los aceros de la clase A52b tienen su utilización en los casos en que se requieren altas resistencias, y los de las clases A52c y A52d tienen utilización específica en casos de exigencias especiales de alta soldabilidad o de insensibilidad a la rotura frágil. La Tabla 1 muestra los valores del límite elástico mínimo garantizado ( $\sigma_u$ ), la resistencia a tracción y la energía que debe ser absorbida en ensayo de resiliencia a varias temperaturas.

Clase de acero	Límite elástico mínimo $\sigma_u$ ( $kp/mm^2$ )			Resistencia a tracción mín.-máx.	Energía absorbida en ensayo de resiliencia	
	$t \leq 16mm$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$		$\rho$ ( $kp/m$ )	Temp. °C
A37b	24	23	22	37-48	2,8	+20°
A37c	24	23	22	37-45	2,8	0°
A37d	24	23	22	37-45	2,8	-20°
A42b	26	25	24	42-53	2,8	+20°
A42c	26	25	24	42-50	2,8	0°
A42d	26	25	24	42-50	2,8	-20°
A52b	36	35	34	52-62	2,8	+20°
A52c	36	35	34	52-62	2,8	0°
A52d	36	35	34	52-62	2,8	-20°

En los aceros de tipo A52 el espesor límite de 40mm se sustituye por 36mm

**TABLA 1. TIPOS DE ACEROS ESTRUCTURALES (EA95)**

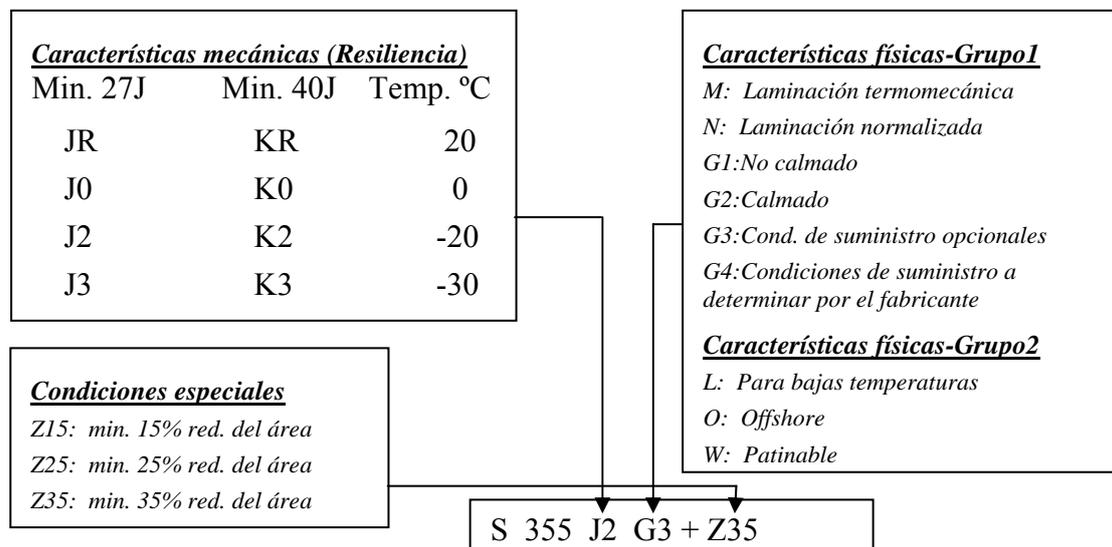
### 2.1.2 Los aceros estructurales según el EC3 y el CTE

El documento experimental del Eurocódigo 3 (ENV1993 de 1996) designaba a los aceros estructurales con el símbolo químico del hierro ( $Fe$ ) seguido de una cifra que representaba en  $MPa$  la resistencia a tracción  $f_u$  de dicho acero. De este modo los aceros estructurales se designaban como  $Fe360$ ,  $Fe430$  y  $Fe510$ . Sin embargo en el documento final del EC3 se optó por seguir la Norma Europea EN10025 en lo que respecta a la designación de los aceros estructurales. Según esta norma un acero se puede designar en términos abreviados mediante la letra  $S$  (que indica un acero de construcción) seguida de una cifra que indica en  $MPa$  el límite elástico mínimo  $f_y$ . En la Tabla 2 se relacionan los tipos de acero y se indican los valores nominales del límite elástico  $f_y$  y de la resistencia a tracción  $f_u$ . El CTE en su DB-SE-A sigue fielmente al EC3 en este apartado.

Tipo de acero	Espesor nominal de la pieza $t$ ( $mm$ )			
	$t \leq 40mm$		$40 mm < t \leq 80mm$	
	$f_y$ ( $N/mm^2$ )	$f_u$ ( $N/mm^2$ )	$f_y$ ( $N/mm^2$ )	$f_u$ ( $N/mm^2$ )
S 235 (A37)	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355 (A52)	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550

**TABLA 2. TIPOS DE ACEROS ESTRUCTURALES (EC3)**

Una designación más completa según la EN10025 implica hacer referencia además del grupo de acero (S aceros de construcción) y al límite elástico ( $f_y$ ) a otras características mecánicas como la resiliencia a una determinada temperatura (JR, J0, J2, ...); a características físicas y a ciertas condiciones especiales.



EJEMPLO DE DESIGNACIÓN DE ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN EN10025

La Tabla 3 recoge características mecánicas de los aceros en base a las citadas normas.

DESIGNACIÓN	Espesor nominal $t$ (mm)				Temperatura del ensayo Charpy
	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )			$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$	
S235JR (A37b) S235J0 (A37c) S235J2G3 (A37d)	235	225	215	360	20°C 0°C -20°C
S275JR S275J0 S275J2G3	275	265	255	410	20°C 0°C -20°C
S355JR (A52b) S355J0 (A52c) S355J2G3 (A52d) S355K2	355	345	335	470	20°C 0°C -20°C -20°C <sup>(1)</sup>
S450J0	450	430	410	550	0

(1) Se exige una energía mínima de 40J

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES (EC3)

## 2.2. ELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DEL ACERO ESTRUCTURAL

### 2.2.1 Selección del acero en base a la NBE-EA 95

La elección entre los aceros A37, A42 y A52, se basa, fundamentalmente, en razones económicas y en la facilidad de obtención en el mercado de los productos requeridos. Dentro del tipo de acero adoptado, para estructuras soldadas, se elige el grado en función de la susceptibilidad a la rotura frágil y del grado de responsabilidad del elemento en la estructura. El anejo 3.A1 de EA95 recoge algunas recomendaciones orientativas para la elección de la clase del acero en estructuras soldadas.

Así para elegir la clase de acero más conveniente para la ejecución de un elemento estructural, se obtiene primeramente su clasificación previa en la Tabla 4, en función de su grado de responsabilidad y de sus condiciones de forma y ejecución. Una vez realizada la clasificación previa se obtiene la clase de acero con la Tabla 5 en función del espesor máximo del elemento y de la temperatura mínima prevista en servicio.

CLASIFICACIÓN PREVIA DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL			
Grado de responsabilidad del elemento	Condiciones de forma y ejecución	Clasificación	
		I	II
Primer grado: El fallo produciría daños leves y fácilmente reparables.	Normal	D	E
	Difícil	C	D
Segundo grado: Daños locales o disminución local de la utilidad.	Normal	C	D
	Difícil	B	C
Tercer grado: El fallo comprometería la existencia o la utilidad.	Normal	B	C
	Difícil	A	B
En general debe considerarse la clasificación I. La clasificación II se utiliza únicamente cuando el elemento está débilmente solicitado mediante acciones estáticas.			

**TABLA 4. CLASIFICACIÓN PREVIA DEL ACERO PARA UN ELEMENTO ESTRUCTURAL (EA95)**

<b>ELECCIÓN DE LA CALIDAD EN A-37 PARA ELEMENTOS SOLDADOS A TRACCIÓN</b>						
Clasificación previa del elemento a la temperatura:			Espesor máximo ( <i>mm</i> ) de los productos siendo la clase de acero			
Línea	≥-10°C	≥-30°C	A37bE	A37bNE	A37c	A37d
1	-	A	8	20	25	50
2	-	B	12	25	30	50
3	A	C	16	30	40	50
4	B	D	20	40	40	50
5	C,D,E	E	20	50	50	50

E: Efervescente; NE: No efervescente  
Para elementos y zonas comprimidas tomar los espesores máximos de la línea 5

<b>ELECCIÓN DE LA CALIDAD EN A-42 PARA ELEMENTOS SOLDADOS A TRACCIÓN</b>						
Clasificación previa del elemento a la temperatura:			Espesor máximo ( <i>mm</i> ) de los productos siendo la clase de acero			
Línea	≥-10°C	≥-30°C	A42b	A42c	A42d	
1	-	A	16	25	50	
2	-	B	20	30	50	
3	A	C	25	35	50	
4	B	D	30	40	50	
5	C,D,E	E	35	40	50	

Para elementos y zonas comprimidas tomar los espesores máximos de la línea 5

<b>ELECCIÓN DE LA CALIDAD EN A-52 PARA ELEMENTOS SOLDADOS A TRACCIÓN</b>						
Clasificación previa del elemento a la temperatura:			Espesor máximo ( <i>mm</i> ) de los productos siendo la clase de acero			
Línea	≥-10°C	≥-30°C	A52b	A52c	A52d	
1	-	A	6	25	50	
2	-	B	10	30	50	
3	A	C	12	35	50	
4	B	D	16	40	50	
5	C,D,E	E	20	40	50	

TABLA 5. ELECCIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ACEROS (EA95)

### 2.2.2 Selección del acero en base al EC3 y al CTE

El material deberá ser suficientemente tenaz contra la fractura para evitar la fractura frágil a la menor temperatura prevista en servicio durante la vida estimada de la estructura. La Tabla 6 permite seleccionar el Grado y Subgrado del tipo de acero para un determinado espesor y condiciones de trabajo.

Grado	Subgrado	Temperatura mínima (°C)		
		-0	-10	-20
235	JR	50	40	35
	J0	75	60	50
	J2	105	90	75
275	JR	45	35	30
	J0	65	55	45
	J2	95	75	65
355	JR	35	25	20
	J0	50	40	35

TABLA 6. ESPESORES MÁXIMOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE ACERO (EC3)

### 2.2.3 Resistencia de cálculo de los aceros. Coeficientes parciales $\gamma_M$

En el EC3 y el CTE la resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  viene dada por el cociente de la tensión de límite elástico y el coeficiente de seguridad del material:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M}$$

siendo:

$f_y$  La tensión del límite elástico del material. No considerar el efecto de endurecimiento derivado del conformado en frío o de cualquier otra operación.

$\gamma_M$  El coeficiente parcial de seguridad del material.

En las comprobaciones de resistencia última del material o la sección, se adopta como resistencia de cálculo el valor:

$$f_{ud} = \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo:

$\gamma_{M2}$  El coeficiente de seguridad para resistencia última.

### **Coefficientes parciales de seguridad para el material según el CT-DB-SE-A**

- |    |                      |  |
|----|----------------------|--|
| a) | $\gamma_{M0} = 1,05$ | coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material   |
| b) | $\gamma_{M1} = 1,05$ | coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad   |
| c) | $\gamma_{M2} = 1,25$ | coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión  |
| d) | $\gamma_{M3} = 1,1$  | coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en Estado Límite de Servicio.          |
|    | $\gamma_{M3} = 1,25$ | coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en Estado Límite de Último.            |
|    | $\gamma_{M3} = 1,4$  | coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados y agujeros rasgados o con sobremedida. |

Los coeficientes parciales para la resistencia frente a la fatiga están definidos en el Anejo C.

### **Planteamiento del EC3**

En el Eurocódigo 3 Parte 1-1 se indica que los coeficientes  $\gamma_{Mi}$  para edificios pueden ser definidos por cada Estado miembro en los correspondientes Anexos Nacionales ó Documentos Nacionales de Aplicación (DNA). No obstante se establecen unos valores recomendados que resultan menos conservadores que los finalmente recogidos en el Código Técnico de la Edificación. Sorprendentemente los adoptados por el CTE tampoco coinciden con los que se proponen en la Instrucción de Acero Estructural EAE. Los valores recomendados en el EC3 Parte 1-1 son:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### **Planteamiento de la Instrucción EAE**

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00 \text{ para edificios}$$

$$\gamma_{M1} = 1,00 \text{ para puentes}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### 2.3 PRODUCTOS LAMINADOS

Se clasifican en función de sus características de forma en:

a) Productos longitudinales. Son aquellos en los que una dimensión es determinante sobre las dos restantes. Se subdividen a su vez en:

-Perfiles estructurales. Son los perfiles I, H, L, T,  $\emptyset$ , con una altura o anchura igual o mayor de 80mm. A veces se denominan también perfiles pesados.

-Perfiles comerciales. Incluyen los del grupo anterior con dimensión inferior a 80mm e igualmente los redondos, cuadrados, hexagonales y pletinas. También se denominan perfiles ligeros.

b) Los productos planos. Son aquellos en los que dos de sus dimensiones predominan sobre la tercera. El producto plano utilizado normalmente es la chapa laminada en caliente. La chapa se clasifica según su espesor “t” en milímetros:

Fina:  $t < 3\text{mm}$

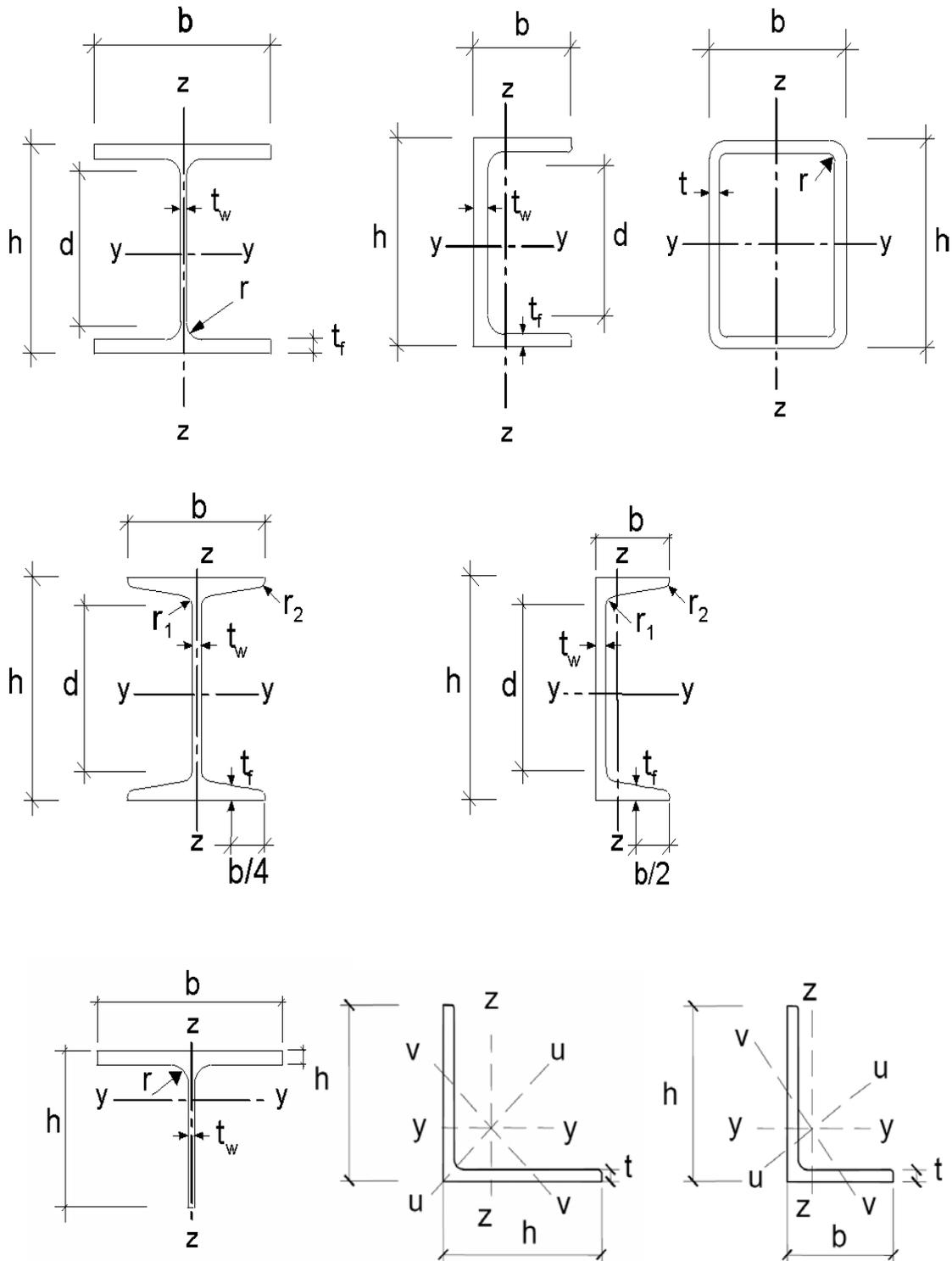
Media:  $3\text{mm} \leq t \leq 4,75\text{mm}$

Gruesa:  $4,75\text{mm} < t$

SERIES DE PRODUCTOS LAMINADOS	
Serie	mínimo y máximo de la serie
Perfil IPN	IPN 80 - IPN 600
Perfil IPE	IPE 80 - IPE 600
Perfil HEB	HEB 100 - HEB 600
Perfil HEA	HEA 100 - HEA 600
Perfil HEM	HEM 100 - HEM 600
Perfil UPN	UPN 80 - UPN 400
Perfil L	L 20.3 - L 200.24
Perfil LD	LD 30.20.3 - LD 200.150.18
Perfil T	T 25.3,5 - T 100.11
Redondo	$\emptyset 6 - \emptyset 50$
Cuadrado	$\neq 6 - \neq 50$
Rectangular	$\neq 20.4 - \neq 400.40$
Chapa	$\neq 1800.8.8000$

Las series de productos laminados recogidos en la NBE-EA95 se presentan en la tabla que se reproduce en la columna de la izquierda. En ella se incluye la notación y los perfiles menores y mayores de cada una de las series. Debemos además tener en cuenta que no todos los perfiles indicados en las Normas se encuentran de forma permanente en el mercado. Por ello el proyectista debe tratar de utilizar aquellos con garantía de un suministro permanente.

Tanto el EC3 como posteriormente el CTE y la EAE han adoptado una designación común para referirse a las variables dimensionales y a los ejes de referencia de los perfiles que no coincide con la “comúnmente empleada en nuestro país” hasta la llegada de estos nuevos códigos y que a continuación se detalla.



**2.3.1 Catálogo Arcelor.**

Se relacionan las series de perfiles estructurales con indicación de los extremos de cada serie. Conviene resaltar la presencia de perfiles “nuevos” si tomamos como referencia la NBE-EA95, tales como los UPE que presentan alas con lados paralelos para una mayor sencillez en las uniones o las series HL, HD o HP que derivan de la básica HE.

								
IPE	IPN	HE	HL	HD	HP	UPE	UPN	U
páginas/pages/ pagine 50-55	páginas/pages/ pagine 56-57	páginas/pages/ pagine 58-65	páginas/pages/ pagine 66-67	páginas/pages/ pagine 68-71	páginas/pages/ pagine 74-77	páginas/pages/ pagine 80-81	páginas/pages/ pagine 82-83	páginas/pages/ pagine 84-85
Perfiles I de alas paralelas	Perfiles I de alas inclinadas	Perfiles H de alas anchas	Perfiles H de alas extra anchas	Pilares de alas anchas	Perfiles H de alas anchas y caras paralelas para pilares	Perfiles U de alas paralelas	Perfiles U de alas inclinadas	Perfiles U de alas inclinadas
IPE80 IPE750	IPN80 IPN600	HE100 HE1000	HL920 HE1100	HD260 HD400	HP200 HP400	UPE80 UPE400	UPN80 UPN400	U 40 U 65
Otros: IPE A IPE O		Otros: HE A HE AA HE M				Otros: UAP		

\*Series de angulares pletinas y barras macizas

				
L	L	FL	SQ	SQ
L20 L250	L120 L200	40 400	45 160	90 130

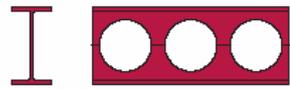
\*Series Británicas

					
UB	J	UC	UBP	PFC	CH

\*Series USA

					
W	S	HP	C	MC	L

\*Series de vigas de alma aligerada



**ARCELOR CELLULAR BEAMS®**  
 Viga alveolar con alvéolos circulares  
 Castellated beam with circular openings  
 Travi alveolari con fori circolari



Viga alveolar con alvéolos hexagonales  
 Castellated beam with hexagonal openings  
 Travi alveolari con fori esagonali



Viga alveolar con alvéolos octogonales  
 Castellated beam with octagonal openings  
 Travi alveolari con fori ottagonali

IPE	HE	HL
páginas/pages/pagine 106-117	páginas/pages/pagine 106-117	páginas/pages/pagine 106-117
Perfiles básicos Base profiles Profilati base		
200		
220		
240		
	260	
270		
	280	
300		
	300	
	320	
330		
	340	
360		
	360	
400		
	400	
450		
	450	
500		
	500	
550		
	550	
600		
	600	
	650	
	700	
750		
	800	
	900	
	1000	920
		1000
		1100

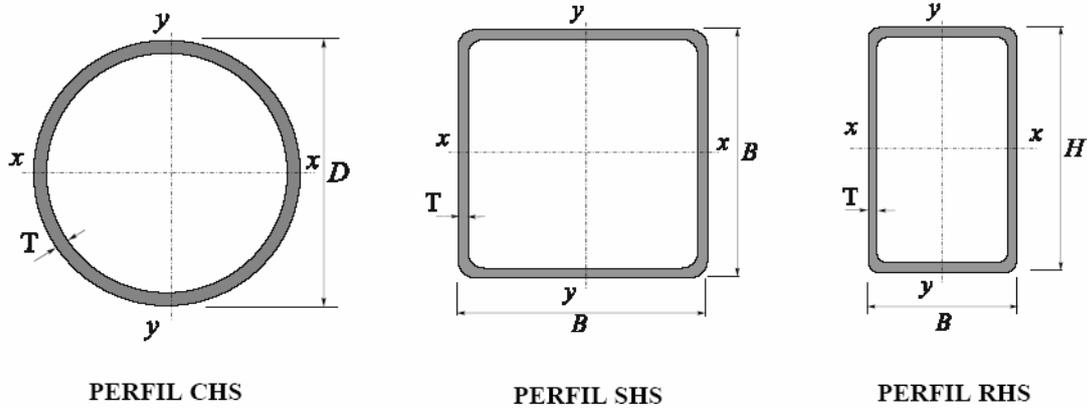
\*Series de vigas de piso para forjados tipo *Slim floor*

		
IFB		SFB
páginas/pages/pagine 120-121	página/page/pagina 122	páginas/pages/pagine 123-125
Vigas tipo A Type A beams Travi tipo A	Vigas tipo B Type B beams Travi tipo B	Vigas Beams Travi
1/2 IPE 400 + □ 1/2 IPE 450 + □ 1/2 IPE 500 + □ 1/2 IPE 550 + □ 1/2 IPE 600 + □	1/2 HE 220 + □ 1/2 HE 240 + □ 1/2 HE 260 + □ 1/2 HE 280 + □ 1/2 HE 300 + □ 1/2 HE 320 + □ 1/2 HE 340 + □ 1/2 HE 360 + □ 1/2 HE 400 + □ 1/2 HE 450 + □ 1/2 HE 500 + □ 1/2 HE 550 + □ 1/2 HE 600 + □ 1/2 HE 650 + □	1/2 HE 280 + □ 1/2 HE 300 + □
		1/2 HP 360 + □ 1/2 HP 400 + □
		HE 140 + □ HE 160 + □ HE 180 + □ HE 200 + □ HE 220 + □ HE 240 + □ HE 260 + □ HE 280 + □ HE 300 + □ HE 320 + □

### 2.3.2 Perfiles tubulares. Catálogo Condesa.

El catálogo de Condesa es una buena referencia para los perfiles tubulares.

#### SECCIONES Y NOMENCLATURA DE PERFILES TUBULARES

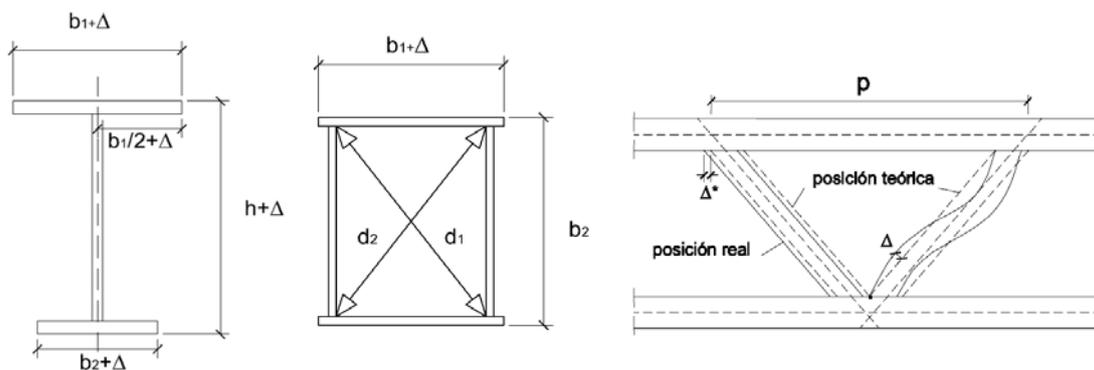


### 2.3.3 Tolerancias.

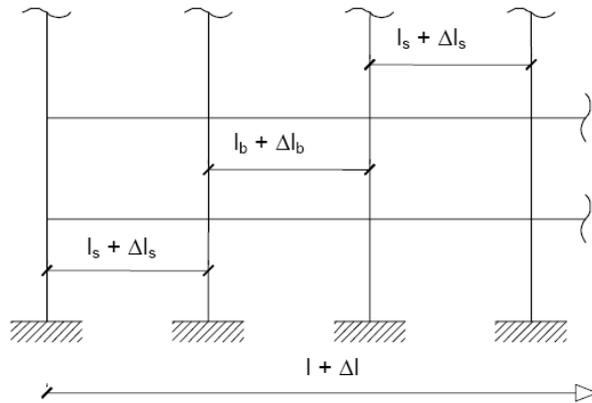
El catálogo de Arcelor recoge las tolerancias de laminación exigibles a los perfiles que la propia empresa fabrica, en lo relativo a altura, envergadura de las alas, espesores de alma y alas, defectos de escuadra y simetría, rectitud, longitud y peso.

Por su parte el DB SE-A del Código Técnico de la Edificación destina el capítulo 11 a las tolerancias admisibles en las estructuras de edificación. Se distingue entre las tolerancias de fabricación para diversos tipos de componentes estructurales:

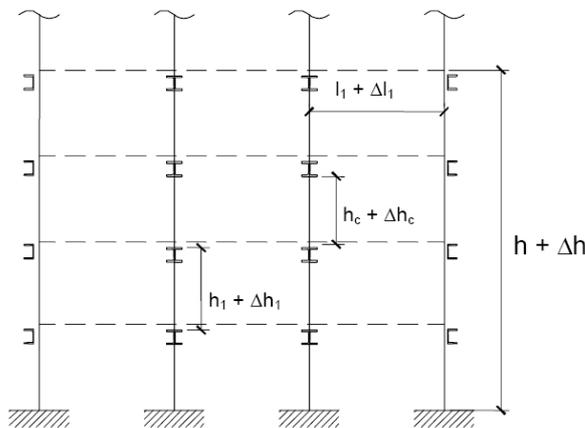
- Perfiles en doble T soldados
- Secciones en cajón
- Agujeros y entalladuras
- Barras de celosía
- Placas de asiento de pilares, etc.



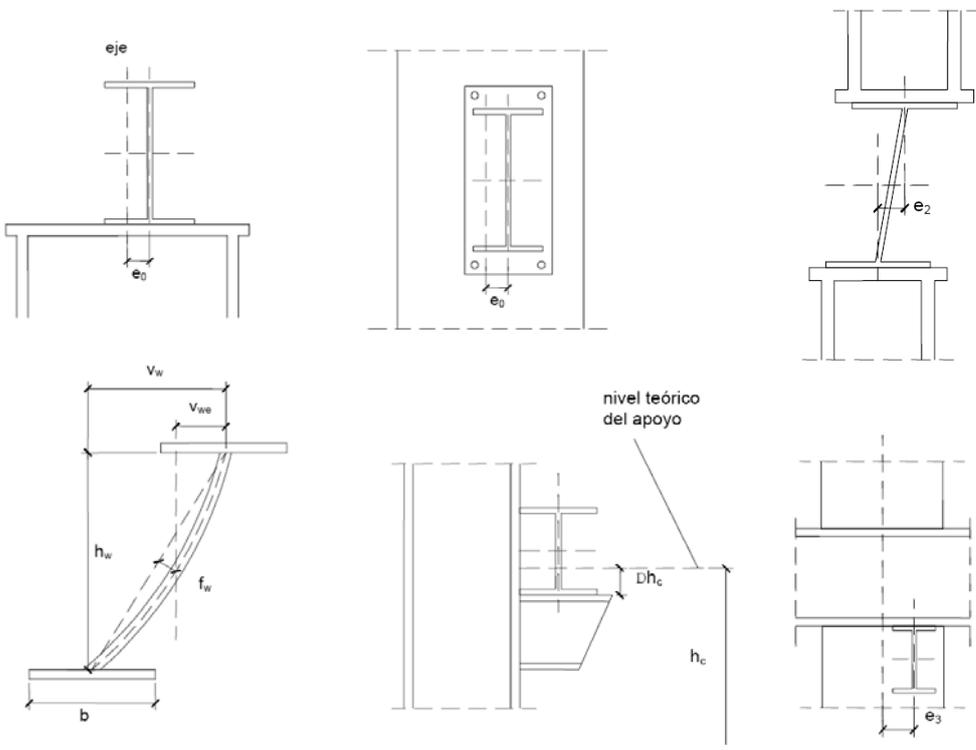
En un segundo apartado se expresan las tolerancias de ejecución. Las figuras siguientes ilustran algunas de las dimensiones a controlar durante la ejecución.



- $l_s$  distancia entre pilares
- $\Delta l_s$  desviación de la distancia entre pilares
- $l$  longitud de carrera (total de vigas)
- $\Delta l$  desviación de la longitud de carrera
- $l_b$  longitud de la viga
- $\Delta l_b$  desviación de la longitud de la viga



- $h_1$  nivel de la cara superior de una losa de piso apoyada en el pilar
- $\Delta h_1$  desviación con respecto a  $h_1$
- $h_c$  longitud del pilar con sus componentes intermedios
- $\Delta h_c$  desviación con respecto a  $h_c$
- $l_1$  distancia entre vigas adyacentes
- $\Delta l_1$  desviación con respecto a  $l_1$



## 2.4. COMPORTAMIENTO DÚCTIL DEL ACERO.

El fenómeno de rotura consiste en la separación o fragmentación de un sólido a consecuencia de un estado tensional, que se manifiesta con la iniciación de grietas o fisuras que se propagan hasta la separación del material. En los materiales cristalinos y entre ellos los metales y concretamente el acero, se producen dos tipos de roturas o fracturas: la rotura dúctil y la rotura frágil.

La rotura dúctil se produce después de una deformación plástica apreciable antes y durante la propagación de grietas. La superficie de este tipo de fractura tiene una apariencia característica opaca y fibrosa.

La rotura frágil se produce por la aparición y propagación rápida de una fisura después de poca o ninguna deformación plástica. En materiales cristalinos la fisura se propaga a lo largo de ciertos planos cristalográficos característicos, llamados planos de despegue o de clivaje. La superficie de este tipo de fractura tiene una apariencia granular y brillante, debido a la reflexión de la luz sobre los planos de despegue.

La mayor parte de las estructuras, sobre todo las solicitadas estáticamente y realizadas con los aceros ordinarios de construcción, tienen un comportamiento dúctil frente a las solicitaciones. Es decir, para estudiar el estado último habrá que considerar un criterio de agotamiento que contemple la rotura dúctil o la fluencia del acero.

La NBE-EA-95 adopta el criterio de agotamiento el criterio de Von Mises que establece, según sea el estado tensional existente, las siguientes comprobaciones:

En un estado triple de tensión, definido por sus tensiones principales  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{II}$ ,  $\sigma_{III}$ , la condición de agotamiento es:

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2]} = \sigma_u$$

siendo  $\sigma_u$ , la resistencia de cálculo del acero.

Si el estado de tensión está definido en ejes cualesquiera, la condición de agotamiento, más general, se transforma en:

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)]} = \sigma_u$$

Si el estado es de tracción triple ( $\sigma_I \geq \sigma_{II} \geq \sigma_{III} > 0$ ), existe una segunda condición de agotamiento, que es:

$$\sigma_I = 2 \sigma_u$$

En un estado plano de tensión, o sea, con una tensión principal nula, definido en su plano XOY. la condición de agotamiento es:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} = \sigma_u$$

Si el estado plano está definido por sus tensiones principales:

$$\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 - \sigma_I \cdot \sigma_{II}} = \sigma_u$$

En un estado simple, de tracción o compresión, la condición de agotamiento es:

$$\sigma = \sigma_u$$

En un estado de cortadura simple ( $\sigma_x = \sigma_y = 0$ ), la condición de agotamiento es:

$$\tau_u = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} = 0,576 \cdot \sigma_u$$

## 2.5. COMPORTAMIENTO FRÁGIL. FACTORES DETERMINANTES

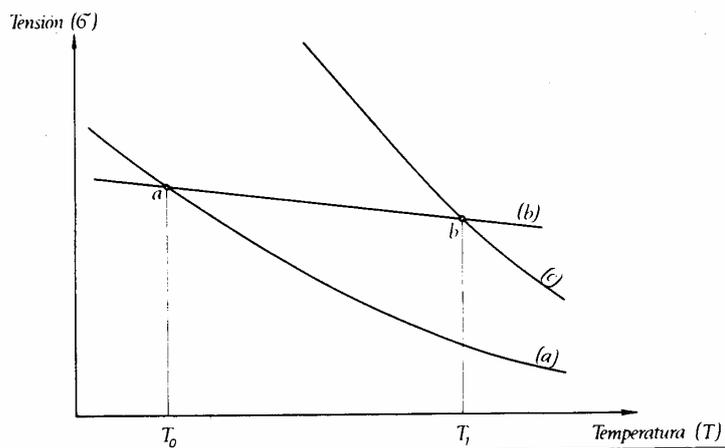
La fractura frágil es un fenómeno indeseable que depende de muchos factores de distinta naturaleza (temperatura, composición química del acero, concentración de tensiones, etc.) y no es posible, por tanto, establecer un criterio de agotamiento tensional o fijar por este concepto un tope a las tensiones de proyecto. Las Normas imponen condiciones y limitaciones para evitar la aparición de este fenómeno.

En el comportamiento dúctil o frágil del acero influye en primer lugar la calidad del mismo, entendiendo por calidad no solo su composición química, sino otras características dependientes del proceso de fabricación y, en algunos casos, del tratamiento térmico.

Dentro de un mismo acero, tres son los factores principales que estimulan la posibilidad de una fractura frágil:

- 1º) Una temperatura de utilización baja.
- 2º) Un estado triaxial de tensiones.
- 3º) Una velocidad de deformación elevada.

Influencia de la temperatura. Temperatura de transición.



Curvas representadas:

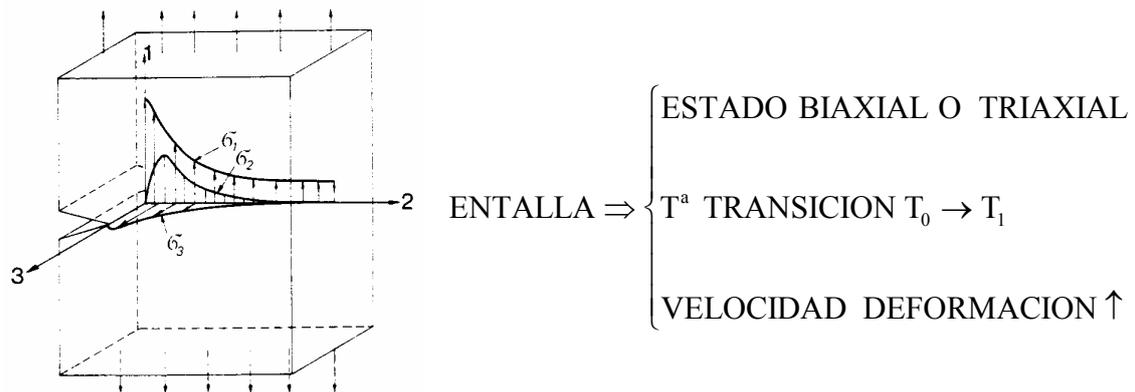
- (a) Res. al deslizamiento
- (b) Resistencia al despegue
- (c) Res. a deslizamiento en pieza con entallas.

El límite elástico de los metales aumenta con el descenso de temperatura, y lo mismo sucede con las resistencias al deslizamiento y al despegue. El punto de corte de las curvas (a) y (b) corresponde a un valor de la abcisa  $T_0$ , denominado temperatura de transición (temperatura por encima de la cual se producen roturas dúctiles).

En piezas con entallas la curva que representa la rotura dúctil pasa de la (a) a la curva (c) y la temperatura de transición pasa de  $T_0$  a una temperatura más alta  $T_1$  que podría ser superior a la temperatura ambiental, justificando la producción de una fractura frágil

### Concentración de tensiones y efecto entalla.

Considerando el efecto de la entalla, pueden explicarse algunas roturas frágiles que se producen con temperaturas y tensiones moderadas en aceros suaves de construcción.



Otras circunstancias que pueden producir, en determinados puntos de una pieza, la creación de estados tridimensionales de tensión, son las tensiones residuales de laminación y las tensiones creadas por cordones de soldadura.

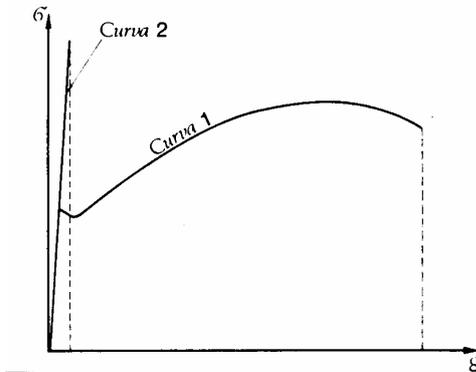
### Calidad del acero.

$\% C \uparrow \Rightarrow RESISTENCIA \uparrow$  pero  $T^a TRANSICION \uparrow$

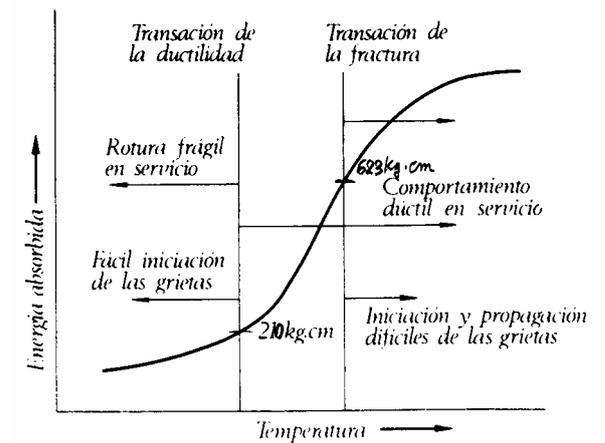
$\% Mn \uparrow \Rightarrow RESISTENCIA \uparrow$  y  $T^a TRANSICION \downarrow$  pero es CARO

El carbono y el manganeso son los elementos que más frecuentemente se usan para aumentar la resistencia del acero, con mucha más frecuencia el carbono por ser más económico. Una mayor proporción de carbono aumenta la resistencia del acero, pero incrementa la temperatura de transición, es decir, lo fragiliza. El aumento del porcentaje de manganeso, por el contrario, baja la temperatura de transición.

## Energía de rotura. Resiliencia



Un material dúctil absorbe en la rotura una energía considerablemente mayor que un material frágil. Pudiendo medirse la mayor o menor ductilidad del material con un ensayo de resiliencia con el que se obtiene la energía comunicada a la muestra para su rotura.



Por debajo de  $t^a$  de transición de la ductilidad se producen fácilmente fracturas de despegue completamente frágiles.

Por encima de  $t^a$  de transición de la fractura no se propagan las grietas en forma catastrófica, sino que la fractura es por deslizamiento, con gran absorción de energía.

En la región entre las dos  $t^{as}$  de transición las fracturas se inician difícilmente, pero una vez iniciadas se propagan rápidamente, con poca absorción de energía.

$T^a$  de servicio  $<$   $T^a$  de transición de la ductilidad  $\Rightarrow$  Rotura frágil

$T^a$  de servicio  $>$   $T^a$  de transición de la fractura  $\Rightarrow$  Rotura dúctil  $\rightarrow$  Energía  $\uparrow$

$T^a$  dúctil  $<$   $T^a$  servicio  $<$   $T^a$  fractura  $\Rightarrow$  Iniciación difícil, propagación fácil  $\rightarrow$  Energía  $\downarrow$

## 2.6. DURABILIDAD

\*En el Documento Básico SE-A del Código Técnico se incluye un apartado dedicado a la durabilidad. Expresamente se indica que ha de prevenirse la corrosión del acero mediante una estrategia global que considere en forma jerárquica al edificio en su conjunto (situación, uso, etc.), la estructura (exposición, ventilación, etc.), los elementos (materiales, tipos de sección, etc.) y, especialmente, los detalles, evitando:

- a) La existencia de sistemas de evacuación de aguas no accesibles para su conservación que puedan afectar a elementos estructurales.
- b) La formación de rincones, en nudos y en uniones a elementos no estructurales, que favorezcan el depósito de residuos o suciedad.
- c) El contacto directo con otros metales (el aluminio de las carpinterías de cerramiento, muros cortina, etc.).
- d) El contacto directo con yesos.

\*En el proyecto de edificación se indicarán las protecciones adecuadas a los materiales para evitar su corrosión, de acuerdo con las condiciones ambientales internas y externas del edificio. A tal fin se podrá utilizar la norma UNE-ENV 1090-1: 1997.

\*Se definirán y cuidarán especialmente las superficies que deban resistir y transmitir esfuerzos por rozamiento, superficies de soldaduras, superficies inaccesibles y expuestas exteriormente, superficies en contacto con el hormigón, la terminación de las superficies de aceros resistentes a la corrosión atmosférica, el sellado de espacios en contacto con el ambiente agresivo y el tratamiento de los elementos de fijación.

\*En aquellas estructuras que, como consecuencia de las consideraciones ambientales indicadas, sea necesario revisar la protección de las mismas, el proyecto debe prever la inspección y mantenimiento de las protecciones, asegurando, de modo permanente, los accesos y el resto de condiciones físicas necesarias para ello.