

# **CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES EN ESTRUCTURA METÁLICA**

## **SUMARIO**

**9.1. OBJETO**

**9.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ACERO**

**9.3. PRODUCTOS: DESIGNACIÓN Y TIPOS DE PERFILES DE ACERO**

**9.4. SISTEMAS DE UNIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO ESTRUCTURAL**

**9.5. COMPONENTES QUE TRABAJAN A TRACCIÓN**

**9.6. COMPONENTES QUE TRABAJAN A COMPRESIÓN**

**9.7. COMPONENTES QUE TRABAJAN A FLEXIÓN**

**9.8. DETALLES CONSTRUCTIVOS**

**9.9. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

## 9.1. OBJETO

Vistas las tipologías de naves y edificios industriales (lección 6), los criterios de diseño correspondientes a dichas estructuras (lección 7) y las propiedades del hormigón estructural y sus componentes (lección 8), en la presente se dan a conocer las características mecánicas de los elementos de acero, sus sistemas de unión y sus componentes, según trabajen a tracción, compresión o a flexión. La lección finaliza con una serie de detalles constructivos clásicos en estructuras metálicas y la bibliografía básica.

### 9.1. OBJETO

### 9.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ACERO

### 9.3. PRODUCTOS: DESIGNACIÓN Y TIPOS DE PERFILES DE ACERO

### 9.4. SISTEMAS DE UNIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO ESTRUCTURAL

### 9.5. COMPONENTES QUE TRABAJAN A TRACCIÓN

### 9.6. COMPONENTES QUE TRABAJAN A COMPRESIÓN

### 9.7. COMPONENTES QUE TRABAJAN A FLEXIÓN

### 9.8. DETALLES CONSTRUCTIVOS

### 9.9. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

## 9.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ACERO

El Acero es básicamente una aleación de hierro y carbono; concretamente:

$$0,05 \% \leq C < 2,14 \%$$

Cuando se supera este contenido máximo, los productos que se obtienen son fundiciones, cuyas propiedades varían mucho respecto de los aceros.

### ACEROS

T fusión: 1350°C – 1450°C  
Soldable: unión sencilla  
Dúctil: ley de Hooke  
Maleable: laminación

### FUNDICIONES

T fusión: 1050°C – 1200°C  
No soldable  
No dúctil: rotura frágil  
No Maleable: fundición

### TIPOS DE ACEROS

**Al carbono:** contienen 1,65% de Mn, 0,60% de Si y el 0,60% de Cu.  
Ejemplos: estructuras, maquinaria, automóvil, industria naval, etc.

**Aleados:** contienen V, Mb, y otros elementos, > % de Mn, Si y Cu.  
Estos aceros de aleación se pueden subclasificar en :

**Especiales:** contienen V, Mb, y otros elementos, > % de Mn, Si y Cu.

**Inoxidables:** contienen Cr, Ni, etc.

Utilización: tuberías, tanques, instalaciones industriales, etc.

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

## Ventajas del acero como material estructural:

- 1) Elevada resistencia a la tracción y a compresión —→ flexión ( $\sigma_s \geq 420$  MPa) .
- 2) Homogeneidad, isotropía y elasticidad (Ley de Hooke, con  $\sigma_e \geq 235$  MPa ) .
- 3) Facilidad de unión con otros componentes: soldadura, tornillos y remaches.
- 4) Rapidez de montaje (fotografía 1).
- 5) Disponibilidad de secciones, calidad y precisión dimensional.
- 6) Reciclable.



*Fotografía 1: Facilidad de unión, rapidez de montaje, calidad y precisión dimensional.*

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

## Desventajas del acero como material estructural:

- 1) Elevado peso específico:  $\gamma = 7850 \text{ kg/ m}^3$ .
- 2) Facilidad de corrosión si se expone a la intemperie: pinturas.
- 3) Difícil conseguir uniones en continuidad.
- 4) Elevado coeficiente de transmisión térmica: dilataciones importantes
- 5) Comportamiento frente a fuego: protección ignífuga o intumescente. Fot. 2a y 2b.
- 6) Elevado consumo energético durante su fabricación.



Fotografías 2a y 2b: Mal comportamiento frente al fuego.

## 9.3. PRODUCTOS DE ACERO ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista exclusivamente del acero empleado en estructural metálicas, los productos empleados en ellas son:

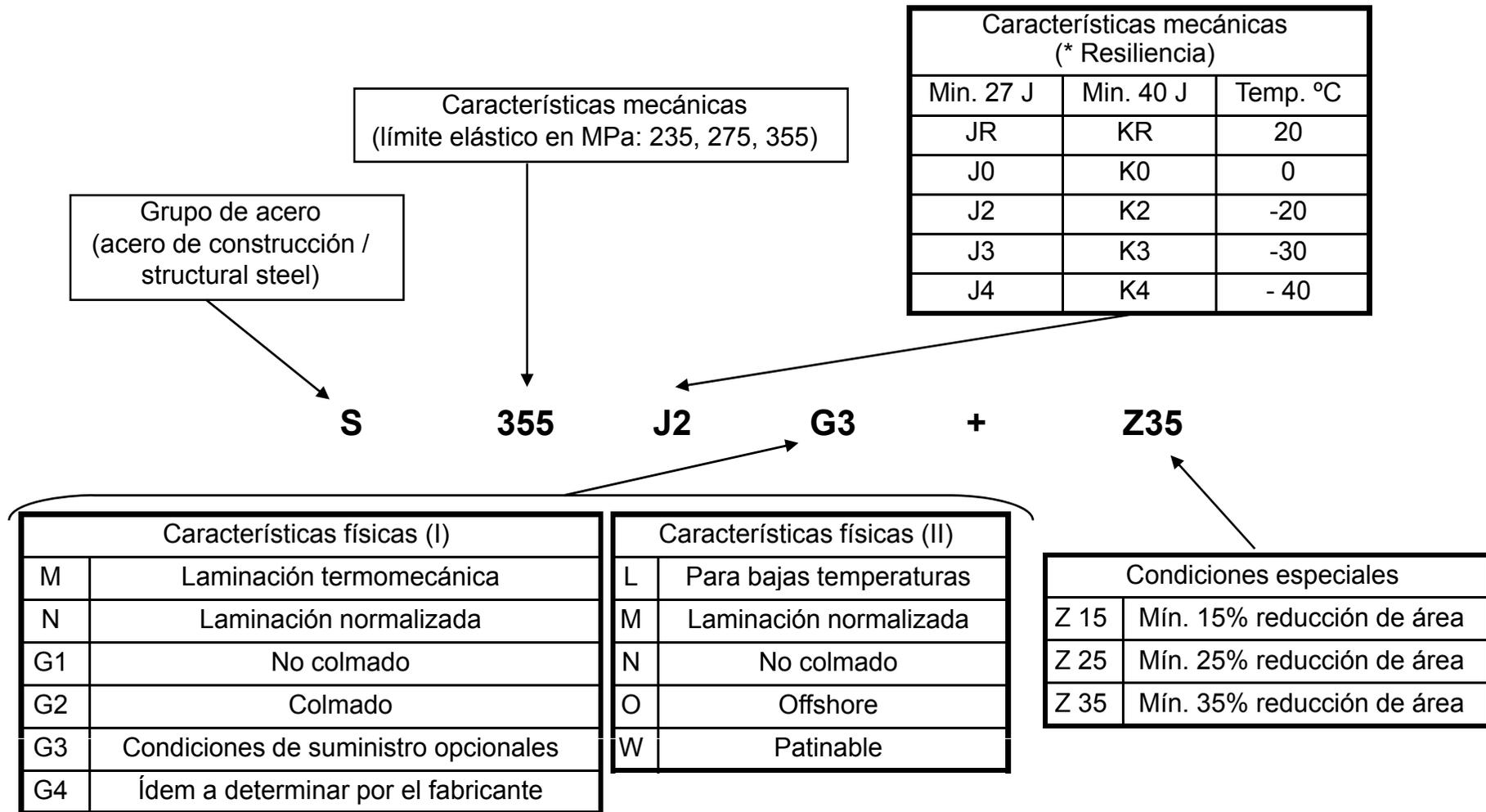
**PRODUCTOS DE ACERO  
ESTRUCTURAL**

Perfiles laminados en caliente (fotografía 3a).  
Perfiles laminados en frío (fotografía 3b).  
Chapas (fotografía 3c).  
Tubos



*Fotografías 3a, 3b y 3c: Productos de acero estructural.*

## 9.3.1. DESIGNACIÓN DE LOS PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL



Resiliencia: cantidad de energía que puede absorber un material, antes de que comience a deformarse plásticamente. Se expresa en J/m<sup>3</sup>

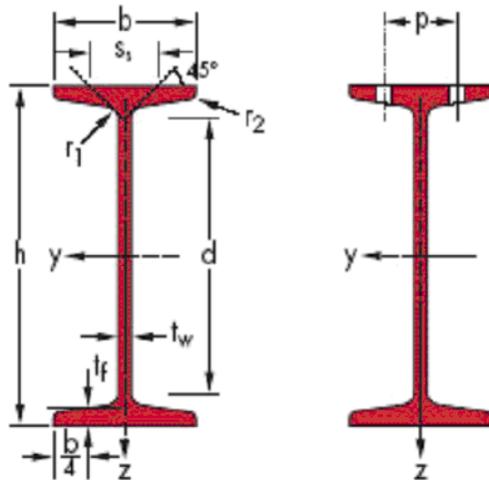


Fotografía 4: Ejemplo de denominación de perfil laminado.

DESIGNACIÓN s/ NBE – EA.95	DESIGNACIÓN s/ CTE (UNE 10025)
A – 37B	S235 JR
-	S235 JR G2
A – 37c	S235 JO
A – 37d	S235 J2 G3
A – 42b	-
A – 42c	-
A – 42d	-
A – 44b	S275 JR
A – 44c	S275 JO
A – 44d	S275 J2 G3
A – 52b	S355 JR
A – 52c	S355 JO
A – 52d	S355 J2 G3

## 9.3.2. TIPOS DE PERFILES Y PRODUCTOS DE ACERO ESTRUCTURAL

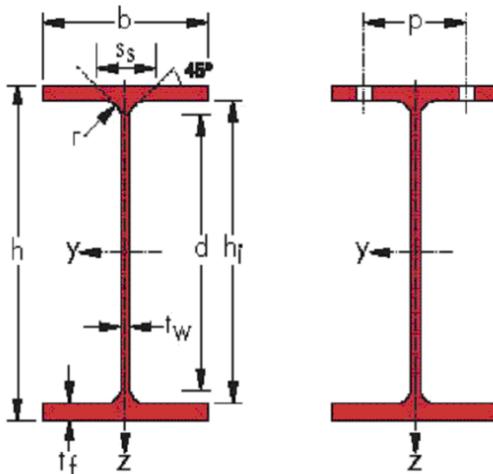
**IPN**  
Figura 5



### Características del perfil IPN (figura 5)

- Sección en doble T.
- Caras exteriores normales al alma.
- Caras interiores con inclinación del 14%.
- Encuentros redondeados.
- Disponibilidad desde 80 mm hasta 600 mm.
- Vigas, viguetas y pilares.

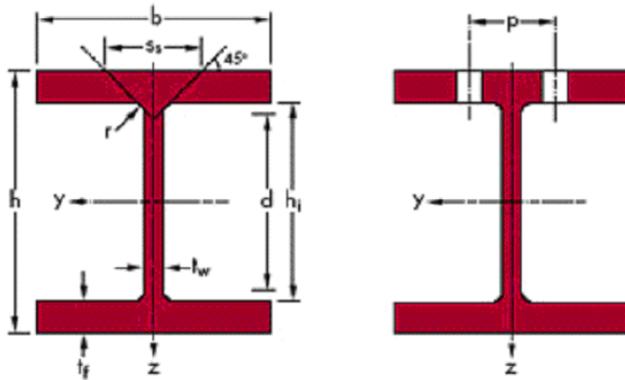
**IPE**  
Figura 6



### Características del perfil IPE (figura 6)

- Sección en doble T.
- Caras exteriores normales al alma.
- Caras interiores paralelas a las exteriores.
- Encuentros interiores redondeados.
- Aristas vivas.
- Disponibilidad desde 80 mm hasta 600 mm.
- Mejores características mecánicas que IPN.
- Vigas, viguetas y pilares.

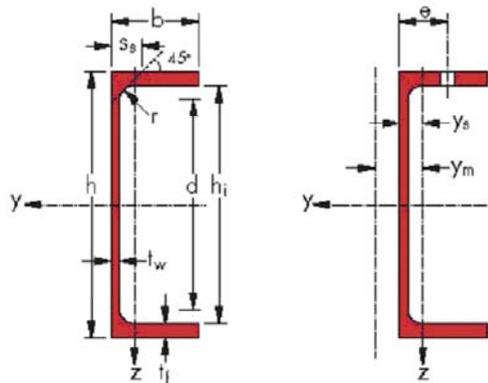
**HE**  
Figura 7



## Características del perfil HE (figura 7)

- Sección en doble T, pero con alas anchas.
- Existen tres series:
  - HEB (normal), con  $b = h$  para  $b \leq 300$ .
  - HEA (ligera), con  $b > h$  para  $b \leq 300$ .
  - HEM (pesada), con  $b > h$  siempre.
- Disponibilidad 100 mm hasta 1000 mm.
- Pilares y grandes vigas.

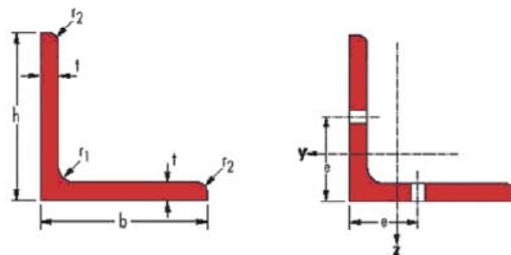
**UPN**  
Figura 8



## Características del perfil UPN (figura 8)

- Sección en U.
- Caras interiores de las alas inclinadas 8%.
- Disponibilidad 80 mm hasta 300 mm.
- Cerchas, apoyos y elementos de unión.

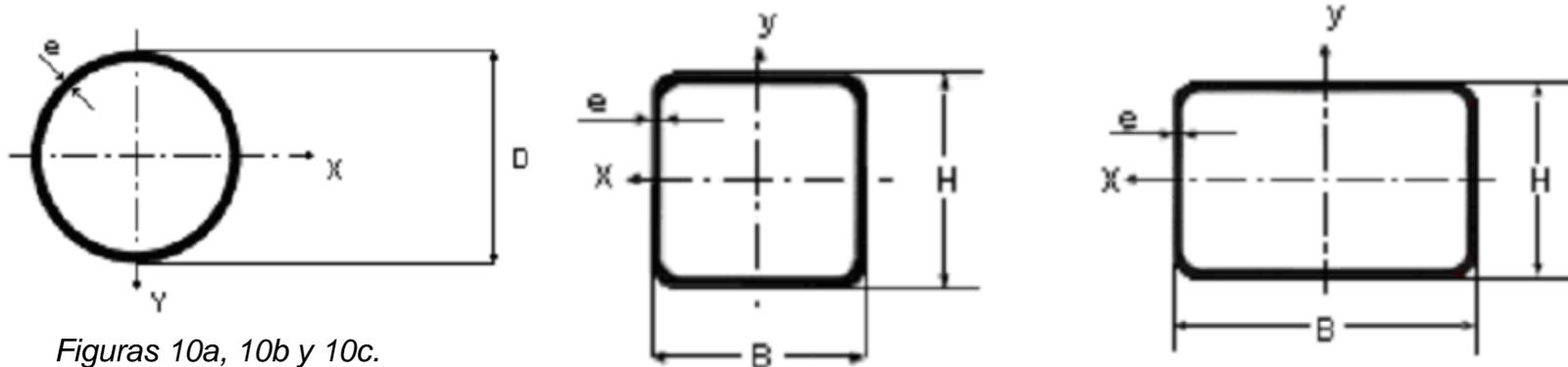
**L y LD**  
Figura 9



## Características del perfil L y LD (figura 9)

- Sección en L con lados iguales o distintos.
- Disponibilidad:
  - L 40.4 hasta 200.24 mm.
  - LD 40.25.4 hasta 200.150.18
- Cerchas, apoyos y elementos de unión.

## TUBOS DE SECCIÓN CIRCULAR, CUADRADA Y RECTANGULAR



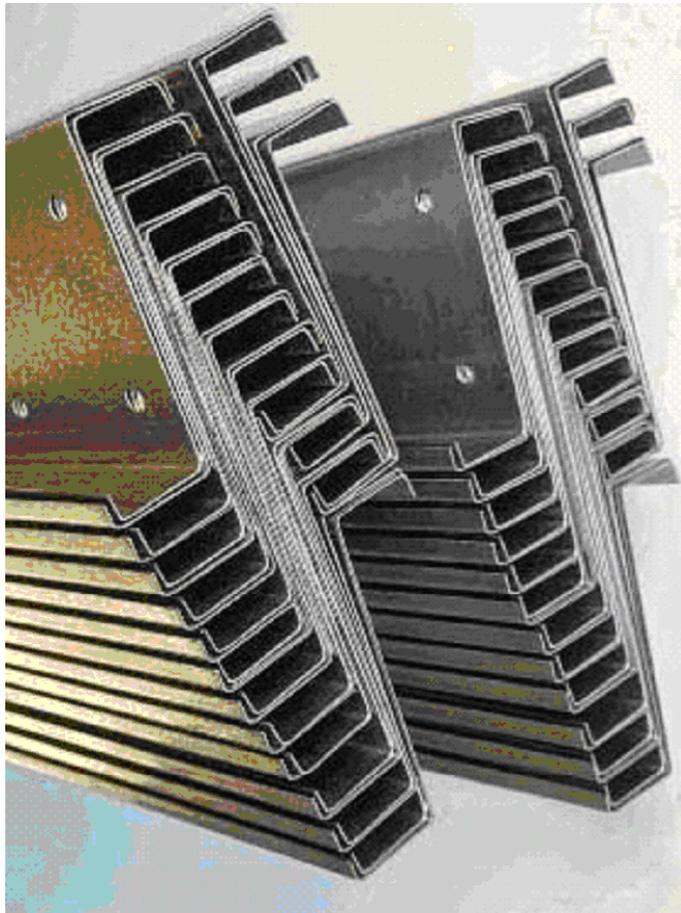
Figuras 10a, 10b y 10c.

### Características de los tubos (figuras 10a, 10b y 10c)

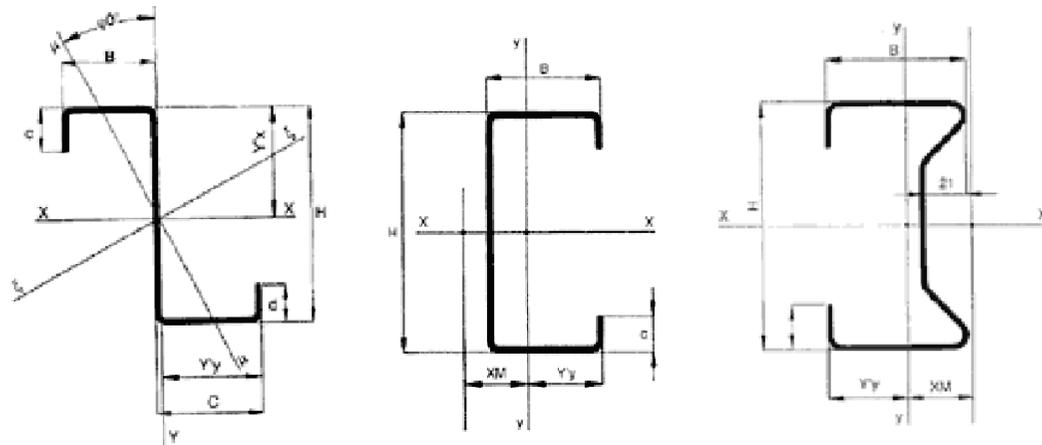
#### Disponibilidad:

- O desde 50.2 hasta 219.9.
- □ desde 50.50.2,5. hasta 175.175.8,0.
- ▭ 50.30.2,5 hasta 250.100.8,0.
- Buen comportamiento frente a la torsión y al pandeo.
- Facilidad de montaje, variedad de sistemas de unión.
- Superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas.
- Fácil mantenimiento y protección contra corrosión.
- Cerchas, celosías y ocasionalmente pilares, apoyos y elementos de unión.
- Libertad en el diseño de formas.

## CORREAS (Z, C y M)



Fotografía 11: Correas de chapa plegada tipo Z.



### Características (fotografía 11)

- Conformadas en frío.
- Ligereza.
- Sistema completo.
- Protección (galvanizado).

## ESTRUCTURAS ESPACIALES



### Características

- Elemento resistente formado por la unión de nudos y barras de acero.
- Ligereza y rapidez de montaje.
- Permiten soluciones para grandes luces y diseños complejos (fotografía 12a).
- Resolución de puntos singulares (fotografía 12b).
- Buenos acabados y terminaciones.

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

## Poutrelles I européennes

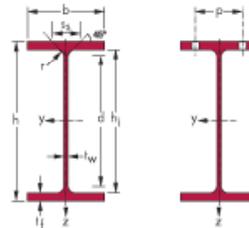
Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with Euronorm 19-57; IPE A 80 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750  
 Tolérances: EN 10034: 1993  
 Etat de surface conforme à EN 10163-3 : 2004, classe C, sous-classe 1

## European I beams

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with Euronorm 19-57; IPE A 80 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750  
 Tolérances: EN 10034: 1993  
 Surface condition according to EN 10163-3 : 2004, class C, subclass 1

## Europäische I-Profile

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß Euronorm 19-57; IPE A 80 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750  
 Toleranzen: EN 10034: 1993  
 Oberflächenbeschaffenheit gemäß EN 10163-3 : 2004, Klasse C, Untergruppe 1



# IPE

Notations pages 213-217 / Bezeichnungen Seiten 213-217

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	A	h <sub>0</sub>	d	∅	P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>G</sub>	
G kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> /m	mm <sup>2</sup> /t	
						x 10 <sup>4</sup>								
IPE 80 A**	5,0	78	46	3,3	4,2	5	6,38	69,6	59,6	-	-	0,325	64,90	
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5	7,64	69,6	59,6	-	-	0,328	54,64	
IPE A 100**	6,9	98	55	3,6	4,7	7	8,78	88,6	74,6	-	-	0,397	57,57	
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7	10,3	88,6	74,6	-	-	0,400	49,33	
IPE A 120*	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7	11,0	107,4	93,4	-	-	0,472	54,47	
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7	13,2	107,4	93,4	-	-	0,475	45,82	
IPE A 140*	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7	13,4	126,2	112,2	-	-	0,547	52,05	
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7	16,4	126,2	112,2	-	-	0,551	42,70	
IPE A 160*	12,7	157	82	4	5,9	9	16,2	145,2	127,2	-	-	0,619	48,70	
IPE 160	15,8	160	82	5	7,4	9	20,1	145,2	127,2	-	-	0,623	39,47	
IPE A 180*	15,4	177	91	4,3	6,5	9	19,6	164	146	M 10	48	0,694	45,15	
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8	9	23,9	164	146	M 10	48	0,698	37,13	
IPE O 180*	21,3	182	92	6	9	9	27,1	164	146	M 10	50	0,705	33,12	
IPE A 200*	18,4	197	100	4,5	7	12	23,5	183	159	M 10	54	0,764	41,49	
IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12	28,5	183	159	M 10	54	0,768	34,36	
IPE O 200*	25,1	202	102	6,2	9,5	12	32,0	183	159	M 10	56	0,779	31,05	
IPE A 220*	22,2	217	110	5	7,7	12	28,3	201,6	177,6	M 12	60	0,843	38,02	
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12	33,4	201,6	177,6	M 12	60	0,848	32,36	
IPE O 220*	29,4	222	112	6,6	10,2	12	37,4	201,6	177,6	M 10	58	0,858	25,24	

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification ENV 1993-1-1				
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						EN 10225-2:2004	EN 10225-4:2004	EN 10225:2001		
G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el,y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>pl,y</sub> * mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	A <sub>e</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> * mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	s <sub>z</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup>				S <sub>235</sub> min	S <sub>275</sub> min
		x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10	x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10		x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>6</sup>				
IPE 80 A	5,0	64,38	16,51	14,98	3,18	3,07	6,85	2,98	4,69	1,04	17,60	0,42	0,09	1	1	1	1
IPE 80	6,0	80,14	20,03	23,22	3,24	3,58	8,49	3,69	5,82	1,05	20,10	0,70	0,12	1	1	1	1
IPE A 100	6,9	141,2	28,81	32,88	4,01	4,44	13,12	4,77	7,54	1,22	21,20	0,77	0,28	1	1	1	1
IPE 100	8,1	171,0	34,20	39,41	4,07	5,08	15,92	5,79	9,15	1,24	23,70	1,20	0,35	1	1	1	1
IPE A 120	8,7	257,4	43,77	49,87	4,83	5,41	22,39	7,00	10,98	1,42	22,20	1,04	0,71	1	1	1	1
IPE 120	10,4	317,8	52,96	60,73	4,90	6,31	27,67	8,65	13,58	1,45	25,20	1,74	0,89	1	1	1	1
IPE A 140	10,5	494,9	63,30	71,60	5,70	6,21	36,42	9,98	15,52	1,65	23,20	1,36	1,58	1	1	1	2
IPE 140	12,9	541,2	77,32	88,38	5,74	7,64	44,92	12,31	19,25	1,65	26,70	2,45	1,98	1	1	1	2
IPE A 160	12,7	689,3	87,81	99,09	6,53	7,80	54,43	13,27	20,70	1,83	26,34	1,96	3,09	1	1	1	3
IPE 160	15,8	869,3	108,7	123,9	6,58	9,66	68,31	16,66	26,10	1,84	30,34	3,60	3,96	1	1	1	2
IPE A 180	15,4	1063	120,1	135,3	7,37	9,20	81,89	18,00	27,96	2,05	27,84	2,70	5,93	1	1	1	3
IPE 180	18,8	1317	146,3	166,4	7,42	11,25	100,9	22,16	34,60	2,05	31,84	4,79	7,43	1	1	1	2
IPE O 180	21,3	1505	165,4	189,1	7,45	12,70	117,3	25,50	39,91	2,08	34,54	6,76	8,74	1	1	1	2
IPE A 200	18,4	1591	161,6	181,7	8,23	11,47	117,2	23,43	36,54	2,23	32,56	4,11	10,53	1	1	1	2
IPE 200	22,4	1943	194,3	220,6	8,26	14,00	142,4	26,47	44,61	2,24	36,66	6,98	12,99	1	1	1	2
IPE O 200	25,1	2211	218,9	249,4	8,32	15,45	168,9	33,11	51,89	2,30	39,26	9,45	15,57	1	1	1	2
IPE A 220	22,2	2317	213,5	240,2	9,05	13,55	171,4	31,37	48,49	2,46	34,46	5,69	18,71	1	1	1	2
IPE 220	26,2	2772	252,0	285,4	9,11	15,88	204,9	37,25	58,11	2,48	38,36	9,07	22,67	1	1	1	2
IPE O 220	29,4	3134	282,3	321,1	9,16	17,66	239,8	42,83	66,91	2,53	41,06	12,27	26,79	1	1	1	2

## 9.4. SISTEMAS DE UNIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO ESTRUCTURAL

### SISTEMAS DE UNIÓN

Soldadura  
Tornillos  
Mixtas  
Roblones y remaches

Soldadura: unión de metales iguales o de composición similar bajo la acción de calor, con o sin aportación de un metal igual o de la misma clase.

Grupos:

- Compresión: las piezas, previamente fundidas, se unen por contacto o presión.
- Fusión: espacio entre piezas se rellena mediante fusión del material de aportación.

### Ventajas de las uniones soldadas

- 1) Variedad de conexiones.
- 2) Mayor rigidez de la unión.
- 3) Mayor resistencia (fatiga).
- 4) Facilidad de ejecución y reparación.
- 5) Economía y rapidez de montaje.

### Desventajas de las uniones soldadas

- 1) Posibilidad de fallos en ejecución.
- 2) Revisiones más complejas.

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

Tipos de cordones de soldadura más utilizados en estructura metálica:

- A tope: soldadura en la que el metal de aportación se dispone en la prolongación de una de las piezas y ocupa toda la superficie de contacto. Figura 13a y fotografía 13b.
- En ángulo: unión soldada en la que el metal de aportación se sitúa en el ángulo formado por las dos piezas a unir, siendo en general su sección distinta a la de ambas piezas que une. Figura 13c y fotografía 13d.

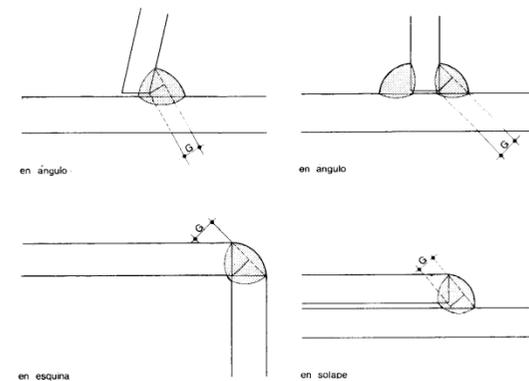
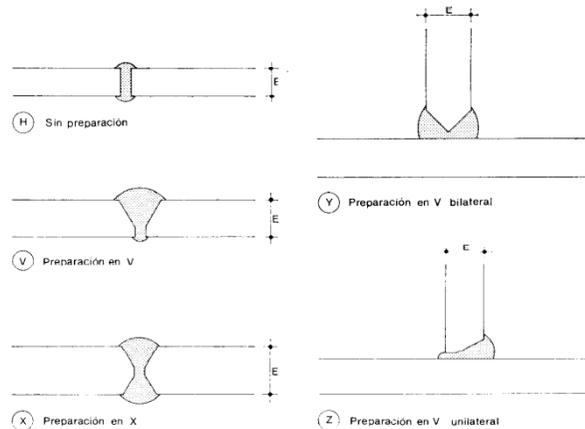


Figura 13a y fotografía 13b: Soldadura a tope.



Figura 13c y fotografía 13d: Soldadura en ángulo.

## CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

Tornillos: pernos roscados de cabeza generalmente hexagonal, fileteados en su extremo para recibir la tuerca (fotografía 14).

Tipos:

- Ordinarios (clase T): Designación con  $\varnothing$  de espiga y la L del vástago.

Tornillo T 16 x 80

- Calibrados (clase TC): con acero más resistente y mejor acabados.

Tornillo TC 12 x 55

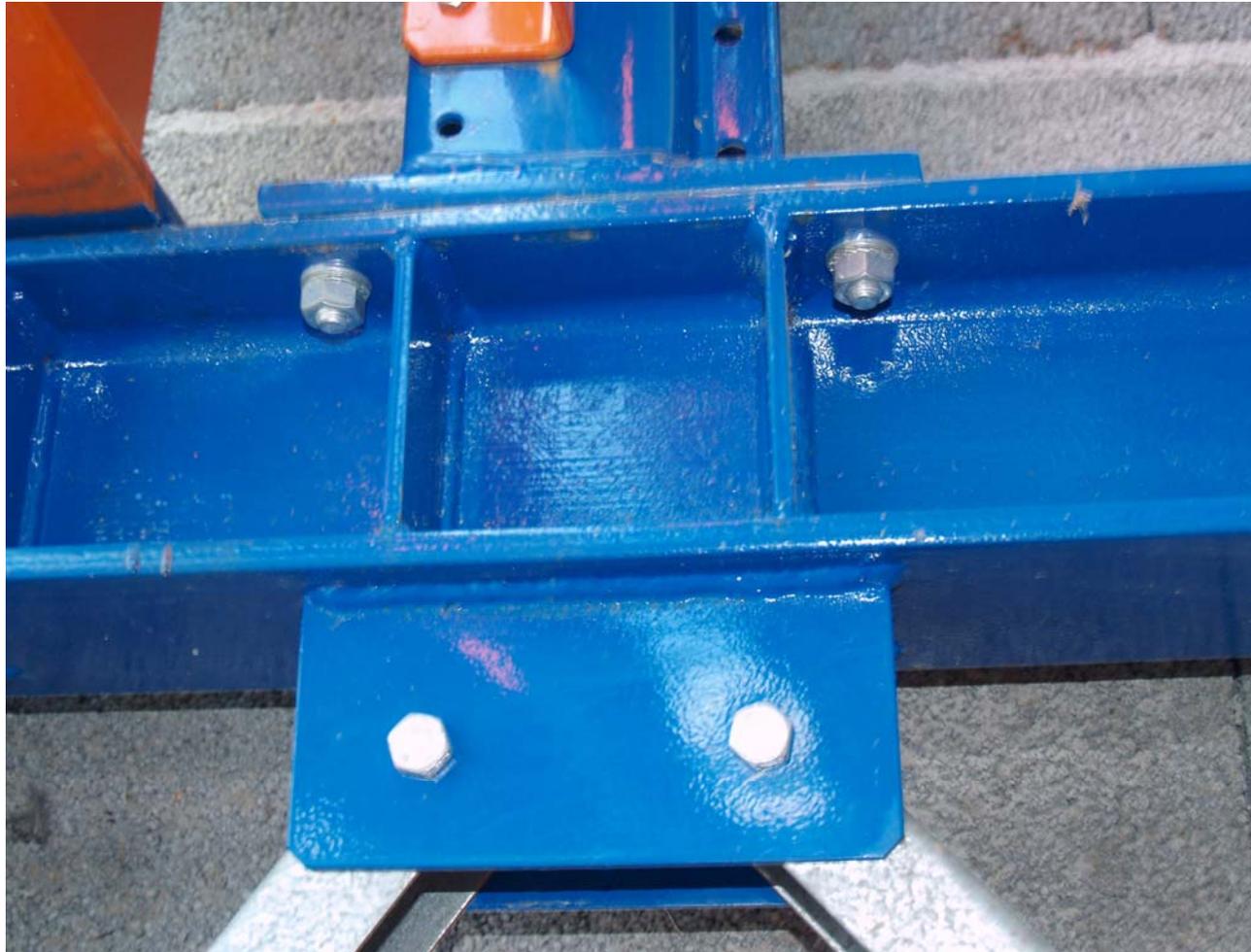
- Alta resistencia (clase TR): trabajan a compresión, cortante y rozamiento.

Tornillo TR 12 x 55



Fotografía 14

Mixtas: emplean al mismo tiempo soldadura y tornillos o pernos (fotografía 15).



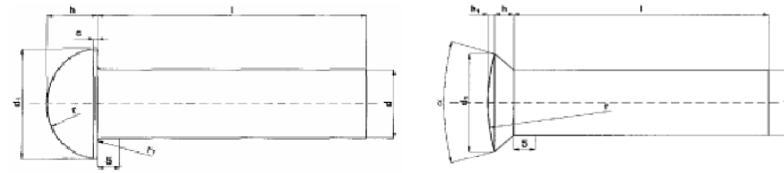
*Fotografía 15: Ejemplo de unión mixta.*

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

**Roblones:** elementos que disponen de una caña ligeramente cónica acabado en una cabeza en uno de sus extremos y se remacha en el lado opuesto (fotografía 16a), formando otra cabeza de cierre (fotografía 16b).

Tipos:

- Cabeza esférica (clase E).
- Cabeza bombeada (clase B).
- Cabeza plana (clase P).



COLOCACIÓN DE ROBLONES:

- 1) Calentamiento entre 850°C – 1050°C
- 2) Colocación del roblón.
- 3) Golpeo, primero en el centro.
- 4) Limpieza de la unión



Fotografías 16a, 16b y figura 16c: Uniones roblonadas.

## 9.5. COMPONENTES QUE TRABAJAN A TRACCIÓN

### 9.5.1. ADECUACIONES

Se aplican como **tirantes y tirantillos** a) en las formas trianguladas, como péndolas de arcos, en los atirantados b), en los cuelgues c), etc. Figura 17.

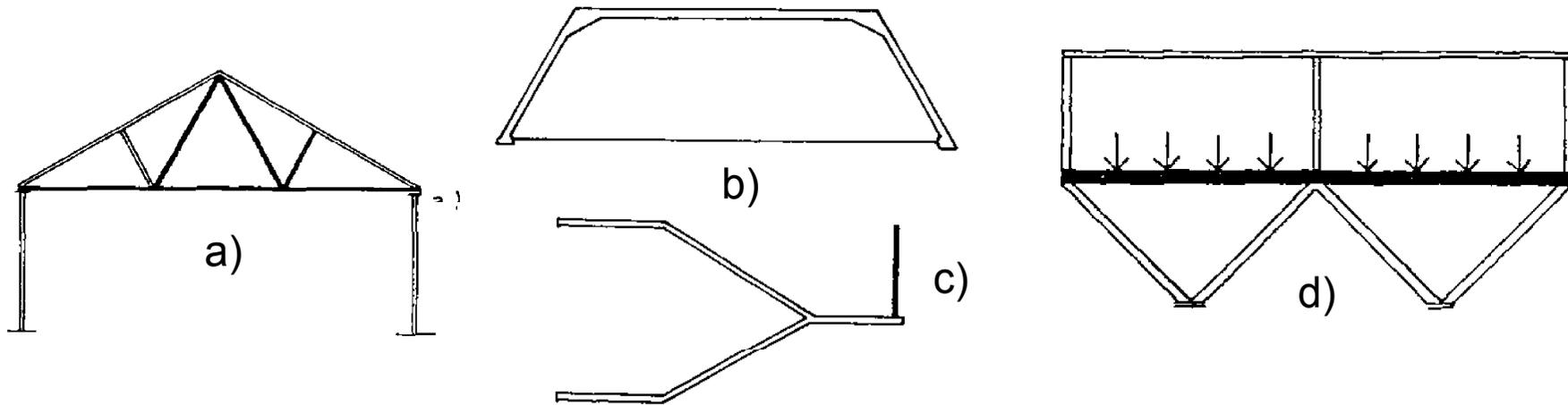


Figura 17: Aplicaciones de los tirantes.

A veces, además de a tracción, **pueden estar solicitados a flexión**. Figura 17d. Aunque suele ser centrada, el enlace y la asimetría genera tracciones excéntricas.

Como tirantes se aplican en forma de (figura 18):

- **Cables y redondos** a) para pequeñas solicitaciones.
- **Tubos** b) si además han de absorber su peso propio.
- **Perfiles simples** c) en solicitaciones moderadas.
- **Secciones compuestas** d) y adosadas e) en las grandes.

En la elección de unos u otros influye además:

- La recepción y la transmisión de la tracción.
- El enlace con otros elementos.

Para evitar excentricidades, interesan **secciones simétricas**.

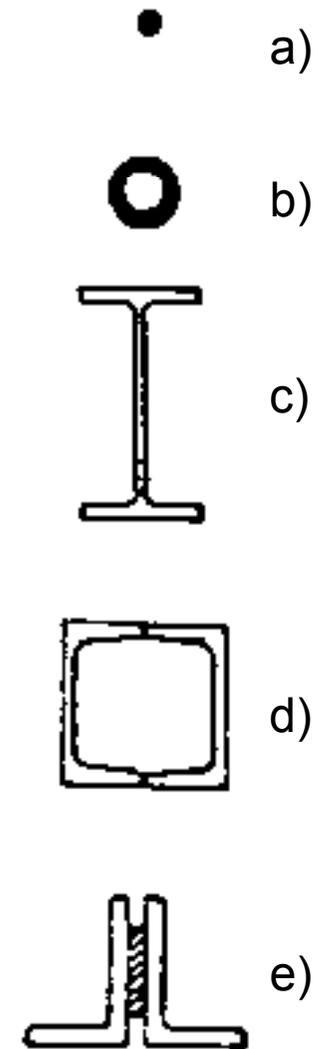


Figura 18: Secciones de tirantes de acero.

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

## 9.5.2. CRITERIOS DE DISEÑO

En perfiles yuxtapuestos la distancia entre soldaduras es el menor valor de (figura 19):

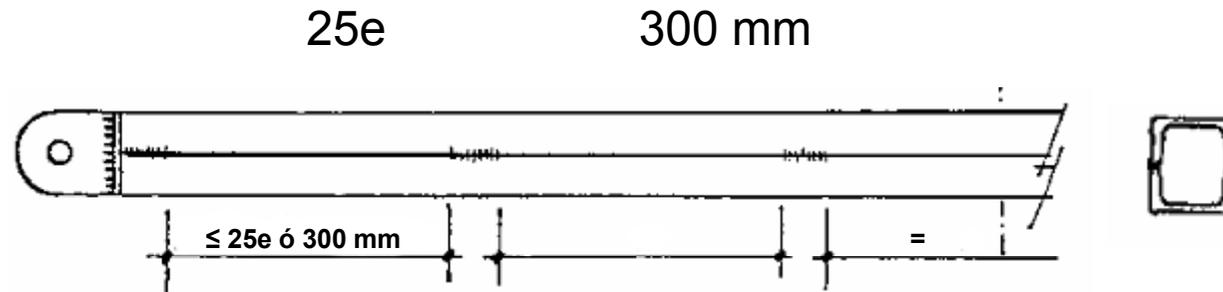


Figura 19: Distancia entre soldaduras para perfiles yuxtapuestos.

En perfiles adosados la distancia entre forros debe ser menor de (figura 20):

$$s < 15i$$

siendo  $i$  el radio de giro mínimo del perfil y la tracción sea centrada o excéntrica.

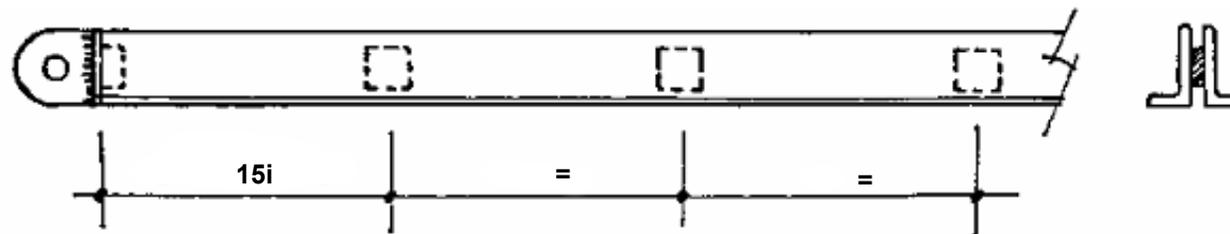


Figura 20: Distancia entre soldaduras para perfiles adosados.

## 9.6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PILARES

### 9.6.1 SECCIONES UTILIZADAS Y SUS APLICACIONES

En ellas se utilizan **perfiles simples, yuxtapuestos, empresillados y compuestos.**

#### 9.5.1.1 SOPORTES DE PERFILES SIMPLES

Como tales se emplean **laminados de caras paralelas** HEA, HEB y HEM. Figura 21. Son los más interesantes por rendimiento, resolución de nudos, escasa mano de obra, enlazabilidad con la tabiquería, compacidad y mantenimiento.

Y para solicitaciones pequeñas, **perfiles tubulares**. Figura 22. De buen acabado y comportamiento estático, mantienen la sección exterior para distintas cargas con solo variar el espesor de las paredes. Sin embargo:

- El precio por kg es más elevado.
- Requieren soluciones especiales en la resolución de los nudos.

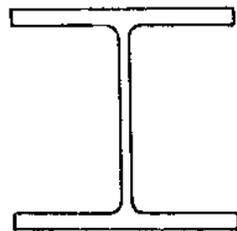


Figura 21: Perfil de sección simple.

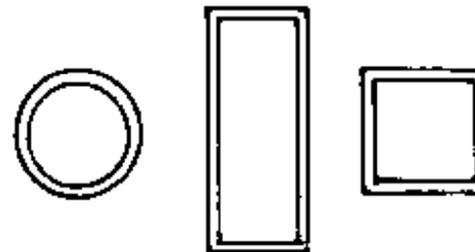


Figura 22: Perfiles de sección tubular.

## 9.6.1.2. SOPORTES DE PERFILES ADOSADOS

Obtenidos por **yuxtaposición, directa o a través de forros, de dos o más perfiles.**

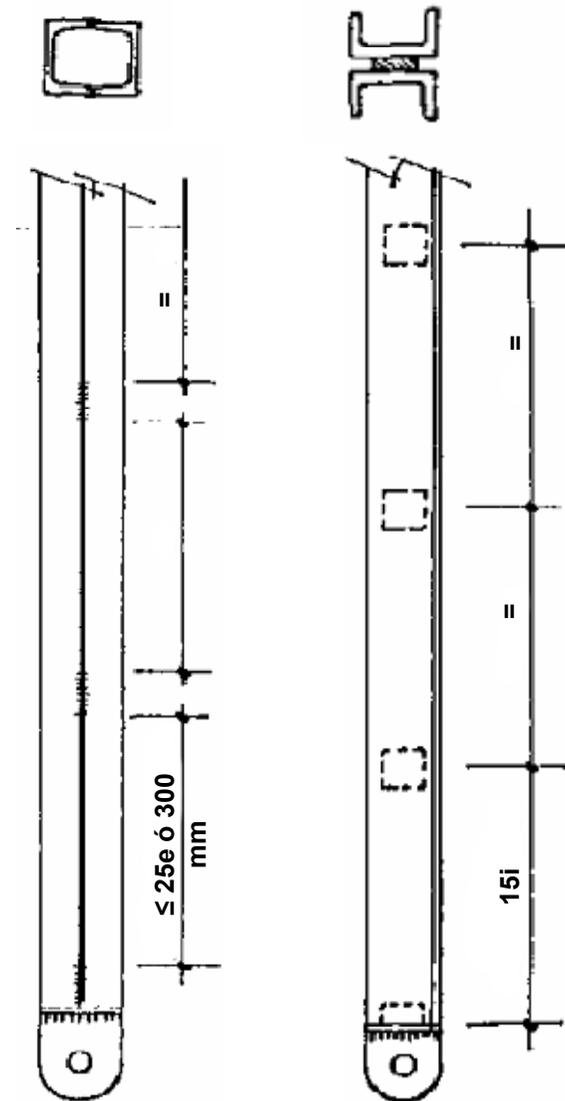
A efectos de cálculo se consideran como sección simple si la soldadura es continua o discontinua a separaciones  $s$  tales que (figura 23a):

$$s < 15 e \quad s < 300 \text{ mm}$$

Y si el enlace es por medio de forros (figura 23b) si:

$$s < 15 i$$

siendo  $i$  el radio de giro mínimo de los perfiles.



Figuras 23a y 23b:  
Soportes de perfiles soldados y adosados.

## CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

Para cargas ligeras y medias están indicados **2UPN en cajón cerrado** (figura 24a).

Si son mayores, la limitación de la serie UPN obliga a **2IPE ó 2IPN** (figuras 24b y 24c).

Con mayores inercias o secciones están indicadas las mostradas en las figuras 24d, 24e y 24f, que además **permiten el alojamiento de las bajantes y las instalaciones**.

En el cruce de **pórticos ortogonales** interesa la disposición de la figura 24g.

Y de quedar embebida en la tabiquería, la solución **2UPN en posición ortogonal**.

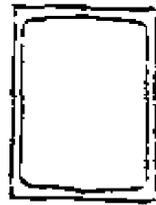


Figura 24a: Cargas livianas.

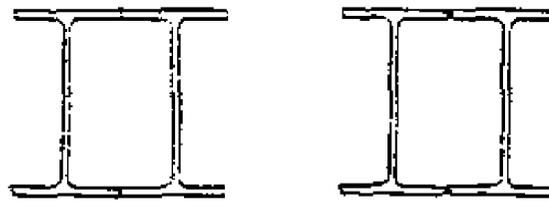


Figura 24b: Cargas elevadas.

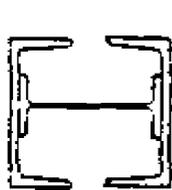


Figura 24d, 24e y 24f: Cargas elevadas con alojamiento de bajantes e instalaciones.

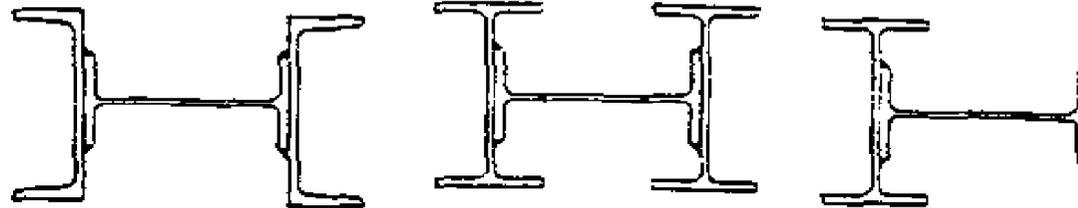
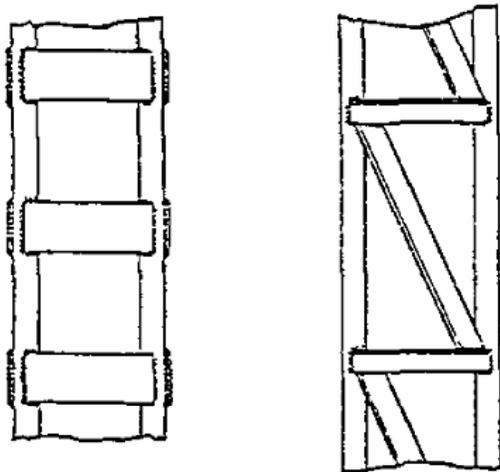


Figura 24g: Cruce de pórticos.

## 9.6.1.3 SOPORTES DE PERFILES ADOSADOS

Tanto en edificación de viviendas como en construcción industrial se proyectan **pilares de perfiles UPN ó IPE empresillados** (figura 25a) o unidos **mediante celosías** (figura 25b).

Permiten reducir el coeficiente de pandeo, servir de alojamiento a las bajantes o instalaciones (fotografía 25c) y, sobre todo, **facilitan la disposición de vigas continuas articuladas en los pilares**.



*Figuras 25a y 25b:  
Pilares empresillados y con celosías.*



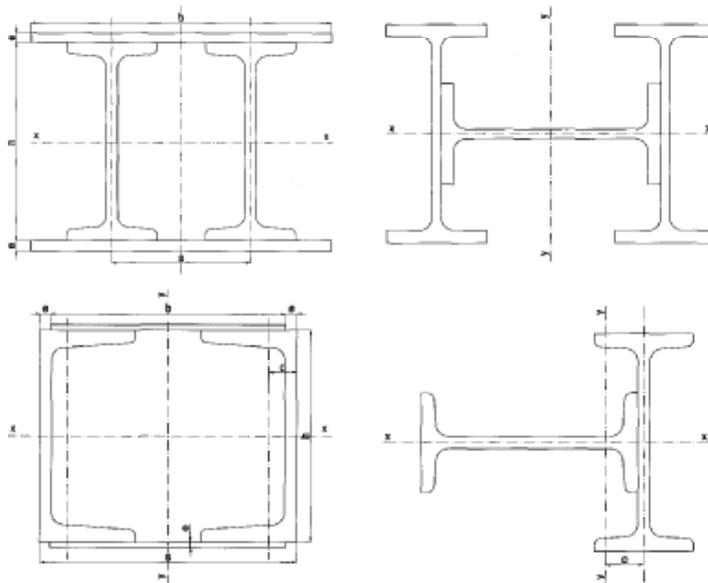
*Fotografía 25c*

## 9.6.1.4. SOPORTES DE SECCIONES COMPUESTAS

Se obtienen **acoplando perfiles y platabandas o solo platabandas**. Figuras 26a y 26b. Interesan por razones arquitectónicas y por mantener el contorno aparente.

Su fabricación exige mano de obra elevada y plantea problemas de alabeo.

Se corrige con los espesores de alma y alas relacionados en la figura 27. Y con un **espesor mínimo de chapa de 8 mm**.



Figuras 26a y 26b: Ejemplos de soportes de secciones compuestas.

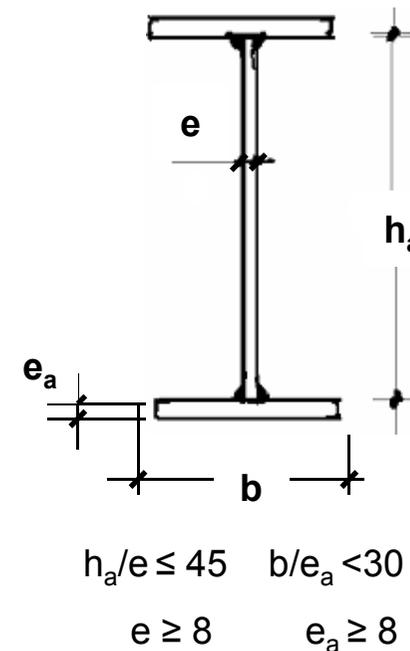


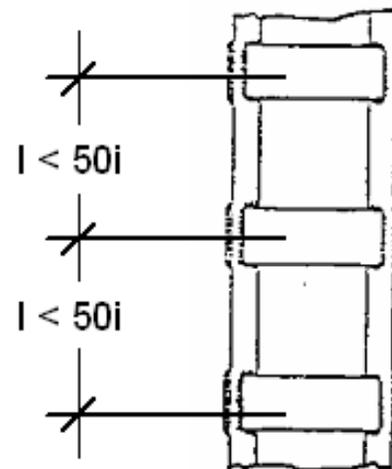
Figura 27: Criterios de diseño.

## 9.6.2. CRITERIOS DE DISEÑO

En los apartados anteriores se han indicado los relativos a las secciones simples. Los correspondientes a las secciones con presillas o celosías son:

- **Separación máxima  $l$  entre presillas y celosías debe ser  $l < 50i$**  (figura 28a), siendo  $i$  el radio de giro mínimo de cada uno de los perfiles.

Figura 28a:  
Criterios de diseño.



El número mínimo de tramos  $n$  en que queda dividida la pieza es tres (figura 28b); es decir,  **$n > 3$** , recomendándose que sean de la misma longitud.

- El ángulo  $\alpha$  de las diagonales ha de estar entre:

$$30 < \alpha < 60$$

- Se dispondrán presillas en los extremos del pilar.

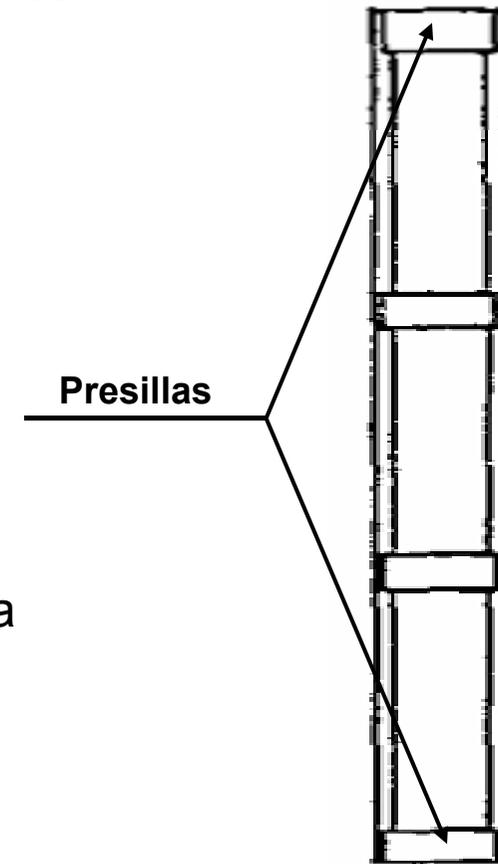


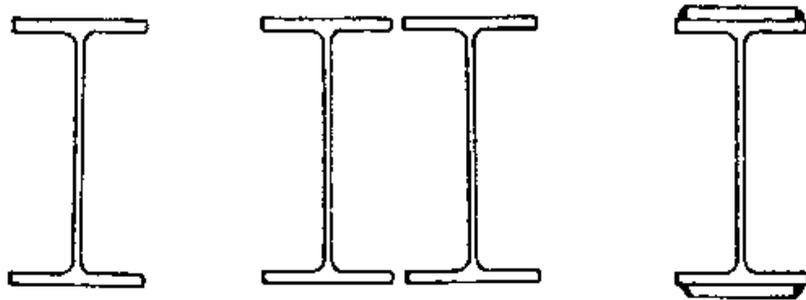
Figura 28b: Criterios de diseño.

## 9.7. DISEÑO DE VIGAS

### 9.7.1. SECCIONES UTILIZADAS Y SUS APLICACIONES

En principio pueden dividirse en dos grupos: **vigas de alma llena y de celosía**.

Las **vigas de alma llena** se proyectan con perfiles laminados simples (figura 29a), dobles (figura 29b), reforzados (figura 29c), alveolados o vigas Void (figura 29d), compuestos de perfiles y pletinas (figura 29e) y de chapas (figura 29f).



Figuras 29a, 29b y 29c: Perfiles simples, dobles y reforzados.

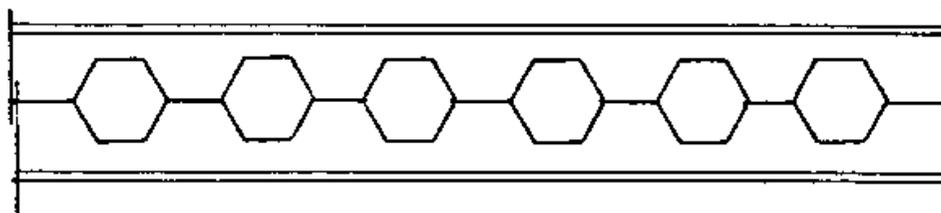


Figura 29d. Perfil alveolado o viga Void.

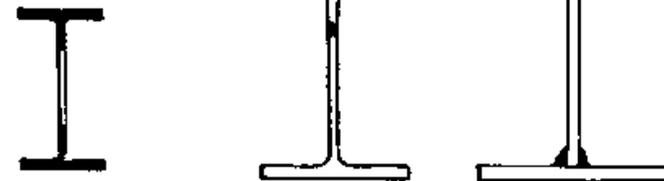


Figura 29e y 29f: Perfiles compuestos.

## 9.7.1.1. JÁCENAS DE PERFILES SIMPLES

Por características mecánicas y reducida mano de obra, que se reduce al corte, [las secciones más interesantes son los perfiles IPE e IPN](#); salvo que la limitación en el canto recomiende las series HEA, HEB o HEM.

## 9.7.1.2. JÁCENAS DE PERFILES DOBLES

La limitación del canto, elevadas solicitaciones de cortante o necesidad de apoyo físico recomiendan a veces el empleo de [dos o mas perfiles simples adosados](#).

Para garantizar el trabajo conjunto interesa [enlazarlos con soldadura](#). Figura 30a. O mediante [contretes, presillas o angulares y macizado posterior](#) que incrementa la protección y la rigidez. Figura 30b.

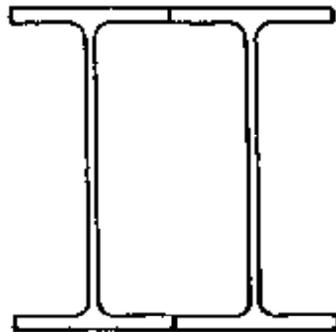


Figura 30a

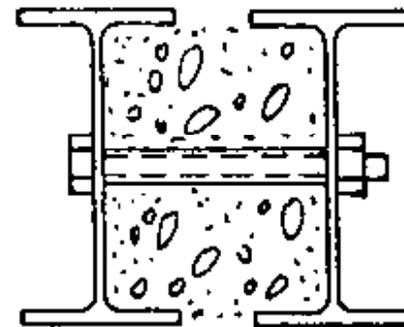


Figura 30b

## 9.7.1.3. JÁCENAS DE PERFILES REFORZADOS CON PLATABANDAS

Indicadas en **vigas continuas solicitadas a momentos elevados en apoyos**. Figura 31.

## 9.7.1.4. PERFILES COMPUESTOS

Adecuadas para **grandes luces y cargas si no existe limitación en el canto** (figura 32).

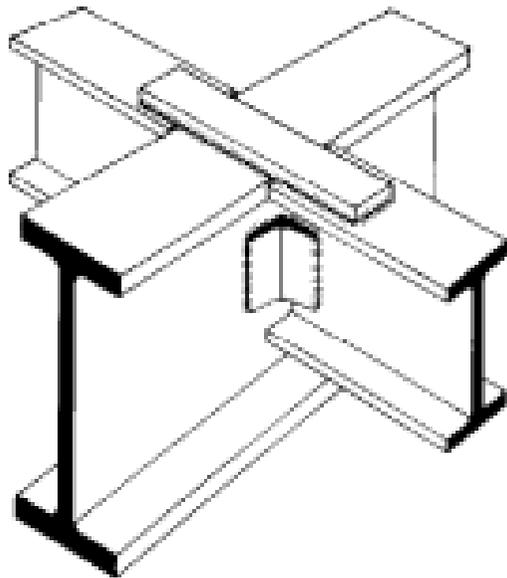


Figura 31: Perfil reforzado para dar continuidad en brochal.

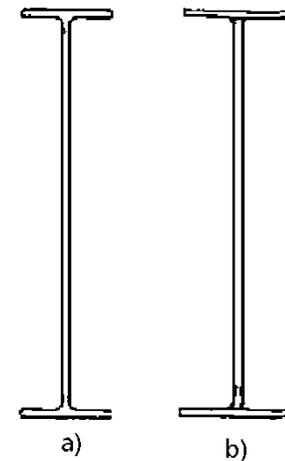


Figura 32: Ejemplos de perfiles compuestos.

## 9.7.1.5. PERFILES ALVEOLADOS O VIGAS VOID

Con [alma aligerada](#), ofrecen menor peso y canto, por lo que es la solución racional en el caso de jácenas de [grandes luces con limitación de espacio](#) (fotografía 33a)

Las vigas alveolares se fabrican a partir de perfiles laminados en caliente tipo IPE, IPN ó HE que se cortan siguiendo un patrón especial. A continuación se procede a [reconformar las dos piezas en T resultantes mediante soldadura](#) (figura 33b). Incluso es posible insertar pletinas adicionales entre las piezas en T y de este modo obtener perfiles de mayor altura (figura 33c).



Fotografía 33a

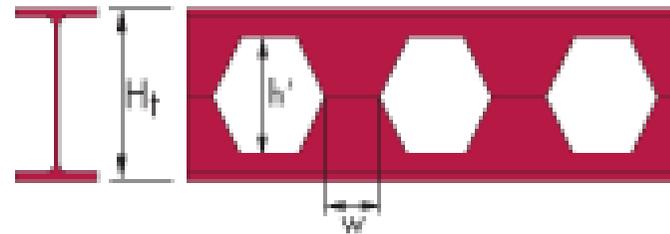


Figura 33b

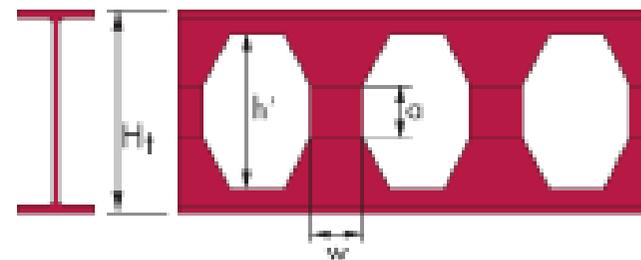


Figura 33c

## 9.7.1.6. VIGAS EN CELOSÍA

También con [alma aligerada](#), se trata de sistemas triangulados planos, formados por barras que se encuentran en determinados nudos (fotografía 34).

Una variante de este tipo son la vigas Vierendell, de malla rectangular, utilizadas para salvar grandes luces en planta baja. Sobre sus nudos apoyan los soportes de los siguientes pisos.



*Fotografía 34: Nave con vigas de celosía.*

## 9.7.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Se recomiendan los siguientes:

- a) Las jácenas de edificación **deben rigidizarse a flexión y a pandeo lateral** con la colaboración del propio perfil, al que también conviene proteger. La figura 35 muestra diversas soluciones del enlace forjado – viga.

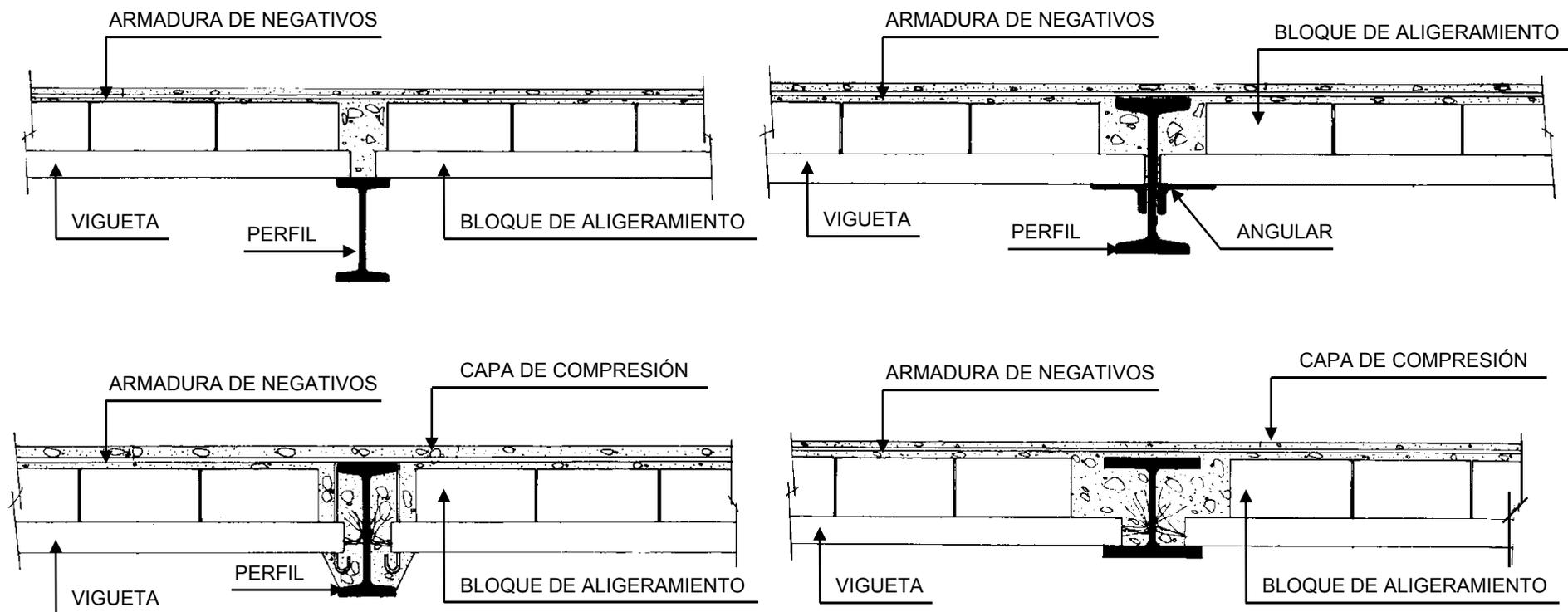
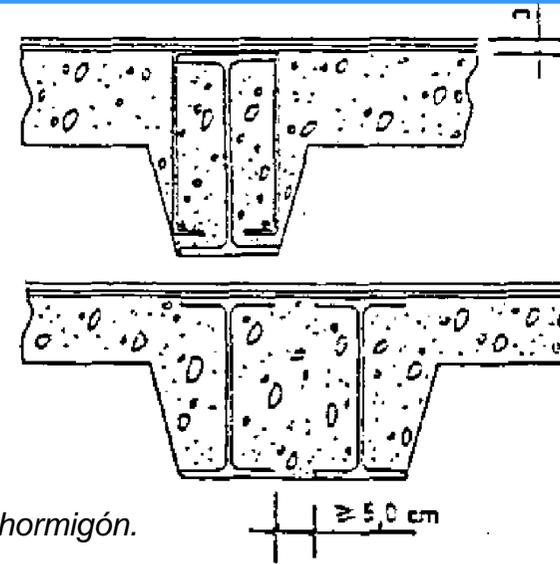


Figura 35: Soluciones de rigidización de vigas con la ayuda del forjado.

## CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

b) Para dar **continuidad al forjado** la capa de compresión ha de sobrepasar, en al menos tres centímetros, el ala superior del perfil. Figura 36.

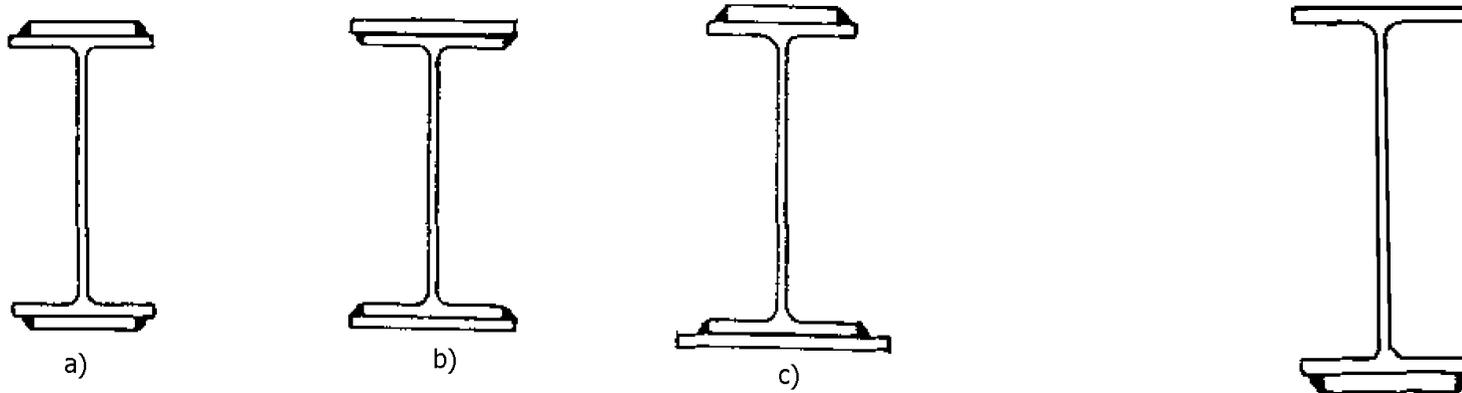
c) Para **favorecer la unión hormigón - jácena** y la protección de esta, los perfiles múltiples han de separarse mas  $s > 5 \text{ cm}$ . Figura 37.



Figuras 36 y 37: Soluciones de rigidización de vigas con hormigón.

d) Las platabandas deben disponerse de la forma indicada en la figura 38a y 38b si se sueldan en taller. Y con la asimetría de la figura 39 si se refuerzan en obra.

e) Para reducir las deformaciones en obra se recurre a una platabanda soldada al ala inferior (figura 40). Conviene realizar la intervención con la jácena apuntalada.



Figuras 38a, 38b, 39 y 40: Soluciones de rigidización de vigas con platabandas.

## CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

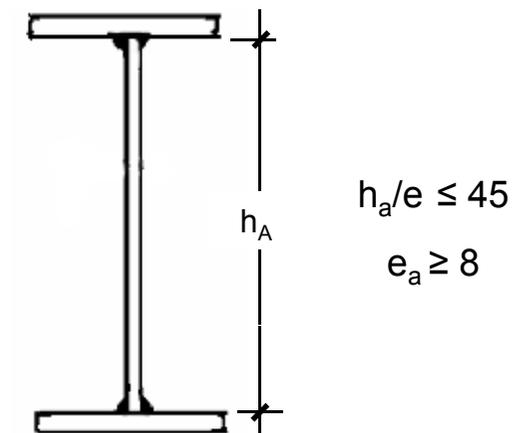
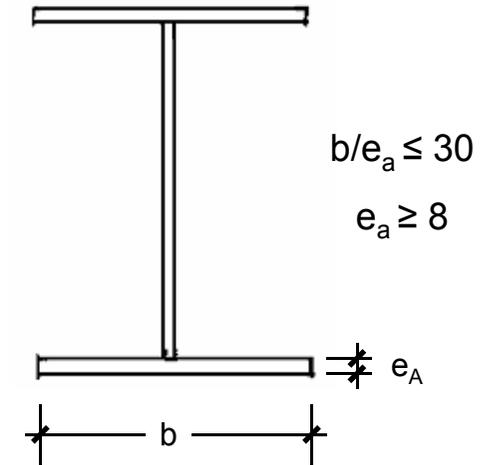
f) La **comprobación a pandeo local del ala comprimida** en los perfiles compuestos se evita adoptando las relaciones entre espesor  $e_A$  y anchura  $b$  de la figura 41.

g) Y para eludir la **comprobación a abolladura del alma**, las existentes entre el espesor  $e$  del alma y la altura  $h_a$  de la figura 42.

h) Deben **disponerse rigidizadores de alma** en las secciones de apoyo y en las solicitadas a cargas concentradas. Fotografía 43.



Fotografía 43: Rigidizadores.



Figuras 41 y 42:  
Comprobaciones a pandeo y a abolladura.

- i) Salvo en los elementos de la tabla 44, las flechas de las vigas no excederán del quinientosavo de la luz.
- j) En ocasiones resulta aconsejable adoptar contraflechas que anulen las debidas a la carga permanente.

<b>ELEMENTOS</b>	<b><math>f / L \leq</math></b>
<b>Vigas o viguetas de cubierta</b>	<b>1 / 250</b>
<b>Vigas de hasta 5 metros de luz y viguetas de forjado que no soporten muros de fábrica</b>	<b>1 / 300</b>
<b>Vigas de más de 5 metros de luz que no soporten muros de fábrica</b>	<b>1 / 400</b>
<b>Vigas y viguetas de forjado que soporten muros de fábrica</b>	<b>1 / 500</b>
<b>Ménsulas, medida en el extremo libre</b>	<b>1 / 300</b>

*Tabla 44: Limitaciones de la flecha.*

## 9.8. DETALLES CONSTRUCTIVOS

1) Basas y pernos en la unión pilar – zapata (figura 45a y fotografías 45b y 45c).

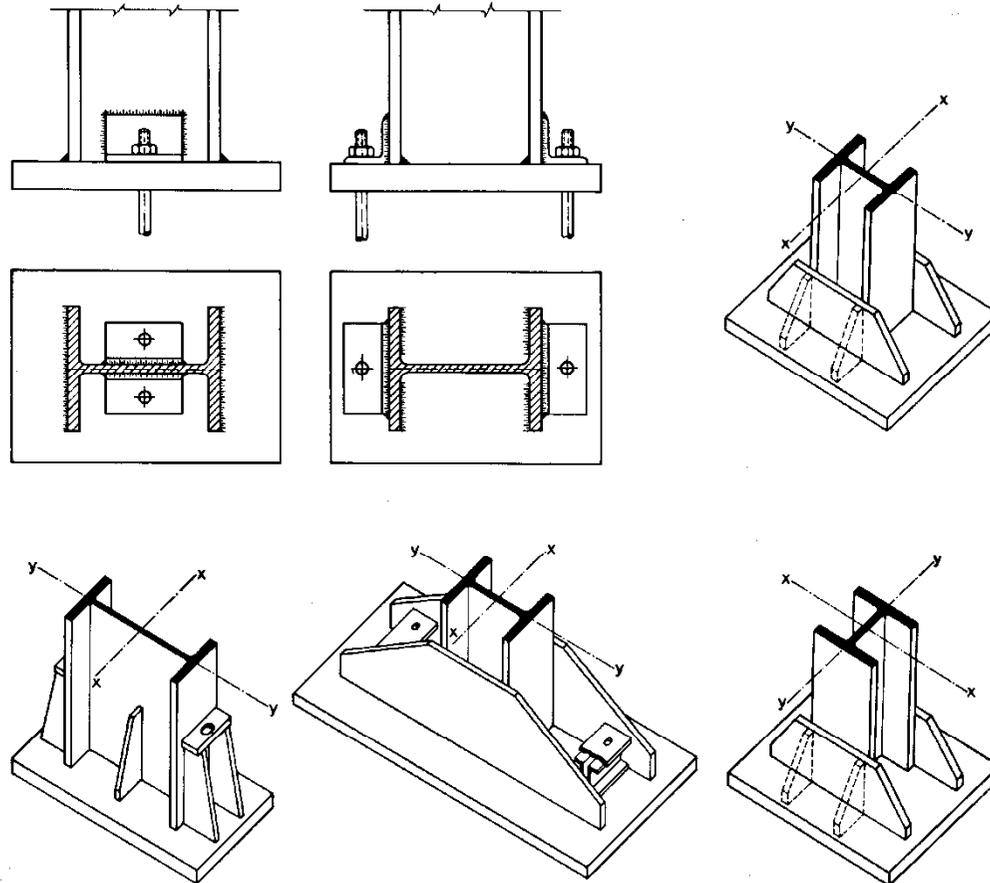


Figura 45a



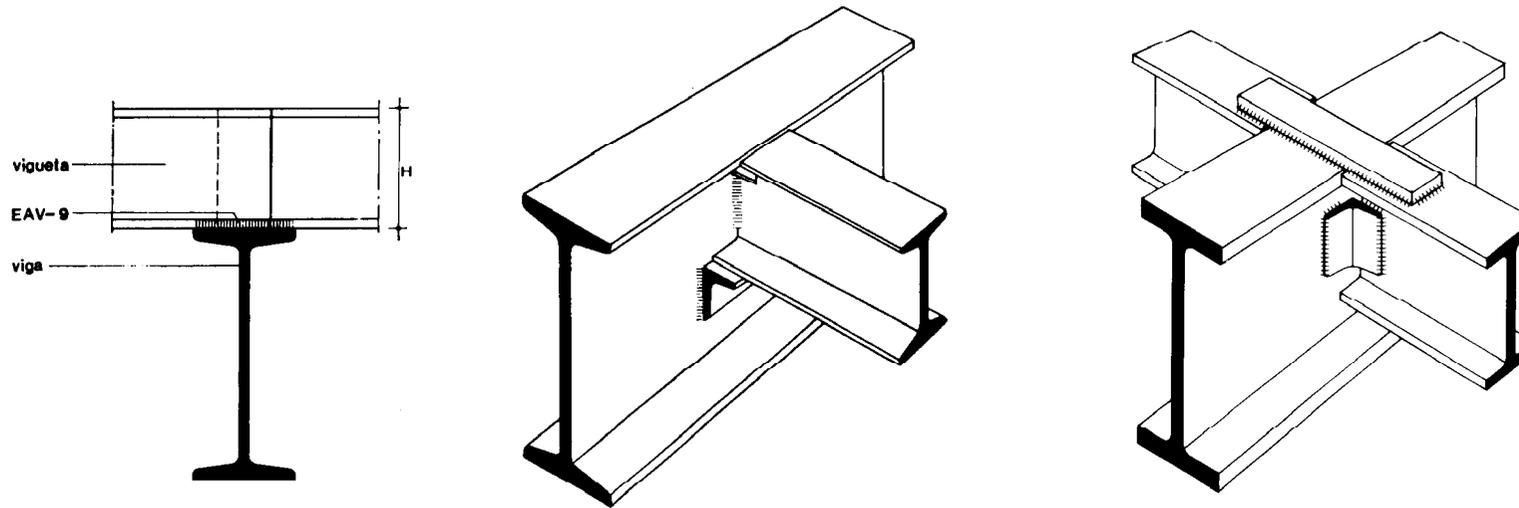
Fotografía 45b



Fotografía 45c

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

2) Uniones y apoyos en entramados de vigería (figuras 46a, 46b y 46c).



Figuras 46a, 46b y 46c

3) Apoyos viga – muros de fábrica y de hormigón (figuras 47a y 47b).

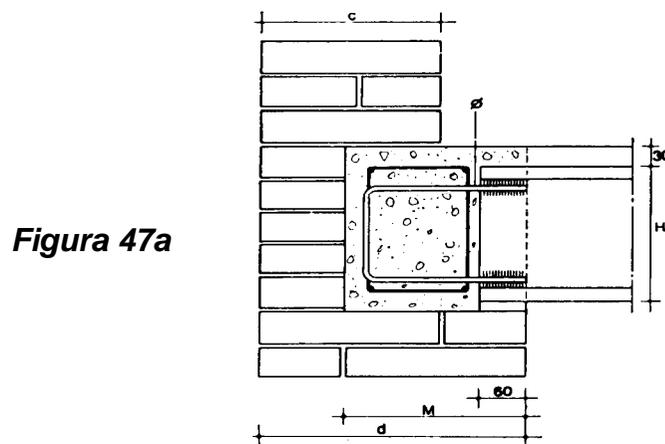


Figura 47a

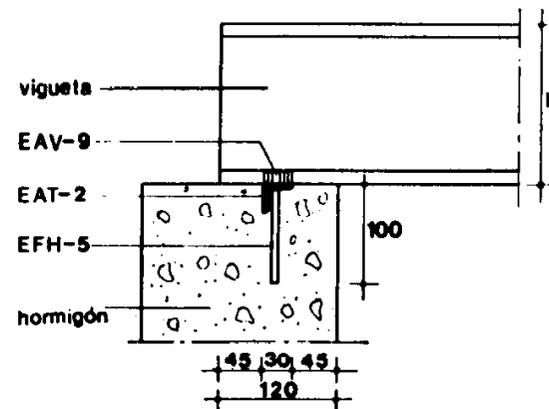
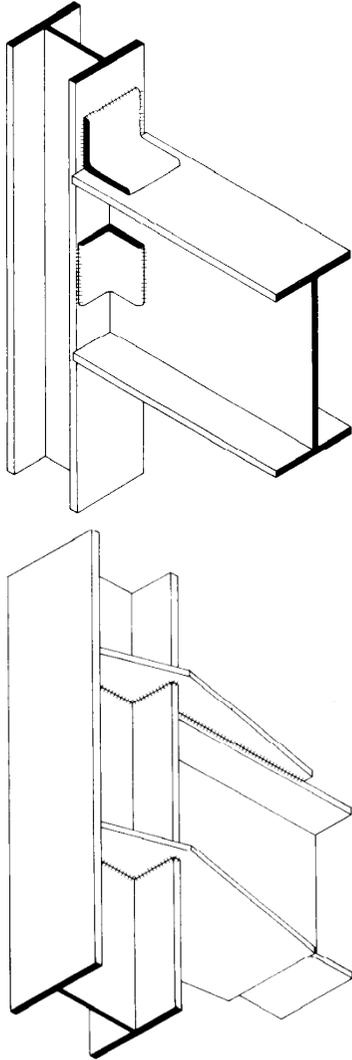


Figura 47b

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

4) Uniones [viga – pilar metálico](#) (figuras 48a, 48b y fotografías 48c, 48d y 48e).



*Figuras 48a y 48b*



*Fotografía 48c*



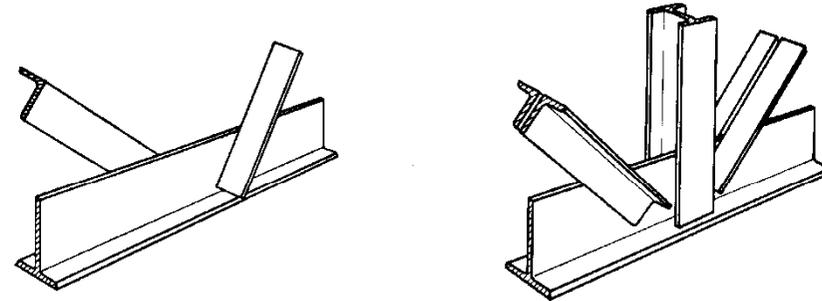
*Fotografías 48d y 48e*

# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

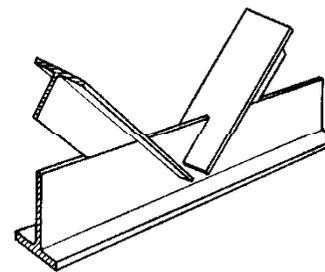
5) Detalles de las correas (figuras 49a y 49b) y de las cerchas (figuras 50a a 50f).



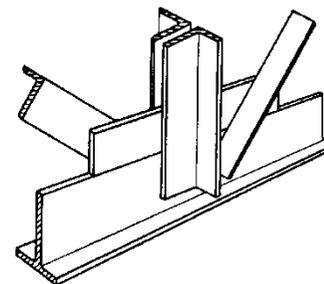
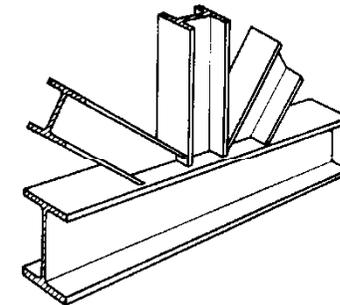
*Fotografías 49a y 49b*



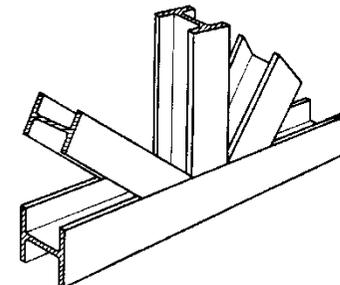
*Figuras 50a y 50b*



*Figuras 50c y 50d*

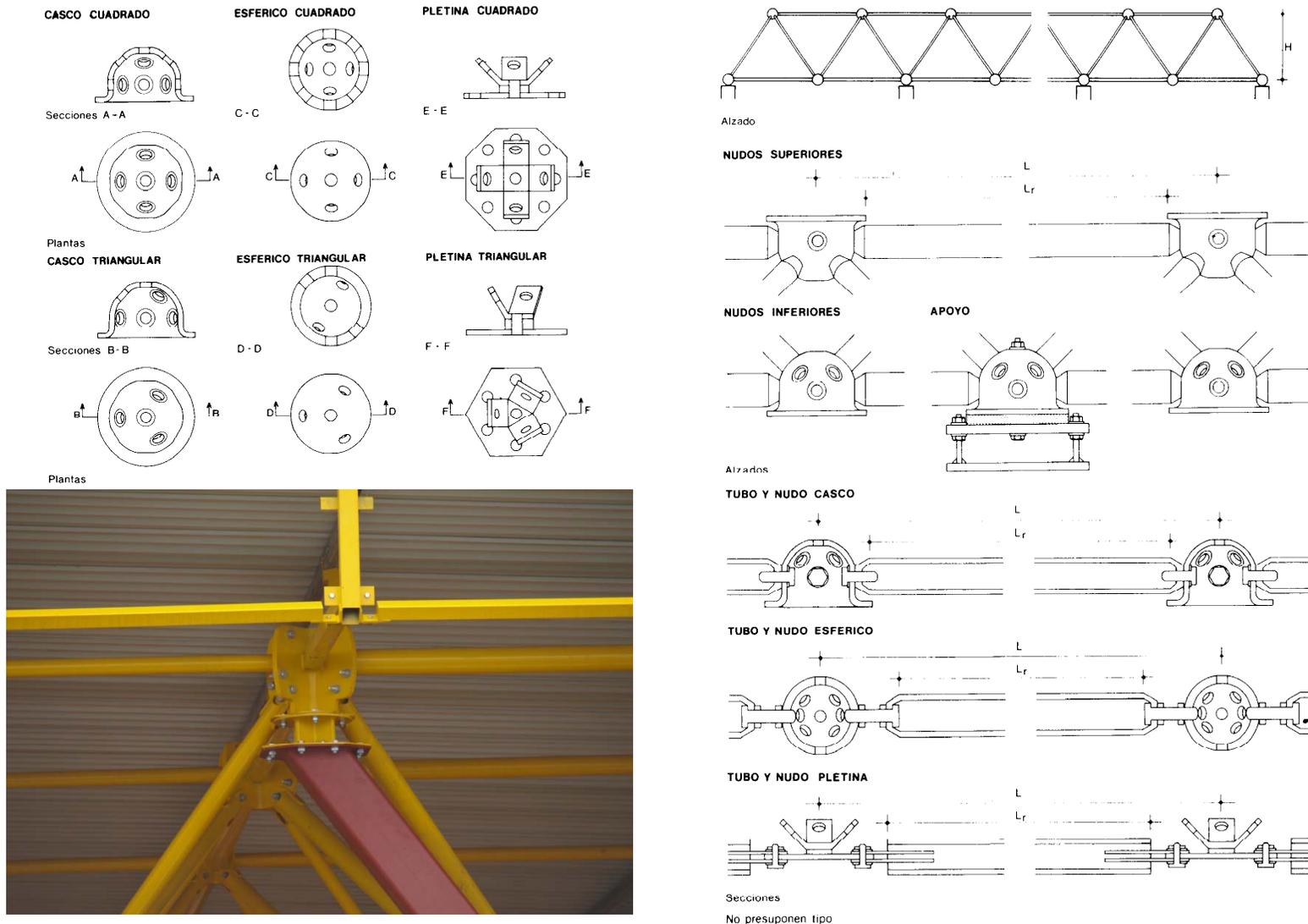


*Figuras 50e y 50f*



# CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES I

## 6) Detalles de las vigas trianguladas y de celosía (figuras 51a y 51b y fotografía 51c).



Figuras 51a, 51b y fotografía 51c.



## 9.9. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- 1.- VV.AA. “*Normas Tecnológicas de la Edificación – Estructuras de Acero*”. Ministerio de la Vivienda (1973).
- 2.- Cudós, V. “*Cálculo de estructuras de acero*” (2 tomos). Ed. Blume (1978).
- 3.- VV.AA. “Bases de cálculo. Dimensionamiento de elementos estructurales”. Publicaciones Ensidesa (1978).
- 4.- Brockengrough, R. y Merritt, F. “Manual de diseño de estructuras de acero”. Mc Graw Hill (1998).
- 5.- VV.AA. “Código Técnico de la Edificación DB SE A”. Ministerio de la Vivienda (2006)
- 6.- VV.AA “*Catálogo de estructuras de acero.*”. Publicaciones Arcelor (2006).