

# **Tema 0. *El Acero en la Construcción.***

1. *Los metales en la construcción.*
2. *Ventajas e inconvenientes de las construcciones metálicas y de hormigón.*
3. *Materiales metálicos.*
4. *El acero estructural.*
  - 4.1. *Proceso de fabricación del acero.*
  - 4.2. *Tipos de aceros para estructuras.*
  - 4.3. *Tipos de productos siderúrgicos y características.*
5. *Procesos básicos de la fabricación y montaje en taller.*

## **1. LOS METALES EN LA CONSTRUCCIÓN.**

El hierro y sus aleaciones fue el primer metal que se usó industrialmente en la práctica para las estructuras sustentantes. Su llegada al campo estructural es bastante reciente porque el fatigoso trabajo necesario para producir el hierro soldable por fusión limitó su uso durante siglos a los productos de mayor precio y necesidad: las armas y los aperos agrícolas.

Poco a poco se fue introduciendo como material de construcción, primero con elementos de fundición y finalmente con los redondos y elementos tubulares que facilitan la esbeltez de las modernas estructuras metálicas.

Las primeras estructuras metálicas fueron puentes (en torno a 1800), posteriormente se empezaron a construir edificios, en 1887 se construyó un edificio de 12 plantas en Chicago y en 1931 se inauguró en Nueva York el Empire State Building de 85 plantas y 379 m de altura.

El uso del acero se multiplicó gracias al avance de la metalurgia y a la soldadura eléctrica. La característica fundamental de las modernas estructuras de acero es la simplificación estructural y la esbeltez. Desde sus primeras aplicaciones en puentes y después en rascacielos, el acero ha ido ganando uso sobre todo en edificios de viviendas y oficinas, aunque el desarrollo de la técnica del hormigón armado lo ha limitado.

El campo de aplicación de las estructuras metálicas es: naves industriales, puentes (de ferrocarril, de grandes luces – mixtos – y para pasarelas peatonales), mástiles y antenas de comunicaciones, cubiertas, depósitos, silos, compuertas de presas, postes de conducción de energía eléctrica ...

## **2. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE HORMIGÓN.**

No existe un material perfecto, de haberlo no se utilizaría ningún otro. El hormigón y el acero tienen sus cualidades y sus defectos.

- Ventajas de las construcciones metálicas:
  - Alta resistencia mecánica y reducido peso propio: las secciones resistentes necesarias son reducidas, por lo que los elementos estructurales suelen ser ligeros. Este hecho hace a las estructuras metálicas insustituibles en aquellos casos en que el peso de la estructura es una parte sustancial de la carga total, como naves industriales, puentes de grandes luces, voladizos de cubiertas ...
  - Facilidad de montaje y transporte debido a su ligereza.
  - Rapidez de ejecución, se elimina el tiempo necesario para el fraguado, colocación de encofrados... que exigen las estructuras de hormigón.
  - Facilidad de refuerzos y/o reformas sobre la estructura ya construida.
  - Ausencia de deformaciones diferidas en el acero estructural.
  - Valor residual alto como chatarra.
  - Ventajas de la prefabricación, los elementos se pueden fabricar en taller y unir posteriormente en obra de forma sencilla (tornillos o soldadura).
  - Buena resistencia al choque y solicitaciones dinámicas como los seísmos.
  - Las estructuras metálicas de edificios ocupan menos espacio en planta (estructuralmente) que las de hormigón, con lo que la superficie habitable es mayor.
  - El material es homogéneo y de calidad controlada (alta fiabilidad).

- Inconvenientes de las construcciones metálicas:
  - Mayor coste que las de hormigón. El precio de un hormigón HA 25 de central está en torno a  $60 \text{ €/m}^3$ , y el de un acero laminado (S 275) de un perfil normalizado es de unos  $0.60 \text{ €/kg}$ .
  - Sensibilidad ante la corrosión (galvanizado, autopatinado, ...).
  - Sensibilidad frente al fuego. Las características mecánicas de un acero disminuyen rápidamente con la temperatura, por lo que las estructuras metálicas deben protegerse del fuego.
  - Inestabilidad. Debido a su gran ligereza, un gran número de accidentes se han producido por inestabilidad local, sin haberse agotado la capacidad resistente. Si se coloca el arriostramiento debido (que suele ser bastante barato) son estables.
  - Dificultades de adaptación a formas variadas.
  - Excesiva flexibilidad. El diseño de las estructuras metálicas suele estar muy limitado por las deformaciones, además de por las tensiones admisibles, lo que provoca una resistencia desaprovechada al limitar las deformaciones máximas para evitar vibraciones ... que provocan falta de confort.
  - Sensibilidad a la rotura frágil. Un inadecuado tipo de acero o una mala ejecución de las uniones soldadas pueden provocar la fragilización del material y la rotura brusca e inesperada.
  
- Ventajas del hormigón:
  - Menor coste.
  - Posibilidad de adaptación a formas variadas.
  - Excelente resistencia a compresión.
  - Mayor peso propio, lo que es una ventaja cuando facilita la estabilidad estructural (cimentaciones o muros).
  - Su solidez, debido a las generosas dimensiones que exigen sus aplicaciones.
  - Estabilidad frente a ataques químicos.
  
- Inconvenientes del hormigón:
  - Incapacidad de resistir tracciones.
  - Peso y dimensiones.
  - Mal acabado superficial.
  - Dificultades y costo de demolición.

### 3. LOS MATERIALES METÁLICOS.

El **hierro** es un compuesto ferroso con menos del 0.03 % de carbono, se caracteriza por ser poco resistente.

A partir del mineral de hierro bruto se obtiene la **fundición** en altos hornos. Puede ser blanca (muy frágil) o gris ( $\sigma_e \approx 1200 \text{ kg/cm}^2$ ). La fundición es frágil, y su resistencia a tracción es baja comparada con la del acero. Se usa sobre todo en piezas curvas poco solicitadas, marquesinas y elementos decorativos, o en piezas demasiado complicadas como para ejecutarlas mediante juntas.

El material más empleado es el acero. Otros metales con un uso más limitado son:

- **Cobre:** su uso es reducido debido a su elevado precio, pero sus buenas cualidades electroquímicas y su buena manejabilidad lo hacen necesario en ciertos casos. Es muy maleable y con tratamientos de laminado en frío puede alcanzar resistencias de hasta  $1200 \text{ kg/cm}^2$ .
- **Zinc:** se suele usar como protector anticorrosivo (galvanizado). Una aleación de zinc muy usada es el zillo, que se aplica en techos corrugados, con ventaja sobre la chapa galvanizada por su buena rigidez ( $\sigma_e \approx 130 - 200 \text{ MPa}$ ) y resiste bien la corrosión.
- **Aluminio:** es ligero comparado con el acero, más resistente a la corrosión y con acabados muy decorativos. Es dúctil y maleable lo que lo hace fácilmente laminable y extrusionable. Se usa sobre todo en exteriores, cubiertas (laminado en chapa y pulido), carpintería de huecos ...

### 4. EL ACERO ESTRUCTURAL.

El **acero** está compuesto por hierro puro + metaloides (C, S, P, Si) + metales variables (Mn, Cr, Ni, ...). Éstos últimos son los que le dan sus grandes propiedades. La cantidad de carbono debe ser superior al 0.03 %, pero menor de 2 %.

Las **fundiciones** son aleaciones hierro-carbono, en las que la proporción de carbono es superior al 2 %

#### 4.1. Proceso de fabricación.

A partir del mineral de hierro (formado por óxidos de Fe y ganga) se obtiene en los altos hornos el **arrabio** (hierro con un 4 % aproximadamente de carbono).

El arrabio es duro pero muy frágil (interesa más un material dúctil, que “avisa” de su estado tensional), para reducir el % de carbono sin perder resistencia se afina el arrabio en convertidores (se quema el carbono sobrante), obteniéndose el acero en bruto con un % de carbono en torno al 2 %.

Posteriormente se vierte en lingoteras para su enfriamiento y posterior acabado. El proceso de acabado puede ser por: forja, moldeo, trefilado o laminación; para ello se calienta previamente (o bien viene directamente del convertidor mediante un proceso de colada continua, con lo que se evitan las lingoteras, el desmoldeado y posterior calentamiento). Tras este proceso se pueden aplicar tratamientos térmicos (templado, recocido, revenido ...) para alcanzar las propiedades mecánicas y químicas deseadas.

El acero más empleado en la construcción es el laminado (fig. 1).

El laminado consiste en transformar el acero en bruto a alta temperatura en elementos de formas dadas usados en la construcción, para ello se usan laminadoras (máquinas herramienta de alta potencia) esencialmente formadas por cilindros paralelos.

Las laminadoras se disponen en trenes de laminación, transformando el acero en forma progresiva con un cierto número de pasadas.

Este proceso mejora sensiblemente las cualidades del acero (elimina imperfecciones del lingote, oquedades ...) alargando los cristales de acero en la dirección de la laminación. El acero resultante es bastante homogéneo, sin embargo tiene unas propiedades mecánicas inferiores en la dirección transversal a la laminación.

Sus cualidades de resistencia a compresión, tracción y cizalladura son muy altas, con buenas cualidades de elasticidad y dilatación.

Otros aceros:

- *Moldeado*: se solía usar para elementos de formas complejas, difíciles de obtener con uniones remachadas o atornilladas. La aparición de la soldadura ha reducido mucho su uso. Hoy se usa en piezas muy cargadas y con posibilidad de giro o deslizamiento sobre otras (por ejemplo aparatos de apoyo).

Presenta problemas de falta de homogeneidad, debiéndose radiografiar o comprobar por ultrasonidos las piezas.

Tiene mayor resistencia a tracción y flexión que la fundición pero mucho menos que el acero laminado.

- *Forjado*: se trabaja sobre el acero en caliente por aplastamiento con un martillo pilón. Su uso se limita también a zonas especiales con esfuerzos altos y complejos (apoyos). Presenta una buena homogeneidad y resistencia.
- *Trefilado*: tienen alta resistencia ( $\sigma_r \approx 12000$  a  $18000 \text{ kg/cm}^2$ ). Se usan en cables de construcción y hormigón pretensado.

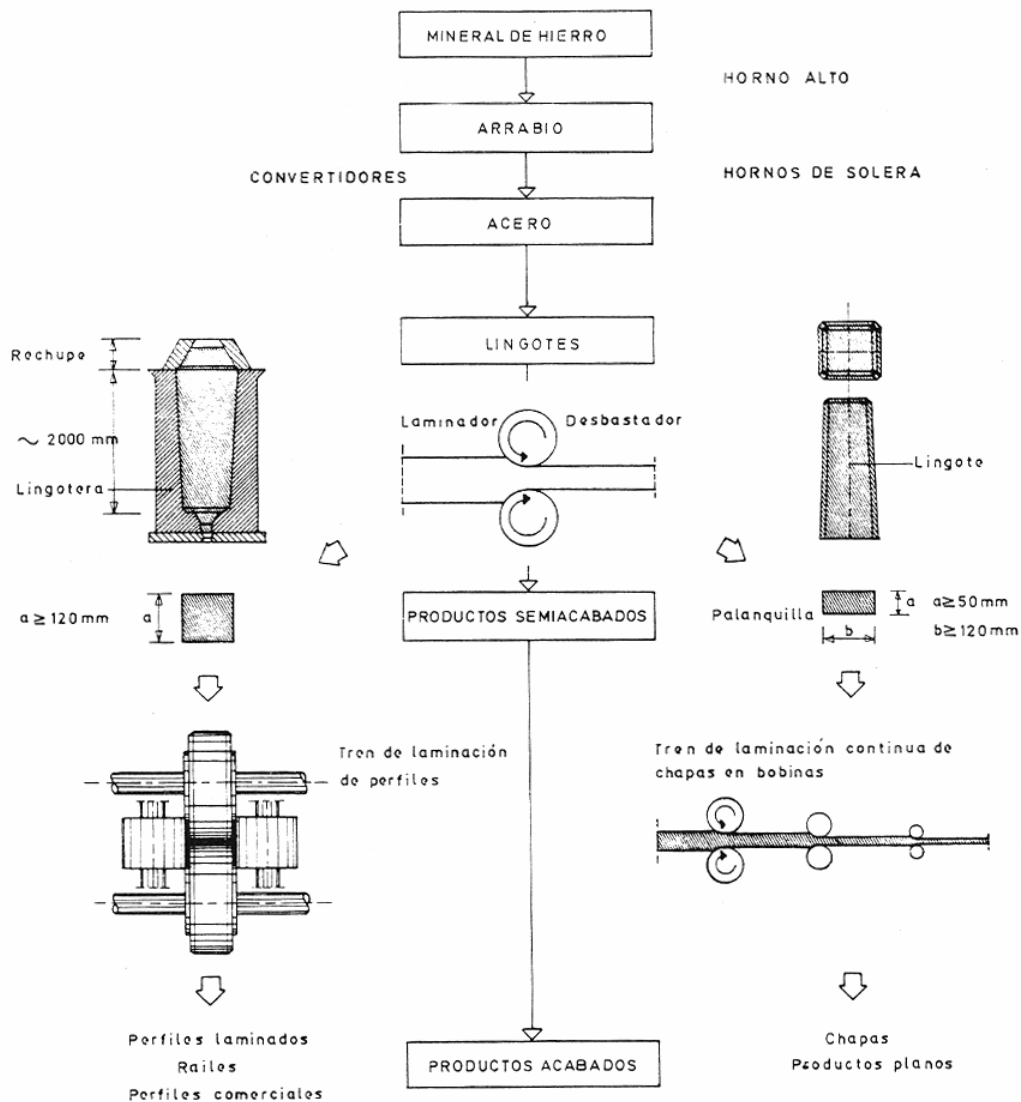


Figura 1. Fases principales de la fabricación de productos laminados en caliente.

#### 4.2. Tipos de aceros para estructuras.

Los aceros considerados en el Código Técnico son los laminados en caliente (UNE EN 10025-2:2002, UNE EN 10210-1:1994) y los conformados en frío (UNE EN 10219-1:1998). En el Documento 0 de la Instrucción EAE se contempla una mayor variedad al considerar:

- Aceros laminados en caliente. Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con una microestructura normal.
- Aceros con características especiales:
  - a. aceros normalizados (*N*). Alta soldabilidad y alta resiliencia.
  - b. aceros de laminado termomecánico (*M*). Alta soldabilidad y alta resiliencia.
  - c. aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros autopatinables) (*W*). Son aceros aleados con cobre que al ser expuestos a la acción atmosférica forman en la superficie una película fina de óxido altamente adherente que impide la penetración de la corrosión.
  - d. aceros templados y revenidos (*Q*). Elevado límite elástico.
  - e. aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto (*Z*). Mejora el comportamiento frente al desgarro laminar.
- Aceros conformados en frío (*H*). Se entiende por tales los aceros cuyo proceso de fabricación consiste en un conformado en frío, que les confiere unas características específicas desde los puntos de vista de la sección y la resistencia mecánica. Necesariamente los espesores serán reducidos.

Los tipos de acero más comunes son: *S235*, *S275*, *S355* y *S450*, siendo sus posibles grados: *JR*, *J0*, *J2* y *K2*, donde el número significa el límite elástico en Mpa ( $\text{N/mm}^2$ ) y el grado indica la resiliencia exigida. Las características mecánicas mínimas dependen del espesor del producto y son las indicadas en la *Tabla 1* (CTE).

Podrán emplearse otros aceros si se garantiza que tienen ductilidad suficiente y resiliencia y soldabilidad adecuadas.

Tabla 1. Características mecánicas mínimas de los aceros.

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

<sup>(1)</sup> Se le exige una energía mínima de 40J.

En la *Tabla 2* se resumen las características mecánicas mínimas de los aceros de los tornillos normalizados. Se denominan tornillos de alta resistencia los de clases 8.8 y 10.9.

Tabla 2. Características mecánicas de los aceros de los tornillos, tuercas y arandelas.

Clase	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Tensión de límite elástico $f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	480	640	900
Tensión de rotura $f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000

Las características mecánicas de los materiales de aportación utilizados en la soldadura serán en todos los casos superiores a las del material de base.

#### 4.3. Tipos de productos siderúrgicos y características.

- **Perfiles laminados en caliente:** son los más usados en construcción, se agrupan en series por la forma y características de su sección transversal. En las figuras 2 y 3 aparecen los más habituales.
- *IPN:* perfil en doble T normal. Se usa fundamentalmente en piezas flectadas.



- *IPE*: perfil en doble T europeo. Análogo la perfil IPN, pero a igualdad de peso tiene mayores inercias, radios de giro y módulos resistentes que los IPN.
- *HE*: perfiles en doble T de ala ancha. Hay tres series:
  - HEB serie normal.
  - HEA serie ligera.
  - HEM serie pesada.Las tres series se diferencian por los espesores de alas y alma, siendo máximos en la serie pesada. En las tres series el ancho de ala y el canto son similares hasta un canto de *300 mm*; para cantos mayores el ancho de ala es igual a *300 mm*. Se utilizan sobre todo como elementos comprimidos, aunque también es habitual usar la serie HEA en elementos a flexión.
- *UPN*: sección en U normal. Sus características resistentes son similares a las de un IPE, pero se usan poco como piezas flectadas por no coincidir el CEC con el CDG, en cambio son adecuados a compresión. En estructuras de edificación son clásicos los soportes de 2 UPN empresillados.
- *U*: sección en U comercial. Similar al UPN.
- *L*: angular de alas iguales. Se emplean casi exclusivamente en piezas sometidas a esfuerzos axiales tales como celosías, arriostramientos, ...
- *LD*: angular de lados desiguales.
- *T*: perfil con forma de T que está en desuso, usándose media IPE o dos angulares apareados.
- *Chapas*: producto laminado plano de ancho superior a *600 mm* y espesor variable.

Se usan para construir elementos estructurales de gran importancia, tales como vigas o soportes armados de grandes dimensiones, puentes, depósitos, ..., o bien elementos secundarios como presillas, cartelas, rigidizadores, ... Puede ser estriada en una de sus caras para ser utilizada como piso en construcciones industriales.
- *Otros*: perfil macizo redondo, cuadrado, rectangular, hexagonal, ...
- *Perfiles huecos*: sección circular, cuadrada, rectangular o elíptica.

En las figuras 4 y 5 aparecen distintos elementos de las construcciones metálicas.

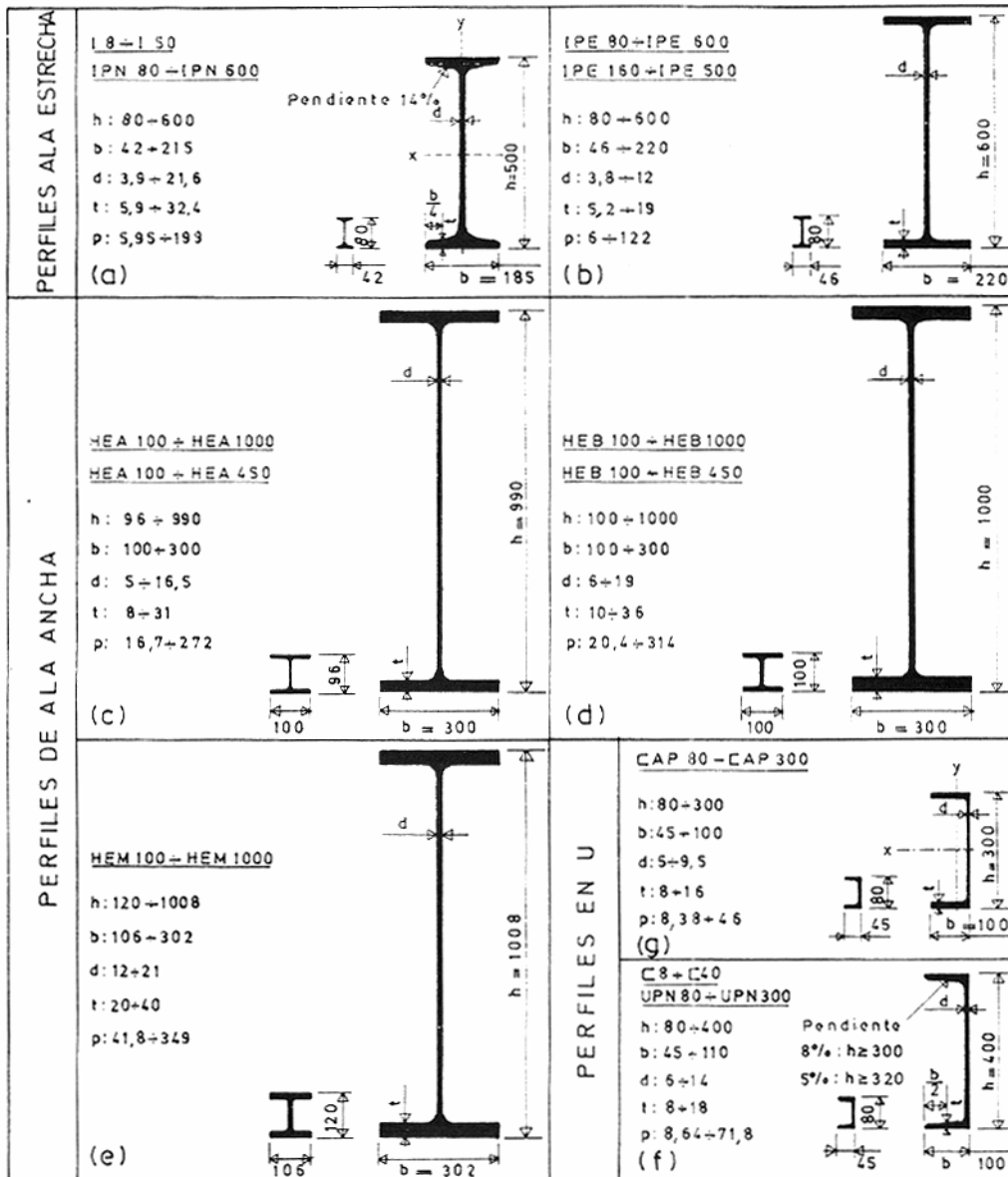


Figura 2. Perfiles laminados en caliente (p: peso por metro lineal, kp/m).

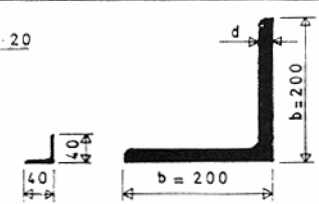
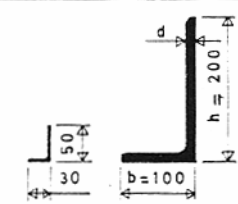
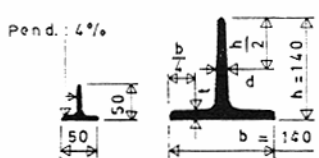
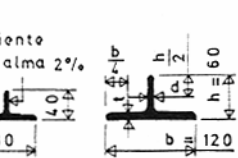
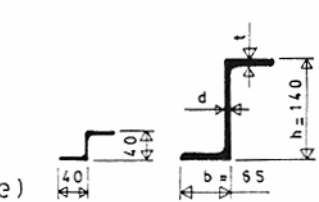
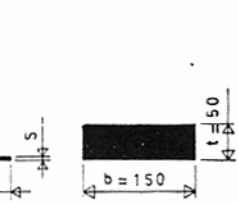
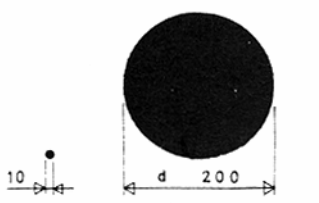
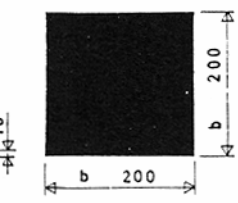
ANGULARES DE LADOS IGUALES	ANGULARES DE LADOS DESIGUALES
<p><math>L 40 \cdot 4 + L 200 \cdot 20</math>  <math>b: 40 + 200</math>  <math>d: 4 + 20</math>  <math>p: 2,42 + 59,9</math></p>  <p>(a)</p>	<p><math>L 50 \cdot 30 \cdot 4 + L 200 \cdot 100 \cdot 14</math>  <math>h: 50 + 200</math>  <math>b: 30 + 100</math>  <math>d: 4 + 14</math>  <math>p: 2,41 + 31,6</math></p>  <p>(b)</p>
SIMPLES TES	SIMPLES TES DE ALA ANCHA
<p><math>T 50 - T 140</math>  <math>h = b: 50 + 140</math>  <math>d = t: 6 + 15</math>  <math>p: 4,44 + 31,3</math></p> <p>Pend.: 4%</p>  <p>(c)</p>	<p><math>T 8 \cdot 4 + T 12 \cdot 6</math>  <math>h: 40 + 60</math>  <math>b: 80 + 120</math>  <math>d = t: 7 + 10</math>  <math>p: 6,21 + 13,4</math></p> <p>Pendiente 4% ala alma 2%</p>  <p>(d)</p>
PERFILES Z	PLETINAS
<p><math>\angle 40 - \angle 140</math>  <math>h: 40 + 140</math>  <math>b: 40 + 64</math>  <math>d: 4,5 + 8</math>  <math>t: 5 + 10</math>  <math>p: 4,26 + 18</math></p>  <p>(e)</p>	<p><math>\square 20 \cdot 5 + \square 150 \cdot 50</math>  <math>b: 20 + 150</math>  <math>t: 3 + 50</math>  <math>p: 0,79 + 58,9</math></p>  <p>(f)</p>
REDONDOS	CUADRADILLOS
<p><math>\emptyset 10 + \emptyset 200</math>  <math>d: 10 + 200</math>  <math>p: 0,62 + 247</math></p>  <p>(g)</p>	<p><math>\square 10 + \square 200</math>  <math>b: 10 + 200</math>  <math>p: 0,79 + 314</math></p>  <p>(h)</p>

Figura 3. Otros perfiles laminados en caliente (p: peso por metro lineal, kp/m).

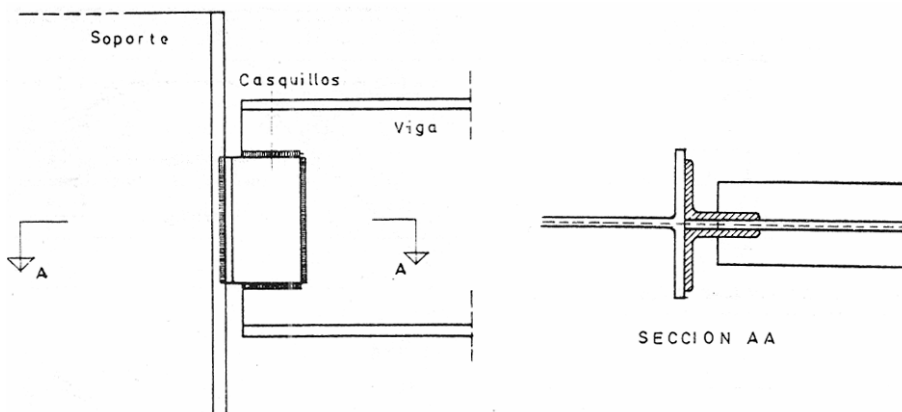


Figura 4. Detalles constructivos.

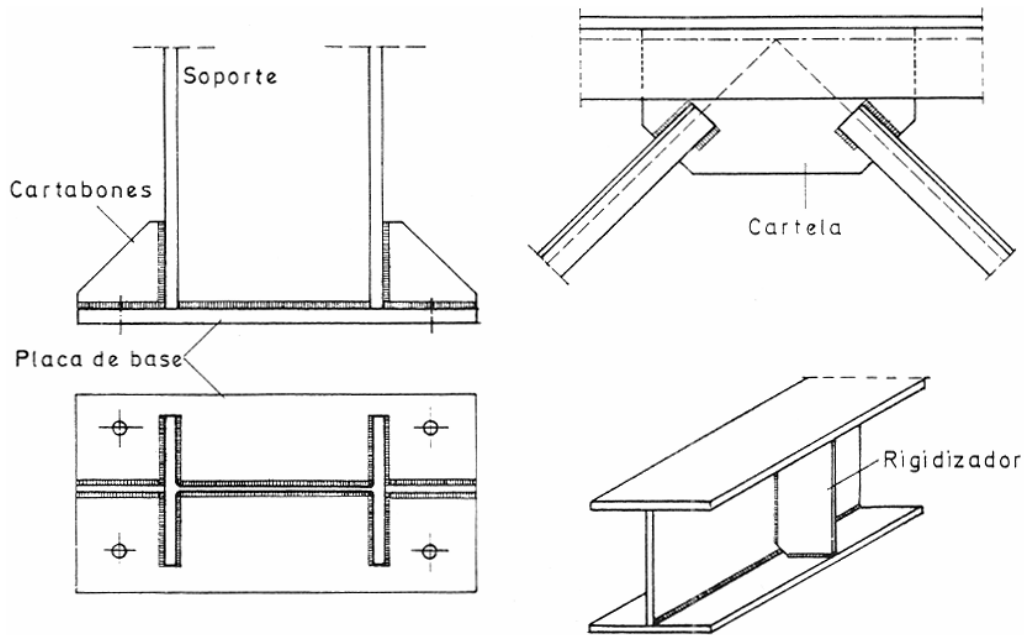


Figura 5. Detalles constructivos.

- **Perfiles conformados en frío** (estructuras ligeras de acero): se fabrican mediante plegadoras o conformadoras de rodillo en frío a partir de chapas finas de acero (espesores entre 0.3 y 6 mm), con o sin soldadura. En las figuras 6, 7 y 8 se esquematiza su fabricación y aparecen los dos tipos básicos.
  - *Barras*: pueden ser perfiles L, U, C, Z, Omega, tubos abiertos y tubos cerrados huecos (circulares, cuadrados, rectangulares y elípticos). Los perfiles abiertos se suelen usar como piezas flectadas y los cerrados como comprimidas.
  - *Paneles*: se usan en cubiertas, soportes de piso (junto a una base de hormigón, trabajando como elemento resistente o sólo como encofrado perdido) y elementos de pared. Se suelen fabricar con chapa galvanizada, pueden ir pintados y se recubren con aislamiento térmico y acústico (poliuretano expandido, ...).

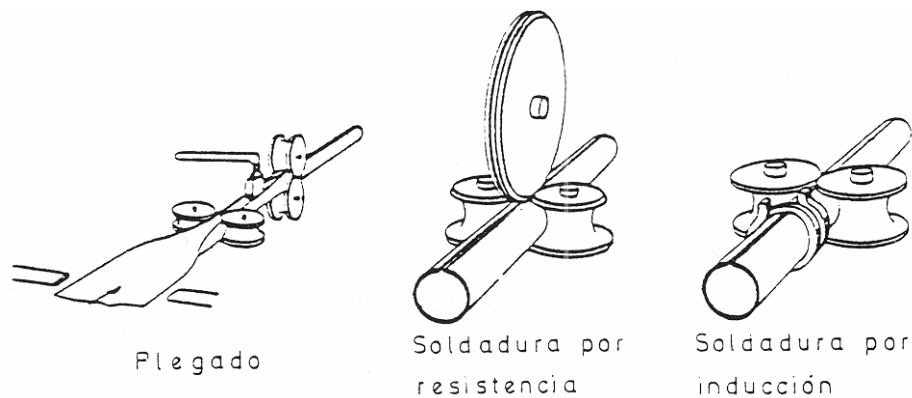


Figura 6. Fabricación de perfiles conformados en frío.

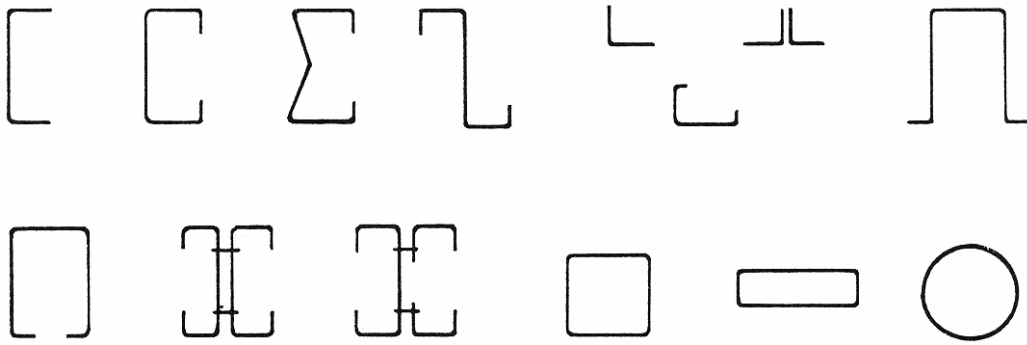


Figura 7. Barras.

Paneles para cubiertas



Paneles para cubiertas de grandes luces



Paneles para pisos

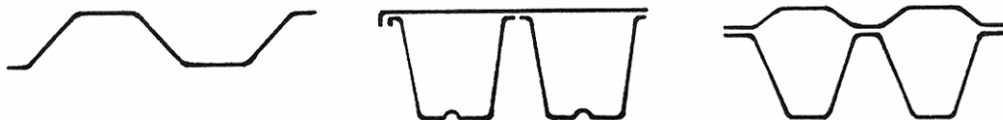


Figura 8. Paneles.

• **Otros productos:**

- Piezas moldeadas para apoyos.
- Raíles.
- Apoyos elastoméricos.
- Cables (puentes atirantados y colgantes, cubiertas de grandes luces, ...).
- Elementos de unión: en frío (tornillos y pernos) y en caliente (remaches y soldadura). Los tornillos más comunes son los de las clases indicados en la *Tabla 2*. Tornillos especiales son los de cabeza avellanada, los calibrados y los de inyección. El empleo de roblones como medio de unión ha caído totalmente en desuso.

## 5. PROCESOS BÁSICOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE EN TALLER.

Las operaciones básicas se pueden agrupar en: trazado y corte, empalme, enderezado, taladrado, armado, soldadura, repasos y pintura.

- **Trazado y corte:** el trazado es la fase preparatoria del corte, si el corte es recto se controla mediante topes, en el caso de cortes con forma se suelen realizar por control numérico o con fotocélulas que siguen figuras trazadas a escala o tamaño natural.

Sistemas de corte para perfiles:

- Sierras circulares de disco abrasivo.
- Sierras circulares de disco metálico de alta velocidad (fig. 9) o baja velocidad (fig. 10 y 11).

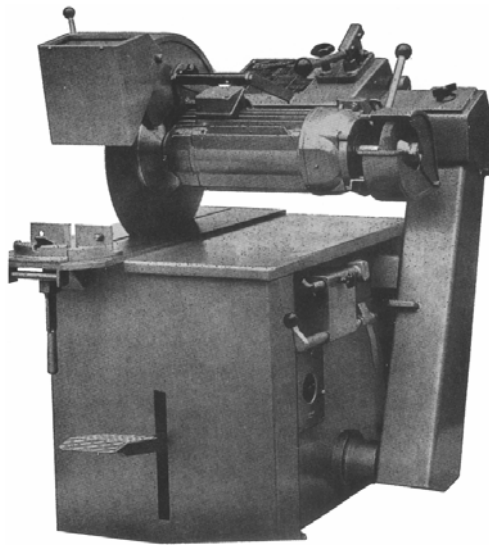


Figura 9. Sierra circular con disco metálico de alta velocidad.

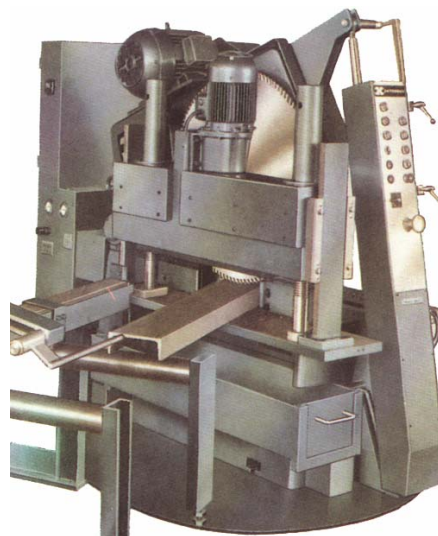


Figura 10. Sierra circular con disco metálico de baja velocidad.

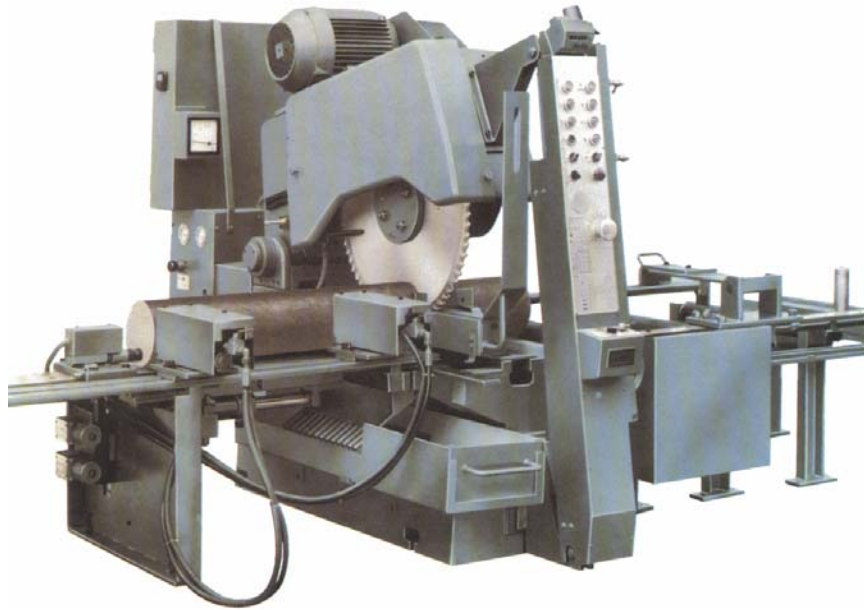


Figura 11. Sierra circular con disco metálico de baja velocidad y equipo automático de medida.

- Oxycorte: se aplica en todos los cortes con forma, pero su uso en perfiles es complicado.

Sistemas de corte para chapas:

- Guillotina: para troceo de chapas pequeñas y finas ( $e < 15$  mm).
- Oxycorte: es el método más usado, se realiza con soplete manual, carros portátiles (fig. 12), bancos de corte recto (fig. 13) o en bancos de corte con forma (fig. 14).

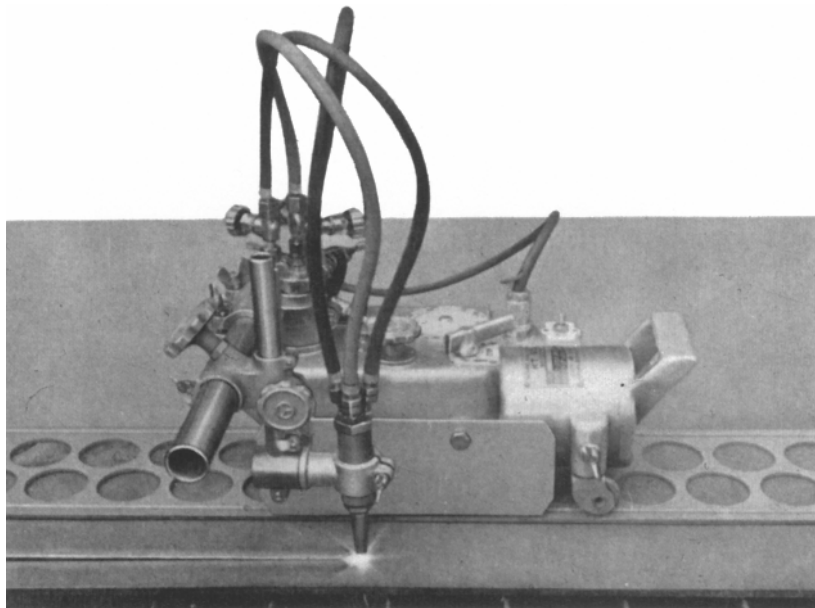


Figura 12. Oxycorte. Soplete manual sobre carro portátil.

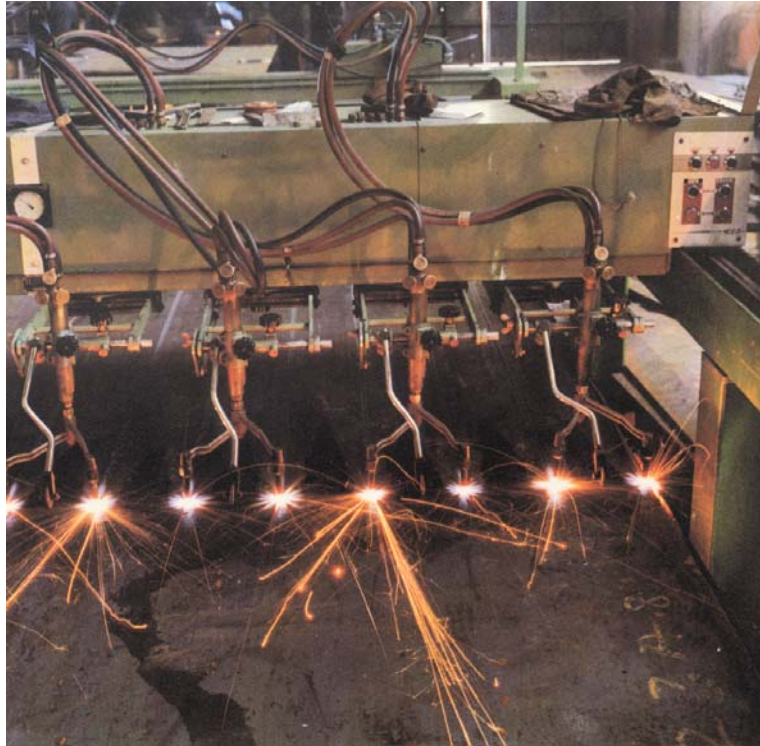


Figura 13. Oxicorte. Banco de corte recto.

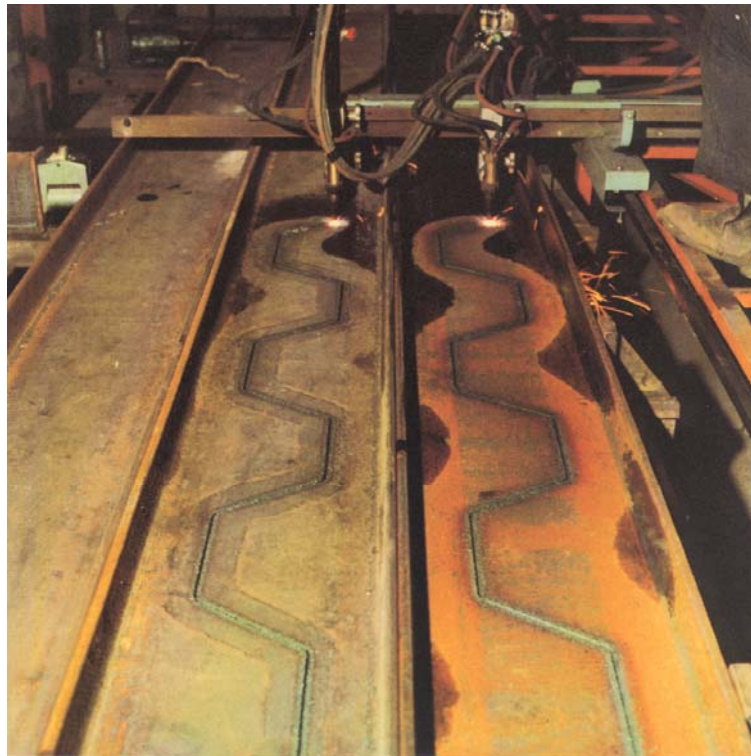


Figura 14. Oxicorte. Copiador magnético.



- **Enderezado:** se usa para corregir deformaciones en perfiles o chapas debidas al almacenaje, transporte, fabricación, deformación por calor, empalmes ... Se puede realizar por conformación mecánica o térmica. Los mejores resultados se obtienen en frío con prensa o trenes de rodillos (fig. 15).



Figura 15. Tren de rodillos de enderezado.

- **Plegado:** se aplica a chapas planas con prensas, y puede ser a fondo con espesores bajos o al aire con espesores medios y altos:

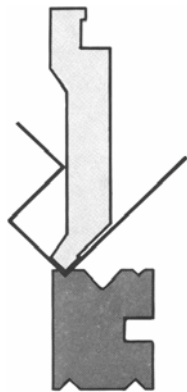


Figura 16. Plegado a fondo.

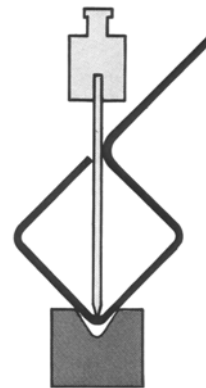


Figura 17. Plegado al aire.

Se deben respetar unos radios mínimos y el plegado debe realizarse en dirección perpendicular a las fibras de laminación para evitar la aparición de fisuras:

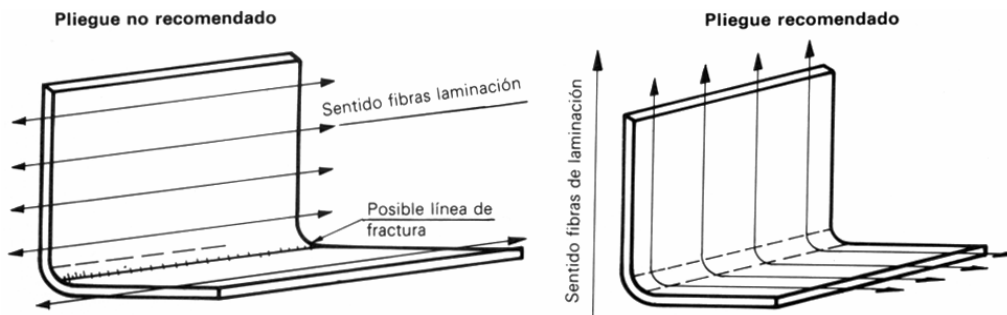


Figura 18. Pliegues recomendados.

- **Curvado:** por medio de sistemas de 3 o 4 cilindros.

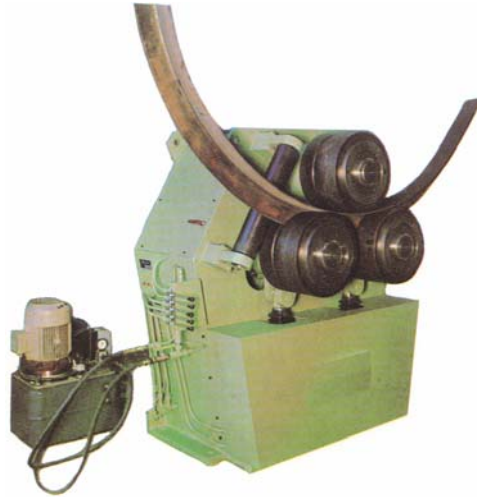


Figura 19. Máquina curvadora.

- **Punzonado y taladrado:** para la apertura de tornillos. El problema básico es un trazado que garantice la precisión de las posiciones de ejes. Los sistemas básicos son el perforado simultáneo o los equipos automáticos de trazado y perforado (fig. 20, 21 y 22).

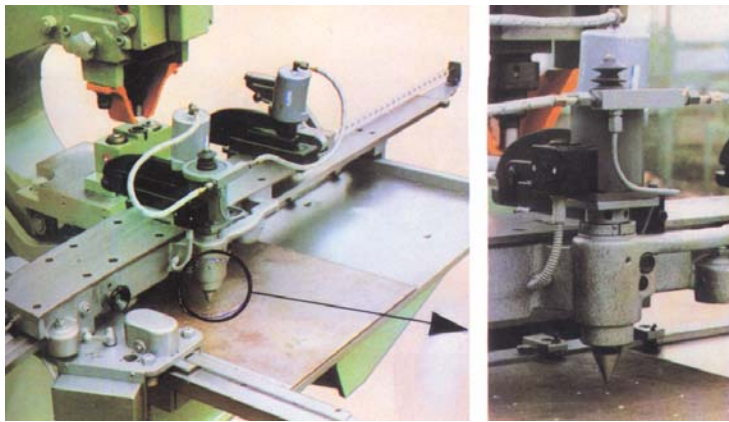


Figura 20. Punzonadora.

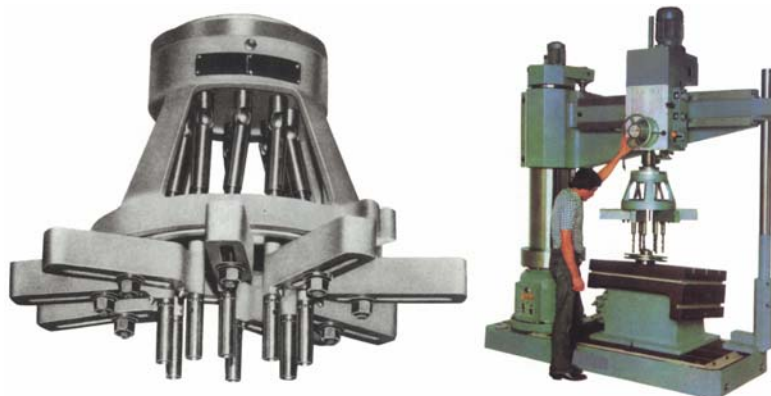


Figura 21. Punzonadora de cabezales múltiples.

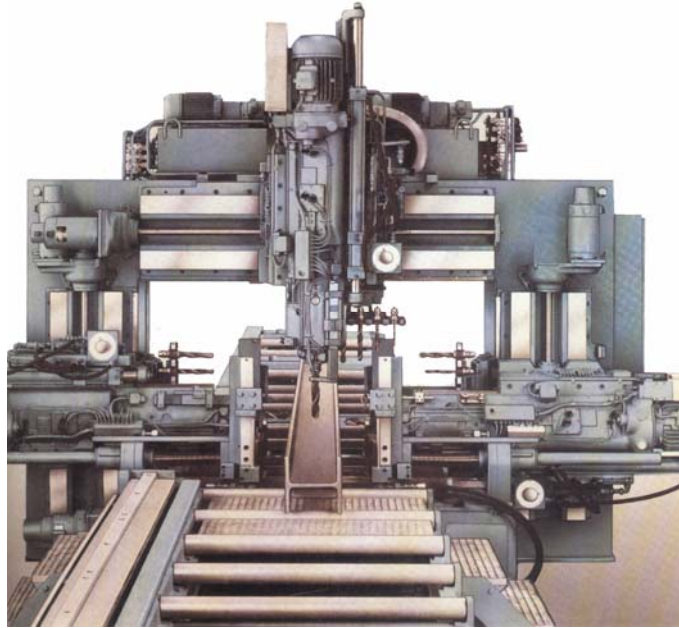


Figura 22. Equipo automático de taladrado en horizontal y vertical.

- **Armado o ensamblado:** operación de unir piezas semielaboradas para conformar una unidad de envío a obra. El armado puede ser desde una operación muy sencilla como colocar cartelas o rigidizadores, a una operación muy compleja en la que se unan perfiles y chapas con múltiples soldaduras. Entre los sistemas automáticos destacan los equipos de ejecución de vigas armadas (fig.23, 24 y 25).

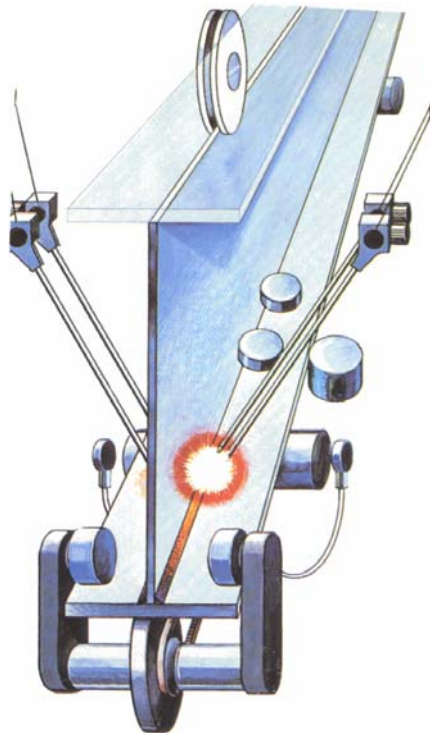


Figura 23. Equipo de armado.

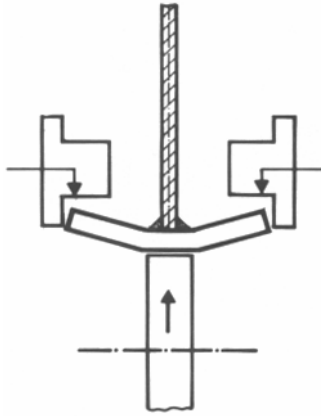


Figura 24. Operación de postdeformación tras la soldadura en un ensamblado.

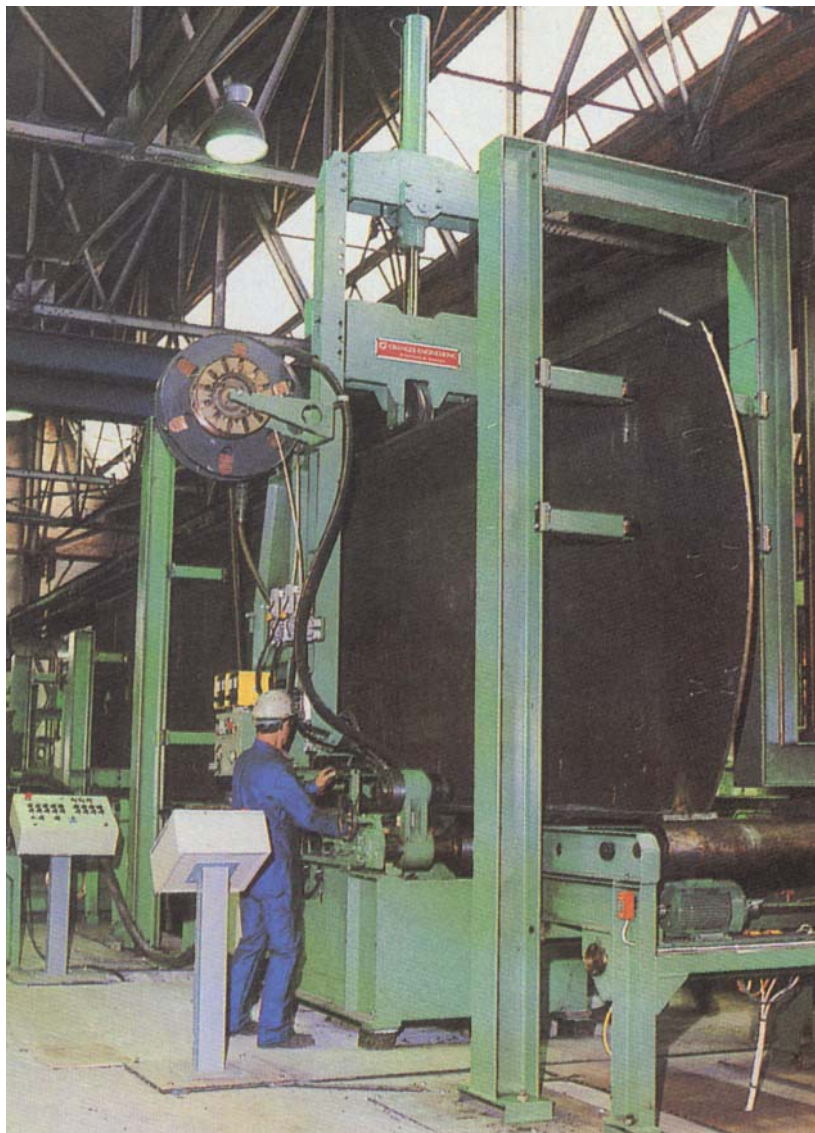


Figura 25. Armado y soldadura de vigas en horizontal o en vertical.

Imágenes 1 a 8: extraídas de "Estructuras Metálicas" de Quintero, F. & Cudós, V.

Imágenes 9 a 25: extraídas de "Manuales sobre la Construcción con Acero" de Ensidesa.