

LAMINACIÓN DE PERFILES DE GRANDES DIMENSIONES

POR DOMINGO MENDIZABAL, INGENIERO DE CAMINOS

El autor, con su profundo conocimiento de la construcción metálica, de la que es defensor entusiasta, llama la atención de los proyectistas y constructores sobre las positivas ventajas que pueden obtenerse con el empleo de los grandes perfiles laminados, y tras de describir muy claramente las características y el desarrollo que éstos han adquirido en Europa y América, se muestra partidario de que las Empresas siderúrgicas nacionales acometan el problema de la laminación, en la seguridad de que habrían de tener excelente acogida en el mercado.

Antecedentes.

El aumento de las sobrecargas que han de resistir las barras que constituyen las estructuras metálicas en general, bien se trate de tramos metálicos en que aquéllas son constantemente incrementadas al aumentar los pesos del material móvil, de tracción y remolcado, bien de estructuras para edificaciones, las que al adquirir mayores dimensiones exigen también elementos resistentes de mayor cuantía, da lugar todo ello a la necesidad apremiante de emplear piezas laminadas de mayores secciones con dimensiones constantemente crecientes.

La preparación de estas barras de dimensiones absolutas y de secciones con áreas cada vez mayores, se lograba con el abandono de las barras laminadas y el empleo de secciones compuestas, enlazando elementos constituyentes de las dimensiones y secciones precisas, mediante el roblonado necesario.

Este sistema, que no cabe duda puede llegar a proporcionar las dimensiones requeridas, es complejo y caro al precisar muy diversas operaciones, cuidados y, por esto, resultar poco económico.

En efecto; todo ello exige el marcado de las diversas piezas, señalándose los orificios que han de abrirse para los roblones que han de colocarse, realizar después el taladrado correspondiente, y, por último, verificar el roblonado.

Puede apreciarse que se encarece la unidad de peso de una pieza así compuesta, en relación con la laminada, en más de un 30 por 100.

Modernamente, con la generalización de la soldadura metálica, que ha pasado del período de ensayo o estudio al de realización plena, muchos de los inconvenientes señalados desaparecen al poder formar las piezas con las dimensiones y secciones convenientes, prescindiendo de algunas de las operaciones anotadas anteriormente dichas, que no sólo encarecen sino que también retardan la utilización de las barras.

Puede señalarse que el coste de la unidad de peso de una barra compuesta por soldadura sobrepasa en

más del 15 por 100 al de una pieza laminada simple.

Pero hace ya algunos años, y muy especialmente de un modo reciente, se ha generalizado el empleo de las barras laminadas, de grandes dimensiones y con colección de perfiles bien abundantes, que evita el empleo de las barras compuestas, que siempre proporciona inconvenientes de mayor o menor cuantía y a las que únicamente debe acudir en casos muy especiales y excepcionales, sobre todo cuando precisa el empleo de barras exageradamente fuertes, de formas no corrientes.

En cuanto se indica a continuación se aludirá casi exclusivamente a las barras en doble T, que son, como es sabido, las más generalmente utilizadas.

Fundándose en la existencia de esta apremiante necesidad, y para salvar todos los graves inconvenientes que en la realidad se han presentado, se han realizado, por los técnicos de la siderurgia del mundo entero, considerables trabajos, para cuya orientación se han establecido algunos fines que a continuación se señalan:

1.º Suministrar perfiles laminados que presenten un coeficiente a la flexión lo más elevado posible, y que, para alturas iguales, es decir, para alturas perdidas mínimas, presenten un módulo de inercia y un coeficiente de economía lo más grande que se pueda alcanzar.

2.º Conseguir perfiles presentando un momento de inercia transversal elevado, consiguiendo, por lo tanto, una rigidez transversal y coeficiente de economía, desde el punto de vista de flexión transversal, así como también para el pandeo, lo más elevado posible.

3.º Conseguir las más grandes facilidades de enlace, gracias a la amplitud de las alas.

4.º Poner a la disposición de los constructores perfiles laminados, presentando grandes valores del módulo de inercia para aumentar las posibilidades de la construcción con vigas laminadas, más bien que con vigas compuestas, roblonadas o soldadas, o vigas en celosía.

Con los perfiles de amplias alas y caras paralelas,

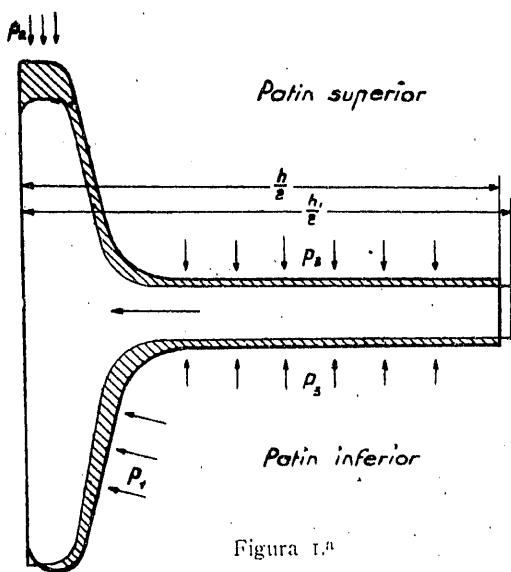


Figura 1.a

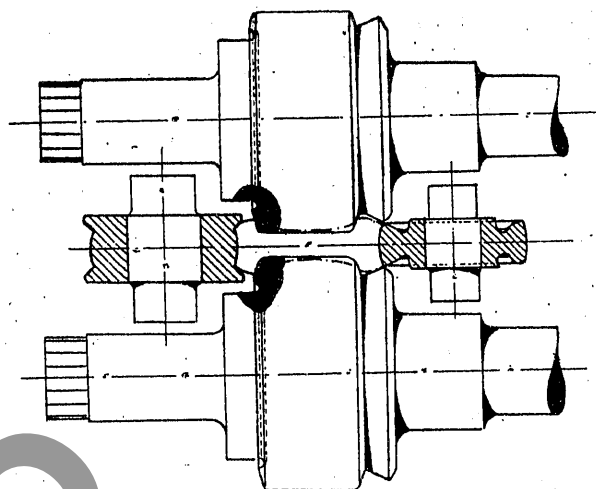


Figura 2.a

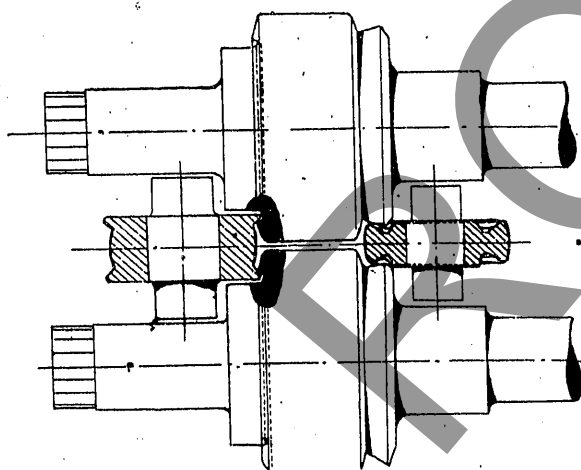


Figura 3.a

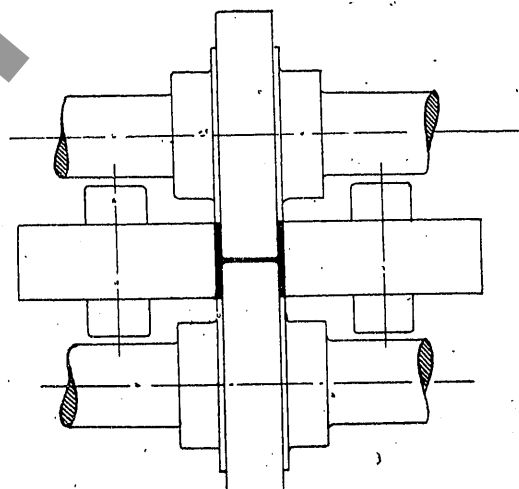


Figura 4.a

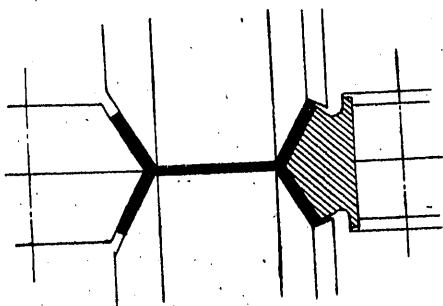


Figura 5.a

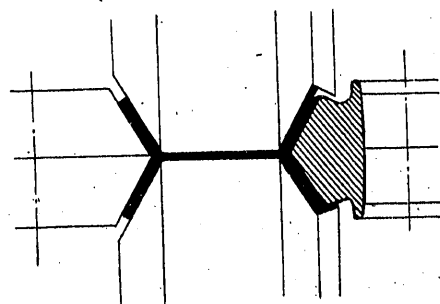


Figura 6.a

se aumentan, además de las ventajas citadas, muy importantes, la de una particular comodidad en los enlaces, consiguiendo uniones extremadamente sencillas y asegurando una colocación perfecta al roblonado o atornillado, así como una soldadura bien regular y firme.

Inconvenientes de la laminación de los perfiles normales.

Cualquiera que sea el sistema de cilindros adoptado, bien dobles reversibles o triples irreversibles, se producen durante la laminación precisa para la formación de los perfiles, presiones varias que se detallan a continuación:

La figura 1.^a muestra la comparación de la situación de las secciones de una barra que se lamina, al pasar por dos acanaladuras consecutivas; la primera, o sea la exterior, corresponde al contorno rayado, y la segunda, al contorno y sección en blanco.

Se aprecia que el patín inferior está sometido a presiones, según las direcciones P_1 , que dan por resultado aumentar la altura de este patín. El superior está sometido a presiones P_2 , con tendencia a disminuir su altura, y el alma, en sus dos partes o caras, está sometida a presiones P_3 , que dan lugar a un aumento de la altura h de la sección, es decir, produciéndose un verdadero estirado.

Las diversas partes de las barras están sometidas a esfuerzos varios, que se combinan en relación con las velocidades angulares de arrastre de los cilindros, a fin de conseguir alargamientos iguales en todas ellas.

Son consecuencia de estos hechos la producción de tensiones interiores muy sensibles y una falta de uniformidad de resistencia en las diferentes zonas de la sección, muy especialmente en las de mínimas secciones y menor alargamiento, como ocurre, por ejemplo, en las de enlace del alma y alas.

Estos inconvenientes se agravan muy considerablemente si se trata de laminar en análogas condiciones perfiles de alas de grandes dimensiones, pues se trataría de empujar el material de las alas en acanaladuras muy profundas, pudiéndose además registrar inconvenientes muy parecidos en los bordes de las alas, con los graves perjuicios y fuertes daños que se producirían.

Los sistemas de laminación realizados con este fin dan lugar a patines con caras internas oblicuas con inclinación que se fija generalmente en un 14 %, lo que produce muy serias dificultades para el roblonado y uniones.

Las principales Factorías que han dedicado sus esfuerzos y estudios para llegar a la laminación de viguetas de grandes dimensiones, han procurado fabricarlas con sus caras paralelas en los patines.

Diversos métodos ensayados.

Desde que se comenzaron a apreciar las ventajas del empleo de estas viguetas de grandes dimensiones, tanto en su altura como en la anchura de alas, se ensayaron muy diversos sistemas, casi todos ellos fundados en la existencia de dos juegos de cilindros con sus ejes en el mismo plano, dos de ellos verticales y dos horizontales.

Con esta característica común, existen muy sensibles diferencias en otros detalles relacionados con la posición relativa de los cilindros, perfiles y contornos de éstos, etc., según las diferentes patentes y los perfeccionamientos que la realidad ha ido aconsejando fuesen introducidos.

La primera patente explotada corresponde al sistema Sack, apareciendo en las figuras 2.^a, 3.^a y 4.^a las tres fases del trabajo al comienzo y fin del laminado.

Una modificación de esta patente aparece en las figuras 5.^a, 6.^a y 7.^a.

En estos sistemas no se llegó a la preparación de grandes perfiles; solamente, a la mejora de que las caras de las alas fuesen paralelas en los de carácter normal.

Para la laminación de grandes perfiles y después de múltiples tanteos y ensayos, se ha llegado al sistema generalmente conocido por Grey-Differdange, en el cual se introdujo la importante modificación de emplear en los cilindros acanaladuras abiertas, con el objeto de permitir un libre ensanchamiento de las alas bajo las presiones producidas por los cilindros verticales.

También se introdujeron disposiciones prácticas muy interesantes para la sustentación de estos cilindros, por el poco espacio disponible para alojar los soportes, entre los cilindros horizontales, manteniéndose por rodillos que los sustentan lateralmente; de este modo estos contracilindros, en número de dos por cada cilindro vertical, alcanzan un gran diámetro, comparable al de los cilindros horizontales.

El cilindro vertical gira libremente alrededor de sus ejes, descansando libremente sobre cojinetes de bolas, manteniéndose lateralmente, como ya se ha dicho, cada uno por dos contrarodillos, como puede apreciarse en el croquis representado en la figura 8.^a.

En las figuras 9.^a y 10 aparecen las disposiciones de los cilindros desbastadores y preparadores, correspondientes a este sistema, representando en la primera de ellas la forma inicial y final del laminado correspondiente a este juego de cilindros.

Debe señalarse la característica de este sistema que en el último paso en el tren desbastador, y ello es muy importante desde el punto de vista de las cualidades físicas internas del material, existe la mis-

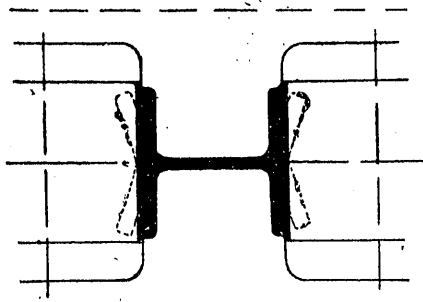


Figura 7.^a

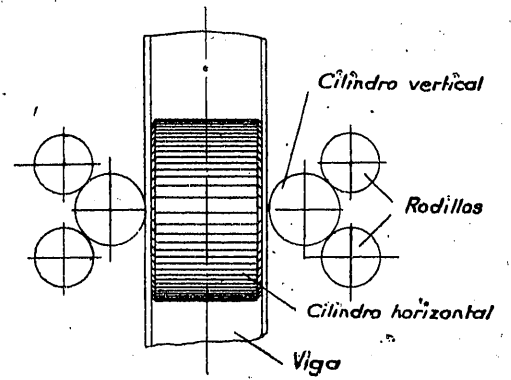


Figura 8.^a

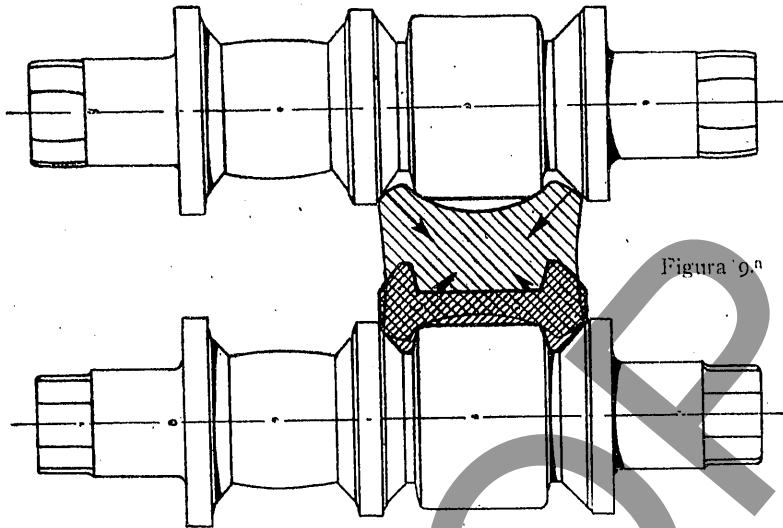


Figura 9.^a

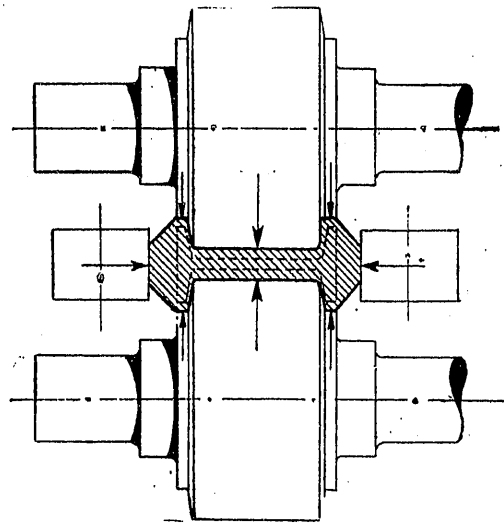


Figura 10.

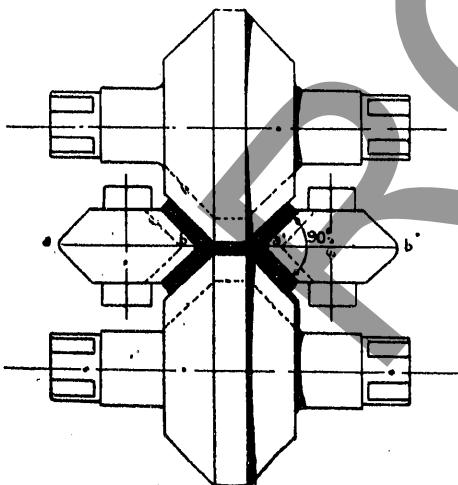


Figura 11.

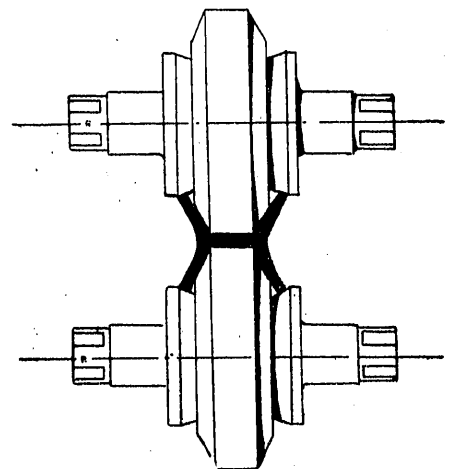


Figura 12.

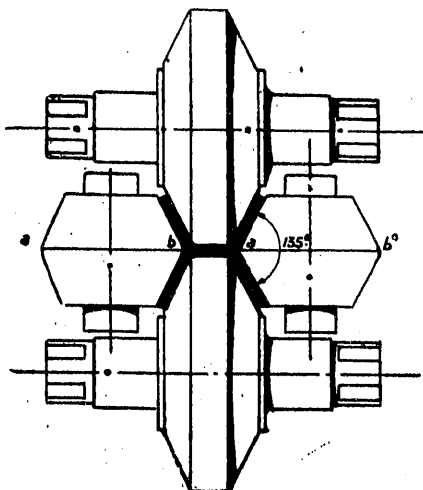


Figura 13.

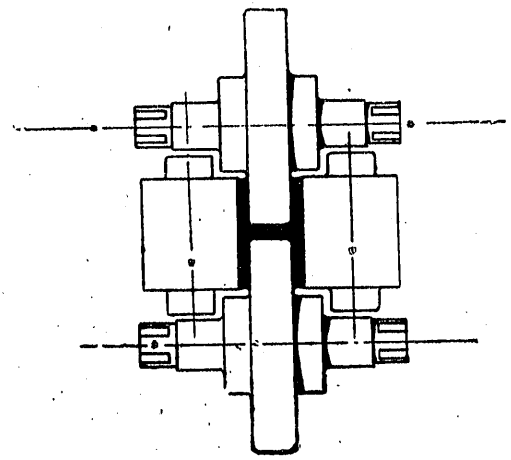


Figura 14.

ma relación entre las secciones del alma y de las alas que en la vigueta terminada.

La velocidad del laminado permite realizar todo el trabajo con un solo calentamiento, lo que también es muy ventajoso.

Los cilindros horizontales son los que arrastran al lingote o la barra, y ésta, a su vez, a los cilindros verticales.

El trabajo es idéntico en todas las partes de la sección del perfil, obviándose así todos los inconvenientes que se presentan en el laminado de las viguetas normales, especialmente la existencia de tensiones interiores, siempre peligrosas, obteniéndose así un perfil completamente homogéneo.

La laminación se termina en el tren acabador, después del cual existen dos cilindros para el enderezamiento de las barras en caliente, lo que da lugar a que posteriormente apenas precisen ningún retoque, pudiéndose obtener barras perfectamente laminadas hasta de unos 65 metros.

Fundándose en principios semejantes, existe también la muy generalizada patente Gorbél, cuyo esquema se representa en las figuras II a I4.

Ensayos realizados y sus consecuencias.

En muchos laboratorios se han realizado ensayos para determinar las características físicas, químicas y mecánicas, de las nuevas barras de grandes dimensiones; pero de todos ellos, los más sistematizados y de mayor confianza por el prestigio técnico de sus elementos directivos y medios científicos de que disponen, merecen citarse los que en Suiza se han ultimado en colaboración por el Politécnico de Zurich y los Laboratorios propios de los Ferrocarriles Fe-

derales suizos, dirigidos todos estos ensayos por Ros, Bullinger, Munster y Buhler.

Las conclusiones de dichos ensayos, que a continuación se extractan, son muy interesantes:

1.^a Las propiedades de resistencia estática y dinámica, así como la capacidad de deformación estática y dinámica de la viga Grey-Diffendange (son las únicas ensayadas en Europa), de alas anchas, fabricadas con acero Thomas, de composición y pureza comprobadas en los análisis, con coeficientes de rotura a la tracción y dosis de carbono que a continuación se señalan, permiten ser aplicadas en todos los casos en que vigas de esta clase han de ser utilizadas, figurando en primer término, entre todos los de este género, los ensayos al choque, tratamientos mecánicos y térmicos, desarrollados con extraordinaria regularidad por lo que se refiere a la composición y estructura.

Normas alemanas: $R = 40 \text{ kg./mm.}^2$
 $C = 0,06 \%$

Normas francesas: $R = 45 \text{ kg./mm.}^2$
 $C = 0,10 \%$

Normas inglesas: $R = 50 \text{ kg./mm.}^2$
 $C = 0,15 \%$

2.^a La laminación comienza a los 1.200° centígrados y termina entre 900 y 950° , o sea, por encima de la temperatura de transformación, con un efecto de reducción de la sección del lingote a la barra terminada de 50 a 20 y con enfriamiento adecuado y lento; todo ello evita tensiones interiores, no quedando el acero frágil por no alcanzar estructura granular importante.

3.^a Son recomendables los siguientes valores de las tensiones admisibles para tracción, flexión y compresión, en las viguetas de alas anchas, según a continuación se anota:

CALIDAD DEL ACERO	Tracción. Compresión. — Flexión		COEFICIENTE DE SEGURIDAD EN RELACIÓN AL			
			Límite elástico.		Límite de rotura.	
	Tramos.	Estructuras.	Tramos.	Estructuras.	Tramos.	Estructuras.
Normas alemanas:						
$\beta_z = 4000 \text{ kg./cm.}^2$	1 400	1 600	1,85	1,63	2,85	2,50
$\sigma_f = 0,65 \beta_z = 2 600 \text{ kg./cm.}^2$						
$\sigma_p = 0,50 \beta_z = 2 000 \text{ kg./cm.}^2$						
Normas francesas:						
$\beta_z = 4 500 \text{ kg./cm.}^2$	1 500	1 700	1,87	1,65	3,00	2,65
$\sigma_f = 0,625 \beta_z = 2 800 \text{ kg./cm.}^2$						
$\sigma_p = 0,475 \beta_z = 2 150 \text{ kg./cm.}^2$						
Normas inglesas:						
$\beta_z = 5 000 \text{ kg./cm.}^2$	1 600	1 800	1,87	1,67	3,10	2,70
$\sigma_f = 0,6 \beta_z = 3 000 \text{ kg./cm.}^2$						
$\sigma_p = 0,45 \beta_z = 2 250 \text{ kg./cm.}^2$						

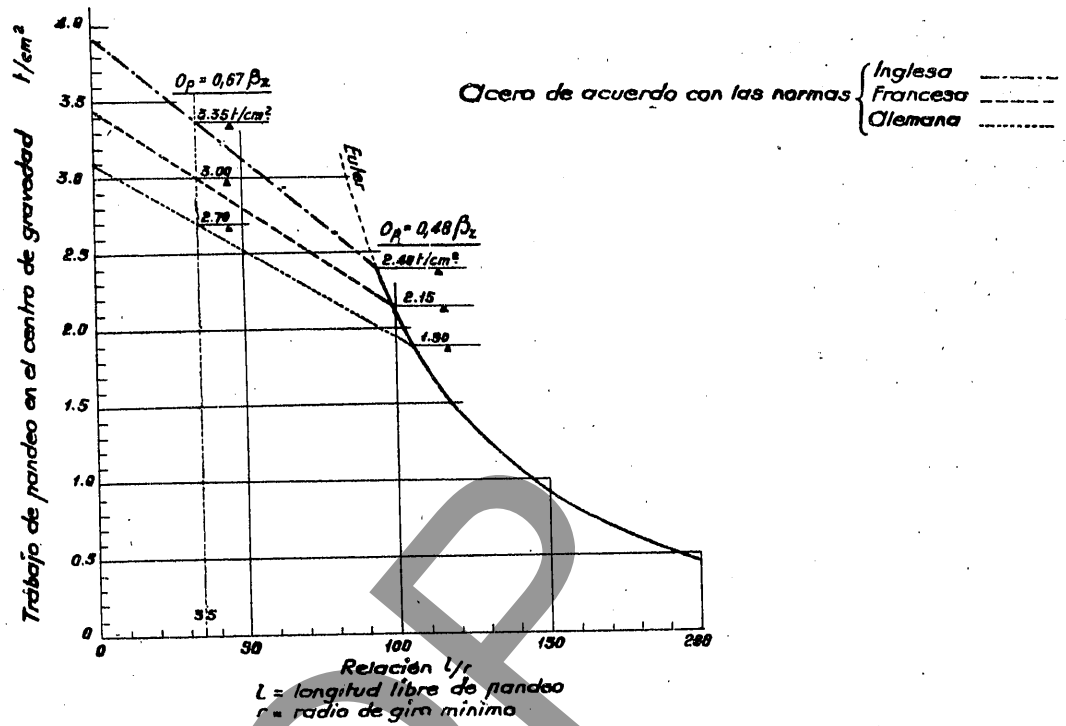


Figura 15.

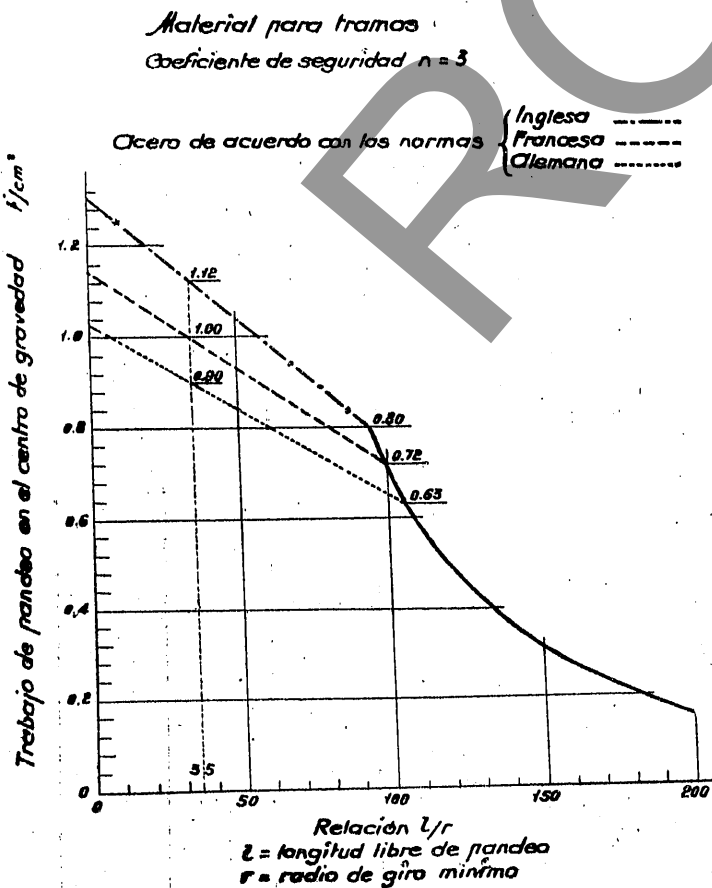


Figura 16.

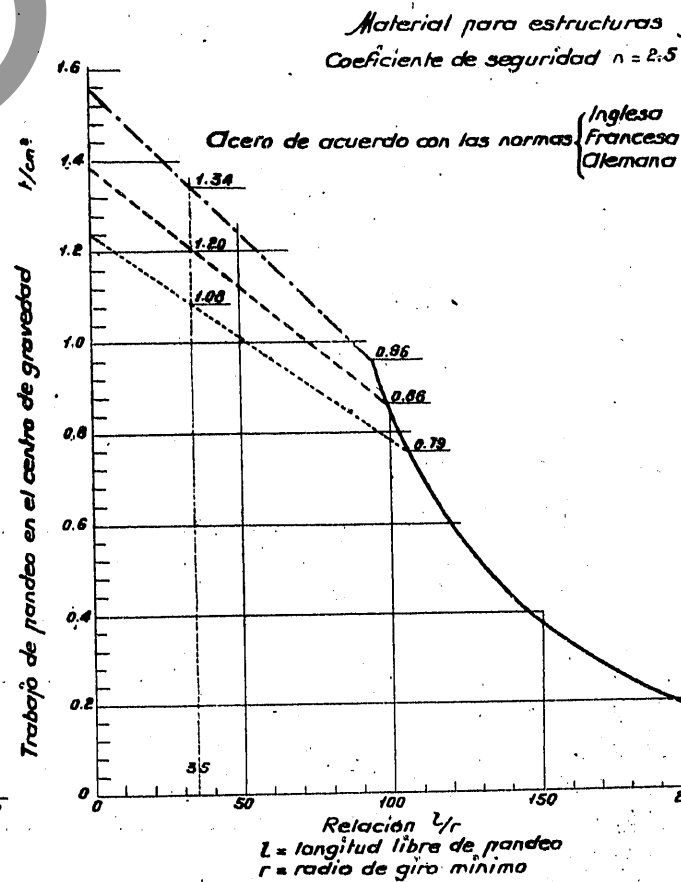


Figura 17.

Los coeficientes de seguridad, como promedio en números redondos, son:

	Tramos Estructuras	
Coefficiente de alargamiento elástico aparente	1,9	1,7
Límite de rotura.....	3,0	2,6

4.^a Las tensiones producidas por el pandeo en el centro de gravedad de la sección de la barra, debidas a una sobrecarga centrada, se representan en la figura 15, según las calidades y características de los aceros, de acuerdo con las diversas normas señaladas, figurándose las que con arreglo a la ley de Euler se admiten y las toleradas aplicando determinados coeficientes al límite de rotura.

En las figuras 16 y 17 se representan gráficamente las curvas de las tensiones correspondientes según los coeficientes de seguridad que como pro-

medio se establecen, o sean 3,0 y 2,5 para las diversas estructuras.

Como para las secciones de estas viguetas la relación I_y está dispuesta adecuadamente, o sea la de sus momentos de inercia I_x , según los dos ejes de la expresada sección, tienen una estabilidad muy elevada para el pandeo, cualquiera que sea la posición de la sobrecarga determinante.

5.^a La resistencia al pandeo lateral de las cabezas en una de estas viguetas de ala ancha, solicitada a la flexión y apoyada sobre apoyos extremos y libre de pandear lateralmente, depende principalmente de su rigidez transversal, muy elevada en estas barras.

6.^a Son recomendables los coeficientes límites que se anotan en el cuadro que a continuación se inserta:

NATURALEZA DEL ENSAYO	CALIDAD DEL ACERO								
	NORMAS ALEMANAS			NORMAS FRANCESAS			NORMAS INGLESAS		
	Límite extremo.	Valor medio.	Tolerancia.	Límite extremo.	Valor medio.	Tolerancia.	Límite extremo.	Valor medio.	Tolerancia.
Dureza Brinnell.....	95-140	115	$\pm 20\%$	105-155	130	$\pm 20\%$	115-170	143	$\pm 20\%$
Coefficiente de rotura por tracción: R : kg./mm. ² , longitudinalmente en las alas y en el alma.....	35-45	40	$\pm 12\frac{1}{2}\%$	40-50	45	$\pm 11\%$	45-55	50	$\pm 10\%$
Límite aparente de elasticidad por tracción: E : kg./mm. ² , longitudinalmente en las alas.....	23-29	26	$\pm 12\frac{1}{2}\%$	25-31	28	$\pm 11\%$	27-33	30	$\pm 10\%$
Alargamiento en la rotura por tracción: λ en 10 diámetros, longitudinalmente en las alas y en el alma.....	> 21	26	$- 20\%$	> 19	24	$- 20\%$	> 17	22	$- 20\%$
Transversalmente en las alas y en el alma.....	> 16	20	$- 20\%$	> 15	18	$- 20\%$	> 13	16	$- 20\%$
Coefficiente de calidad: $R \times \lambda$, longitudinalmente en las alas y en el alma.....	$> 0,88$	1,1	$- 20\%$	$> 0,88$	1,1	$- 20\%$	$> 0,88$	1,1	$- 20\%$
Transversalmente en las alas y en el alma.....	$> 0,72$	0,9	$- 20\%$	$> 0,72$	0,9	$- 20\%$	$> 0,72$	0,9	$- 20\%$
Calidad de plegado: K . Longitudinalmente en las alas y en el alma.....	> 72	90	$- 20\%$	> 64	80	$- 20\%$	> 56	70 ⁺	$- 20\%$
Transversalmente en las alas y en el alma.....	> 48	60	$- 20\%$	> 44	55	$- 20\%$	> 40	50	$- 20\%$

La calidad alemana se emplea principalmente en Alemania, Austria, Dinamarca, Holanda, Noruega, Rumania, Suiza, Suecia y Yugoslavia.

La calidad francesa se emplea principalmente en América, Bélgica, Francia e Italia.

La calidad inglesa se emplea principalmente en Inglaterra y sus Dominios.

Bien sabido es que no es posible la obtención de resultados completamente similares en todos los ensayos que se realizan sobre material de semejante composición y fabricación.

Dan lugar a dichas pequeñas aparentes anomalías las diferencias inevitables de composición y fabricación de los diversos lingotes, debidas a las tampoco evitables desemejanzas en las cargas de los hornos, los fenómenos de segregación química y física dentro de aquéllos, la laminación y el efecto de reducción de sección del lingote a la pieza fabricada, con el alma generalmente de débil espesor y las alas de mayores dimensiones, así como las influencias térmicas durante el laminado.

Todo ello aconseja tomar como base para la determinación de las características mecánicas, así como para la regularidad del acero, y esto para todos los ensayos, los valores medios con un cierto margen de tolerancia.

Estos márgenes sirven de medida de la regularidad que debe presentar un acero en sus calidades, siendo, por lo tanto, un factor de garantía; por eso en el cuadro anterior, propuesto por la Comisión suiza que intervino en los ensayos, se señalan estos límites de tolerancia, anotándose los valores extremos que pueden admitirse.

Tipos de perfiles.

Puede afirmarse que la Sociedad Differdange es la que no sólo en Europa, sino también en América, lamina perfiles de mayores dimensiones y de series más completas.

En España muy tímidamente se camina en la orientación señalada, pero queda todavía mucho camino por recorrer.

Las series Grey-Differdange son cuatro, conocidas por las abreviaturas DIN, DIR, DIE, DIL, o sea, la normal, reforzada, económica o ligera, de alas y alma delgadas.

La serie DIN es la base de todas las demás, con las características siguientes:

a) Para los perfiles de 12 a 30 centímetros de altura tiene una anchura de alas igual a la altura.

b) Para las viguetas de ala de 30 cm. para arriba, su anchura es uniforme, de 30 cm.

El perfil de dimensiones máximas tiene las características que se indican en el croquis de la figura 18 y a continuación se detallan, no laminándose de esta serie el perfil DIL:

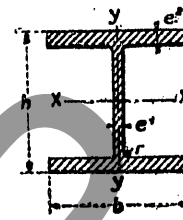


Figura 18.

SERIE	DIMENSIONES				Secciones.	Peso.	CARACTERÍSTICAS CON RELACIÓN AL EJE			
	h	b	e_1	e_2			X - X		Y - Y	
	—	—	—	—			I_x	$\frac{I_x}{V_1}$	I_y	$\frac{I_y}{V_1}$
	mm.	mm.	mm.	mm.			cm. ²	Kg. m./l.	cm. ²	Kg. m./l.
DIR	1 008	302	21	40	444,21	348,70	722 326	14 332	18 456	1 222
DIN	1 000	300	19	36	400,05	314,04	644 748	12 895	16 276	1 085
DIE	992	298	17	32	356,22	279,63	568 988	11 477	14 172	951

En la figura 19 se representan, mediante superposición, los máximos perfiles laminados por las fábricas que principalmente se dedican a este tipo de viguetas, apareciendo, como ya se ha indicado, como el perfil gigante, en su altura, el de la serie Grey-Differdange, y por lo que se refiere a la anchura de alas, espesores de éstas y también su peso, el laminado por la fábrica norteamericana Bethlehem, que también puede considerarse como un verdadero "record", con un peso por metro lineal de 635 kg.

Ventajas comprobadas en las aplicaciones.

1.^a Regularidad en la calidad. — Ya se ha comprobado que por los métodos de fabricación empleados, especialmente al utilizar cilindros con acanalamuras abiertas en vez de cerradas, se eliminan todos

los riesgos inherentes a los procedimientos corrientes de laminación al alejar la posibilidad de que existan tensiones interiores muy sensibles y garantizar al metal correspondiente a las zonas de unión de alas y almas la misma calidad y homogeneidad, condiciones esenciales para los grandes perfiles, especialmente de alas anchas.

2.^a Sencillez y exactitud en los cálculos. — No hay duda de que son fáciles y bien conocidos los métodos de cálculo precisos para la determinación de las secciones de una viga, cualquiera que sea el trabajo que haya de desarrollar, pero tampoco cabe desconocer cuánto más fáciles son y más se aproximan a la realidad, cuando se trata de una viga laminada y no armada, por elementos precisos, cosidos bien por roblonado, atornillado o soldadura, pues aunque

los cálculos determinan el número y dimensiones de los elementos que enlazan, su mano de obra se presta en toda ocasión a deficiencias prácticas que lógica-

mente no se presentan en una barra laminada, y sus condiciones de fabricación son casi perfectas, como conseguidas por la adopción de los métodos empleados para estos grandes perfiles.

3.^a *Rigidez y monolitismo.* — Bien conocidas son las ventajas que se derivan de que los diversos elementos constituyentes de una estructura o construcción tengan el menor número posible de juntas o uniones, que siempre pueden ser por defecto de cálculo, pero principalmente por deficiencias de ejecución, puntos débiles; siendo esta causa base principal de argumentación, que emplean los defensores sin tasa del hormigón armado en contra de la estructura metálica.

Tales inconvenientes pueden considerarse atenuados, si no desaparecidos, en la construcción realizada con estas vigas de grandes perfiles, puesto que desde luego desaparecen en ellas las costuras de fijación y disminuye considerablemente el número de las costuras de fuerza al emplear barras de considerable longitud, que, como ya se ha dicho, pueden, en muchos casos, utilizándose lingotes adecuados, pasar de los 60 metros.

4.^a *Resistencia a las acciones dinámicas.* — Es motivo de constante discusión entre los técnicos defensores de los dos principales sistemas constructivos, el hormigón armado y el metálico, la capacidad de uno u otro para resistir las acciones dinámicas.

En el comienzo de la aplicación de aquel sistema no había técnicos que se arriesgasen a su empleo, si la construcción de que se trataba había de estar sometida a fuertes acciones dinámicas o de impacto.

Actualmente ya ha evolucionado mucho la opinión, aunque se sigue estimando preferible en tales casos las construcciones metálicas; pero aun dentro de este sistema, la construcción será tanto más útil para resistir tales acciones cuanto menor sea el número de las uniones o costuras de una u otra clase.

Es evidente la conveniencia de la aplicación de estas barras desde este punto de vista.

5.^a *Modificaciones y refuerzos.* — Una de las evidentes ventajas de la construcción metálica sobre la de hormigón armado corresponde a la facilidad de modificar su disposición si las circunstancias así lo exigen. Por el contrario, la construcción de hormigón armado presenta serias dificultades, incrementadas muchas veces por la ignorancia de la disposición interna de las armaduras metálicas, si no se poseen suficientes antecedentes de la obra.

El refuerzo o sustitución de ciertos elementos, la modificación de sus enlaces, son tanto más sencillos cuanto más fácil es la ejecución primaria de aquéllos, y ésto, indiscutiblemente, se logra con estos perfiles que atraen ahora nuestra atención,

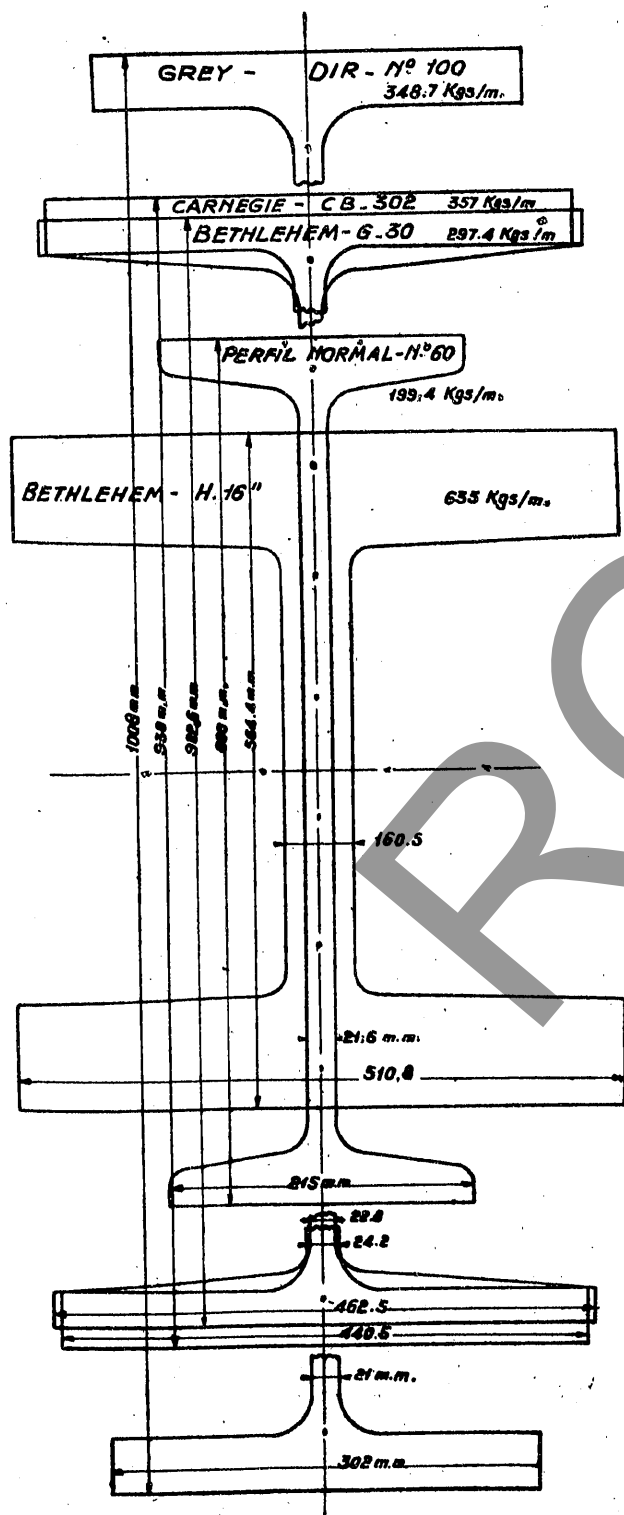


Figura 19.

La disposición adoptada, de que ya se ha hecho mención, de que las alas tengan sus caras paralelas, fácilmente se comprende cuán sencillas resultan las uniones y enlaces, bien complicados cuando aquella práctica disposición no existe.

6.^a *Rapidez en el montaje.* — No hacen falta muchos detalles para comprender cuánto más rápido ha de ser este montaje con estos materiales, y menos todavía será preciso demostrar la extraordinaria ventaja que representa el adelanto de estos trabajos en obras importantes en las que los intereses intercalarios alcanzan sumas importantes.

Se citan, entre otros, dos casos en los que las estructuras han estado formadas exclusivamente por viguetas Grey.

Es el primero el Grand Hotel Palmershouse, en Chicago, de 23 pisos; su montaje ha llevado un ritmo de piso por semana.

En Europa se puede citar el enorme edificio, verdadero rascacielos, construido en Amberes por la Algemeene Bankvereeniging, de 26 pisos, cuyo montaje se desarrolló entre el 25 de octubre de 1929 y 26 de febrero de 1930, o sea, con un ritmo semanal de piso y medio.

Para no faltar a la imparcialidad, se indican a continuación algunos reparos que se hacen por los proyectistas, y con cierto fundamento, al empleo de estas viguetas.

Dicen que disponiéndose de una colección que, aunque numerosa es realmente limitada de secciones, puede, en algunos casos, ser más económica la sección y el peso de una viga armada o compuesta que la de una laminada; pero para juzgar esto, no deben compararse sólo sus pesos, sino su coste, pues el de una barra armada es muy superior por unidad de peso al de una laminada, según ya anteriormente se ha hecho mención.

Este inconveniente puede acentuarse cuando las vigas que se comparan no son de sección constante; en efecto: una viga armada con sección variable no hay duda pesa menos que una cuya sección sea constante e igual a la máxima necesaria, con evidente desaprovechamiento del material.

Para estos casos habrá de comprobarse previamente cuál de las dos soluciones es la más conveniente, no adoptando una u otra ciegamente por simpatías o inclinación.

En todas estas comparaciones de carácter económico, que han de conducir a una resolución, existe como factor importante, y que en ocasiones puede tener carácter decisivo, la rapidez en la ejecución y terminación de la obra, pues el capitalista, siempre, como es lógico dentro de ciertos límites, prefiere comenzar a obtener beneficios de la obra terminada, aunque ésto le represente alguna cifra mayor de desembolso inicial.

7.^a *Disposiciones de los perfiles.* — Las alas de grandes dimensiones proporcionan grandes ventajas en los enlaces.

Para reconocerlo, lo mejor es acudir a un ejemplo:

La vigueta normal del número 32, o sea con 320 mm. de altura, tiene únicamente 131 mm. de anchura total de cabezas. La anchura libre de la semicabeza o ala es solamente de 60 mm., y de esta dimensión deben, además, descontarse las partes redondeadas.

En esta anchura no es posible colocar un roblón de mayor diámetro de 18 mm., puesto que su espesor medio es de 17,3 mm.

Esto en el perfil normal de mayores dimensiones, y todo ello, como es lógico, más acentuado en los perfiles de secciones inferiores.

Por el contrario, los perfiles de grandes dimensiones, aun en los de secciones inferiores, la anchura de cabeza es constante en todos ellos e igual a 300 milímetros, lo que proporciona mayores facilidades.

En cuanto al paralelismo de las dos caras de las cabezas, o sea el espesor constante de las alas, proporciona igualmente grandes ventajas.

Todo constructor sabe que la oblicuidad de la parte inferior de aquéllas, en los perfiles de tipo normal, produce verdaderas molestias y trastornos en las uniones.

Si se roblonan éstas, los roblones tienen muchas posibilidades de no quedar bien colocados, resultando oblicua una de sus cabezas en relación a su eje; si la unión se hace por tornillos, se impone la colocación de ovalillos de sección desigual.

El paralelismo de las alas evita todos estos inconvenientes, pues permite poner en contacto las piezas paralelas y realizar varios enlaces de cruzamiento recto u oblicuo con gran continuidad y rigidez.

Aquellos inconvenientes no están tan acentuados si como procedimiento de unión se emplea la soldadura, pero aun ésta da mucho mejor resultado en las alas de espesor uniforme.

Esta circunstancia aconseja el empleo, cada vez más creciente, de dicha soldadura.

Veamos qué ventajas representan estos perfiles en las vigas, trabajando al pandeo, que son la parte más delicada de la construcción metálica, y cuyo proyecto exige más atento estudio.

Bien sabido es que influye considerablemente la esbeltez de la pieza, pero con la condición de que ésta forme un conjunto bien rígido para que el cálculo de su momento de inercia no sea ilusorio.

Desde luego, prácticamente, no son equivalentes todas las secciones que tengan el mismo radio de giro, pues tal vez en el terreno de los ensayos en todas no resistan sus elementos componentes y sus

diversas partes igualmente ni quedan en la misma posición relativa y sin deformaciones su sección.

Evidentemente, desde este punto de vista, una sección formada con un elemento único bien homogéneo, sin zonas débiles, es preferible a cualquier otra.

No hay duda que la sección tubular es la preferible; pero, aparte de la dificultad de su preparación, es muy grande la que presentan sus uniones con otros elementos, y aparte de esta disposición, las viguetas que se estudian constituyen, sin discusión, excelentes columnas.

Las uniones de estas columnas con los demás elementos que con ellas han de enlazarse, resultan muy fáciles y seguras.

En cuanto a la unión de los diversos elementos que constituyen una columna de éstas, cuya sección lógicamente ha de ir disminuyendo de abajo a arriba, al ser menores las sobrecargas que han de resistir, sus disposiciones presentan como solución constructiva excelente la de que el perfil de la columna, en su parte superior a otra parte que inferiormente ha de existir, ha de estar íntegramente apoyada en la sección de ésta, y de este modo la transmisión de esfuerzos se hace por completo a través de ambas secciones sin necesidad de grandes y complicados roblonados, soldaduras, etc., reduciéndose al mínimo las cubrejuntas, forros, etc.

En el caso de que se precisen muy grandes secciones de las columnas, mayores que las que facilitan los perfiles de los catálogos, se pueden fácilmente unir por roblonado o soldadura, planos en las cabezas de las viguetas o enlazar dos o tres de éstas, colocándolas generalmente en cruz; con este procedimiento se logra aumentar considerablemente el radio de giro mínimo y, por el contrario, disminuir la esbeltez de la pieza.

Resumen.

De cuanto queda expuesto puede deducirse la conveniencia de orientar las actividades industriales en los dos sentidos que a continuación se exponen:

1.º Las Empresas siderúrgicas nacionales deben, con todo interés, seguir el camino iniciado por la industria extranjera, que desde hace buen número de años ha adoptado, aprovechando para ello no sólo los conocimientos propios, sino también las experiencias y prácticas ajenas, para poder suministrar al mercado los productos reseñados, que seguramente han de tener franca y entusiasta acogida.

2.º Todos los constructores y proyectistas de estructuras metálicas, bien se trate de tramos o edificaciones, deben orientar sus estudios en el mismo sentido indicado para la adquisición de vigas de grandes dimensiones, comparando los resultados obtenidos con los perfiles normales, hoy únicos disponibles en el mercado nacional y con los que en el Extranjero se pudieran adquirir (aunque desde luego considero inaceptable acudir, aun en este caso, al mercado no nacional), para poder, a la vista de los resultados favorables que seguramente representa la prosecución en tal sentido, convencerse a sí mismos, y a los jefes de las industrias siderúrgicas, de la segura acogida que tendrían los productos nacionales que se obtuvieran y que se ajustasen a tales normas y condiciones.

Considero de tal importancia este asunto, estoy tan convencido de las ventajas que de su adopción se lograrían, que he trazado estas notas para divulgarlas entre todos aquellos en los que tal vez no estén demasiado extendidos estos conocimientos, y a los cuales, ciertamente, han de ser muy interesantes.