

implicaciones de la norma G40.20, de la Asociación de Normalización Canadiense (CSA), sobre la fabricación de perfiles huecos estructurales (PHE)

Juan Manuel de la Peña Aznar, Dr. Ingeniero Industrial

761-3

sinopsis

Como consecuencia de las investigaciones sobre soportes tubulares, hormigonados interiormente, emprendidas bajo el patrocinio del «Comité International pour le développement et l'étude de la Construction Tubulaire», abreviadamente CIDECT, este Estudio acomete la evaluación del efecto de las tensiones residuales originadas por los diversos procedimientos de fabricación de tubos, en la reducción de la resistencia de los soportes o barras sometidas a compresión, compuestos por perfiles huecos estructurales, abreviadamente PHE.

ADVERTENCIA

El «Comité International pour le développement et l'étude de la Construction Tubulaire, CIDECT», ha coordinado y patrocinado los ensayos de soportes tubulares hormigonados interiormente y el difunto profesor P. Guiaux ha sido quien ha llevado a cabo tales ensayos en la Universidad de Lieja, en nombre del CIDECT y la compañía canadiense STELCO. Sin su contribución la redacción de este estudio no hubiera sido posible.

INTRODUCCION

En 1973, la Asociación de Normalización Canadiense (CSA), introdujo dos nuevas normas para las Estructuras de acero, a saber:

1. la G40.20, denominada «Requerimientos generales para la calidad del acero estructural laminado o soldado», y
2. la G40.21, denominada «Calidad de los aceros estructurales».

La norma G40.20 ha separado, por primera vez, los Perfiles Huecos Estructurales, abreviadamente PHE, en dos clases, definiendo tales PHE como tubos soldados o sin costura redondos; cuadrados; rectangulares u otros perfiles tubulares estructurales;

- A) de la clase H fabricados:
- a) sin soldadura o proceso de soldadura continua y formados y acabados en caliente, o
 - b) sin costura o proceso de soldadura automática que produzca una soldadura continua, formados y acabados en frío, con posterior eliminación de las tensiones residuales, mediante recocido a 450 °C o más, seguido de un enfriamiento al aire;
- B) de la clase C fabricados y acabados por conformación en frío, mediante proceso sin soldadura o por soldadura automática que dé lugar a una soldadura continua.

La diferencia básica entre estas dos clases de PHE consiste en que la clase C está conformada en frío y la H lo está en caliente, o bien en frío, pero en este caso eliminadas sus tensiones residuales. Estos diferentes métodos de fabricación dan como resultado unas tensiones internas relativamente pequeñas en los productos de la clase H, mientras que en los de la clase C son muy significativas.

Este Estudio acomete la evaluación del efecto de las tensiones residuales, en la reducción de la resistencia de los soportes o barras sometidas a compresión compuestos de PHE.

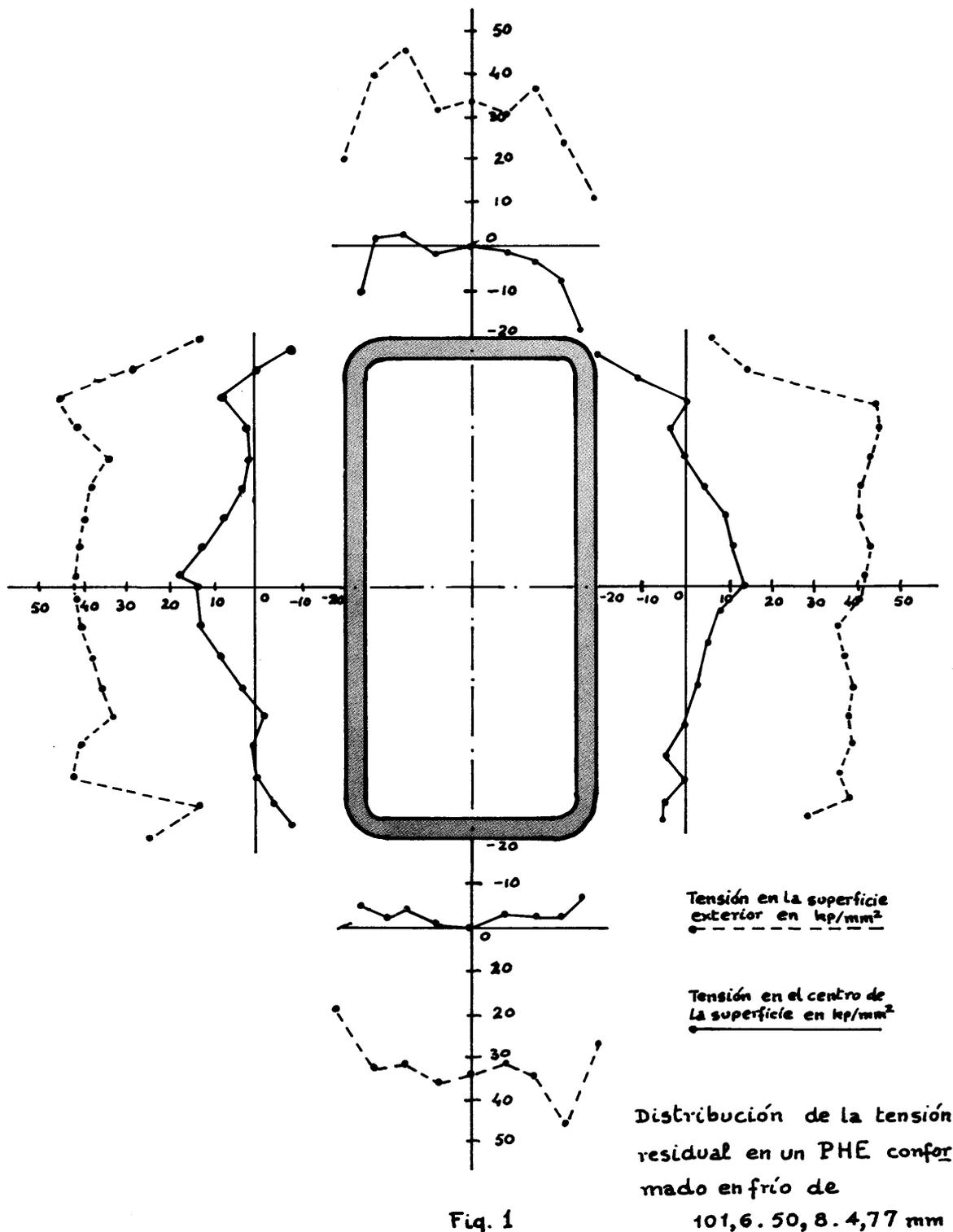


Fig. 1

TENSIONES RESIDUALES

Las tensiones residuales de los PHE, conformados en caliente, se deben al desigual enfriamiento del material después de su conformación, así como al posterior enderezamiento de los PHE hecho en frío. En cambio en los PHE, conformados en frío, las tensiones residuales son debidas casi enteramente al trabajo en frío del material durante su conformación. Las tensiones residuales se mitigan por calentamiento, que reduce o elimina aquéllas. Hay varios métodos para determinar el valor de las tensiones residuales. Un método consiste en cortar un trozo corto del PHE (u otra sección de acero) en sentido de tiras longitudinales. La operación de corte elimina las tensiones residuales en la sección, resultando un cambio de dimensiones en las tiras. Midiendo estos cambios de dimensiones, se pueden estimar las primitivas tensiones residuales.

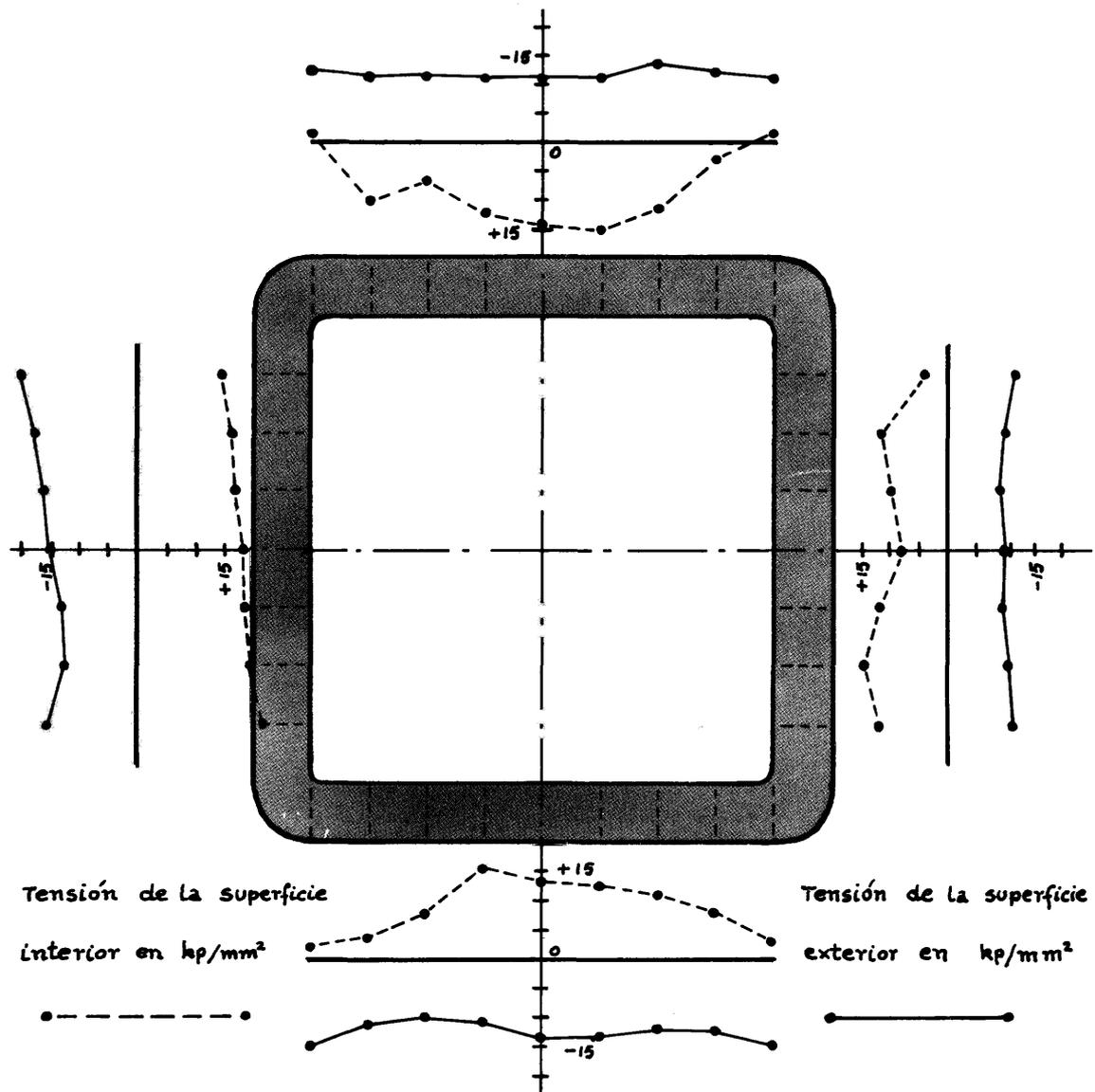


Fig. 2 Distribución de la tensión residual de un PHE formado en caliente de 88,9.88,9.7,94 mm

El ejemplo típico de distribución de tensiones residuales, en los PHE de clase C, se da a conocer en la Fig. 1 y que, para los conformados en caliente, de la clase H, se expone en la Fig. 2.

Otro método de medida de las tensiones residuales en una sección consiste en ensayos sobre soporte corto. Por este método una columna de corta longitud se comprime en una máquina de ensayo, produciéndose unas compresiones con las que poder trazar el diagrama de tensiones medias en la sección ensayada. La desviación de este diagrama de la curva esfuerzo-deformación, para el material del soporte en tensión, es debida a la tensión residual en la sección. La Fig. 3 ilustra el resultado de un ensayo típico sobre columna corta de una pieza de PHE de clase C. La curva de la columna corta es una recta hasta su cruce con el comienzo del límite de proporcionalidad. El valor de la tensión residual máxima es, aproximadamente, la diferencia entre la tensión de ruina y el límite de proporcionalidad obtenido del ensayo del soporte corto.

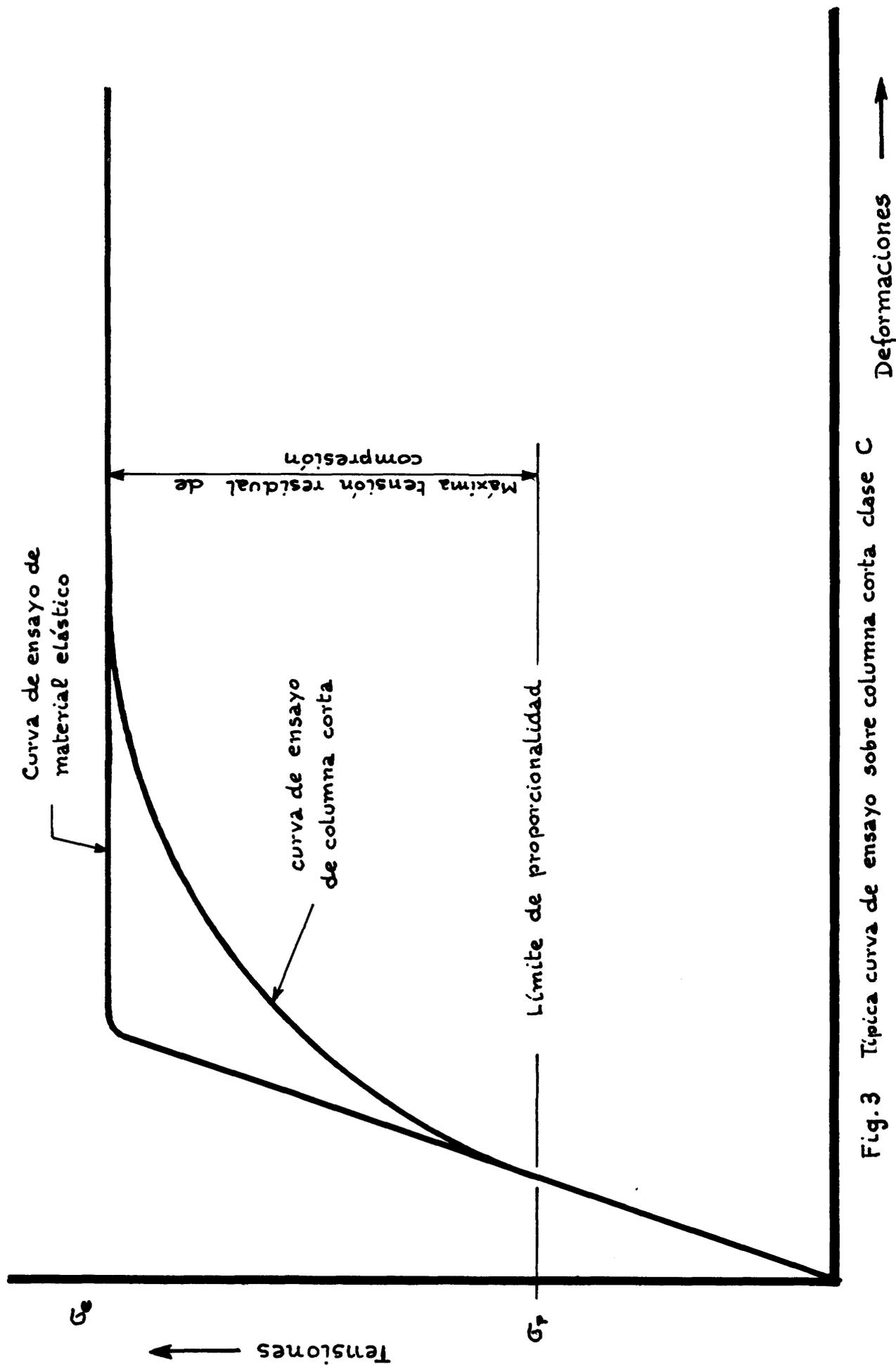


Fig. 3 Típica curva de ensayo sobre columna corta clase C

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS SOBRE SOPORTE CORTO

El autor Tall ha dirigido los ensayos sobre soporte corto, de PHE de clase H, mientras que el profesor GUIAUX ha ensayado y evaluado los PHE conformados en frío y los conformados en frío recocidos. El límite de proporcionalidad a compresión, expresado como porcentaje de la resistencia de rotura a compresión varía como sigue:

— Conformados en caliente	Clase H	82 + 98 %
— Conformados en frío recocidos	Clase H	81 + 97 %
— Conformados en frío	Clase C	9 + 78 %

Una típica comparación de las curvas de los PHE sobre columnas cortas, fabricadas por los tres métodos anteriores, se da a conocer en las Figs. 4 y 5. La Tabla 1 resume la lista de los resultados de los ensayos sobre columna corta. Puesto que pueden emplearse materiales con diferentes resistencias las Figs. 4 y 5 son adimensionales, con vistas a la adaptación de las resistencias de ruina medidas en ensayos de columna corta (con 0,2 % de garantía).

Los ensayos han dado a conocer que los PHE, conformados en caliente y los conformados en frío y recocidos, tienen el mismo nivel de tensión residual. Como es natural dichos ensayos también han puesto de manifiesto que los PHE conformados en frío tienen una tensión residual mucho más alta que cualquiera de los conformados en caliente o en frío, pero recocidos.

TABLA 1
RESULTADOS TÍPICOS DE ENSAYOS SOBRE COLUMNAS CORTAS

DIMENSIONES (mm)	TIPO	LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (kp/mm ²)	RESISTENCIA DE ROTURA (kp/mm ²)	RELACION —
88,9 × 88,9 × 7,92	Conformados en caliente	20,9	25,5	0,82
152,4 × 101,6 × 6,35		27,3	29,7	0,92
254,0 × 254,0 × 12,70		26,4	26,9	0,98
304,8 × 304,8 × 9,52	Conformados en frío y recocidos	39,8	41,0	0,97
203,2 × 203,2 × 11,43		34,5	41,6	0,82
152,4 × 101,6 × 6,35		31,1	36,5	0,85
125,0 × 125,0 × 6,00	Conformados en frío	14,1	32,6	0,43
125,0 × 125,0 × 3,00		15,0	32,5	0,46
304,8 × 304,8 × 9,52		3,8	40,8	0,09
203,2 × 203,2 × 11,43		8,2	45,7	0,18
152,4 × 101,6 × 6,35		10,9	42,4	0,26

RESISTENCIA DE LA COLUMNA

Ensayos cuidadosos sobre la resistencia y el recocido de columnas (es decir, columnas sin tensiones residuales, sin excentricidad de la carga y rectas) enseñan que la resistencia de la columna puede predeterminarse empleando la teoría del módulo tangencial, en conjunción con el diagrama tensión-deformación del material de que se trate. La carga de ruina predeterminada está limitada por la carga de rotura, o la carga crítica de Euler. Sin embargo, las columnas reales no son perfectamente rectas, soportan cargas algo descentradas y contienen cierto nivel de tensiones residuales. Cuando las tensiones residuales son pequeñas, la reducción de resistencia de los soportes puede ser atribuida a la excentricidad inicial y a su falta de rectitud exclusivamente. Pero en cambio los elevados niveles de las tensiones residuales de compresión en las columnas, son causa de que en ciertas partes de su sección bruta, bajo la aplicación de una tensión uniforme, se obtengan tensiones inferiores a la resistencia del material. Este, a su vez, causa una disminución de la resistencia

de la columna. Los ensayos de columna corta se pueden utilizar para determinar el módulo tangencial y la superficie efectiva (el área de la sección que no está cedida) para la sección total bajo varias cargas.

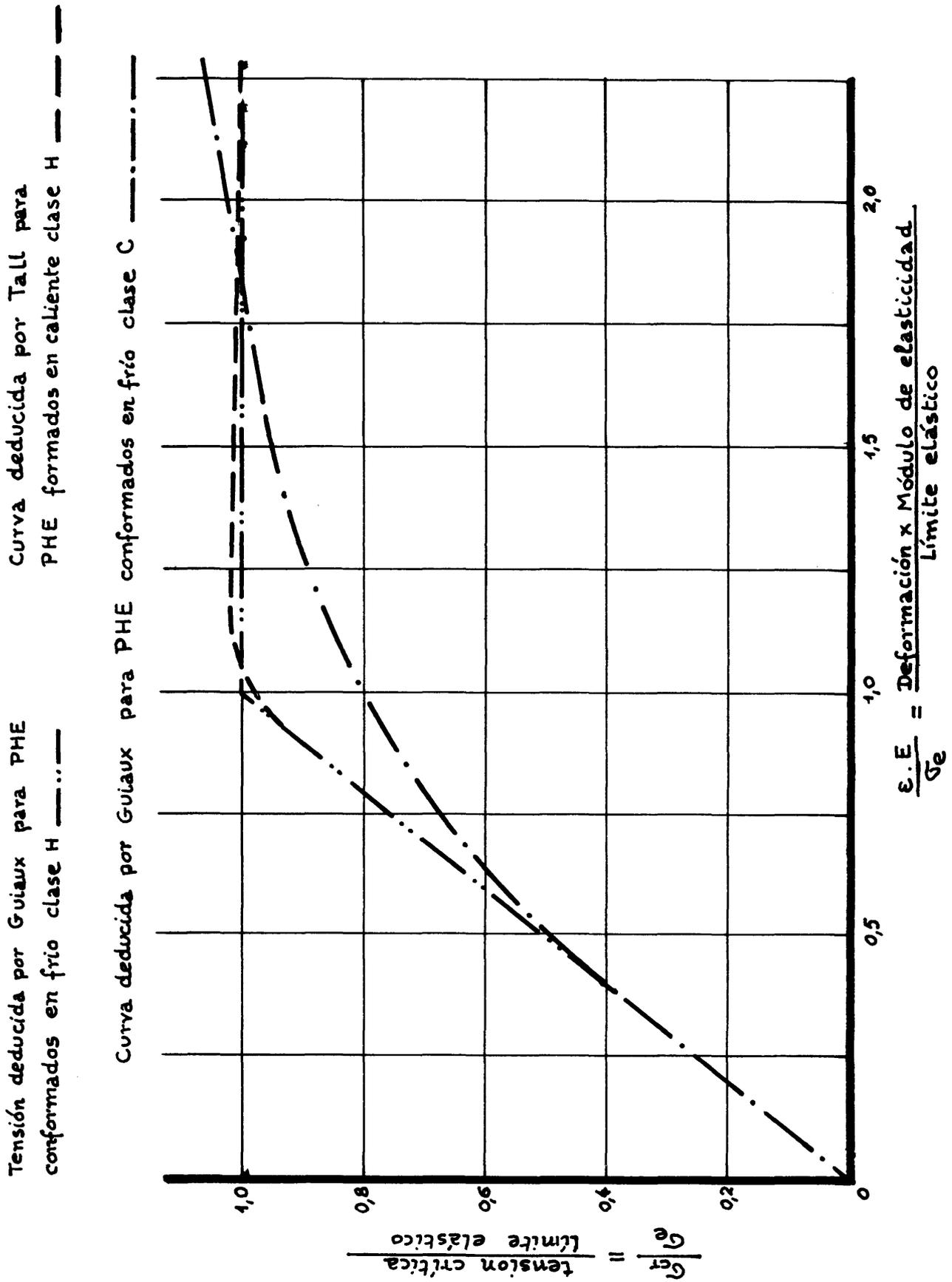


Fig.4 Curvas de columna corta para PHE de 152,4.101,6. 6,35 mm

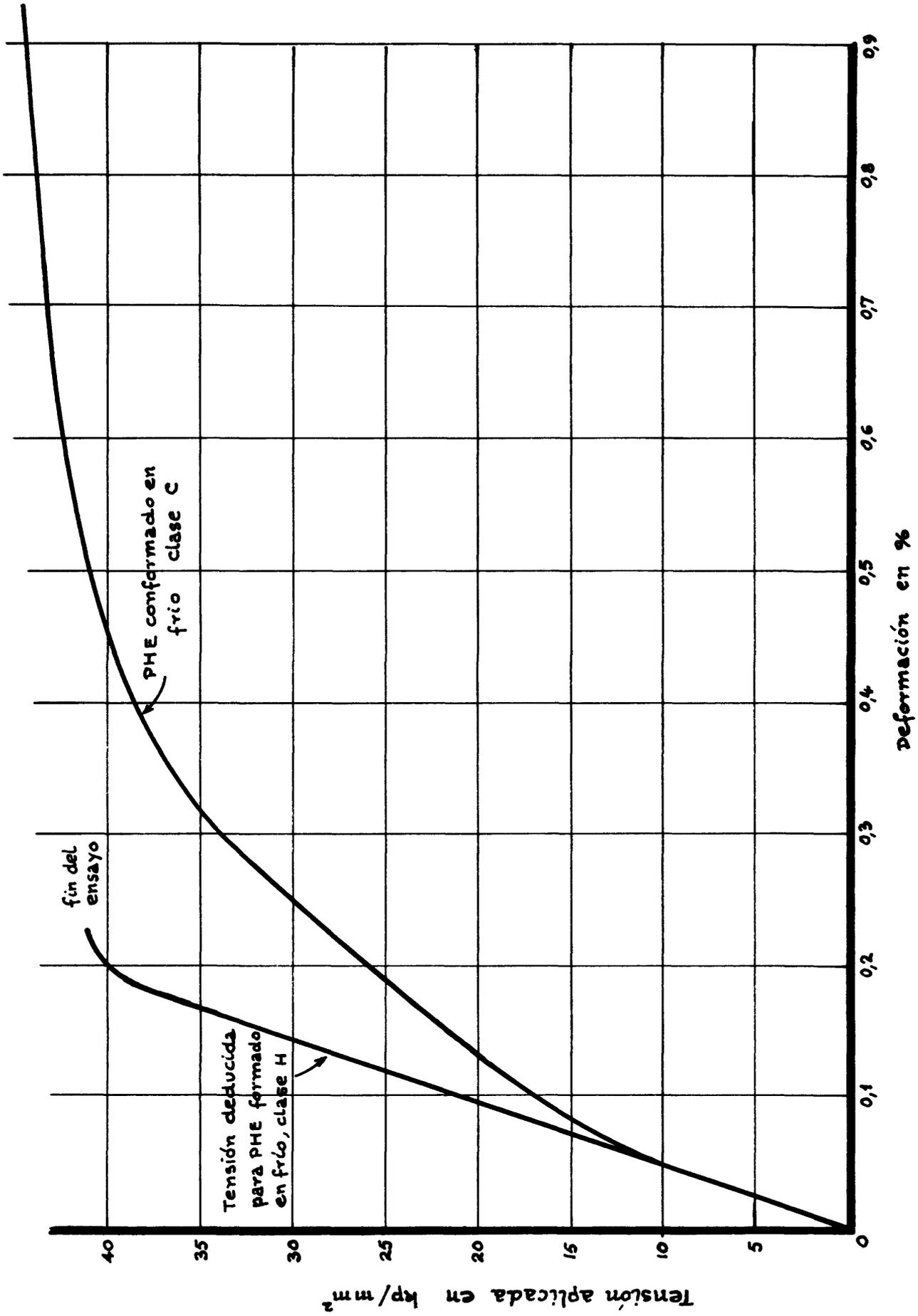


Fig. 5 Comparación de ensayos sobre columna corta de 304,8. 304,8. 11, 43 mm

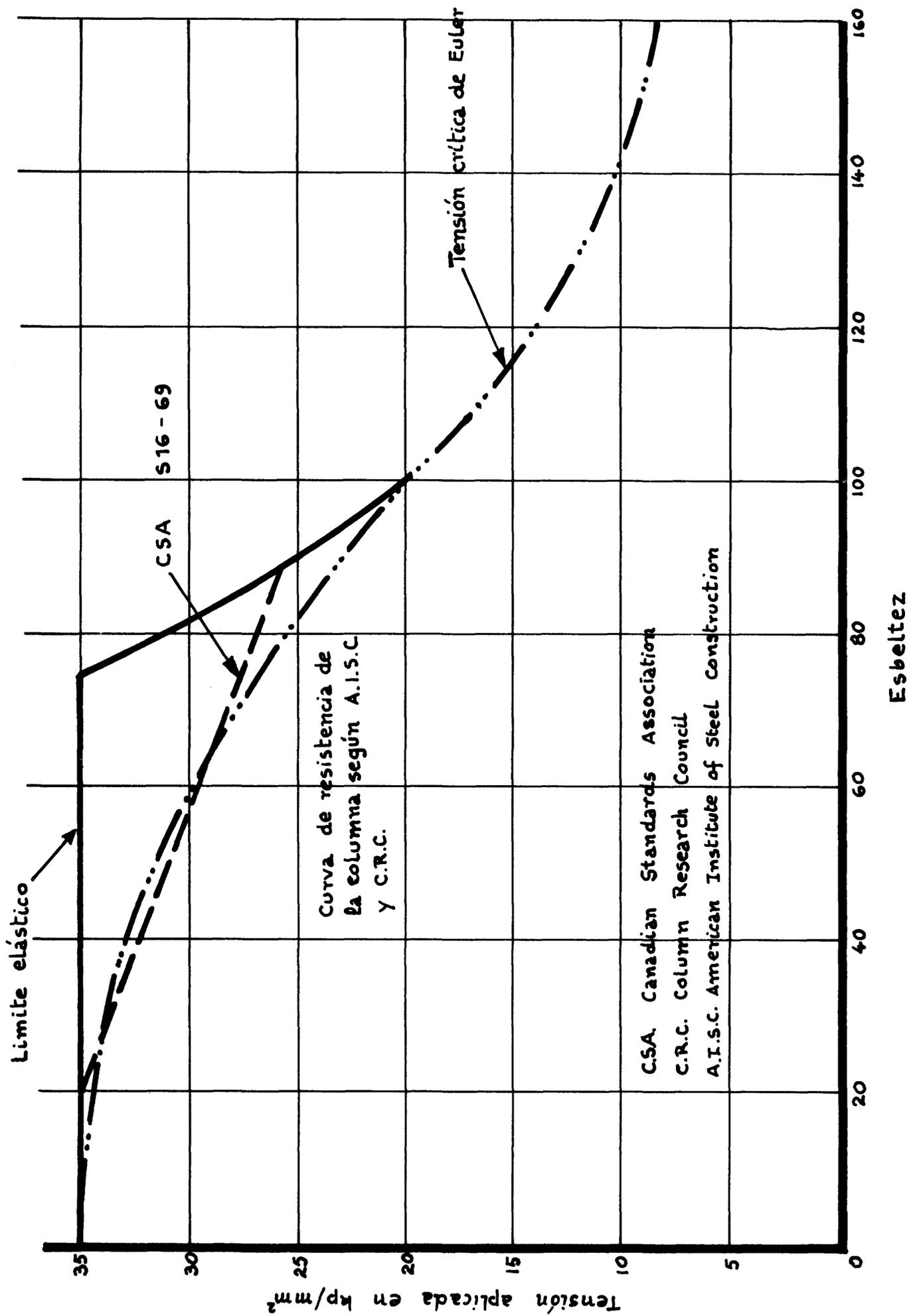


Fig. 6 Curvas propuestas para columnas de acero con 35 kp/mm² de límite elástico

El efecto de la tensión residual en la capacidad de carga de los soportes está tenido en cuenta en la mayoría de las normas para estructuras. La Fig. 6 da las curvas para la resistencia de columnas para 35 kp/mm², mínima carga de rotura del acero especificado en las normas. La tensión admisible se obtiene dividiendo aquélla por el coeficiente de seguridad. De tales curvas se deduce que la tensión crítica de las columnas se desvía de la resistencia a rotura del material y de la carga crítica de Euler, en un rango de esbelteces que va de 20 a 100 aproximadamente. Esta desviación o ajuste de las curvas de la Fig. 6 se ha basado en numerosos ensayos sobre perfiles HEB laminados en caliente, en que la media del valor máximo de tensiones residuales por compresión está alrededor del 30 por 100 de la resistencia de rotura.

La Fig. 7 da a conocer la distribución de las mediciones de las tensiones residuales para un perfil HEB, fabricado con acero de norma ASTM A-7. Tales tensiones residuales son debidas al desigual enfriamiento después del laminado en caliente.

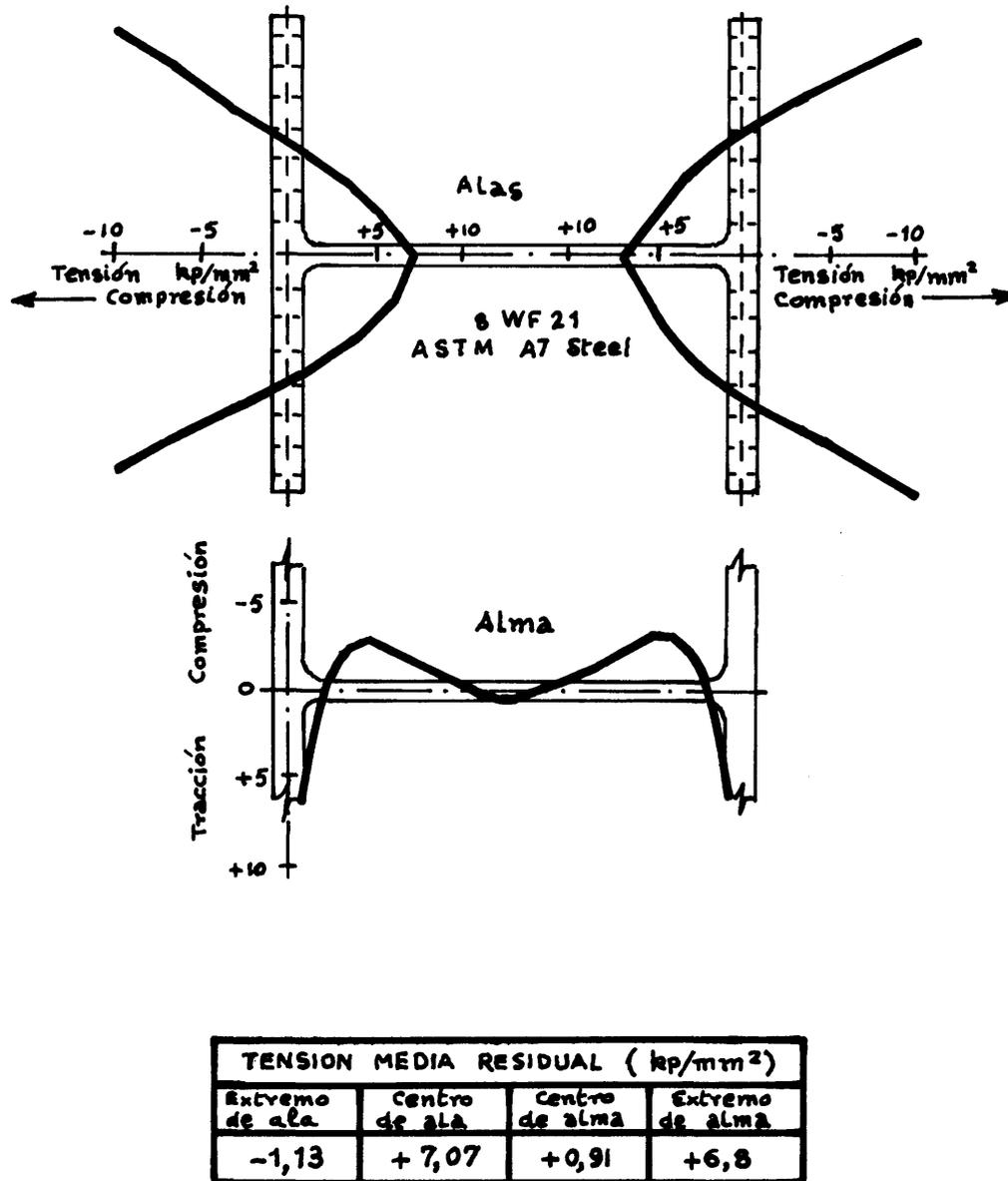


Fig.7 Ejemplo de tensiones residuales en un perfil de ala ancha

Puesto que la media de las máximas tensiones residuales en los PHE conformados en frío, son considerablemente mayores que las obtenidas en los perfiles HEB laminados en caliente, de ello se deduce que la tensión crítica de compresión de los PHE, conformados en frío, será considerablemente menor que la de los perfiles HEB. Similarmente, desde el momento en que la mayoría de las curvas trazadas en casi todas las normas, están basadas en ensayos sobre perfiles HEB, se deduce que el uso de tales curvas para proyectos estructurales, a base de PHE conformados en frío, puede reducir grandemente y hasta eliminar el coeficiente de seguridad.

Guiaux y Sherman han dado a conocer las reducciones de la resistencia en columnas desde las mayores hasta el 40 por 100 de la norma S16-1969 (CSA), en base a las curvas de resistencia de columnas de PHE, evidentemente de clase C, para esbelteces entre 45 y 160. Guiaux ha declarado que ninguna de las curvas obtenidas por el Consejo de Investigación sobre Columnas (C.R.C.) ni la norma S16-1969 de la CSA, corresponde satisfactoriamente al comportamiento real del pandeo de PHE conformados en frío. La Fig. 8 da a conocer la curva de la resistencia de la columna de la norma S16-1969 canadiense (CSA), y las tensiones admisibles a compresión, en relación con el resultado de los ensayos de Guiaux hechos con columnas de PHE conformados en frío con su tamaño total.

Para poder tener en cuenta la variación de la resistencia de rotura de las columnas ensayadas las figuras 8 y 9 son adimensionales, para poder medir en un ensayo tensional la resistencia a rotura. Es de notar que en los desiguales ensayos de muestras a tensión, para perfiles HEB, los resultados se toman en la parte más fuerte de la sección recta, es decir, en el nervio, y en las muestras de los PHE se toman en las caras de los mismos, que es la parte más débil de los perfiles conformados en frío.

Las curvas de tensión admisible de la norma S16 canadiense suponen un coeficiente de seguridad de 1,67. Para compensar los efectos combinados de las tensiones residuales, deformación inicial y excentricidad de la carga, el coeficiente aparente de seguridad se incrementa desde 1,67, para los más pequeños valores de la esbeltez, hasta 1,92, en los alrededores de la esbeltez supuesta por encima del fallo por pandeo inelástico cuando varía a pandeo elástico. En la Fig. 8 puede verse que el actual coeficiente de seguridad, para la clase C de los PHE, es considerablemente menor que los coeficientes de seguridad adoptados en la norma.

La media de las tensiones máximas residuales para la clase H de los PHE, es notablemente menor que en los perfiles HEB, sobre quienes la norma se basa. Tall y Guiaux han llegado a la conclusión que los valores de las tensiones residuales en PHE de clase H son prácticamente despreciables, y tienen una influencia insignificante en la resistencia de la columna. En niveles inferiores de la tensión residual, la causa que más influye en la disminución de la capacidad de carga de las columnas es su falta de rectitud. Por consiguiente, el uso de la norma S16-1969 canadiense, para perfiles conformados en caliente o en frío de clase H, proporciona un aumento del coeficiente de seguridad utilizado para otra clase de perfiles. La Fig. 9 da a conocer el resultado de los ensayos de los perfiles clase H, en comparación con la curva de resistencia de la columna de la norma canadiense S16-1969 y la tensión admisible en compresión axial.

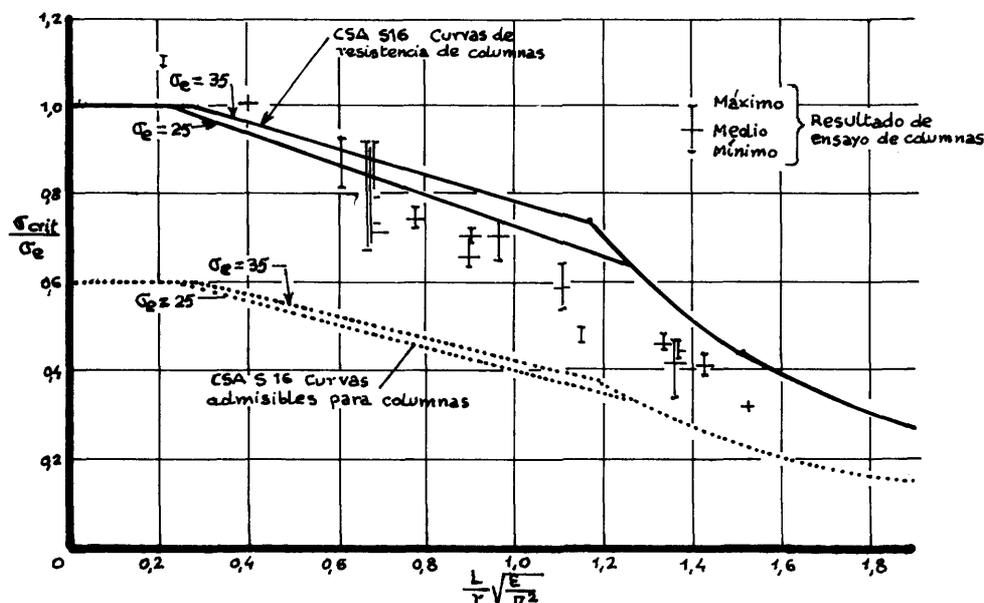


Fig. 8 Curvas de ensayo de columnas según CSA S16-1969 para PHE rectangulares clase C

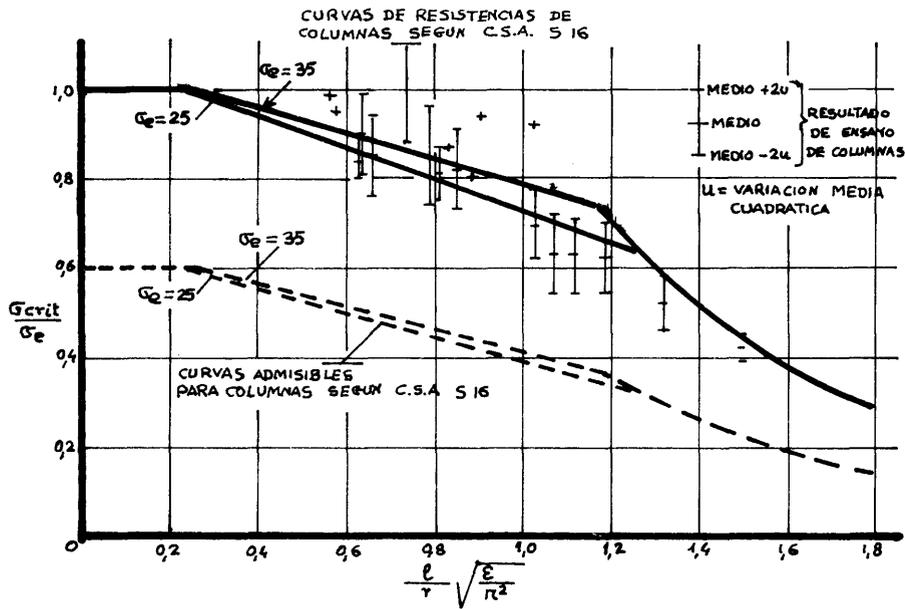


Fig. 9 Resultado de ensayo de columnas PHE rectangulares según CSA S 16 - 1969

résumé

IMPLICATIONS DE LA NORME G40.20 DE L'ASSOCIATION DE NORMALISATION CANADIENNE (CSA) SUR LA FABRICATION DE PROFILS CREUX STRUCTURAUX (PCS)

Juan Manuel de la Peña Aznar,
Dr. ingénieur industriel

A la suite des recherches sur les supports tubulaires bétonnés intérieurement, effectuées sous le patronage du «Comité International pour le développement et l'étude de la Construction Tubulaire», en abrégé CIDECT, cette étude fait l'évaluation de l'effet des contraintes résiduelles, dues aux divers procédés de fabrication de tubes, sur la réduction de la résistance des supports ou des barres soumis à la compression, composés de profils creux structuraux, en abrégé PCS.

summary

IMPLICATIONS OF THE STANDARD G40.20, OF THE CANADIAN STANDARDISATION ASSOCIATION (CSA), ON THE MANUFACTURE OF HOLLOW STRUCTURAL SECTIONS (H.S.S.)

Juan Manuel de la Peña Aznar,
Dr. Industrial Engineer

As a result of research on inner concreted tubular supports, undertaken under the auspices of the «Comité International pour le développement et l'étude de la Construction Tubulaire», CIDECT in abbreviated form, this study carries out the evaluation of the effect of residual stresses caused by the different methods of manufacturing tubes, in the reduction of strength of the brackets or bars subjected to compression, composed of hollow structural sections, abbreviated to HSS.

zusammenfassung

EINWIRKUNGEN DER NORM G40.20 DES KANADISCHEN VEREINS FÜR NORMUNG (CSA) AUF DIE FERTIGUNG VON HOHLBAUPROFILEN (PHE)

Dr. Ing. Juan Manuel de la Peña Aznar

Aufgrund der mit der Unterstützung des «Comité International pour le développement et l'étude de la Construction Tubulaire», Kurzbezeichnung CIDECT, unternommenen Untersuchungen, befasst sich diese Studie mit der Auswertung der Wirkung der durch die verschiedenen Rohrfertigungsverfahren verursachten Restspannungen auf die Festigkeitsminderung von druckbeanspruchten, aus Hohlbauprofilen, Kurzbezeichnung PHE, bestehenden Stützen oder Stangen.