

documentos

de la convención europea de la construcción metálica

844 - 1

sinopsis

Siguiendo la línea ya establecida anteriormente por «INFORMES DE LA CONSTRUCCION», nos complacemos hoy en publicar tres importantes documentos aprobados por la última Asamblea General de la Convención Europea de la Construcción Metálica, Asociación que desempeña, dentro del campo de las estructuras de acero, un papel semejante al que cumple el C.E.B. en el dominio de las estructuras de hormigón.

La publicación está expresamente autorizada por el Sindicato del Metal, que es el miembro español de la Convención. La traducción ha sido preparada por el Dr. Ingeniero de Caminos D. Juan Batanero, vocal de las Comisiones de Trabajo I, VIII y XII de la Convención.

recomendaciones preliminares

para el proyecto y dimensionamiento en seguridad de las estructuras metálicas.

Documento establecido por la Comisión I: «Normas y Reglamentos técnicos» y aprobado por la Asamblea General el 10 de mayo de 1966.

Composición de la Comisión:

Presidente ■ Prof. P. LORÍN, Francia.

Vocales ■ Profs. J. BATANERO, España; W. BONGARD, Alemania; S. FAITH, Yugoslavia;
G. B. GODFREY, Gran Bretaña; G. MAGENTA, Italia; F. de MIRANDA, Italia;
J. NICOLAÏ DE GORHEZ, Bélgica; R. J. SCHOR, Holanda; D. SFINTESCO, Francia; Prof. B. ZARIC, Yugoslavia.

noción de seguridad

El problema que se le plantea al constructor es el de realizar una estructura que ofrezca, desde el punto de vista de los servicios que está llamada a cumplir, una seguridad que se considere aceptable.

Para alcanzar este objetivo, los Reglamentos han impuesto siempre

- ciertos métodos de cálculo;
- ciertos criterios de dimensionamiento;
- ciertas reglas de buena ejecución.

En lo que concierne al acero, las primeras características esenciales que se tomaron en consideración fueron el límite elástico, el alargamiento plástico y la carga de rotura. Inmediatamente se comprendió que la carga de rotura presentaba escaso interés en cuanto a la seguridad de las construcciones; y que las características verdaderamente importantes eran el límite elástico y el alargamiento plástico. Igualmente fue atraída la atención sobre los riesgos de rotura frágil, de donde procede el interés que alcanzaron los ensayos de resiliencia. Los métodos de cálculo se han basado, al principio, y continúan basándose todavía en su conjunto, en el comportamiento puramente elástico del acero.

Se seguía de aquí que el criterio de dimensionamiento era el límite elástico afectado de un coeficiente de seguridad. Este coeficiente podía dar la impresión de que la seguridad era una magnitud mensurable, cuando en realidad se trata de una cualidad que se expresa por un cierto grado.

No obstante, se había introducido ya implícitamente una noción probabilista de la seguridad, puesto que el coeficiente de seguridad variaba con el caso de carga que se considerase (sobrecargas de uso, con o sin viento).

El concepto probabilista de la seguridad se ha perfilado mucho mejor desde entonces y ha guiado la evolución de los Reglamentos. En este sentido, las características de los materiales que constituyen la base del dimensionamiento se analizan partiendo de consideraciones estadísticas, siendo el objeto de este análisis el determinar para cada una de aquellas magnitudes físicas un valor medio y una desviación cuadrática.

Al lado de los coeficientes de seguridad, que afectan al valor admitido para el límite elástico, se han visto aparecer coeficientes de ponderación que tienen en cuenta la probabilidad de la presentación simultánea de cargas de carácter aleatorio. Estos coeficientes de ponderación se aplican: en algunos Reglamentos, a las cargas y, en otros, a las tensiones, calculadas bajo la hipótesis de comportamiento elástico teórico.

Ciertos Reglamentos hacen intervenir simultáneamente los coeficientes de seguridad, minorantes, y los coeficientes de ponderación. Esto parece característico de una evolución que no ha llegado todavía a su término y en la que todavía no ha sido perfectamente captada la noción de seguridad. Por otra parte, y paralelamente, algunas reglamentaciones han introducido correcciones para tener en cuenta el comportamiento plástico del acero, aunque los métodos de cálculo impuestos se basan siempre únicamente sobre el comportamiento elástico de dicho material.

En esta circunstancia ha parecido necesario a la Convención Europea de la Construcción Metálica enunciar más claramente los principios básicos de la seguridad, cuya consecuencia ha de ser una nueva evolución de los Reglamentos, de los métodos de cálculo y de las reglas de buena ejecución.

La seguridad es una cualidad que se expresa por un grado que caracteriza la probabilidad de ruina. Esta probabilidad de ruina es función:

- de la incertidumbre sobre la calidad de los materiales;
- de la probabilidad de presentación de ciertas sollicitaciones de carácter aleatorio.

El grado de incertidumbre deriva, por otra parte, de la naturaleza de las solicitaciones y, en general, va creciendo de las cargas permanentes a las sobrecargas de servicio y a las sobrecargas de origen climático.

La probabilidad a considerar es, además, la de la intervención simultánea de aquellas solicitaciones de carácter aleatorio, es decir:

del comportamiento mecánico de la estructura y, por tanto, de sus deformaciones y, como consecuencia, del grado de inexactitud que afecta a la determinación de estas deformaciones con los métodos de cálculo empleados;

de la incertidumbre en cuanto a la ejecución material de la estructura.

Esta noción probabilista es todavía una abstracción; representa un ideal que sirve de guía para la ejecución práctica.

Los principios que se exponen a continuación se deducen de aquella noción y representan el estado actual de las reglas, que deben continuar en constante evolución a fin de tender hacia el objetivo ideal fijado.

criterio de ruina

Puesto que la noción de seguridad reposa sobre una probabilidad de ruina, es esencial para la concepción y el dimensionamiento de las estructuras metálicas definir un criterio de ruina. El criterio generalmente adoptado es el del comienzo de las grandes deformaciones.

Para las piezas sometidas a tracción este criterio es el límite elástico aparente, puesto que, para los aceros de construcción, este límite es la frontera del dominio de los fenómenos de deformación plástica, dentro de cuyo dominio los alargamientos crecen rápidamente con la carga.

De hecho, en el concepto «límite de elasticidad», es necesario distinguir dos nociones esenciales:

- a** el límite considerado como límite de proporcionalidad;
- b** el límite considerado como límite de reversibilidad.

En la definición clásica experimental del límite de elasticidad es este segundo aspecto el que se ha retenido, especialmente cuando se adopta (como generalmente se ha convenido) como definición del límite elástico la del límite convencional 0,2 por 100.

Es precisamente ésta la definición general del criterio de ruina que conviene adoptar:

La ruina, para un caso de carga dado, es el menor valor de la carga para el que las deformaciones dejan de ser reversibles, habida cuenta de las posibilidades de adaptación plástica.

Para la tracción o la compresión simple, este criterio se identifica con el límite elástico convencional.

En la gran mayoría de las piezas reales, hay una superposición de solicitaciones de flexión y torsión con las de compresión o tracción. En estos casos, las leyes de deformaciones no son nunca lineales en función de las solicitaciones. Las tracciones introducen coeficientes minoradores de las flechas, y las compresiones, coeficientes mayoradores. Ello justifica que el criterio de ruina no deba ser considerado desde el punto de vista de la proporcionalidad entre deformaciones y solicitaciones, sino mejor desde el punto de vista de la no reversibilidad.

Todos estos criterios de ruina presentan, en cuanto que son magnitudes físicas, un carácter aleatorio. Importa, por consiguiente, el encararlos bajo su aspecto estadístico y fijar, desde este ángulo, el valor

de las magnitudes que han de manejarse en los cálculos. Si esta magnitud física sigue, desde el punto de vista de su dispersión, una ley normal de Gauss, y se designa por m el valor medio y por e la desviación típica, se conoce la probabilidad para que aquella magnitud física presente un valor inferior a $m - Re$. Si se toma $R = 2$, la probabilidad de encontrar un valor inferior a $m - 2 \cdot e$ será del 2,3%. Este valor $m - 2 \cdot e$ puede tomarse como criterio de ruina para el dimensionamiento. En este caso, la probabilidad de encontrarse con un valor inferior a $m - 2 \cdot e$ deberá tenerse en cuenta en la determinación de los coeficientes de ponderación, de los que se hablará más adelante.

Esta definición del criterio de ruina es conveniente siempre que la magnitud que lo caracteriza pueda ser medida; es el caso:

del límite elástico;

de la carga límite de una pieza comprimida, cuando esta carga puede ser determinada mediante ensayos que permitan establecer una estadística, como es el caso del estudio experimental del pandeo llevado a cabo por la Convención Europea de la Construcción Metálica.

Cuando el criterio de ruina analizado experimentalmente no sigue, en su dispersión, una ley normal de Gauss, se adoptará un valor límite correspondiente a aquella misma probabilidad.

En los casos en que el criterio de ruina no pueda dar lugar a ensayos estadísticos, conviene adoptar una definición obtenida por una prolongación teórica de los datos experimentales. La prolongación teórica debe tener como objetivo el definir un valor del criterio de ruina que tenga el mismo límite probabilístico que el adoptado en los criterios experimentalmente mensurables (por ejemplo, probabilidad del 2,3 por 100 con $m - 2 \cdot e$).

coeficientes de ponderación

Para obtener el grado de seguridad deseado, es necesario tener en cuenta la incertidumbre de las sollicitaciones y la incertidumbre de la ejecución material.

Mejor que hacer intervenir las ponderaciones a diferentes niveles (por ejemplo, mayorando, por una parte, las cargas y minorando, por otra, las tensiones de referencias), conviene, para la claridad de la definición, el afectarlas a las cargas, tomando como valor de comparación en los cálculos el criterio de ruina no minorado.

Dado que, aun en el período elástico, las leyes de deformación no son casi nunca lineales (flexión con tracción o compresión), la superposición de dos casos de carga, I y II, da por resultado un caso III, en el que las deformaciones no son las sumas de las obtenidas en los casos I y II estudiados separadamente.

Por tanto, los coeficientes de ponderación se aplicarán a las cargas y no a las tensiones o deformaciones originadas por aquéllas. Para la determinación de los coeficientes de ponderación, y habida cuenta de la definición probabilista del criterio de ruina, expuesta más arriba, se deberán:

estudiar las dispersiones de las diferentes categorías de cargas:

cargas permanentes,

sobrecargas de uso,

sobrecargas climáticas de nieve, viento y otras,

sobrecargas eventuales;

estudiar la probabilidad compuesta en el caso de superposición de sollicitaciones de naturaleza diferente.

De esta manera se es conducido a definir varios casos de carga, por ejemplo:

- cargas permanentes + sobrecargas de uso + viento;
- cargas permanentes + viento excepcional.

Para cada uno de estos casos de carga, cada clase de carga tendrá un coeficiente de ponderación adecuado al caso de carga considerado. Estos coeficientes de ponderación podrán tener en cuenta igualmente las modalidades de ejecución (ejemplo: roblonadura o soldadura normal o mecánica).

métodos de cálculo

adaptación plástica

Durante mucho tiempo no se ha considerado más que el comportamiento elástico de los materiales. La mayor parte de los Reglamentos imponen métodos de cálculo basados únicamente en las teorías elásticas. Pero han sido introducidas en muchos de estos Reglamentos correcciones para tomar en consideración, sean los fenómenos de adaptación plástica local, sea la reserva de plasticidad variable con la forma de una sección flectada, sea la reserva de plasticidad de un sistema hiperestático.

La noción de seguridad basada en la probabilidad de ruina exige, de hecho, que el comportamiento de la estructura sea examinado en función de las cualidades reales de la materia.

La ruina de un sistema hiperestático no se produce de acuerdo con las hipótesis basadas sobre su comportamiento elástico. Se deduce de ello que, desgraciadamente, la materia está mal distribuida para producir la mejor seguridad. El criterio real es, efectivamente, la reversibilidad y no la proporcionalidad de las deformaciones.

Debe, pues, aconsejarse insistentemente que se extienda cada vez más la práctica del dimensionamiento de las estructuras en el dominio plástico (teoría de los estados límites). Los cálculos son, en general, más sencillos y conducen a una repartición más juiciosa del material. No es posible recomendar, desde ahora, que los Reglamentos adopten estos cálculos para la comprobación de la seguridad. La experiencia que habrá de desprenderse de la generalización del empleo de los métodos de cálculo en plasticidad permitirá, en una etapa ulterior, revisar los Reglamentos.

reglas de buena ejecución

Estas reglas deben cuidar esencialmente:

- el respeto de las hipótesis admitidas en el proyecto y en el dimensionamiento. Sobre este último punto, deben fijar las tolerancias admitidas;
- el permitir la adaptación plástica local y evitar en la estructura rigideces localizadas que son fuentes de roturas frágiles;
- la posibilidad de la buena conservación de las piezas.

reglas concernientes a la seguridad

Este texto constituye el Capítulo I de las «Recomendaciones provisionales para el cálculo y la ejecución de las estructuras metálicas de edificación», cuyos capítulos siguientes están en elaboración. Ha sido establecido por la Comisión número 1: «Normas y Reglamentos técnicos» y aprobado por la Asamblea General el 10 de mayo de 1966.

1.0. PRINCIPIOS DE JUSTIFICACION

1.01. Bases de cálculo

Las estructuras metálicas deben estar concebidas para que puedan soportar los efectos más desfavorables que resulten de las cargas que les puedan ser aplicadas durante la construcción, el período de servicio y, eventualmente, durante la ejecución de las pruebas previstas.

1.02. Métodos de cálculo

Los cálculos deben realizarse con la ayuda de métodos científicos apoyados en datos experimentales. El constructor es libre de escoger el método de cálculo que le convenga, a condición de que provea una seguridad igual por lo menos a la que resulta de los métodos indicados en 1.20.

1.02. Se ha querido insistir aquí en el papel esencial de la comprobación experimental de los métodos de cálculo. La libertad que se deja al constructor para recurrir a métodos de su elección permite expresamente la introducción de métodos simplificados.

1.03. Noción de seguridad

1.031. Definición de la ruina

Se considera que se alcanza la ruina de una construcción cuando sobreviene el hundimiento o el vuelco del conjunto; o bien cuando el desplazamiento, o la deformación irreversible de un elemento, es suficientemente importante para comprometer la estabilidad de la construcción en servicio.

1.031. Se ha juzgado conveniente precisar lo que se entiende por ruina de una construcción en este capítulo que trata de la seguridad. Esta precisión puede parecer superflua cuando no se prevea más que la aplicación de los métodos y fórmulas indicados en las Reglas presentes. Sin embargo, hay que referirse a este concepto cuando se apliquen otros métodos de cálculo, como se permite en 1.02; o cuando se recurra a las justificaciones experimentales directas, admitidas en 1.04.

1.032. Definición de los coeficientes de mayoración

Se dice que una construcción solicitada por un determinado sistema de cargas se calcula con un coeficiente de mayoración γ si los cálculos, efectuados después de haber multiplicado por γ los valores de las cargas aplicadas a dicha construcción,

1.032. Hay que guardarse muy bien de creer que una construcción calculada con un coeficiente de mayoración γ puede soportar sin peligro las cargas previstas en el proyecto multiplicadas por γ . Los coeficientes de mayoración, que deben tener cuenta de la probabilidad de presentación de dos o varias variables aleatorias, permiten tomar en consideración el grado de incertidumbre ligado a:

no hacen aparecer en ninguna parte de la misma sollicitaciones superiores a las que caracterizan teóricamente la aparición de la ruina.

las características del material;
los valores de las cargas y sobrecargas;
las hipótesis simplificadoras de los métodos de cálculo;
la imperfección de la ejecución material.

En consecuencia, la responsabilidad del constructor no queda afectada si ciertas sobrecargas sobrepasan, por causa del utilizador, los valores previstos en el proyecto; o si se introducen modificaciones, aunque sean en menos, en el peso propio de la obra.

1.033. Grado de seguridad

La seguridad de una construcción no puede estar caracterizada por un valor único del coeficiente de mayoración; porque los riesgos de ruina de un elemento no dependen únicamente de la magnitud de las sollicitaciones engendradas en el mismo, sino también de la naturaleza de las cargas o sobrecargas que provocan aquellas sollicitaciones y de la probabilidad de su actuación simultánea. Para obtener una seguridad sensiblemente homogénea, las presentes reglas fijan, en el apartado 1.21, los valores de los coeficientes de ponderación aplicables, cada uno de ellos, a una categoría particular de cargas o a un grupo de cargas pertenecientes a diversas categorías.

1.033. Conviene señalar, entre otras cosas, que en los cálculos se debe adoptar un coeficiente de mayoración tanto más elevado cuanto mayor es la variación de las cargas a que se refiere. Se llega a este objetivo aplicando a las diversas categorías de cargas y sobrecargas coeficientes de mayoración diferentes, llamados coeficientes de ponderación.

1.04. Recurso a la experimentación directa

En ciertos casos particulares, la experimentación directa sobre elementos tipos puede considerarse como justificación completa de los elementos idénticos en dimensiones y en calidad del material; los ensayos deben continuarse bastante por encima de las cargas de servicio, a fin de hacer resaltar un grado de seguridad suficiente con relación a la ruina.

1.04. Ha parecido oportuno recordar que conviene dar primacía a la experiencia sobre las consideraciones teóricas.

En caso de experimentación sobre elementos tipo, es evidente que no es suficiente el aplicar, como se hace en las pruebas de carga de las obras, las sobrecargas previstas en el proyecto, sino, por lo menos, las sobrecargas multiplicadas por el coeficiente de mayoración requerido en cada caso; siempre que sea posible se aconseja llevar la experimentación hasta la ruina definida en 1.031.

Es necesario operar sobre un número suficiente de elementos tipo, para poder determinar la dispersión de los resultados; y es también necesario adoptar un coeficiente de mayoración que tenga en cuenta, a la vez, esta dispersión y el número de ensayos efectuados.

1.1. ACCIONES A TENER EN CUENTA EN LOS CALCULOS

1.10. Enumeración

En los cálculos de comprobación se deberán tener en cuenta las cargas, sobrecargas y acciones siguientes:

cargas permanentes;
sobrecargas de uso o de prueba;
sobrecargas climáticas;
variaciones de temperatura;
acciones sísmicas (eventualmente).

1.11. Cargas permanentes

1.110. Se entiende aquí por cargas permanentes el peso propio de todos los elementos que constituyen la obra terminada y, a la vez, las solicitaciones permanentes que puedan resultar de circunstancias temporales (por ejemplo: fase de montaje).

1.111. Peso muerto

El peso muerto se evalúa en función del volumen teórico de los materiales y del valor más desfavorable de su densidad en las condiciones de empleo.

No hay necesidad, en general, de tomar en consideración las tolerancias de dimensión para evaluar el peso.

Se tomará para el acero una densidad de 7,85.

En los materiales que puedan presentar variaciones de densidad se podrá tomar la densidad media, siempre que las densidades extremas no difieran entre sí en más de un 6 por 100.

1.112. Solicitaciones permanentes debidas a circunstancias temporales

Se deben tener en cuenta las solicitaciones debidas a los procesos de construcción (andamiajes provisionales, montajes en voladizo, etc.) y que pueden, eventualmente, subsistir en el interior de una estructura.

1.12. Sobrecargas de uso o de prueba

1.121. En ausencia de Pliegos de Condiciones, Normas o Reglamentos, se pueden emplear las sobrecargas de uso, de prueba y los coeficientes de impacto indicados en el Anejo.

1.122. Si el Pliego particular de Condiciones fija una sobrecarga de prueba superior a la sobrecarga de uso, es aquélla la que deberá ser adoptada como base del cálculo.

1.13. Sobrecargas climáticas

Las sobrecargas climáticas (viento y nieve) a considerar serán las definidas por las Normas o Reglamentos en vigor en cada país.

1.111. El peso muerto comprende, no solamente el peso de la estructura metálica, sino también el peso de todos los elementos que aquélla ha de soportar en la obra terminada, dispuesta para entrar en servicio (forjados, cielos rasos, pavimentos, tabiquería, instalaciones fijas, etc.).

La densidad más desfavorable es generalmente la mayor; pero hay casos (elementos que equilibran un voladizo) en los que conviene considerar la menor. No hay lugar a considerar variaciones de densidad más que para ciertos materiales muy higroscópicos expuestos a la intemperie; o para aquellos otros cuya densidad pueda variar entre límites bastante amplios en relación con las condiciones de origen o de puesta en obra (hormigones celulares, aislantes térmicos o acústicos, etcétera).

1.112. La influencia del proceso de construcción puede introducir esfuerzos internos permanentes, especialmente en los sistemas hiperestáticos exteriormente (apoyos o empotramientos múltiples), o interiormente (sistemas triangulados con barras en exceso), y en aquellos otros sistemas cuya constitución se modifica durante el curso de la construcción (vigas mixtas, refuerzos).

Es ventajoso a veces el utilizar efectos de esta clase (desnivelación de apoyos, pretensado, etc.) para descargar ciertos elementos fuertemente solicitados, pero es necesario comprobar que dichos efectos no son perjudiciales para otros elementos.

1.13. En general, para los edificios ordinarios, los valores de las sobrecargas climáticas están prescritos por las Normas de cada país en función de las condiciones climatológicas de dicho país.

Sería, evidentemente, de desear que estas sobrecargas se fijasen en todos los países de la misma forma, es decir, con la misma probabilidad. Pero parece difícil el conseguir una tal unificación de las Normas de sobrecargas climáticas.

1.14. Efectos de las variaciones térmicas

1.141. Se deben tomar en consideración los efectos de la dilatación térmica siempre que se tema que puedan producir esfuerzos anormales en la estructura, originar daños en los apoyos o en los elementos de cierre (muros, forjados, etc.) o perjudicar la explotación.

1.142. Se puede prescindir del cálculo de los esfuerzos provocados por la dilatación térmica cuando se adopten disposiciones especiales para paliar sus efectos (aparatos móviles de apoyo o juntas de dilatación); o cuando una estructura relativamente corta descansa sobre soportes de flexibilidad normal.

1.143. La variación de temperatura supuesta para las estructuras expuestas a la intemperie se fija generalmente en las normas nacionales, de acuerdo con las condiciones climatológicas de cada país.

En los locales sometidos a condiciones especiales de temperatura, el Pliego de Condiciones deberá fijar la amplitud de la variación.

1.144. Si las piezas que constituyen un elemento compuesto pueden ser llevadas simultáneamente a temperaturas notablemente diferentes, se deben tener en cuenta los efectos complementarios que resulten.

1.145. El coeficiente de dilatación térmica del acero se tomará igual a 11×10^{-6} .

1.15. Acciones sísmicas

Si una disposición reglamentaria lo exige, o lo prescribe el Pliego particular de Condiciones, se deben aplicar las Reglas o Recomendaciones en vigor que se refieran a construcciones en regiones afectadas por movimientos sísmicos.

1.16. Casos de incompatibilidad entre sobrecargas

Cuando dos cargas, o sobrecargas, no pueden presentarse simultáneamente, o alcanzar su pleno efecto al mismo tiempo, cada una de ellas se tomará con su valor máximo en todas las comprobaciones que haya que efectuar prescindiendo de la otra; pero deberá ser reducida al valor máximo que resulte compatible con la presencia de la otra carga, cuando se estudie su acción simultánea.

1.141. Por ejemplo: las variaciones de temperatura pueden ocasionar tensiones importantes en los arcos u otras estructuras hiperestáticas; pueden originar la fisuración, y aun el vuelco, de muros que sirvan de apoyo a vigas o cerchas de gran longitud; y producir deterioros en los muros, tabiques o vidrieras solidarios con la estructura.

1.142. Para las estructuras que descansan sobre soportes de flexibilidad normal, no se puede fijar con precisión la longitud a partir de la cual se deban tomar en consideración los esfuerzos debidos a la dilatación. En construcciones normales es del orden de los 50 metros.

1.143. En el caso de montaje en tiempo excepcionalmente caluroso o excepcionalmente frío, se deben determinar las disposiciones de corrección que hay que adoptar, a fin de que la estructura se encuentre sensiblemente en las condiciones previstas en el proyecto cuando la temperatura sea la normal.

1.16. Se recuerda, en particular, la reducción de la carga de nieve admitida por algunos Reglamentos, cuando se consideran simultáneamente las acciones de viento y nieve; se puede citar asimismo el caso de ciertas sobrecargas móviles que no pueden circular a partir de un cierto espesor de nieve o de una determinada presión de viento.

1.2. METODOS DE JUSTIFICACION

1.20. Principios

1.201. Las Reglas admiten que la seguridad de una construcción queda establecida cuando se ha comprobado, por medio de cálculos basados en las teorías de la resistencia de los materiales en fase elástica, que aquella construcción permanecerá estable (estabilidad estática de conjunto, estabilidad elástica y resistencia de los elementos) si se la somete a la combinación más desfavorable de las cargas y sobrecargas previstas en el proyecto, multiplicadas por coeficientes apropiados. Estos coeficientes, llamados coeficientes de ponderación, se fijan en el apartado 1.21.

1.202. Por una parte, los coeficientes de ponderación se escogen en función de la naturaleza de las cargas y sobrecargas, y de sus posibilidades de actuación simultánea, de manera que las diferentes combinaciones posibles de cargas mayoradas hagan correr sensiblemente el mismo riesgo a la obra. Por otra parte, las Reglas llevan a calcular ciertas tensiones de comparación (apartado 1.221), determinadas para que los riesgos de alcanzar la ruina de un elemento sean sensiblemente los mismos, cualesquiera que sean las solicitaciones, o combinaciones de solicitaciones, cuando la tensión de comparación alcance el valor σ_c tomado como criterio de base de la ruina. Se obtiene así un grado de seguridad sensiblemente homogéneo.

1.21. Coeficientes de ponderación

1.211. Obras en servicio

0. En los cálculos de comprobación de la estabilidad (estabilidad estática de conjunto, así como estabilidad elástica y resistencia de los elementos), los valores de las acciones a tomar en consideración deberán multiplicarse por los coeficientes de ponderación siguientes:

1. **Cargas permanentes** (peso muerto influencia del proceso de construcción): ν_1 . Se dará a este coeficiente un valor superior o igual a la unidad, según lo que resulte más desfavorable para cada comprobación.

2. **Efectos de las variaciones de temperatura:** ν_2 .

3. **Sobrecargas variables** (sobrecargas de uso o de prueba, nieve, viento): ν_3 .

1.201. La comprobación de la seguridad utilizada en las reglas se asemeja a los nuevos métodos, llamados frecuentemente "cálculo en roturas" o "método de la carga límite", en el sentido en que la tensión no se compara, como ocurre en la mayor parte de las Normas y Reglamentos actuales, con una tensión admisible, sino con una tensión que caracteriza la ruina del elemento. Y difiere aparentemente de dichos métodos por razón del empleo de cálculos basados en las teorías clásicas de la resistencia de los materiales en el dominio elástico. Pero debe observarse que, si bien se ha estimado oportuno el conservar los métodos de cálculo mejor conocidos, una parte no despreciable de las reservas de seguridad puestas en evidencia por los nuevos métodos se aprovecha implícitamente por las presentes Reglas, bajo la forma de coeficientes numéricos que intervienen en ciertas fórmulas de comprobación (los coeficientes de plasticidad de las secciones, por ejemplo).

1.202. Se considera que una pieza de sección constante solicitada a tracción queda arruinada en el sentido definido en el apartado 1.031, cuando se alargue en forma irreversible bajo una carga constante, aun cuando este alargamiento se detenga al cabo de un cierto tiempo; porque dicho alargamiento entraña el riesgo de provocar desórdenes graves en el resto de la construcción y de originar una repartición de esfuerzos diferente de aquella para la cual se ha comprobado la estabilidad. Este fenómeno queda caracterizado en los cálculos por una tensión de tracción igual al límite aparente de elasticidad σ_e . Para los restantes tipos de solicitación se han establecido fórmulas que permiten calcular una tensión de comparación (apartado 1.220), que toma el valor σ_c cuando las deformaciones del elemento solicitado hacen sufrir a la construcción los mismos riesgos que el alargamiento irreversible de la barra en tracción.

1.211.1. Como norma general se adoptará el valor 1,33 cuando los efectos de las cargas permanentes se sumen a los de otras cargas y sobrecargas, y el valor 1 cuando se resten.

1.211.2. El efecto de las variaciones de temperatura puede ser asimilado al de una carga permanente que se suma a los efectos de otras cargas y sobrecargas. Se podrá, por tanto, como en el caso precedente, adoptar: $\nu_2 = 1,33$.

1.211.3. Cuando sea necesario prever la presencia simultánea de sobrecargas de orígenes diferentes el riesgo disminuye, porque es muy raro que todas las cargas

El valor de γ_3 se reducirá cuando se tengan en cuenta simultáneamente sobrecargas que pertenezcan a dos o más categorías de sobrecargas.

y sobrecargas alcancen simultáneamente su valor máximo. Por tanto, en el caso en que una sobrecarga actúe sola se tomará $\gamma_3 = 1,5$, reduciéndose este valor a:

1,4, en los cálculos que toman en consideración la acción simultánea de sobrecargas que pertenezcan a dos de las tres categorías siguientes:

- a) sobrecargas de uso o de prueba;
- b) de nieve;
- c) efectos del viento.

1,33, en los cálculos que consideren la acción simultánea de sobrecargas de las tres categorías.

1.212. Construcción y montaje

Salvo prescripción explícita del Pliego particular de Condiciones, el constructor queda en libertad de escoger, bajo su responsabilidad, los coeficientes de ponderación a aplicar durante el curso de las diferentes fases que preceden a la puesta en servicio.

Aquél debe prever, además, los dispositivos necesarios para asegurar la estabilidad durante las diferentes fases (vientos, arriostamientos provisionales, etc.).

1.212. Las condiciones de seguridad prescritas para la obra en servicio no son aplicables íntegramente a la ejecución y al montaje. Ciertas operaciones usuales y lícitas son, por otra parte, incompatibles con el respeto literal a aquellas prescripciones; en particular el enderezado o la conformación de las piezas exigen que se sobrepase el límite de elasticidad; el pretensado o las predeformaciones que condicionan el buen servicio en las estructuras mixtas de hormigón y acero, pueden obligar a hacer trabajar temporalmente al metal en las proximidades de su límite de elasticidad.

1.213. Circunstancias excepcionales

1. Cuando la ruina de una determinada construcción pudiera tener consecuencias más desastrosas que las de una construcción ordinaria, el Director de la obra podrá exigir que se aumenten los coeficientes de ponderación utilizados para su cálculo.

2. Por el contrario, cuando en ciertos casos previsibles, aunque sean excepcionales, se puedan tolerar desórdenes limitados o, aun un débil riesgo de ruina, se puede, de acuerdo con el Director de obra, afectar a las sobrecargas excepcionales de coeficientes de ponderación reducidos.

3. Cuando no se trate sino de limitar los daños causados por una catástrofe, se puede efectuar una comprobación de la estabilidad reduciendo a la mitad los coeficientes de ponderación aplicables a los valores estimados de las cargas, sobrecargas y esfuerzos que pudieran afectar a la obra durante el curso de la citada catástrofe.

1.213.1. Esta prescripción puede aplicarse, por ejemplo, a las obras que hayan de contener productos peligrosos (gases o líquidos tóxicos o muy inflamables, materias radiactivas, etc.) que pudieran originar, en caso de accidente, una verdadera catástrofe en las inmediaciones de la construcción.

1.213.3. Por ejemplo, si se desea poder salvar el contenido de los sótanos en el caso de hundimiento de un inmueble, se puede comprobar que el forjado que cubre estos sótanos es capaz de soportar el peso no mayorado de los escombros del inmueble.

Es por ello que, en la comprobación de la resistencia a los terremotos, que puede ser eventualmente prescrita (apartado 1.18), todos los esfuerzos que se toman en consideración, incluidas las cargas permanentes, son afectados de coeficientes de ponderación reducidos a la unidad.

1.22. Principios de comprobación

1.220. Terminología

Se designa por:

1. Carga o sobrecarga ponderada.

El valor de una carga o sobrecarga prevista en el proyecto multiplicado por un coeficiente de ponderación.

1.220. El cálculo de las sollicitaciones y tensiones ponderadas se efectúa según los métodos de la resistencia de materiales en fase elástica, aplicando eventualmente las aproximaciones y derogaciones admitidas en los capítulos 3, 4 y 5.

2. **Solicitación ponderada.**

Un esfuerzo o momento engendrado en una sección de un elemento por una combinación de cargas y sobrecargas afectadas de coeficientes de ponderación.

3. **Tensión ponderada.**

Una tensión resultante de la presencia de una combinación de cargas y sobrecargas afectadas de coeficientes de ponderación.

4. **Tensión de comparación.**

Una tensión ficticia, calculada en cada caso sobre la base de las solicitaciones ponderadas que afectan al elemento considerado, y utilizando fórmulas o métodos de cálculo escogidos de manera que el riesgo de ruina sea sensiblemente el mismo en todos los casos en que aquella tensión alcance el valor σ_c .

1.220.4. Con un fin de simplificación, las Reglas no hacen aparecer explícitamente los criterios de ruina correspondientes a todos los casos posibles de solicitación y a sus combinaciones, pero se refieren siempre al criterio básico de ruina (σ_c) a través de una tensión de comparación.

Ello permite un juicio fácil sobre la homogeneidad de la seguridad en un proyecto, mediante simple lectura de la nota de cálculo. Todas las tensiones de comparación, al tener que conservarse inferiores a un mismo valor σ_c , se ve inmediatamente que los elementos más solicitados son aquellos para los cuales las comprobaciones hacen aparecer los valores más elevados de la tensión de comparación. Además, en los casos de modificación de las cargas previstas en el proyecto, tanto sea antes como después de la puesta en servicio de la construcción, este método permite descubrir más rápidamente los elementos a reforzar.

1.221. Comprobaciones

A reserva de las simplificaciones que puedan aportarse en cada caso particular, la comprobación de la seguridad conduce, en principio, a las operaciones siguientes:

1.º Comprobar que la estabilidad estática de conjunto (vuelco, desplazamientos) queda asegurada bajo el efecto de las combinaciones más desfavorables de las cargas y sobrecargas ponderadas.

2.º Comprobar que, para cada elemento, los valores máximos de las solicitaciones ponderadas son inferiores a los que ocasionarían teóricamente la ruina del elemento. Este proceso conduce, en general, a:

calcular las tensiones ponderadas normales y tangenciales, engendradas en los puntos más desfavorables;

deducir las tensiones de comparación;

comprobar que los valores máximos de estas tensiones de comparación son inferiores al valor σ_e del límite de elasticidad del metal, la superación del cual ha sido tomada como criterio básico de ruina (apartado 1.202).

1.221. Para conseguir una seguridad más homogénea, las presentes Reglas aplican coeficientes de seguridad que varían con la naturaleza de las cargas (apartados 1.202 y 1.21). Si se hubiese querido conservar una tensión admisible, habría sido necesario aplicar coeficientes de ponderación reducidos a los efectos de ciertas sobrecargas, como lo hacen algunos Reglamentos vigentes. Ha parecido más sencillo multiplicar las cargas, esfuerzos, momentos y tensiones por los coeficientes de ponderación y referirse directamente a la solicitación de ruina cuando se la conoce (por ejemplo, tornillos de alta resistencia, uniones en tracción, casos de experimentación directa) o al límite de elasticidad cuando se calculan las tensiones.

Es necesario no olvidar, al efectuar las comprobaciones, que las cargas o sobrecargas de una misma clase pueden provocar en un elemento solicitaciones de sentido contrario (viento según su orientación, o según las posibilidades de sobrepresiones o depresiones; sobrecargas de uso según su repartición o según la posición de las cargas móviles).

Aun cuando las solicitaciones engendradas por una sobrecarga determinada no puedan cambiar de sentido, hay casos en que la ausencia de esta sobrecarga es más desfavorable que su presencia. En lo que respecta a las cargas permanentes, que siempre están presentes, se las hace intervenir con un coeficiente de ponderación de 1,33 si su presencia es desfavorable, pero con un coeficiente reducido a la unidad si su presencia es favorable. Se llama particularmente la atención sobre los peligros que haría sufrir a la construcción la omisión de este último caso, especialmente en lo que se refiere al equilibrio del conjunto (levantamientos, anclajes insuficientes, macizos de cimentación demasiado ligeros), a los riesgos de pandeo de barras normalmente en tracción y al comportamiento de las uniones que supongan una transmisión directa de los esfuerzos por contacto.

1.222. Diferentes métodos de ponderación

Siempre que las solicitaciones y las tensiones sean proporcionales a las cargas, se puede, por comodidad del cálculo, bien mayorar al principio las cargas y sobrecargas de acuerdo con las reglas indicadas más arriba, sea efectuar la ponderación al nivel de las solicitaciones o al nivel de las tensiones.

Este procedimiento puede aplicarse también a las solicitaciones que interesan a elementos susceptibles de pandear cuando se apliquen los métodos de comprobación indicados en las presentes Reglas.

1.23. Métodos a utilizar

1.230. Dos métodos pueden utilizarse para la comprobación de la estabilidad de conjunto, así como para la comprobación de la estabilidad elástica y de la resistencia de cada elemento de la construcción en servicio:

un método general que explote a fondo todas las posibilidades permitidas por la utilización de los coeficientes de seguridad parciales indicados en el apartado 1.211;

un método envolvente que no necesita más que un número reducido de comprobaciones, pero que confiere una seguridad por lo menos igual.

1.231. Método general

Las comprobaciones de la estabilidad estática de conjunto, así como de la estabilidad elástica y de la resistencia de los diferentes elementos, previstas en el apartado 1.221, deben efectuarse tomando en consideración las combinaciones más desfavorables de las cargas y sobrecargas, afectadas de coeficientes de ponderación:

cargas permanentes (peso muerto e influencia del modo de construcción);

efectos de la temperatura;

sobrecargas variables de las tres categorías (sobrecargas de uso o de prueba, nieve, viento) tomadas primero aisladamente, después por grupos de 2 y al final simultáneamente.

1.222. Las solicitaciones y las tensiones son proporcionales a las cargas en la mayoría de los casos que se encuentran en la práctica.

No lo son, por ejemplo, cuando las deformaciones ocasionadas por la presencia de las cargas deben ser tomadas en consideración, de una manera explícita, en el estudio del equilibrio del sistema (construcciones venteadas, tirantes flectados de gran luz, etc.).

En este caso, se deben utilizar los valores de las cargas y sobrecargas mayoradas, tanto para el cálculo de las deformaciones como para el cálculo de la comprobación de la estabilidad elástica y de la resistencia de los elementos.

1.230. La elección de un método para la comprobación de un elemento no implica la obligación de utilizar el mismo método para los restantes.

Para guiar la elección entre los dos métodos se puede observar:

1.º Que ambos dan resultados idénticos para los elementos solicitados por una sola categoría de sobrecargas variables (vigas contra viento, viguetas de forjados, etc.).

2.º Que el beneficio máximo que se puede esperar reemplazando el método envolvente por el método general puede alcanzar un 6 por 100, en el caso más favorable, si el elemento está solicitado simultáneamente por dos categorías de sobrecargas variables, y en un 12,5 por 100 si está solicitado simultáneamente por las tres categorías.

1.231. En los casos corrientes de empleo del método general, aplicando la ponderación de tensiones previstas en el apartado 1.223, la comprobación de la estabilidad elástica y de la resistencia de los elementos lleva a calcular:

la tensión σ_p originada por las cargas permanentes;

los valores máximos $\sigma'_{11}, \sigma'_{12}, \sigma'_n$ y τ'_v del mismo sentido que σ_p , que puedan tomar las tensiones debidas respectivamente a los efectos de temperatura, a las sobrecargas de uso, a la nieve y al viento;

los valores máximos $\sigma''_{11}, \sigma''_{12}, \sigma''_n$ y τ'_v de sentido opuesto al de σ_p , originados por las mismas cargas y sobrecargas;

las tensiones σ_{nr} y σ'_{nr} , valores reducidos de σ_n y σ'_{11} , a tomar en consideración cuando los efectos de nieve y viento se supongan simultáneos.

Inmediatamente habría que calcular los valores más desfavorables de las tensiones ponderadas correspondientes a las diversas combinaciones de cargas y sobrecargas.

En la práctica la clasificación por orden de magnitud de los efectos de las diferentes sobrecargas evita el cálculo, visiblemente superfluo, de la mayor parte de estas tensiones ponderadas.

1.3. VALORES DE LAS TENSIONES DE COMPARACION

1.31. Tensiones de comparación para las sollicitaciones elementales y sus combinaciones

1.311. Tracción simple

La tensión de comparación es igual a la tensión de tracción. Si σ representa la tensión ponderada de tracción, la comprobación de la seguridad se traduce por:

$$\sigma \leq \sigma_e.$$

1.311. Esto resulta evidentemente del criterio base adoptado para la ruina en el apartado 1.202.

1.312. Compresión simple

La tensión de comparación es igual a la tensión de compresión. Si σ representa la tensión ponderada de compresión, la comprobación de la seguridad se traduce por:

$$\sigma \leq \sigma_e.$$

1.312. El límite elástico en compresión del acero es sensiblemente igual a su límite elástico en tracción. Los riesgos de la compresión son equivalentes a los de la tracción, a condición de haberse precavido contra los fenómenos de inestabilidad generalmente asociados a aquélla.

1.313. Esfuerzo cortante simple

La tensión de comparación es igual a 1/0,65 de la tensión tangencial de esfuerzo cortante. Si τ representa la tensión tangencial ponderada, la comprobación se traduce por:

$$\frac{\tau}{0,65} \leq \sigma_e,$$

o bien:

$$1,54\tau \leq \sigma_e.$$

1.313. Se admite que la ruina por esfuerzo cortante simple se alcanza cuando la tensión tangencial alcanza el valor $0,65 \cdot \sigma_e$.

1.314. Caso general de sollicitaciones múltiples (Artículo no redactado todavía.)

1.32. Tensiones de comparación para ciertas sollicitaciones particulares

En los capítulos 3, 4 y 5 se dan las tensiones de comparación para los principales casos de sollicitación que pueden encontrarse en una construcción y, eventualmente, las simplificaciones o aproximaciones que pueden admitirse en los casos más corrientes.

La superposición de ciertas sollicitaciones para las cuales las tensiones no son proporcionales a las cargas (por ejemplo, pandeo con flexión) es objeto, en dichos capítulos, de reglas particulares.

1.32. En los capítulos 3, 4 y 5 la expresión tensión de comparación no figura, en general, en una forma explícita, estando expresado su valor por el primer miembro de las desigualdades en las que σ_e figura sola en el segundo miembro.

En ciertas piezas flectadas, la ruina no está caracterizada por la aparición del límite elástico en las fibras más sollicitadas, sino por un cierto valor de la deformación permanente. Una pieza comprimida se considera arruinada bien porque pandee, bien porque se produzca un desplazamiento importante del punto de aplicación de la carga. En ciertas uniones, la ruina se caracteriza por una deformación que reduce la eficacia de los enlaces (ciertas uniones roblonadas); y en otras, poco deformables (uniones soldadas) la ruina se manifiesta por la rotura o la fisuración de elementos esenciales.

pandeo simple

diagrama experimental de las tensiones de agotamiento para piezas macizas biarticuladas, de acero dulce y sección constante, solicitadas a comprensión axial

Documento establecido por la Subcomisión 8.1: «Estudio experimental del pandeo», adoptado por la Comisión 8: «Inestabilidad de forma» y aprobado por la Asamblea General el 10 de mayo de 1966.

Composición de la Subcomisión:

Presidente: ■ D. SFINTESCO, Francia.

Vocales: ■ A. CARPENA, Italia; P. DAUPHIN, Francia; G. B. GODFREY, Gran Bretaña; J. JACQUET, Francia; H. W. LOOF, Holanda; Prof. M. MARINCEK, Yugoslavia; Prof. CH. MASSONNET, Bélgica; Prof. M. MILOSAVLJEVIC, Yugoslavia; J. NICOLAÏ DE GORHEZ, Bélgica; Prof. B. ZARIC, Yugoslavia.

origen del diagrama

El diagrama representa el término de la explotación de los resultados de un programa experimental realizado en laboratorios pertenecientes a los países siguientes: Alemania, Bélgica, Francia, Gran Bretaña, Italia, Yugoslavia. Este programa, ejecutado siguiendo directrices comunes y bajo el control de la Subcomisión, ha representado casi 800 ensayos de pandeo sobre barras laminadas con secciones de diferentes formas; y un número correspondiente de ensayos complementarios, destinados a determinar las características mecánicas del metal de aquellas barras.

Los resultados en los ensayos se han analizado con los métodos de la estadística matemática, tomando como criterio una probabilidad correspondiente al valor medio, menos dos veces la desviación cuadrática.

Un informe completo, cuya redacción está prevista y que será publicado, dará los detalles del programa, los dispositivos y la técnica operatoria utilizada para los ensayos, así como los resultados de todas las medidas efectuadas y del análisis estadístico que ha servido de base al trazado del diagrama.

dominio de validez

En el estado actual de la experimentación el diagrama es válido para las secciones laminadas, a excepción, sin embargo, de las secciones en T, para las cuales los resultados de los ensayos indican valores más débiles, en un 4 por 100 aproximadamente, y de las secciones en U, que no fueron incluidas en el programa realizado, pero cuyo comportamiento debe ser semejante al de las secciones en T.

Los resultados obtenidos en los ensayos sobre tubos indican que estos perfiles podrían beneficiarse de una curva más ventajosa. No obstante, siendo todavía insuficientes los resultados de que se dispone para permitir el trazado de dicha curva, se propone la aplicación provisional a los tubos de la curva general, quedando así del lado de la seguridad.

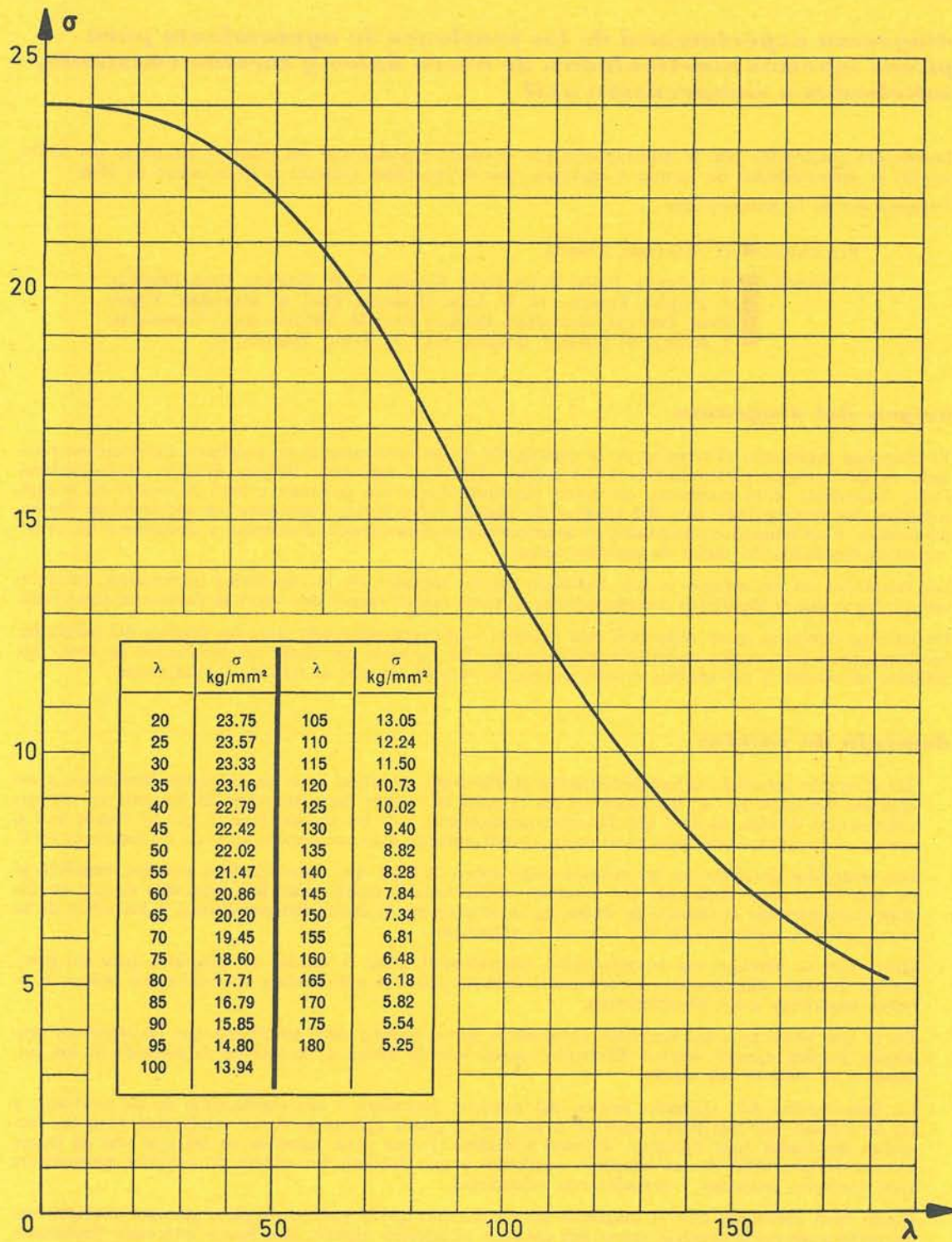
Hasta que se obtenga una comprobación experimental sobre la validez del diagrama para los perfiles de grandes dimensiones, se formulan reservas sobre su aplicación a las barras que posean espesores superiores a los 30 milímetros.

En lo que respecta a las secciones compuestas por soldadura, debe observarse que las tensiones residuales pueden ejercer efectos diferentes, según sean la forma de la sección, la posición de los cordones y el método operatorio.

La Subcomisión 8.2: «Estudio teórico del pandeo», procederá a una clasificación de las secciones, a fin de indicar, por una parte, aquellas a las que se podrá aplicar la curva establecida para las secciones laminadas (por ejemplo: cajones soldados), y, por otra, aquellas en las que son de temer efectos desfavorables de las tensiones residuales y que deberán ser objeto de estudios particulares (por ejemplo: secciones I armadas con soldadura).

Queda bien entendido que el diagrama no abarca más que el pandeo simple y que, por consiguiente, los perfiles sin doble simetría, como, por ejemplo, el angular aislado, que hacen intervenir fenómenos más complejos, deberán ser objeto de estudios especiales.

Traducción: J. BATANERO



Documents de la Convention Européenne de la Construction Métallique

Suivant la ligne déjà établie par «Informes de la Construcción», nous publions dans ce numéro trois importants documents approuvés par la dernière Assemblée Générale de la Convention Européenne de la Construction Métallique, association qui, dans le domaine des structures en acier, joue un rôle semblable à celui du C.E.B. dans le domaine des structures en béton.

La publication est expressément autorisée par le Syndicat du Métal, qui est le membre espagnol de cette Convention. La traduction a été préparée par le Dr. ingénieur M. Juan Batanero, membre des Commissions de Travail I, VIII et XII de la Convention.

Documents of the European Convention on Metallic Construction

Following the previous policy of «Informes de la Construcción», we are pleased to publish in this issue three important documents approved by the last General Assembly of the European Convention on Metallic Construction. This organisation carries out in the field of metallic structures a function which is similar to that fulfilled by the CEB in relation to concrete structures.

The publication is expressly approved by the Metal Syndicate, which is the Spanish body at the Convention. The translation has been done by Dr. civil engineer Juan Batanero, who is representative on the I, VIII and XII Working Committees of the Convention.

Dokumente der europäischen Konvention des metallischen Baues

Gemäss der vorher festgesetzten Norm für «Informes de la Construcción» gefallen wir uns heute in drei wichtigen anerkannten Dokumente durch die letzte generelle Versammlung der europäischen Konvention des metallischen Baues. Diese Konvention spielt eine Rolle mit den Stahlbauwerken ähnlich der Rolle, die den C. E. B. im Bereich der Betonbauwerke spielt.

Die Veröffentlichung ist durch die Metallgewerkschaft bestätigt, die das spanische Mitglied der Konvention ist. Die Uebersetzung wurde vom Herrn Dr. Bauing. Batanero, Mitglied der I. VIII. und XII. Arbeitsausschüsse gemacht.