

## DISPOSICION FINAL

Se autoriza al Ministro de Defensa para que, a propuesta de la Junta de Jefes de Estado Mayor, señale la relación de plazas y puertos que efectuarán el saludo al cañón, expresado en el artículo 154 del Libro Primero del Reglamento de Actos y Honores Militares.

Dado en Palma de Mallorca a treinta de julio de mil novecientos ochenta y dos.

El Ministro de Defensa,  
ALBERTO OLIART SAUSSOL

JUAN CARLOS R.

## M<sup>o</sup> DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO

**21709** REAL DECRETO 2048/1982, de 28 de mayo, por el que se aprueba la norma básica de la edificación NBE-MV 110-1982, «Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero en edificación».

El Real Decreto mil seiscientos cincuenta/mil novecientos setenta y siete, de diez de junio, sobre normativa de la edificación, pasa a integrar el conjunto de normas básicas MV dentro de la actuación correspondiente a las normas básicas de la edificación NBE.

Dado que al publicarse dicho Real Decreto se estaban elaborando las MV ciento nueve, MV ciento diez y MV ciento once, que completan el programa de normas relativas a estructuras de acero en la edificación, se ha creído conveniente ultimar este programa sin introducir en él modificaciones de denominación ni de forma para mantener el conjunto de todas estas normas de acero con la coherencia precisa y posteriormente integrarlas en su revisión en una sola norma básica de la edificación NBE sobre estructuras de acero.

La Comisión de expertos que viene elaborando las normas de acero ha llevado a cabo el estudio de la propuesta de norma básica de la edificación NBE-MV ciento diez/mil novecientos ochenta y dos, que contempla el cálculo de las piezas de chapa conformada de acero en edificación.

Esta propuesta ha sido sometida e informada favorablemente por diversos sectores técnicos e industriales de la edificación.

En consecuencia, a propuesta del Ministro de Obras Públicas y Urbanismo y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día veintiocho de mayo de mil novecientos ochenta y dos,

## DISPONGO:

Artículo único.—Se aprueba la norma básica de la edificación NBE-MV ciento diez/mil novecientos ochenta y dos, «Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero en edificación», que figura como anexo al presente Real Decreto.

## DISPOSICIONES FINALES

Primera.—La citada norma básica NBE MV ciento diez/mil novecientos ochenta y dos, «Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero en edificación», entrará en vigor y será de obligatoria observancia transcurridos tres meses a contar desde el día siguiente a la publicación de este Real Decreto en el «Boletín Oficial del Estado».

Segunda.—El Ministro de Obras Públicas y Urbanismo podrá dictar cuantas disposiciones y adoptar cuantas medidas sean necesarias para el desarrollo y aplicación de este Real Decreto.

Tercera.—Quedan derogadas cuantas disposiciones se opongan a lo establecido en el presente Real Decreto.

Dado en Madrid a veintiocho de mayo de mil novecientos ochenta y dos.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Obras Públicas y Urbanismo,  
LUIS ORTIZ GONZALEZ

## NORMA BASICA NBE 110-1982

Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero en edificación

## CAPITULO PRIMERO

## Generalidades

## 1.1. Objeto.

El objeto de la norma NBE 110-1982 es adaptar y completar las reglas de la norma NBE 103-1972, «Cálculo de las estructuras de acero laminado en la edificación», para su empleo en los perfiles, placas y paneles de chapa conformada de acero.

En las piezas de chapa conformada de acero, debido a su reducido espesor y al endurecimiento que implica la conformación en frío, deben tenerse especialmente en cuenta las siguientes circunstancias:

—La mayor influencia de los fenómenos de inestabilidad: abolladura, combadura, pandeo con torsión, etc., y de la deformación de las secciones transversales.

—El uso de procedimientos de unión específicos: remaches en frío, soldadura por puntos, etc., no empleados en la construcción con perfiles laminados de acero.

—El importante efecto de la corrosión en espesores menores de cuatro milímetros.

—La posibilidad de tener en cuenta la elevación del límite elástico debida al endurecimiento por la conformación en frío, como se indica en 1.4.

## 1.2. Ambito de aplicación.

Esta norma es aplicable a los perfiles conformados de acero de la norma NBE 109-1979, a las placas y paneles de chapa conformada de acero de la norma NBE 111-1980, y a los perfiles dobles o múltiples constituidos por agrupación de dos o más perfiles simples unidos por soldadura, tornillos, remaches u otros medios (figura 1). También es aplicable a otras piezas de chapa conformada, realizadas con los aceros indicados en la norma NBE 102-1975.

En el artículo 7 de la norma NBE 109-1979, se describen los perfiles de uso general, y se indica que pueden usarse perfiles de formas diferentes fijadas por el proyectista. No se permite, sin justificación especial, el uso de piezas conformadas en las partes de las estructuras en las que exista el riesgo, en las condiciones normales de trabajo, de presiones o impactos que puedan producir deformaciones locales. La norma no es aplicable sin justificación especial, a estructuras sometidas a cargas dinámicas.

## 1.3. Proceso de cálculo.

En los estados límites últimos, las comprobaciones se realizarán con las acciones ponderadas, aplicando los coeficientes de ponderación del artículo 2.5 de la norma NBE 103-1972. Las tensiones ponderadas resultantes  $\sigma^*$  obtenidas con ellas no rebasarán la condición de agotamiento establecida en su artículo 2.6; la resistencia de cálculo  $\sigma_u$  del acero en esta condición se calculará como se indica en su artículo 2.7. Las tensiones ponderadas  $\sigma^*$  y las resistencias de cálculo  $\sigma_u$  se expresan en esta norma en  $\text{kp/mm}^2$ .

En los estados límites de utilización las comprobaciones se realizarán con las acciones características, definidas en el artículo 2.4 de la norma NBE 103-1972.

## 1.4. Elevación del límite elástico del acero.

La conformación en frío de la chapa de acero de una pieza produce en las zonas de los pliegues un incremento de su límite elástico que, en valor medio en el conjunto de la pieza, puede evaluarse por la siguiente fórmula obtenida experimentalmente:

$$\Delta\sigma_e = 1,8 \frac{ne^2}{A}$$

en la que es:

$\Delta\sigma_e$  = Incremento del límite elástico, en  $\text{kp/mm}^2$ .

$n$  = Número de pliegues en la pieza.

$e$  = Espesor de la chapa, en mm.

$A$  = Área total de la sección de la pieza, en  $\text{cm}^2$ .

Este incremento puede desaparecer por un recocido posterior, como el que puede producirse cuando se emplean uniones soldadas por la elevación de temperatura en las zonas contiguas a las soldaduras. Por ello, el incremento del límite elástico sólo debe considerarse cuando haya seguridad de que no pueden tener lugar tales recocidos.

La resistencia de cálculo será:

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e + \Delta\sigma_e}{\gamma_a} < \sigma_e$$

con  $\gamma_a = 1,1$ .

## 1.5. Elementos planos de una pieza.

Una pieza de chapa conformada de acero se compone, en general, de elementos planos, unidos mediante acuerdos cilíndricos de radio pequeño (figura 1). Los elementos planos pueden ser de las siguientes clases:

1.5.1. Elemento no rigidizado.—Elemento plano, unido solamente en un borde a otro elemento plano. Ejemplos de elementos no rigidizados son los designados con N en la figura 1.

1.5.2. Elemento rigidizado.—Elemento plano, unido en ambos bordes a otros elementos, o a un rigidizador de borde de eje paralelo a la dirección del esfuerzo (1.7.1). Ejemplos de elementos rigidizados son los designados con R en la figura 1, en la que se designan con B los rigidizadores de borde.

1.5.3. Elemento multirigidizado.—Elemento rigidizado, que además tiene rigidizadores intermedios, de eje paralelo a la dirección del esfuerzo (1.7.2). Ejemplos de elementos multirigidizados son los designados con M en la figura 1, en la que se designan con I los rigidizadores intermedios.

1.5.4. Subelemento.—Es la parte de un elemento multirigidizado comprendida entre un elemento y un rigidizador intermedio, entre dos rigidizadores intermedios consecutivos o entre un rigidizador intermedio y un rigidizador de borde. Ejemplos de subelementos son las partes designadas con S en la figura 1.

1.6. Dimensiones de un elemento plano.

Las dimensiones de un elemento plano (figura 2) son su espesor e (1.6.1), su anchura recta  $b_e$  (1.6.2) y su longitud l (1.6.3).

1.6.1. Espesor.—Es el espesor e de la chapa con que está fabricado el perfil con exclusión de los recubrimientos.

1.6.2. Anchura recta.—Es la anchura  $b_e$  de un elemento, o  $b_s$  de un subelemento, excluyendo los acuerdos curvos. En un elemento multirrigidizado comprende los rigidizadores intermedios (figura 2, d, g), verificándose que  $b_e \geq \sum b_s$ .

1.6.3. Longitud.—Es la distancia l medida sobre la directriz del perfil entre secciones sustentadas.

1.6.4. Delgadez.—En un elemento es la relación:  $\delta = b_e : e$ . En un subelemento es la relación:  $\delta_s = b_s : e$ .

No se admite que sea superior a los valores de la tabla 1.1.

1.7. Rigidizadores.

Para reducir el efecto de la abolladura (2.1) en los elementos comprimidos, pueden disponerse rigidizadores longitudinales, que son de dos clases: rigidizadores de borde (1.7.1) o rigidizadores intermedios (1.7.2). No es usual disponer rigidizadores transversales.

La sección de un rigidizador de borde o intermedio se extiende hasta el encuentro con el elemento o subelementos, es decir, incluye las zonas curvas de acuerdo.

1.7.1. Rigidizador de borde.—Es un labio (figura 3, a), u otro medio (figura 3, b) unido al elemento en su extremo, cuya sección tenga un momento de inercia respecto al eje que pasa por su baricentro, paralelo al elemento, no inferior a  $I_b$ :

$$I_b = \chi_b e^4 \quad \chi_b = 1,83 \sqrt{\delta^2 - 117} \frac{24}{\sigma_u} \leq 10$$

Cuando el rigidizador sea un labio en ángulo recto (figura 3, a) su anchura a no será inferior a  $a_b$ :

$$a_b = \delta_b e \quad \delta_b = 2,8 \sqrt{\delta^2 - 117} \frac{24}{\sigma_u} \leq 5$$

Tabla 1.1. MÁXIMA DELGADEZ ADMISIBLE DE UN ELEMENTO

Elementos	Máxima delgadez admisible
Elementos comprimidos:	
- No rigidizado (fig. 2,a)	60
- Con rigidizador de labio (fig. 3,a)	60
- Con rigidizador de borde de otro más eficaz (fig. 3,b)	90
- Unido en ambos bordes a otro elemento (fig. 2,d)	500
Subelementos comprimidos	250
Elementos con cortadura:	
Cuando $ a' r^*  > 0,5 r_u$ (2.5)	150
Alma simple de pieza flectada (fig. 2a)	150
Cada chapa en alma múltiple (fig. 2c)(1)	150
En otros casos	250
Elementos traccionados	500

(1) Si las dos o más chapas de un alma están unidas por puntos de soldadura (8.4.2) u otros medios, a distancia:  $s = t \geq 0,5 b_e$ , como delgadez de cada chapa se tomará:  $\delta = s : e$ .

Los valores de  $\chi_b$  y  $\delta_b$  se indican en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LOS RIGIDIZADORES DE BORDE.

Delgadez del elemento o subelemento $\delta, \delta_s$	Rigidizador de labio $\delta_b$ en acero		Rigidizador de otro tipo $\chi_b$ en acero		
	A 37	A 42	A 37	A 42	A 52
10	5,0	5,0	10	10	10
11	5,0	5,0	10	10	12
12	5,0	5,1	10	11	15
13	5,4	5,6	13	14	18
14	5,8	5,9	16	17	20
16	6,4	6,4	22	22	24
18	6,8	6,9	26	27	29
20	7,2	7,2	31	31	33
25	7,9	7,9	41	42	43
30	8,5	8,5	51	52	53
40	9,5	9,5	71	71	71
50	10,2	10,2	89	90	90
60	10,9	10,9	108	108	109
70	-	-	127	127	127
80	-	-	150	150	150
90	-	-	164	164	164

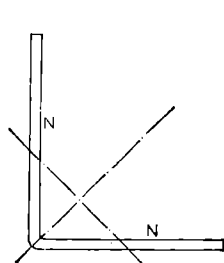
Los valores de  $\chi_i$  se indican en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LOS RIGIDIZADORES INTERMEDIOS.

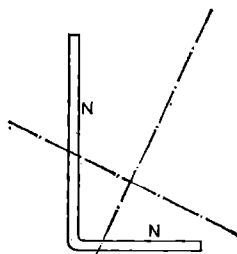
Delgadez del subelemento $\delta_s$	$\chi_i$ en acero		
	A 37	A 42	A 52
10	20	20	20
20	62	63	66
30	102	103	105
40	141	141	143
50	179	179	180
60	216	216	217
70	253	253	254
80	290	290	291
90	327	327	328
100	364	364	365
110	401	401	401
120	437	437	438
130	474	474	475
140	511	511	511
150	548	548	548
160	584	584	585
170	621	621	621
180	658	658	658
190	694	694	695
200	731	731	731
210	768	768	768
220	804	804	804
230	841	841	841
240	878	878	878
250	914	914	914

1.7.2. Rigidizador intermedio.—Es un pliegue, perfil unido, o combinación de ambos, en el interior de un elemento multirrigidizado (figura 4), cuya sección tenga un momento de inercia respecto al eje que pasa por su baricentro, paralelo al elemento, no inferior a  $I_i$ :

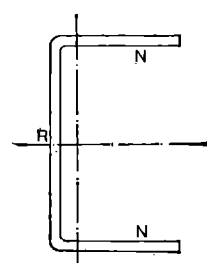
$$I_i = \chi_i e^4 \quad \chi_i = 3,66 \sqrt{\delta^2 - 117} \frac{24}{\sigma_u} \leq 20$$



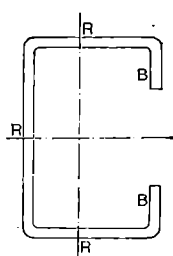
a) Perfil L



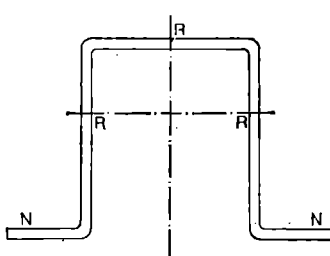
b) Perfil LD



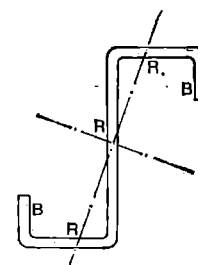
c) Perfil U



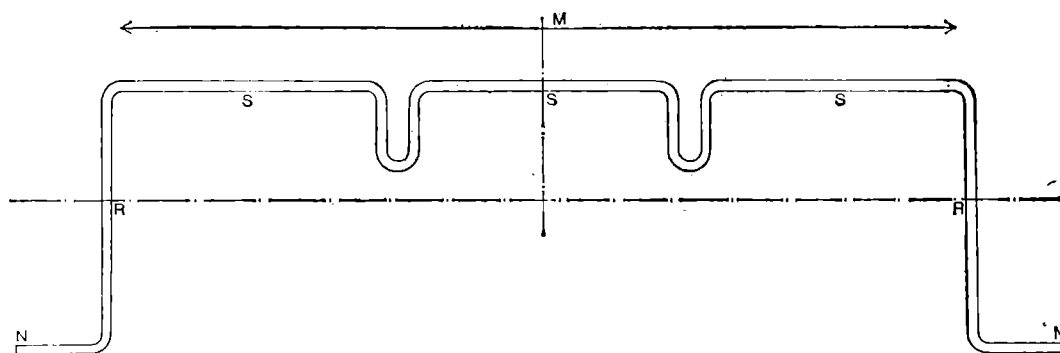
d) Perfil C



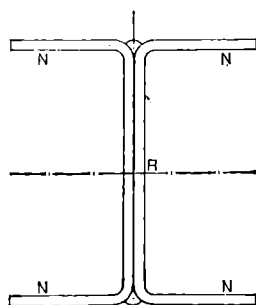
e) Perfil OMEGA



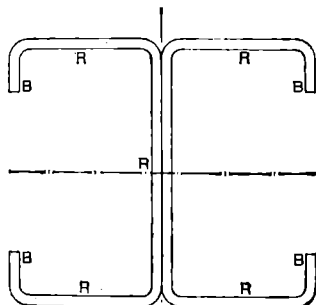
f) Perfil Z



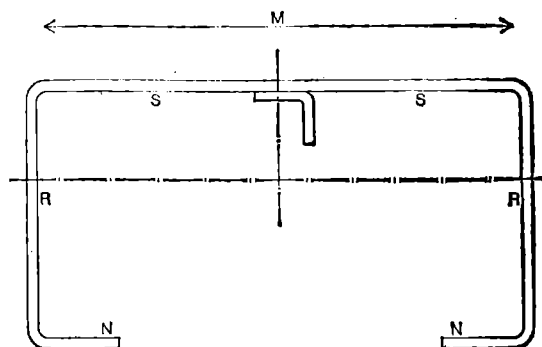
g) Perfil especial



h) Perfil 2U soldado

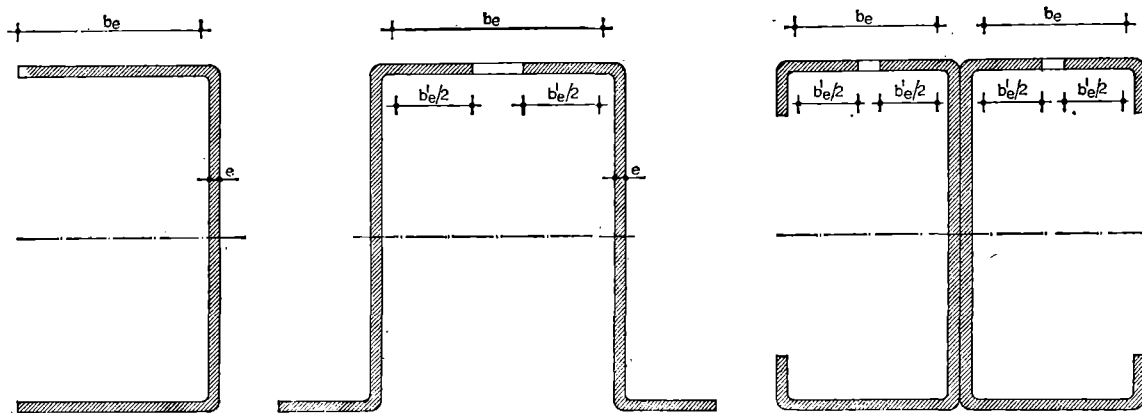


i) Perfil 2C atornillado



j) Perfil especial con rigidizador remachado

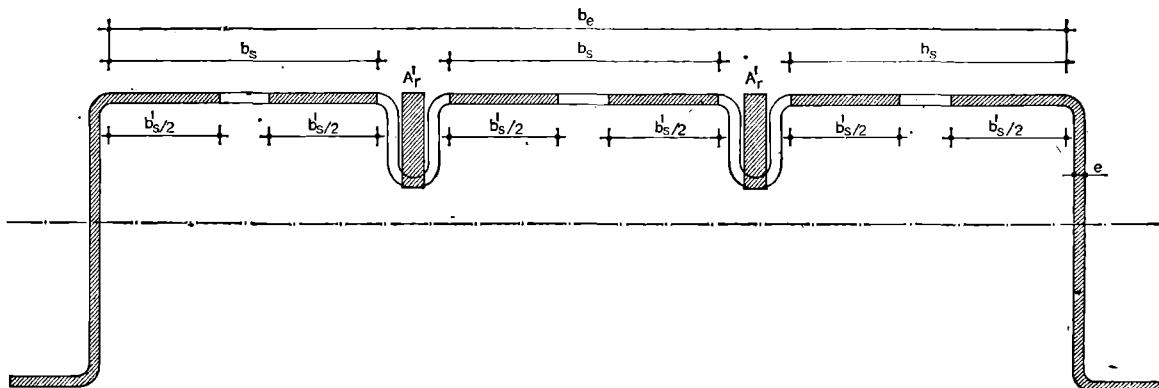
Figura 1 Perfiles conformados de acero



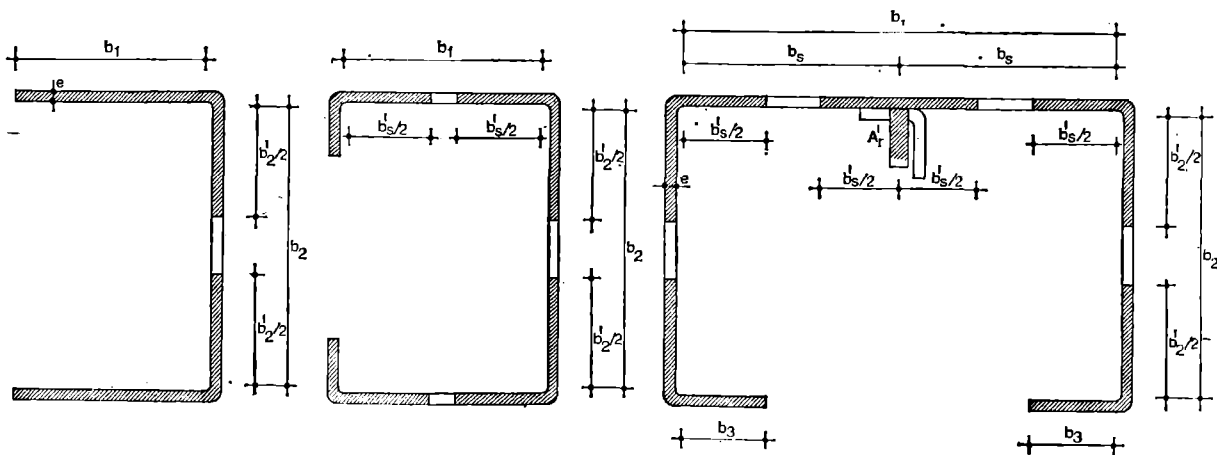
a) Perfil I'

b) Perfil omega

c) Perfil 2C



d) Perfil especial

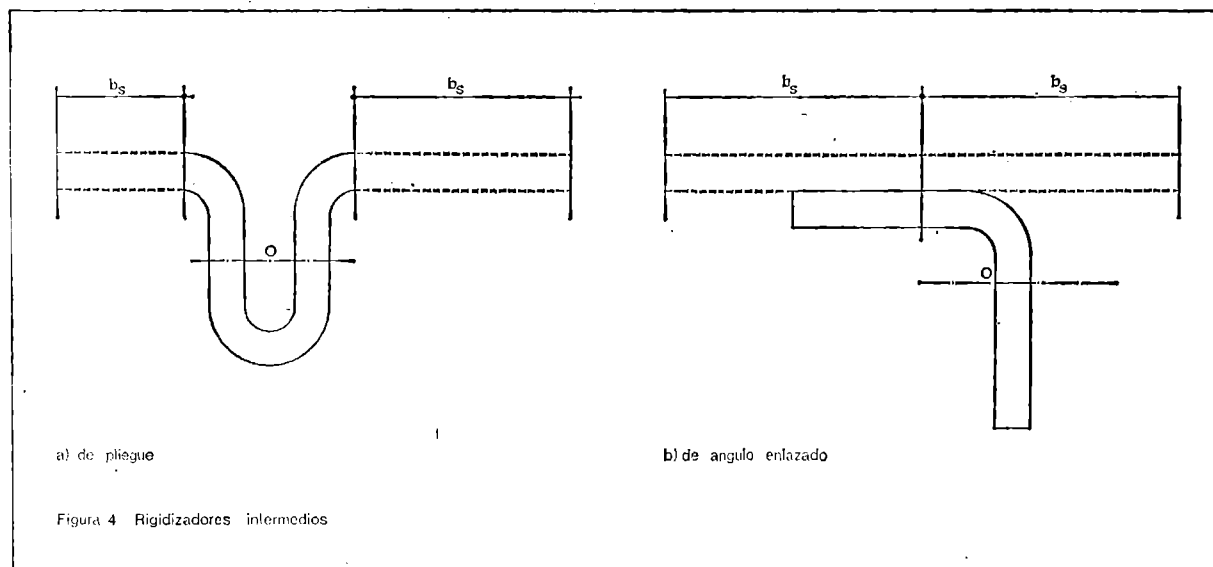
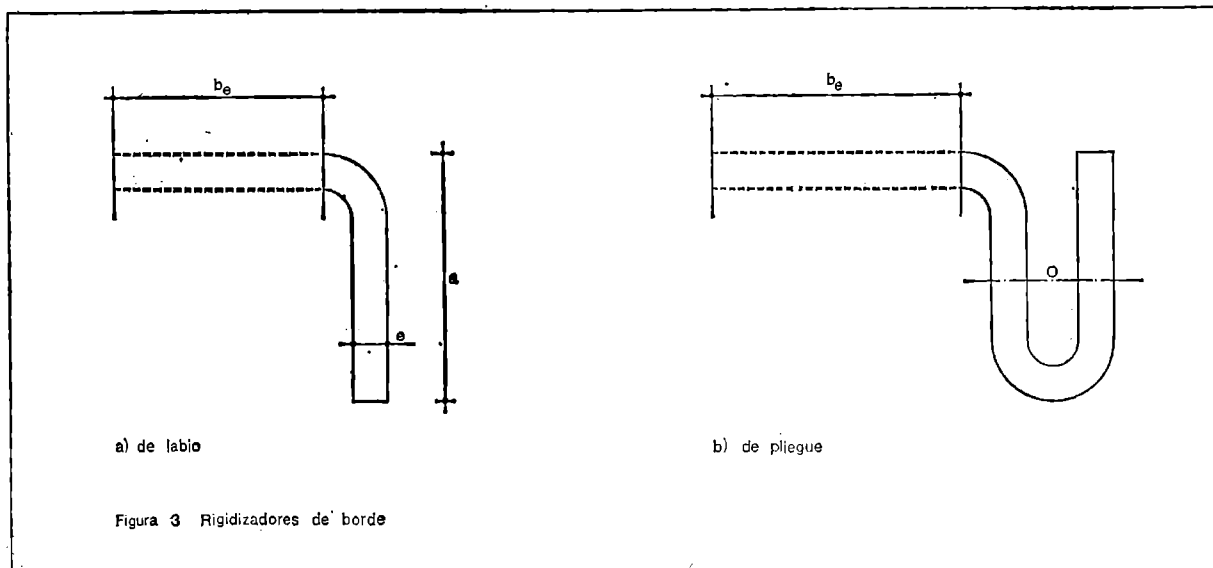


e) Perfil U

f) Perfil C

g) Perfil especial

Figura 2 Sección eficaz de perfiles a-d flexión simple e-g. compresión



CAPITULO II

Abolladura

2.1. Concepto.

Una pieza de chapa conformada con sollicitación de flexión simple, flexión compuesta, o compresión, tiene elementos planos sometidos a compresión o a cortadura. Cuando la delgadez de uno de estos elementos es mayor que la delgadez límite que corresponde a su caso, antes de que la tensión ponderada resultante alcance la resistencia de cálculo, el elemento sufre abolladura, es decir, se deforma normalmente a su plano, lo que reduce la sollicitación de agotamiento.

2.2. Abolladura por tensiones normales.

Un elemento no rigidizado comprimido (1.5.1) de delgadez  $\delta$  mayor que la delgadez límite:

$$\delta_{in} = 10,8 \frac{24}{\sigma_u}$$

sufre abolladura de forma ondulada (figura 5, a).

Un elemento rigidizado comprimido (1.5.2), de longitud mayor que su anchura recta, y delgadez mayor que la delgadez límite:

$$\delta_r = 40,8 \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}}$$

sufre abolladura formando paneles aproximadamente cuadrados (figura 5, b) que se deforman alternativamente a un lado o a otro. La deformación de las fibras longitudinales del elemento

se reduce por efecto de las fibras transversales que las cruzan, que trabajan a tracción. La tensión en las fibras longitudinales es variable a lo largo de la anchura recta  $b_e$  (figura 5, c), con ley de variación que depende de la tensión ponderada máxima  $\sigma^*$  que se produce en los bordes. La resultante  $R^*$  de las compresiones puede expresarse así:

$$R^* = \sigma^* b'_e e < \sigma^* b_e e$$

siendo  $b'_e$  la denominada anchura eficaz del elemento (2.2.1).

2.2.1. Anchura eficaz.—Es la anchura  $b'_e = \beta b_e$  de un elemento rigidizado, o  $b'_s = \beta b_s$  de un subelemento, que correspondería a una distribución uniforme de  $\sigma^*$  (figura 5, c). El factor de eficacia,  $\beta \leq 1$  es función de la delgadez y de la tensión ponderada resultante  $\sigma^*$ , y se obtiene en los artículos 2.4 y 2.8. Como a su vez  $\sigma^*$  depende de  $\beta$ , se requiere operar por aproximaciones sucesivas o emplear procedimientos simplificados (3.2 y 4.2).

2.2.2. Sección eficaz de un perfil.—Para la comprobación tensional en la sección de un perfil conformado que tenga elementos rigidizados comprimidos, la sección total se sustituye por la sección eficaz (figura 2), en la cual:

- La anchura recta  $b_e$  de los elementos no rigidizados comprimidos se mantiene (figura 2, e).
- La de los elementos rigidizados comprimidos se sustituye por su anchura eficaz  $b'_e$  (figuras 2, b, c, d, e, f, g).
- La anchura eficaz de un elemento o subelemento se considera dividida en dos partes iguales, situadas a partir de los extremos de aquél.
- El área  $A_r$  de cada rigidizador se sustituye por su área eficaz  $A'_r$  (2.4.2).
- El baricentro de la sección eficaz de un rigidizador coincide con el de su sección total (figuras 2, d, a, g).
- Los rigidizadores conservan su momento de inercia.

2.3. Tensiones en los elementos no rigidizados.

El efecto de la abolladura en estos elementos se tendrá en cuenta aplicando a la tensión ponderada de compresión  $\sigma^*$  (4.5) el coeficiente de abolladura  $\alpha$ , calculado según 2.3.1, debiendo cumplirse:

$$|\alpha\sigma^*| \leq \sigma_u$$

2.3.1. Coeficiente de abolladura.—El coeficiente de abolladura  $\alpha$  de un elemento no rigidizado, de delgadez  $\delta$  tiene el siguiente valor:

$$\text{Si } \delta \leq \delta_{in} = 10,8 \frac{24}{\sigma_u} : \alpha = 1$$

$$\text{Si } \delta > \delta_{in} \quad \alpha = 1 + \frac{(\sigma_u + 9) (\delta - \delta_{in})^2}{E}$$

En un elemento unido a un elemento no rigidizado, como el ala de un perfil I, si  $l : b_e \geq 4,45$   $E = 10000$ .

En un elemento unido a un elemento rigidizado, como el ala de un perfil U, si  $l : b_e \geq 1,48$   $E = 18000$ .

En elementos cortos de ambos tipos, en que  $l : b_e$  es menor que los correspondientes límites anteriores.

$$E = 9000 + \frac{19800}{\left(\frac{l}{b_e}\right)^2} \geq 88200$$

Los valores de  $\alpha$  en función de  $\delta$ , y para elementos cortos en función además de  $\frac{l}{b_e}$ , en acero A 37 se dan en la tabla 2.1.

2.4. Tensiones en los elementos rigidizados.

El efecto de la abolladura en estos elementos se tendrá en cuenta obteniendo la tensión ponderada resultante  $\sigma^*$  (4.6) con la sección eficaz (2.2.2), debiendo cumplirse:

$$|\sigma^*| \leq \sigma_u$$

La sección eficaz de un elemento rigidizado comprimido se determina en función de la tensión ponderada resultante  $\sigma^*$ , en  $\text{kp/mm}^2$ , en cada uno de los siguientes casos, como se indica de 2.4.1 a 2.4.4.

2.4.1. Elemento rigidizado entre dos almas.

Area eficaz:

$$A' = \beta b_e e$$

$$\text{Si } \delta \leq \delta_{ir} = 40,8 \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \quad \beta = 1$$

Si  $\delta > \delta_{ir}$

$$\beta = \frac{56,1}{15,3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}}$$

Los valores de  $\beta$  en función de  $\delta$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 2.2.

2.4.2. Elemento entre un alma y un rigidizador de borde.—

El área eficaz vale:  $A' = \beta b_e e + A'_r$  siendo:

- $\beta$  = Factor de eficacia del elemento (2.2.1).
- $A'_r = \beta_r A_r$  = Área eficaz del rigidizador de borde.
- $A_r$  = Área de la sección del rigidizador de borde (1.7).
- $\beta_r$  = Factor de eficacia del rigidizador.

Los factores de eficacia  $\beta$ ,  $\beta_r$  valen:

$$\text{Si } \delta \leq 60 \quad \beta = \frac{56,1}{15,3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}} > 1$$

$$\beta_r = 1$$

$$\text{Si } 60 < \delta \leq 90 \quad \beta = \frac{56,1 - 0,1 (\delta - 60) \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}}{15,3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}} > 1$$

$$\beta_r = 1 - \left| \frac{\delta}{30} - 2 \right| (1 - \beta) > 1$$

Los valores de  $\beta$  y de  $\beta_r$  en función de  $\delta$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 2.3.

2.4.3. Elemento multirigidizado entre dos almas.—Su área eficaz se determina por el método I y por el método II, y se adopta la menor de las obtenidas:

Método I.—El área eficaz vale:  $A' = \beta_1 A$

$$\beta_1 = 1 - \left[ 1 - \frac{28}{\delta_v} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \right]^2 \text{ con } \frac{28}{\delta_v} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} > 1$$

Siendo:

$A$  = Área de la sección del elemento, incluidos los rigidizadores intermedios.

$I$  = Momento de inercia de dicha sección, respecto al eje que pase por su baricentro, paralelo al elemento.

$b_e$  = Anchura recta total del elemento.

$$e_v = \sqrt[3]{\frac{12I}{b_e}} \text{ Espesor virtual del elemento.}$$

$$\delta_v = \frac{b_e}{e_v} \text{ Delgadez virtual del elemento.}$$

Los valores de  $\beta_1$  en función de  $\delta_v$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 2.4.

Método II.—El área eficaz vale:

$$A' = \Sigma \beta_s b_s e + \Sigma A'_r$$

siendo  $A'_r = \beta_r A_r$  el área eficaz de cada rigidizador intermedio.

a) Caso de uno o dos rigidizadores intermedios:

Si  $\delta_s \leq 60$

$$\beta_s = 1 - \left[ 1 - \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \right]^2 \text{ con } \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} > 1$$

$\beta_r = 1$

Si  $\delta_s > 60$

$$\beta_s = 1 - \left[ 1 - \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \right]^2 - \frac{0,1}{\delta_s} (\delta_s - 60)$$

$$\text{con } \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} > 1$$

$$\beta_r = \frac{200 + (\delta_s - 60)^2 \beta_s}{200 + (\delta_s - 60)^2}$$

Los valores de  $\beta_s$  y de  $\beta_r$  en función de  $\delta_s$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 2.5.

b) Caso de más de dos rigidizadores intermedios (figura 6).

La anchura eficaz:  $b'_{s1} = \beta_s b_{s1}$  de los elementos contiguos a almas, y el área eficaz:  $A'_r = \beta_r A_r$  de los rigidizadores intermedios unidos a éstos, se calculan con las fórmulas anteriores.

La zona central, de anchura total  $b_s$ , incluye los demás rigidizadores intermedios, que no se consideran. Su anchura eficaz:  $b'_{s2} = \beta_s b_{s2}$  se calcula con las fórmulas anteriores.

2.4.4. Elemento multirigidizado entre un alma y un rigidizador de borde.—El área eficaz se calcula como en 2.4.3, teniendo en cuenta que se considera efectivo solamente el rigidizador intermedio contiguo al alma.

El área eficaz del rigidizador de borde se determinará como en 2.4.2.

2.5. Abolladura por tensiones tangenciales.

En los elementos planos, salvo excepciones, no pueden disponerse rigidizadores transversales (1.7). El efecto de la abolladura en un elemento se tendrá en cuenta aplicando a la tensión tangencial ponderada  $\tau^*$  (4.6) el coeficiente de abolladura por cortadura  $\alpha'$ , calculado según 2.5.1, debiendo cumplirse:

$$|\alpha' \tau^*| \leq \tau_u = 0,577 \sigma_u$$

2.5.1. Coeficiente de abolladura por cortadura.—El coeficiente  $\alpha'$  de un elemento de delgadez  $\delta$  tiene el siguiente valor:

$$\text{Si } \delta \leq 65 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}} \quad \alpha' = 1$$

$$\text{Si } 65 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}} \leq \delta \leq 95 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}} \quad \alpha' = \frac{\delta}{65} \sqrt{\frac{\sigma_u}{24}}$$

$$\text{Si } \delta > 95 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}} \quad \alpha' = \frac{\delta^2 \sigma_u}{148.200}$$

Los valores de  $\alpha'$  en función de  $\delta$  para acero A37 se dan en la tabla 2.6.

2.6. Abolladura por tensiones normales y tangenciales.

Cuando actúan simultáneamente tensión normal y tensión tangencial debe cumplirse, según la clase del elemento, la condición que se indica:

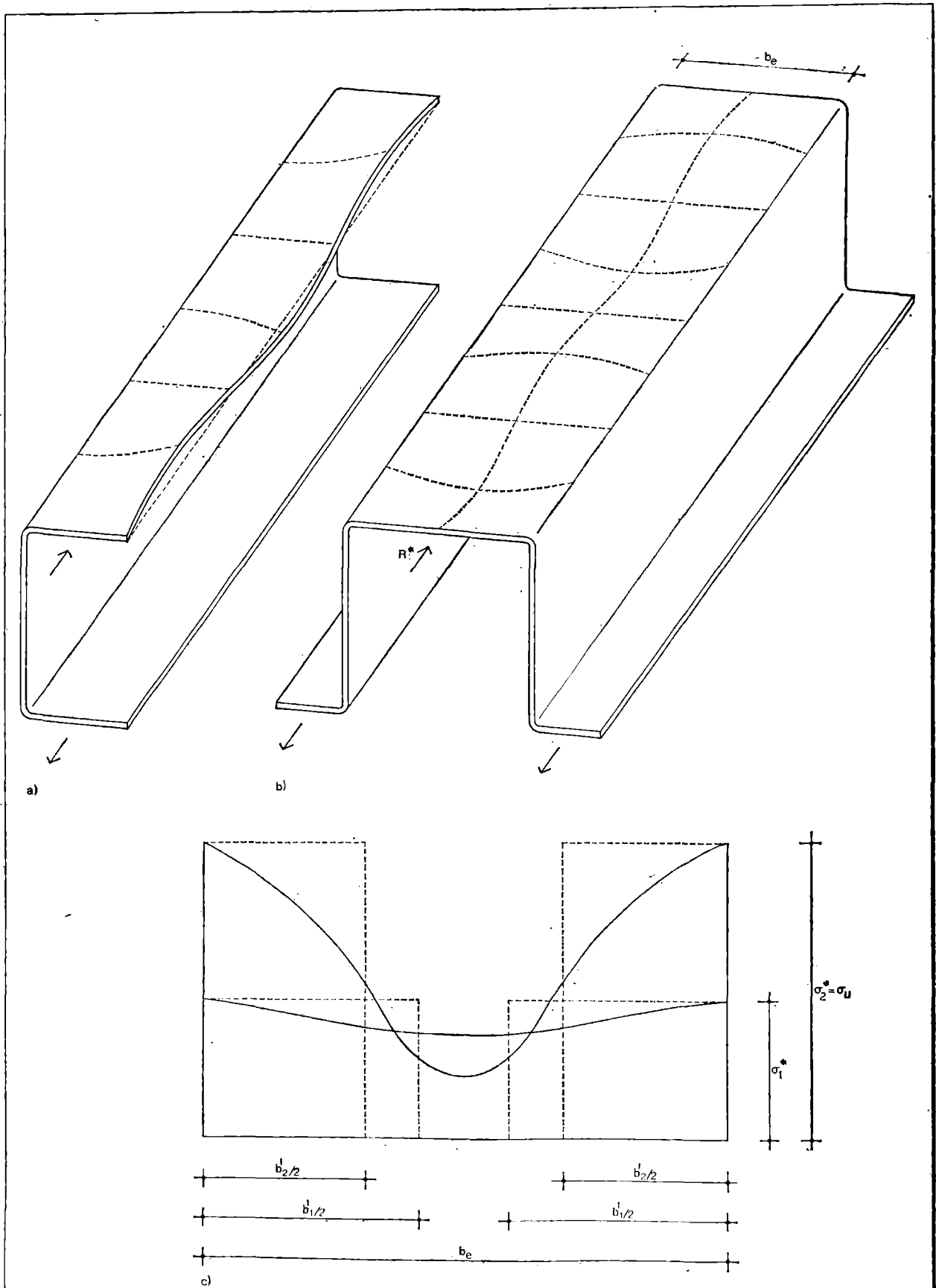


Figura 5 Abolladura de elementos planos comprimidos

a) Elemento no rigidizado b) Elemento rigidizado c) Tension en el centro de las fibras a lo largo de la anchura recta  $b$  del elemento rigidizado y anchura eficaz  $b_1^1$  con  $\sigma_1^* < \sigma_u$  v  $b_2^1$  en agotamiento con  $\sigma_2^* = \sigma_u$

TABLA 2.1 COEFICIENTE DE ABOLLADURA EN ELEMENTOS RECTOS NO RIGIDIZADOS																	
Delgado: del elemento	Coeficiente de abolladura $\alpha$ con acero A-37																
	Elemento unido o otro elemento		Elemento corto, siendo: $l : b_0$														
	rigidizado no rigidiz																
$\delta$			$\leq 0,5$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13	1,01	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02
14	1,02	1,03	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03
15	1,03	1,06	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06
16	1,05	1,09	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09
17	1,07	1,13	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12
18	1,10	1,17	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17
19	1,12	1,22	1,03	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,10	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,20	1,21	1,22
20	1,16	1,28	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,10	1,12	1,15	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25	1,26	1,27
21	1,19	1,34	1,04	1,05	1,07	1,09	1,10	1,12	1,15	1,18	1,21	1,23	1,25	1,28	1,31	1,32	1,34
22	1,23	1,41	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,18	1,22	1,25	1,27	1,30	1,34	1,37	1,39	1,40
23	1,27	1,49	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15	1,17	1,22	1,26	1,29	1,33	1,35	1,40	1,44	1,46	1,48
24	1,32	1,57	1,06	1,09	1,12	1,14	1,17	1,20	1,25	1,30	1,34	1,38	1,41	1,47	1,51	1,54	1,56
25	1,37	1,67	1,08	1,10	1,13	1,17	1,20	1,23	1,29	1,35	1,40	1,44	1,48	1,55	1,59	1,63	1,65
26	1,42	1,76	1,09	1,12	1,15	1,19	1,23	1,26	1,34	1,40	1,46	1,50	1,55	1,63	1,68	1,72	1,74
27	1,48	1,87	1,10	1,14	1,17	1,22	1,26	1,30	1,38	1,45	1,52	1,57	1,62	1,71	1,77	1,82	1,85
28	1,54	1,98	1,11	1,15	1,20	1,24	1,29	1,34	1,43	1,51	1,58	1,65	1,70	1,80	1,87	1,92	1,95
29	1,61	2,09	1,12	1,17	1,22	1,27	1,33	1,38	1,48	1,57	1,65	1,72	1,78	1,90	1,98	2,03	2,07
30	1,68	2,22	1,14	1,19	1,25	1,30	1,36	1,42	1,54	1,64	1,73	1,81	1,87	2,00	2,09	2,15	2,19
31	1,75	2,35	1,15	1,21	1,27	1,34	1,40	1,48	1,59	1,71	1,81	1,89	1,97	2,11	2,20	2,27	2,31
32	1,82	2,48	1,17	1,23	1,30	1,37	1,44	1,51	1,65	1,78	1,87	1,98	2,06	2,22	2,32	2,39	2,45
33	1,90	2,63	1,18	1,25	1,33	1,41	1,49	1,56	1,72	1,85	1,97	2,08	2,17	2,34	2,45	2,53	2,59
34	1,99	2,78	1,20	1,28	1,36	1,44	1,53	1,62	1,78	1,93	2,06	2,18	2,27	2,46	2,59	2,67	2,73
35	2,07	2,93	1,22	1,30	1,39	1,48	1,58	1,67	1,85	2,01	2,16	2,28	2,39	2,59	2,73	2,82	2,89
36	2,16	3,10	1,24	1,33	1,42	1,52	1,63	1,73	1,92	2,10	2,15	2,39	2,50	2,72	2,87	2,97	3,05
37	2,27	3,27	1,26	1,35	1,46	1,57	1,68	1,79	2,00	2,19	2,35	2,50	2,69	2,86	3,02	3,13	3,21
38	2,36	3,44	1,28	1,38	1,49	1,61	1,73	1,85	2,07	2,28	2,46	2,62	2,75	3,01	3,22	3,30	3,38
39	2,46	3,62	1,30	1,41	1,52	1,66	1,78	1,91	2,15	2,38	2,57	2,74	2,88	3,16	3,34	3,47	3,56
40	2,56	3,81	1,32	1,44	1,57	1,70	1,84	1,98	2,24	2,47	2,68	2,86	3,02	3,31	3,51	3,65	3,75
41	2,67	4,01	1,34	1,47	1,61	1,75	1,90	2,04	2,32	2,58	2,80	2,99	3,16	3,47	3,69	3,84	3,94
42	2,79	4,21	1,36	1,50	1,65	1,80	1,96	2,11	2,41	2,68	2,92	3,13	3,30	3,64	3,87	4,03	4,14
43	2,90	4,42	1,39	1,53	1,69	1,86	2,02	2,19	2,51	2,79	3,05	3,27	3,45	3,81	4,06	4,22	4,34
44	3,02	4,64	1,41	1,57	1,73	1,91	2,09	2,26	2,60	2,91	3,18	3,41	3,61	3,99	4,25	4,43	4,55
45	3,14	4,86	1,44	1,60	1,78	1,96	2,15	2,34	2,70	3,02	3,31	3,56	3,77	4,17	4,45	4,64	4,67
46	3,27	5,09	1,46	1,64	1,83	2,02	2,22	2,42	2,80	3,14	3,45	3,71	3,93	4,36	4,65	4,85	4,99
47	3,40	5,32	1,49	1,67	1,87	2,08	2,29	2,50	2,90	3,27	3,59	3,86	4,10	4,55	4,86	5,07	5,22
48	3,54	5,57	1,52	1,71	1,92	2,14	2,37	2,58	3,01	3,39	3,73	4,02	4,27	4,75	5,06	5,30	5,46
49	3,68	5,82	1,54	1,75	1,97	2,20	2,44	2,67	3,12	3,52	3,88	4,19	4,45	4,96	5,30	5,54	5,70
50	3,82	6,07	1,57	1,79	2,02	2,27	2,52	2,76	3,23	3,66	4,03	4,36	4,64	5,17	5,53	5,78	5,95
51	3,96	6,33	1,60	1,83	2,08	2,33	2,59	2,85	3,35	3,79	4,19	4,53	4,82	5,38	5,76	6,02	6,20
52	4,11	6,60	1,63	1,87	2,13	2,40	2,67	2,94	3,46	3,94	4,35	4,71	5,02	5,60	6,00	6,28	6,47
53	4,27	6,88	1,66	1,92	2,19	2,47	2,76	3,04	3,59	4,08	4,51	4,89	5,21	5,83	6,25	6,54	6,74
54	4,42	7,16	1,70	1,96	2,24	2,54	2,84	3,14	3,71	4,23	4,68	5,08	5,42	6,06	6,50	6,80	7,01
55	4,58	7,45	1,73	2,01	2,42	2,61	2,93	3,24	3,84	4,38	4,86	5,27	5,62	6,30	6,76	7,07	7,29
56	4,75	7,74	1,76	2,05	2,36	2,69	3,02	3,34	3,97	4,53	5,03	5,46	5,83	6,54	7,02	7,35	7,58
57	4,91	8,04	1,80	2,10	2,42	2,76	3,11	3,44	4,10	4,69	5,21	5,38	6,05	6,79	7,29	7,64	7,87
58	5,08	8,35	1,83	2,15	2,49	2,84	3,20	3,55	4,23	4,85	5,40	5,87	6,27	7,04	7,57	7,93	8,17
59	5,26	8,67	1,87	2,20	2,55	2,91	3,29	3,66	4,37	5,02	5,58	6,08	6,50	7,30	7,85	8,22	8,48
60	5,44	8,99	1,90	2,25	2,61	3,00	3,39	3,77	4,51	5,19	5,78	6,29	6,73	7,55	8,13	8,52	8,80



Elemento no rigidizado:

Elemento rigidizado:

$$\left[ \frac{\alpha \sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[ \frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

**TABLA 2.2 FACTOR DE EFICACIA EN UN ELEMENTO RIGIDIZADO ENTRE DOS ALMAS**

Delgadez del elemento $\delta$	Factor de eficacia $\beta$ siendo $\sigma^*$ en $kp/mm^2$																		
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
≤30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,985	0,959	0,935	0,912	0,892	0,873
50	1	1	1	1	1	1	1	1	0,957	0,921	0,888	0,859	0,833	0,809	0,788	0,768	0,750	0,733	
60	1	1	1	1	1	0,971	0,918	0,873	0,834	0,801	0,771	0,745	0,722	0,700	0,681	0,663	0,647	0,632	
70	1	1	1	0,928	0,866	0,816	0,774	0,739	0,706	0,681	0,658	0,636	0,617	0,600	0,584	0,569	0,555		
80	1	1	0,912	0,838	0,781	0,734	0,696	0,663	0,635	0,610	0,589	0,569	0,552	0,536	0,521	0,508	0,495		
90	1	1	0,930	0,834	0,764	0,711	0,668	0,632	0,602	0,576	0,553	0,533	0,515	0,499	0,484	0,471	0,458	0,447	
100	1	1	0,859	0,768	0,703	0,652	0,612	0,579	0,551	0,526	0,505	0,487	0,470	0,455	0,441	0,429	0,418	0,407	
110	1	0,932	0,798	0,712	0,650	0,603	0,565	0,534	0,507	0,485	0,465	0,448	0,432	0,418	0,406	0,394	0,384	0,374	
120	1	0,873	0,745	0,663	0,605	0,560	0,525	0,495	0,471	0,449	0,431	0,415	0,400	0,387	0,375	0,365	0,355	0,346	
130	1	0,821	0,699	0,621	0,565	0,523	0,490	0,462	0,439	0,419	0,401	0,386	0,372	0,360	0,349	0,339	0,330	0,321	
140	1	0,774	0,658	0,584	0,531	0,491	0,459	0,433	0,411	0,392	0,376	0,361	0,348	0,337	0,326	0,317	0,308	0,300	
150	1	0,957	0,733	0,621	0,551	0,500	0,462	0,432	0,407	0,386	0,369	0,353	0,339	0,327	0,316	0,307	0,298	0,289	
160	1	0,912	0,696	0,589	0,521	0,473	0,437	0,408	0,384	0,365	0,348	0,333	0,320	0,309	0,298	0,289	0,280	0,273	
170	1	0,871	0,662	0,559	0,494	0,449	0,414	0,387	0,364	0,345	0,329	0,315	0,303	0,292	0,282	0,273	0,265	0,258	
180	1	0,834	0,632	0,533	0,471	0,427	0,393	0,367	0,346	0,328	0,312	0,299	0,287	0,277	0,267	0,259	0,251	0,244	
190	1	0,800	0,604	0,509	0,449	0,407	0,375	0,350	0,329	0,312	0,297	0,284	0,273	0,263	0,254	0,246	0,239	0,232	
200	1	0,768	0,579	0,487	0,429	0,389	0,358	0,334	0,314	0,298	0,284	0,271	0,261	0,251	0,243	0,235	0,228	0,221	
210	1	0,739	0,555	0,466	0,411	0,372	0,343	0,319	0,300	0,285	0,271	0,259	0,249	0,240	0,232	0,224	0,216	0,211	
220	1	0,712	0,534	0,448	0,394	0,357	0,328	0,306	0,286	0,273	0,260	0,248	0,238	0,230	0,222	0,215	0,208	0,202	
230	1	0,687	0,514	0,431	0,379	0,343	0,315	0,294	0,276	0,262	0,249	0,238	0,229	0,220	0,213	0,206	0,200	0,194	
240	1	0,663	0,495	0,415	0,365	0,330	0,303	0,282	0,266	0,251	0,239	0,229	0,220	0,212	0,204	0,198	0,192	0,186	
250	1	0,641	0,478	0,400	0,351	0,318	0,292	0,272	0,256	0,242	0,230	0,220	0,211	0,204	0,197	0,190	0,185	0,179	
260	1	0,621	0,462	0,386	0,339	0,306	0,282	0,262	0,246	0,233	0,222	0,212	0,204	0,196	0,189	0,183	0,178	0,173	
270	1	0,602	0,447	0,373	0,328	0,296	0,272	0,253	0,238	0,225	0,214	0,205	0,197	0,189	0,183	0,177	0,172	0,167	
280	1	0,584	0,433	0,361	0,317	0,286	0,263	0,245	0,230	0,218	0,207	0,198	0,190	0,183	0,177	0,171	0,166	0,161	
290	1	0,567	0,420	0,350	0,307	0,277	0,255	0,237	0,223	0,211	0,200	0,191	0,184	0,177	0,171	0,165	0,160	0,156	
300	1	0,551	0,407	0,339	0,298	0,268	0,247	0,230	0,216	0,204	0,194	0,185	0,178	0,171	0,165	0,160	0,155	0,151	
310	1	0,535	0,395	0,329	0,289	0,260	0,239	0,223	0,209	0,198	0,188	0,180	0,172	0,166	0,160	0,155	0,150	0,146	
320	1	0,521	0,384	0,320	0,280	0,253	0,232	0,216	0,203	0,192	0,182	0,174	0,167	0,161	0,155	0,150	0,146	0,142	
330	1	0,507	0,374	0,311	0,273	0,246	0,226	0,210	0,197	0,186	0,177	0,169	0,162	0,156	0,151	0,146	0,142	0,137	
340	1	0,494	0,364	0,303	0,265	0,239	0,219	0,204	0,192	0,181	0,172	0,165	0,158	0,152	0,147	0,142	0,138	0,134	
350	1	0,482	0,355	0,295	0,258	0,233	0,213	0,199	0,186	0,176	0,168	0,160	0,154	0,148	0,143	0,138	0,134	0,130	
360	1	0,471	0,346	0,287	0,251	0,227	0,208	0,193	0,181	0,172	0,163	0,156	0,149	0,144	0,139	0,134	0,130	0,126	
370	1	0,459	0,337	0,280	0,245	0,221	0,203	0,188	0,177	0,167	0,159	0,152	0,146	0,140	0,135	0,131	0,127	0,123	
380	1	0,449	0,329	0,273	0,239	0,215	0,198	0,184	0,172	0,163	0,155	0,148	0,142	0,137	0,132	0,127	0,124	0,120	
390	1	0,439	0,321	0,267	0,233	0,210	0,193	0,179	0,168	0,159	0,151	0,144	0,138	0,133	0,129	0,124	0,120	0,117	
400	1	0,429	0,314	0,261	0,228	0,205	0,188	0,175	0,164	0,155	0,147	0,141	0,135	0,130	0,125	0,121	0,118	0,114	
410	1	0,420	0,307	0,255	0,223	0,200	0,184	0,171	0,160	0,151	0,144	0,138	0,132	0,127	0,122	0,118	0,115	0,111	
420	1	0,411	0,300	0,249	0,218	0,196	0,180	0,167	0,157	0,148	0,141	0,134	0,129	0,124	0,120	0,116	0,112	0,109	
430	1	0,402	0,294	0,244	0,213	0,192	0,176	0,163	0,153	0,145	0,138	0,131	0,126	0,121	0,117	0,113	0,110	0,106	
440	1	0,394	0,288	0,238	0,208	0,187	0,172	0,160	0,150	0,142	0,135	0,129	0,123	0,119	0,114	0,111	0,107	0,104	
450	1	0,286	0,282	0,233	0,204	0,183	0,168	0,156	0,147	0,139	0,132	0,126	0,121	0,116	0,112	0,108	0,105	0,102	
460	1	0,379	0,276	0,229	0,200	0,180	0,165	0,153	0,144	0,136	0,129	0,123	0,118	0,114	0,110	0,106	0,103	0,100	
470	1	0,372	0,271	0,224	0,196	0,176	0,161	0,150	0,141	0,133	0,126	0,121	0,116	0,111	0,107	0,104	0,101	0,098	
480	1	0,365	0,266	0,220	0,192	0,173	0,158	0,147	0,138	0,130	0,124	0,118	0,113	0,109	0,105	0,102	0,098	0,096	
490	1	0,358	0,261	0,216	0,188	0,169	0,155	0,144	0,135	0,128	0,121	0,116	0,111	0,107	0,103	0,100	0,097	0,094	
500	1	0,351	0,256	0,211	0,185	0,166	0,152	0,141	0,132	0,125	0,119	0,114	0,109	0,105	0,101	0,098	0,095	0,092	

**TABLA 2.3 FACTORES DE EFICACIA DE UN ELEMENTO RIGIDIZADO ENTRE UN ALMA Y UN RIGIDIZADOR DE BORDE**

Delgadez del elemento $\delta$	Factores de eficacia $\beta$ y $\beta_r$ siendo $\sigma^*$ en $kp/mm^2$																
	≤ 4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
≤ 30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,985	0,968	0,935	0,912	0,892
50	1	1	1	1	1	1	1	1	0,957	0,921	0,888	0,859	0,833	0,809	0,788	0,768	0,750
60	1	1	1	1	0,971	0,918	0,873	0,834	0,801	0,771	0,745	0,722	0,700	0,681	0,663	0,647	0,632
70	1	1	0,997	0,917	0,855	0,805	0,763	0,728	0,697	0,670	0,646	0,625	0,605	0,588	0,572	0,557	0,543
80	1	0,996	0,894	0,819	0,761	0,714	0,676	0,643	0,614	0,590	0,568	0,548	0,530	0,514	0,500	0,486	0,474
90	1	0,905	0,808	0,738	0,684	0,640	0,604	0,574	0,548	0,525	0,504	0,486	0,470	0,455	0,441	0,429	0,418
≤ 60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70	1	1	0,999	0,972	0,952	0,935	0,921	0,909	0,899	0,890	0,882	0,875	0,868	0,863	0,857	0,852	0,848
80	1	0,998	0,929	0,879	0,841	0,810	0,784	0,762	0,743	0,726	0,712	0,699	0,687	0,676	0,666	0,657	0,649
90	1	0,905	0,808	0,738	0,684	0,640	0,604	0,574	0,548	0,525	0,504	0,486	0,470	0,455	0,441	0,429	0,418

**TABLA 2.4 FACTOR DE EFICACIA DE UN ELEMENTO MULTIRIGIDIZADO ENTRE DOS ALMAS - METODO I**

Delgado: virf. del elemento $\delta_v$	Factor de eficacia $\beta_1$ siendo $\sigma^*$ en $\text{kp/cm}^2$																		
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
≤ 20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,999	0,996	0,989	0,982	0,973	0,963	0,953	0,943	
40	1	1	1	1	1	1,000	0,993	0,980	0,963	0,946	0,928	0,910	0,893	0,876	0,860	0,845	0,830	0,816	
50	1	1	1	1	0,999	0,982	0,957	0,929	0,901	0,875	0,851	0,828	0,806	0,787	0,768	0,751	0,735	0,720	0,705
60	1	1	1	0,996	0,963	0,923	0,884	0,849	0,816	0,787	0,761	0,737	0,716	0,696	0,677	0,661	0,645	0,630	0,617
70	1	1	1,000	0,960	0,906	0,855	0,811	0,773	0,740	0,710	0,684	0,661	0,640	0,621	0,604	0,588	0,573	0,559	0,547
80	1	1	0,980	0,910	0,845	0,790	0,745	0,707	0,674	0,645	0,620	0,597	0,577	0,559	0,543	0,528	0,514	0,502	0,490
90	1	1	0,943	0,857	0,787	0,732	0,686	0,649	0,617	0,589	0,565	0,544	0,525	0,508	0,493	0,479	0,466	0,454	0,444
100	1	0,999	0,901	0,806	0,735	0,679	0,635	0,599	0,568	0,542	0,519	0,499	0,482	0,466	0,451	0,438	0,426	0,415	0,405
110	1	0,986	0,858	0,759	0,687	0,633	0,590	0,555	0,526	0,501	0,480	0,461	0,444	0,429	0,416	0,404	0,392	0,382	0,372
120	1	0,963	0,816	0,716	0,645	0,592	0,551	0,518	0,490	0,466	0,446	0,428	0,412	0,398	0,385	0,374	0,363	0,354	0,345
130	1	0,936	0,777	0,676	0,607	0,556	0,516	0,484	0,458	0,436	0,416	0,399	0,384	0,371	0,359	0,348	0,338	0,329	0,321
140	1	0,906	0,740	0,640	0,573	0,524	0,486	0,455	0,430	0,409	0,390	0,374	0,360	0,347	0,336	0,326	0,316	0,308	0,300
150	1	0,875	0,705	0,607	0,542	0,495	0,458	0,429	0,405	0,385	0,367	0,352	0,338	0,327	0,316	0,306	0,297	0,289	0,282
160	1	0,845	0,674	0,577	0,514	0,469	0,434	0,406	0,383	0,363	0,347	0,332	0,319	0,308	0,298	0,289	0,280	0,272	0,265
170	1	0,816	0,644	0,550	0,489	0,445	0,412	0,385	0,363	0,344	0,328	0,314	0,302	0,291	0,282	0,273	0,265	0,258	0,251
180	1	0,787	0,617	0,525	0,466	0,424	0,392	0,366	0,345	0,327	0,312	0,299	0,287	0,277	0,267	0,259	0,251	0,244	0,238
190	1	0,760	0,592	0,503	0,445	0,404	0,373	0,349	0,328	0,311	0,297	0,284	0,273	0,263	0,254	0,246	0,239	0,232	0,226
200	1	0,735	0,568	0,482	0,426	0,387	0,357	0,333	0,314	0,297	0,283	0,271	0,260	0,251	0,242	0,235	0,228	0,221	0,216
210	1	0,710	0,547	0,462	0,409	0,370	0,342	0,319	0,300	0,284	0,271	0,259	0,249	0,240	0,232	0,224	0,218	0,211	0,206
220	1	0,687	0,526	0,444	0,392	0,355	0,328	0,306	0,287	0,272	0,259	0,248	0,238	0,230	0,222	0,215	0,208	0,202	0,197
230	1	0,666	0,507	0,428	0,377	0,342	0,315	0,293	0,276	0,261	0,249	0,238	0,229	0,220	0,213	0,206	0,200	0,194	0,189
240	1	0,645	0,490	0,412	0,363	0,329	0,303	0,282	0,265	0,251	0,239	0,229	0,220	0,212	0,204	0,198	0,192	0,186	0,181
250	1	0,625	0,473	0,398	0,350	0,317	0,292	0,272	0,256	0,242	0,230	0,220	0,211	0,204	0,197	0,190	0,185	0,179	0,175
260	1	0,607	0,458	0,384	0,338	0,306	0,281	0,262	0,246	0,233	0,222	0,212	0,204	0,196	0,189	0,183	0,178	0,173	0,168
270	1	0,589	0,444	0,372	0,327	0,296	0,272	0,253	0,238	0,225	0,214	0,205	0,197	0,189	0,183	0,177	0,172	0,167	0,162
280	1	0,573	0,430	0,360	0,316	0,286	0,263	0,245	0,229	0,218	0,207	0,198	0,190	0,183	0,177	0,171	0,166	0,161	0,157
290	1	0,557	0,417	0,349	0,306	0,277	0,254	0,237	0,223	0,211	0,200	0,192	0,184	0,177	0,171	0,165	0,160	0,156	0,151
300	1	0,542	0,405	0,338	0,297	0,268	0,247	0,229	0,216	0,204	0,194	0,185	0,178	0,171	0,165	0,160	0,155	0,151	0,147
310	1	0,528	0,394	0,329	0,288	0,260	0,239	0,223	0,209	0,198	0,188	0,180	0,172	0,166	0,160	0,155	0,150	0,146	0,142
320	1	0,514	0,383	0,319	0,280	0,253	0,232	0,216	0,203	0,192	0,183	0,174	0,167	0,161	0,155	0,150	0,146	0,142	0,138
330	1	0,501	0,372	0,311	0,272	0,246	0,226	0,210	0,197	0,186	0,177	0,169	0,162	0,156	0,151	0,146	0,142	0,137	0,134
340	1	0,489	0,363	0,302	0,265	0,239	0,219	0,204	0,192	0,181	0,172	0,165	0,158	0,152	0,147	0,142	0,138	0,134	0,130
350	1	0,477	0,354	0,294	0,258	0,233	0,213	0,199	0,186	0,176	0,168	0,160	0,154	0,148	0,143	0,138	0,134	0,130	0,126
360	1	0,466	0,345	0,287	0,251	0,226	0,208	0,193	0,181	0,172	0,163	0,156	0,150	0,144	0,139	0,134	0,130	0,126	0,123
370	1	0,456	0,336	0,280	0,245	0,221	0,203	0,188	0,177	0,167	0,159	0,152	0,146	0,140	0,135	0,131	0,127	0,123	0,120
380	1	0,445	0,328	0,273	0,239	0,215	0,198	0,184	0,172	0,163	0,155	0,148	0,142	0,137	0,132	0,127	0,124	0,120	0,117
390	1	0,436	0,321	0,267	0,233	0,210	0,193	0,179	0,168	0,159	0,151	0,144	0,138	0,133	0,129	0,124	0,120	0,117	0,114
400	1	0,426	0,314	0,260	0,228	0,205	0,188	0,175	0,164	0,155	0,147	0,141	0,135	0,130	0,125	0,121	0,118	0,114	0,111
410	1	0,417	0,307	0,255	0,223	0,200	0,184	0,171	0,160	0,151	0,144	0,138	0,132	0,127	0,122	0,118	0,115	0,111	0,108
420	1	0,409	0,300	0,249	0,218	0,196	0,180	0,167	0,157	0,148	0,141	0,134	0,129	0,124	0,120	0,116	0,112	0,109	0,106
430	1	0,400	0,294	0,244	0,213	0,192	0,176	0,163	0,153	0,145	0,138	0,131	0,126	0,121	0,117	0,113	0,110	0,106	0,104
440	1	0,392	0,287	0,238	0,208	0,187	0,172	0,160	0,150	0,142	0,135	0,129	0,123	0,119	0,114	0,111	0,107	0,104	0,101
450	1	0,385	0,282	0,233	0,204	0,183	0,168	0,156	0,147	0,139	0,132	0,126	0,121	0,116	0,112	0,108	0,105	0,102	0,099
460	1	0,377	0,276	0,229	0,200	0,180	0,165	0,153	0,144	0,136	0,129	0,123	0,118	0,114	0,110	0,106	0,103	0,100	0,097
470	1	0,370	0,271	0,224	0,196	0,176	0,161	0,150	0,141	0,133	0,126	0,121	0,116	0,111	0,107	0,104	0,101	0,098	0,095
480	1	0,363	0,265	0,220	0,192	0,173	0,158	0,147	0,138	0,130	0,124	0,118	0,113	0,109	0,105	0,102	0,098	0,096	0,093
490	1	0,357	0,260	0,216	0,188	0,169	0,155	0,144	0,135	0,128	0,121	0,116	0,111	0,107	0,103	0,100	0,097	0,094	0,091
500	1	0,350	0,256	0,211	0,185	0,166	0,152	0,141	0,132	0,125	0,119	0,114	0,109	0,105	0,101	0,098	0,095	0,092	0,089

TABLA 2.5 FACTOR DE EFICACIA EN UN ELEMENTO MULTIRIGIDIZADO ENTRE DOS ALMAS-METODO II

Delgadoz del sub. elemento $\delta_s$	Factores de eficacia $\beta_s$ en la parte superior, y $\beta_r$ en la inferior, siendo $\sigma^*$ en $kp/mm^2$																		
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
≤ 20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,999	0,996	0,989	0,982	0,973	0,963	0,953	0,943	
40	1	1	1	1	1	1	0,993	0,980	0,963	0,946	0,948	0,910	0,893	0,876	0,860	0,845	0,830	0,816	
50	1	1	1	1	0,999	0,982	0,957	0,929	0,901	0,875	0,851	0,828	0,806	0,787	0,768	0,751	0,735	0,720	0,705
60	1	1	1	0,996	0,963	0,923	0,884	0,849	0,816	0,787	0,761	0,737	0,716	0,696	0,677	0,661	0,645	0,630	0,617
70	0,986	0,986	0,986	0,946	0,891	0,841	0,797	0,759	0,726	0,696	0,670	0,647	0,626	0,607	0,589	0,573	0,559	0,545	0,532
80	0,975	0,975	0,955	0,885	0,820	0,765	0,720	0,682	0,649	0,620	0,595	0,572	0,552	0,534	0,518	0,503	0,489	0,477	0,465
90	0,967	0,967	0,910	0,824	0,754	0,698	0,653	0,615	0,584	0,556	0,532	0,511	0,492	0,475	0,460	0,446	0,433	0,421	0,410
100	0,960	0,959	0,861	0,766	0,695	0,639	0,595	0,559	0,528	0,502	0,479	0,459	0,442	0,426	0,411	0,398	0,386	0,375	0,365
110	0,955	0,941	0,813	0,714	0,642	0,588	0,545	0,510	0,481	0,456	0,434	0,416	0,399	0,384	0,370	0,358	0,347	0,337	0,327
120	0,950	0,913	0,766	0,666	0,595	0,542	0,501	0,468	0,440	0,416	0,396	0,378	0,362	0,348	0,335	0,324	0,313	0,304	0,295
130	0,946	0,882	0,723	0,622	0,553	0,502	0,463	0,431	0,404	0,382	0,362	0,345	0,331	0,317	0,305	0,294	0,284	0,275	0,267
140	0,943	0,848	0,683	0,583	0,516	0,467	0,429	0,398	0,373	0,351	0,333	0,317	0,303	0,290	0,279	0,269	0,259	0,251	0,243
150	0,940	0,815	0,645	0,547	0,482	0,435	0,398	0,369	0,345	0,325	0,307	0,292	0,278	0,267	0,256	0,246	0,237	0,229	0,222
160	0,938	0,782	0,611	0,515	0,452	0,406	0,371	0,343	0,320	0,301	0,284	0,270	0,257	0,245	0,235	0,226	0,218	0,210	0,203
170	0,935	0,751	0,579	0,486	0,424	0,381	0,347	0,320	0,298	0,279	0,264	0,250	0,238	0,227	0,217	0,208	0,200	0,193	0,186
180	0,933	0,721	0,550	0,459	0,400	0,357	0,325	0,299	0,278	0,260	0,245	0,232	0,220	0,210	0,201	0,192	0,185	0,178	0,171
190	0,932	0,692	0,523	0,434	0,377	0,336	0,305	0,280	0,260	0,243	0,228	0,216	0,205	0,195	0,186	0,178	0,171	0,164	0,158
200	0,930	0,665	0,498	0,412	0,356	0,317	0,287	0,263	0,244	0,227	0,213	0,201	0,190	0,181	0,172	0,165	0,158	0,151	0,146
210	0,929	0,639	0,475	0,391	0,337	0,299	0,270	0,247	0,229	0,213	0,199	0,188	0,177	0,168	0,160	0,153	0,146	0,140	0,134
220	0,927	0,615	0,454	0,372	0,320	0,283	0,255	0,233	0,215	0,200	0,187	0,175	0,166	0,157	0,149	0,142	0,136	0,130	0,124
230	0,926	0,592	0,434	0,354	0,303	0,268	0,241	0,219	0,202	0,187	0,175	0,164	0,155	0,146	0,139	0,132	0,126	0,120	0,115
240	0,925	0,570	0,415	0,337	0,288	0,254	0,228	0,207	0,190	0,176	0,164	0,154	0,145	0,137	0,129	0,123	0,117	0,111	0,106
250	0,924	0,549	0,397	0,322	0,274	0,241	0,216	0,196	0,180	0,166	0,154	0,144	0,135	0,128	0,121	0,114	0,109	0,103	0,099
≤ 60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70	0,995	0,995	0,995	0,982	0,964	0,947	0,932	0,920	0,909	0,899	0,890	0,882	0,875	0,869	0,863	0,858	0,853	0,848	0,844
80	0,983	0,983	0,970	0,923	0,860	0,844	0,813	0,788	0,766	0,747	0,730	0,715	0,702	0,690	0,679	0,669	0,660	0,651	0,643
90	0,973	0,973	0,926	0,856	0,799	0,753	0,716	0,685	0,659	0,637	0,617	0,600	0,584	0,571	0,558	0,547	0,536	0,526	0,517
100	0,964	0,964	0,877	0,792	0,729	0,679	0,640	0,608	0,581	0,557	0,537	0,519	0,504	0,489	0,477	0,465	0,454	0,445	0,436
110	0,959	0,945	0,827	0,735	0,668	0,618	0,579	0,546	0,519	0,496	0,476	0,459	0,443	0,429	0,417	0,406	0,395	0,386	0,377
120	0,953	0,918	0,779	0,633	0,616	0,566	0,527	0,496	0,469	0,447	0,428	0,411	0,396	0,382	0,370	0,359	0,349	0,340	0,332
130	0,949	0,886	0,734	0,637	0,571	0,522	0,484	0,452	0,428	0,406	0,387	0,371	0,357	0,344	0,332	0,322	0,312	0,304	0,296
140	0,945	0,853	0,692	0,595	0,530	0,483	0,446	0,416	0,392	0,371	0,353	0,338	0,324	0,312	0,301	0,291	0,282	0,275	0,266
150	0,941	0,820	0,654	0,558	0,495	0,448	0,413	0,384	0,361	0,341	0,324	0,309	0,296	0,284	0,274	0,264	0,256	0,248	0,240
160	0,939	0,787	0,619	0,525	0,463	0,418	0,384	0,356	0,334	0,315	0,298	0,284	0,271	0,260	0,250	0,241	0,233	0,225	0,218
170	0,936	0,755	0,586	0,494	0,434	0,391	0,358	0,331	0,309	0,291	0,276	0,262	0,250	0,239	0,230	0,221	0,213	0,206	0,199
180	0,934	0,725	0,556	0,466	0,408	0,366	0,334	0,309	0,288	0,270	0,255	0,242	0,231	0,221	0,212	0,203	0,196	0,189	0,183
190	0,933	0,696	0,529	0,441	0,384	0,344	0,313	0,289	0,269	0,252	0,237	0,225	0,214	0,204	0,195	0,187	0,180	0,174	0,168
200	0,931	0,668	0,503	0,418	0,363	0,324	0,294	0,270	0,251	0,235	0,221	0,209	0,199	0,189	0,181	0,173	0,166	0,160	0,154
210	0,930	0,642	0,480	0,396	0,343	0,305	0,277	0,254	0,235	0,220	0,206	0,195	0,185	0,176	0,168	0,160	0,154	0,148	0,142
220	0,928	0,618	0,458	0,376	0,325	0,288	0,261	0,239	0,221	0,206	0,193	0,182	0,172	0,163	0,156	0,149	0,142	0,136	0,131
230	0,927	0,594	0,437	0,358	0,308	0,273	0,246	0,225	0,208	0,193	0,181	0,170	0,161	0,152	0,145	0,138	0,132	0,126	0,121
240	0,926	0,573	0,418	0,341	0,293	0,258	0,232	0,212	0,195	0,181	0,169	0,159	0,150	0,142	0,135	0,128	0,122	0,117	0,112
250	0,924	0,552	0,401	0,326	0,278	0,245	0,220	0,200	0,184	0,171	0,159	0,149	0,140	0,132	0,125	0,119	0,113	0,108	0,103



CAPITULO III

Combadura

3.1. Concepto.

La combadura es un fenómeno de inestabilidad de las cabezas comprimidas de la pieza (3.2), denominado pandeo lateral en la Norma NBE-103, que se produce entre secciones arriostradas, extremas o interiores, con sujeción que impide el giro.

No es necesario considerar la combadura cuando el momento de inercia de la sección respecto al eje normal al plano de flexión es menor o igual que el correspondiente al eje contenido en dicho plano. Si el plano de flexión pasa por el eje y:

$$I_x \leq I_y$$

Tampoco es necesario considerarla en las piezas con arriostramiento efectivo a lo largo de su directriz (4.4) por su unión a un forjado o cubierta directamente en sus cabezas comprimidas. Sin embargo, es preceptivo considerarla en las piezas arriostradas a lo largo de su directriz, no directamente en sus cabezas comprimidas. Así ocurre en las zonas de momentos negativos de las correas de cubierta: en ménsula, o junto a los apoyos intermedios en tramos continuos (figura 7) (3.5).

El efecto de la combadura se tendrá en cuenta mediante el coeficiente de combadura  $k$ , calculado según 3.4, que multiplica a las tensiones normales ponderadas  $\sigma^*$ , debiendo cumplirse:

$$|\kappa \sigma^*| \leq \sigma_u$$

3.2. Cabezas comprimidas.

La cabeza comprimida, o parte de la pieza en que dominan las tensiones de compresión, puede considerarse compuesta de un elemento; su rigidizador si existe, y parte del elemento adyacente, o alma, cuando resulte favorable, con altura  $h_a$   
 $h_c \leq \frac{h_a}{6}$  (fig. 8, a), o de dos elementos en piezas compuestas (figura 8, b).

El radio de giro de una cabeza comprimida es:

$$i_c = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}}$$

siendo:

$A_c$  = Área de la cabeza comprimida.

$I_c$  = Momento de inercia de esta área respecto al eje  $y'$  que pasa por su baricentro.

Algunas piezas (figura 7, a) tienen dos cabezas comprimidas, una en cada extremo de la sección.

3.3. Longitud de combadura.

La longitud de combadura  $l_c$  de una pieza de longitud  $l$ , sin arriostramiento continuo y efectivo a lo largo de su directriz, es la máxima separación entre secciones consecutivas arriostradas con sujeción que impide el giro.

En una pieza que tenga arriostradas solamente las secciones extremas es:

$$l_c = l$$

En una pieza en voladizo, que tenga arriostrada solamente la sección del empotramiento, puede tomarse:

$$l_c = 2l$$

En una pieza con arriostramiento longitudinal continuo y efectivo que tenga dos cabezas comprimidas simétricas respecto al plano de flexión, no directamente arriostradas (figura 7, a), puede tenerse en cuenta la coacción elástica que en dichas cabezas producen las almas que las unen al resto de la sección, tomando como longitud de combadura la indicada en 3.5.

3.4. Coeficiente de combadura.

El coeficiente de combadura  $\kappa$  puede calcularse, en valor aproximado por exceso, en función de la esbeltez  $\lambda$  de la cabeza comprimida:

$$\lambda = \frac{l_c}{i_c}$$

siendo  $l_c$  la longitud de combadura (3.3) e  $i_c$  el radio de giro de la cabeza comprimida (3.2).

Se tomará  $\kappa = \omega$ , siendo  $\omega$  el coeficiente de pandeo que corresponde a  $\lambda$  en la tabla 3.1.

En el caso de flexión recta en el plano que pasa por el eje  $y$ , sin torsión, es más exacto para  $\kappa$  el valor dado en la tabla 3.2 en función del parámetro.

$$\zeta = \frac{l_c^2 I_x}{h \sqrt{I_y (I_t l_c^2 + \pi^2 I_a \frac{E}{G})}}$$

Siendo  $h$  el canto de la sección en dicho plano;  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_t$ ,  $I_a$ , los términos de la sección total (4.2);  $E$ , el módulo de elasticidad longitudinal del acero, y  $G$ , su módulo de elasticidad transversal.

3.5. Piezas arriostradas a lo largo de su directriz.

En una pieza con arriostramiento eficaz a lo largo de su directriz que tenga dos cabezas comprimidas, no directamente arriostradas, simétricas respecto al plano de flexión (figura 7, a), puede tenerse en cuenta la coacción elástica que en las cabezas comprimidas producen las almas que las unen al resto de la sección.

Estas cabezas comprimidas se comban formando ondas de semilongitud  $l_o$  (figura 7, b), que se calcula por la expresión:

$$l_o = \pi \sqrt[4]{\frac{E I_c}{k}}$$

siendo:

$I_c$  = Momento de inercia respecto al eje  $y'$  de la cabeza comprimida (3.2).

$k$  = Constante de muelle del alma, que es igual a la relación entre una fuerza lineal  $F$  aplicada en el centro de esfuerzos cortantes  $m$  de cada cabeza y la deformación  $u$  del alma correspondiente en dicho punto (figura 7, a).

En el perfil representado en la figura 7, c el valor de la constante de muelles es:

$$k = \frac{E e^3}{h^2 (6d + 4h')}$$

Con:  $h' = h + 0,4 a$ , siendo  $a$  la altura del labio;  $h' = h$  si el ala no tiene rigidizador.

Como longitud de combadura se tomará:

$$l_c = \frac{l_o}{\sqrt{2}}$$

CAPITULO IV

Piezas sometidas a flexión y torsión

4.1. Consideraciones generales.

En el presente capítulo se exponen los métodos de cálculo de piezas de sección abierta y pared delgada sometidas a flexión y torsión.

Se tendrá en cuenta la norma básica NBE 103-1972 en su anejo 2, Cálculo de tensiones en piezas flexionadas de pared delgada y sección abierta, y su anejo 3, piezas solicitadas a torsión.

Para los perfiles conformados en frío empleados como correas, los métodos de cálculo se establecen en 4.4.

En la sección de la pieza (figura 9) se empleará la notación siguiente:

- e, cm = Espesor de pared (habitualmente en milímetros en las tablas).
- s, cm = Coordenada curvilínea sobre la línea media de la sección medida desde su extremo 0.
- a, cm = Valor máximo de s.
- r, cm = Distancia desde el centro de esfuerzos cortantes  $M$ , a la tangente a la línea media de la sección en el punto de coordenada curvilínea  $s$ ; positiva cuando  $ds$  gira alrededor de  $M$  en sentido positivo ( $x \rightarrow y$ ).
- $\Omega$ ,  $cm^2$  = Coordenada de alabeo, respecto al centro de esfuerzos cortantes.

$$\Omega = \int_0^s r ds - \frac{1}{A} \left[ \int_0^s \left[ \int_0^s r ds \right] eds \right]$$

A,  $cm^2$  = Área de la sección

$$A = \int_0^a e ds$$

$S_x$ ,  $cm^3$  = Momento estático respecto al eje  $x$ , de la parte de sección comprendida entre 0 y  $s$ :

$$S_x = \int_0^s y e ds$$

$S_y$ ,  $cm^3$  = Momento estático respecto al eje  $y$ , de la parte de sección comprendida entre 0 y  $s$ :

$$S_y = \int_0^s x e ds$$

$I_x$ ,  $cm^4$  = Momento de inercia de la sección respecto al eje  $x$

$$I_x = \int_0^a y^2 e ds$$

$I_y$ ,  $cm^4$  = Momento de inercia de la sección respecto al eje  $y$

$$I_y = \int_0^a x^2 e ds$$



$I_{xy}$ ,  $\text{cm}^4$  = Producto de inercia

$$I_{xy} = \int_0^s x y e ds$$

que es nulo cuando  $x$ ,  $y$  son los ejes principales de inercia.

$I_t$ ,  $\text{cm}^4$  = Módulo de torsión

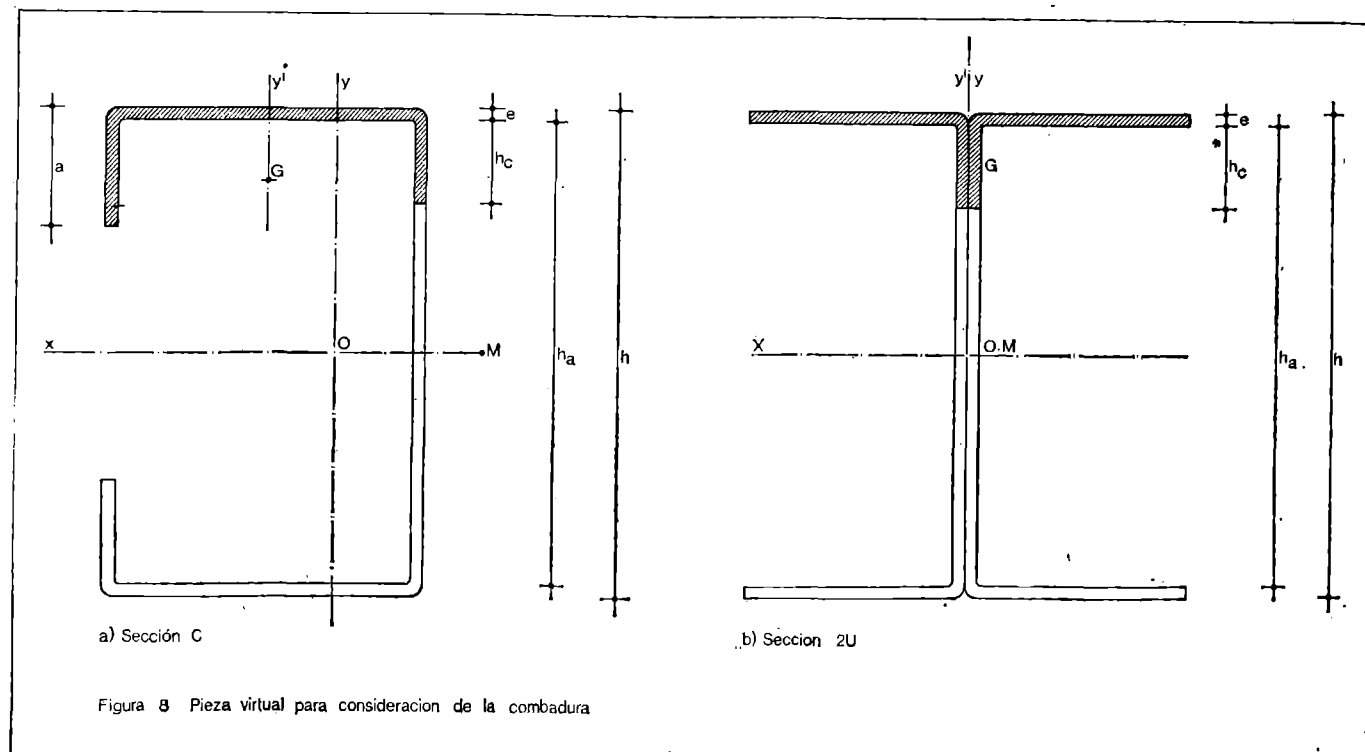
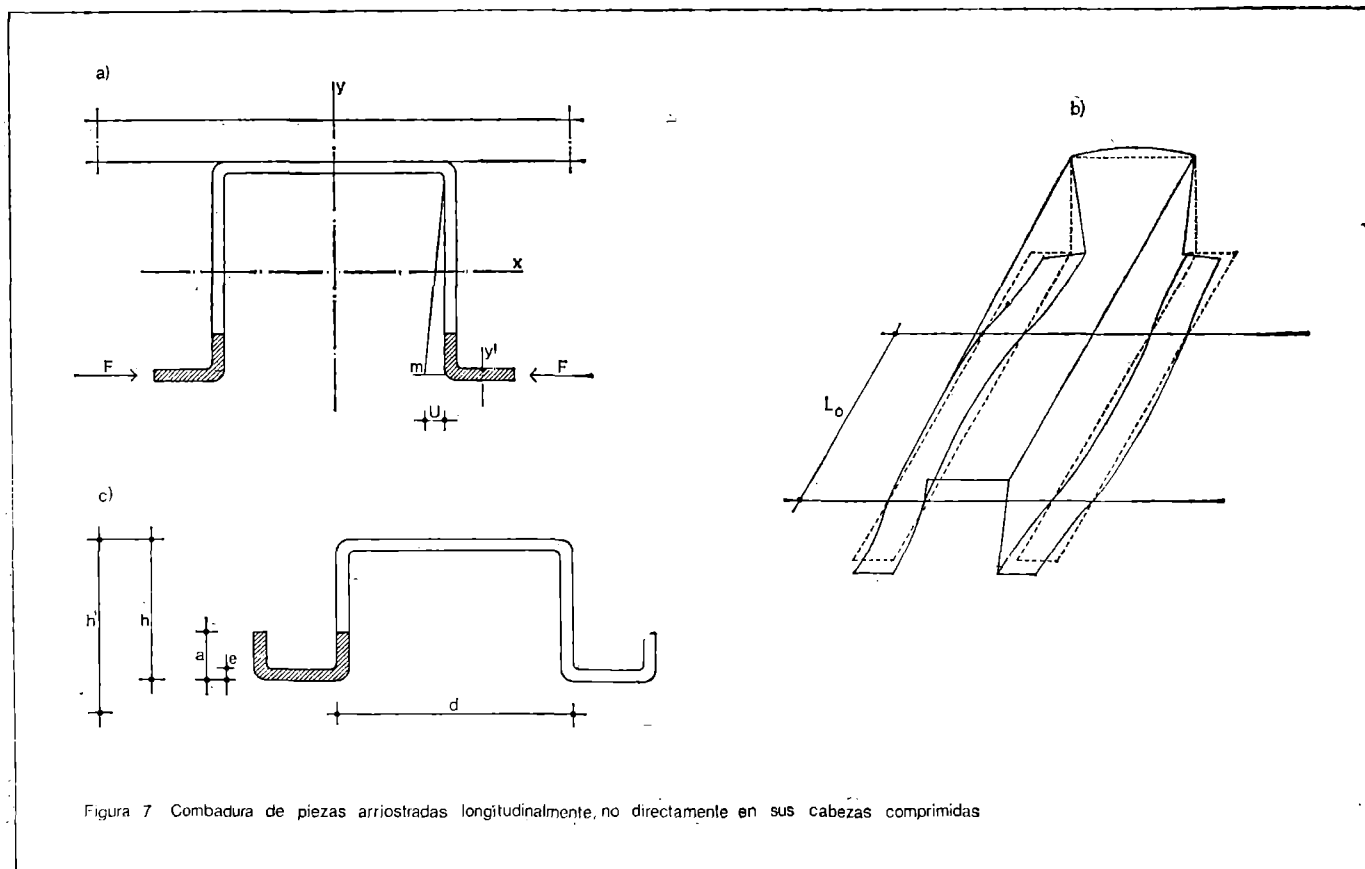
$$I_t = \int_0^s \frac{e^3}{3} ds$$

$S_a$ ,  $\text{cm}^6$  = Momento estático de alabeo de la parte de sección comprendida entre 0 y  $s$

$$S_a = \int_0^s \Omega e ds$$

$I_a$ ,  $\text{cm}^6$  = Módulo de alabeo de la sección

$$I_a = \int_0^s \Omega^2 e ds$$



En el apéndice A se presenta un método de cálculo numérico iterativo para determinar en una sección abierta de pared delgada cualquiera: el baricentro, el centro de esfuerzos cortantes, los términos de sección y las funciones coordenadas antes indicadas.

4.2. Piezas a flexión.

Las tensiones normales y tangenciales producidas por la flexión simple, vienen dadas por las fórmulas que se indican a continuación. La notación complementaria y el convenio de signos se indican en la figura 9.

Flexión esviada, en una sección cualquiera referida a ejes xy que no coinciden con sus ejes principales de inercia, sometidas a momento flector de componentes  $M_x$ ,  $M_y$  y a esfuerzo cortantes de componentes  $T_x$ ,  $T_y$ :

$$\sigma_f = \frac{1}{D} \left[ M_x (yI_y - xI_{xy}) + M_y (xI_x - yI_{xy}) \right]$$

$$\tau_f = -\frac{1}{eD} \left[ T_y (S_x I_y - S_y I_{xy}) + T_x (S_y I_x - S_x I_{xy}) \right]$$

en donde:  $D = I_x I_y - I_{xy}^2$

TABLA 3.2		COEFICIENTE DE COMBADURA						
Tipo de acero	$\zeta +$	Coeficiente $K$ siendo $\zeta$						
		D	1000	2000	3000	4000	5000	6000
A 37	0	1	1,20	2,35	3,52	4,69	5,66	7,03
	100	1,01	1,29	2,46	3,64	4,81	5,98	7,15
	200	1,02	1,41	2,58	3,76	4,93	6,10	7,27
	300	1,03	1,52	2,70	3,87	5,05	6,21	7,39
	400	1,05	1,64	2,82	3,99	5,16	6,33	7,50
	500	1,07	1,76	2,93	4,10	5,28	6,45	7,62
	600	1,09	1,88	3,05	4,22	5,39	6,57	7,74
	700	1,11	1,99	3,17	4,34	5,51	6,68	7,86
	800	1,13	2,11	3,28	4,45	5,63	6,80	7,97
	900	1,16	2,23	3,40	4,57	5,75	6,92	8,09
A 42	0	1	1,27	2,54	3,81	5,08	6,35	7,62
	100	1,01	1,40	2,67	3,94	5,21	6,48	7,75
	200	1,02	1,52	2,79	4,06	5,33	6,60	7,87
	300	1,04	1,65	2,92	4,19	5,46	6,73	8,00
	400	1,06	1,78	3,05	4,32	5,59	6,86	8,13
	500	1,08	1,91	3,18	4,45	5,72	6,99	8,26
	600	1,10	2,03	3,30	4,57	5,84	7,11	8,38
	700	1,12	2,16	3,43	4,70	5,97	7,24	8,51
	800	1,15	2,29	3,56	4,83	6,10	7,37	8,64
	900	1,19	2,41	3,68	4,95	6,22	7,49	8,76
A 52	0	1	1,76	3,52	5,28	7,03	8,79	10,6
	100	1,02	1,93	3,69	5,45	7,21	8,97	10,7
	200	1,04	2,11	3,87	5,63	7,39	9,15	10,9
	300	1,06	2,29	4,04	5,80	7,56	9,32	11,1
	400	1,08	2,46	4,22	5,98	7,74	9,50	11,3
	500	1,11	2,64	4,40	6,16	7,91	9,67	11,4
	600	1,16	2,81	4,57	6,33	8,09	9,85	11,6
	700	1,24	2,99	4,75	6,51	8,27	10,0	11,8
	800	1,40	3,17	4,92	6,68	8,44	10,2	12,0
	900	1,58	3,34	5,10	6,86	8,62	10,4	12,1

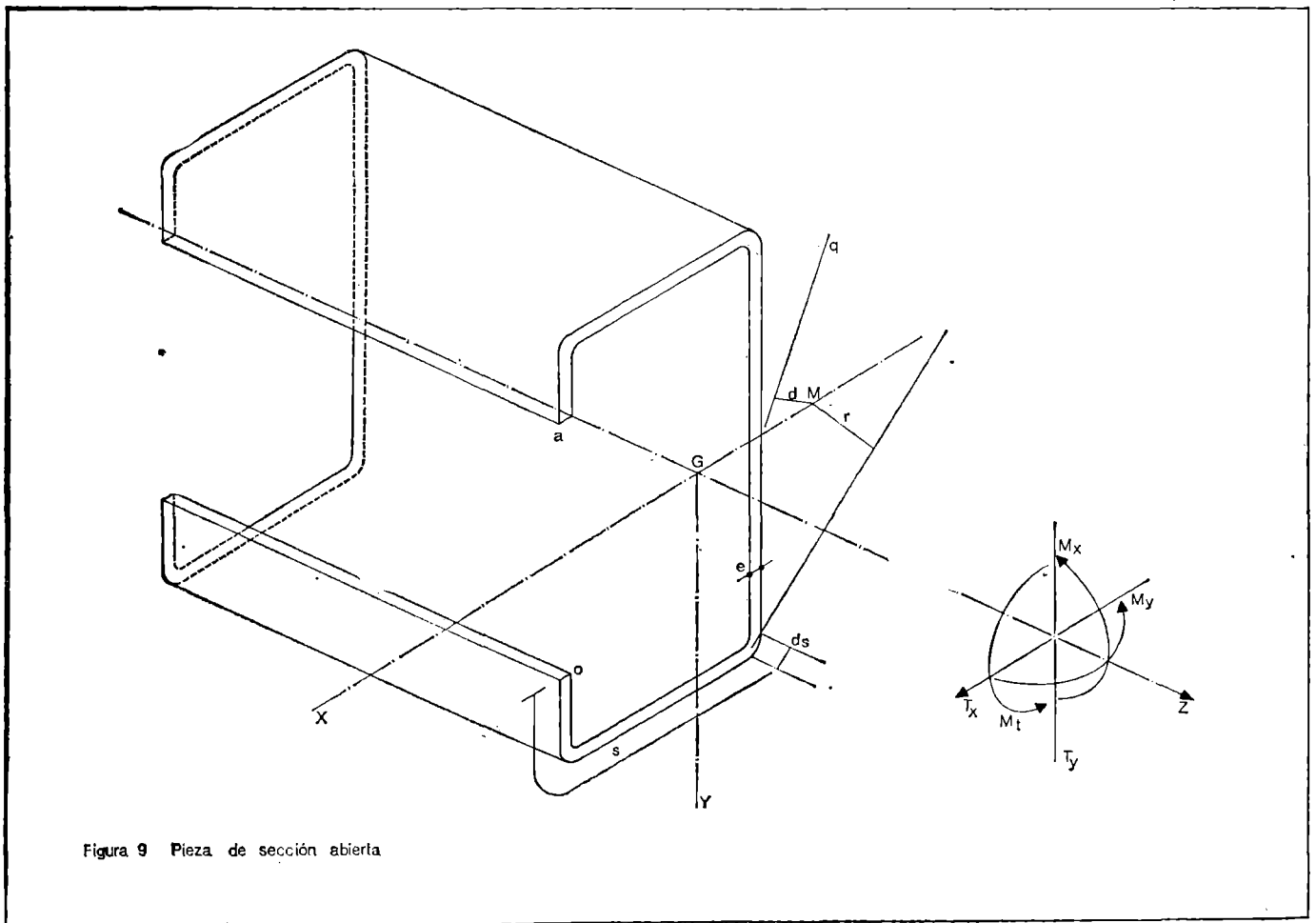


Figura 9 Pieza de sección abierta



Flexión esviada en una sección cualquiera, referida a ejes  $xy$  que coincidan con sus ejes principales de inercia, sometida a momento flector de componentes  $M_x, M_y$  y a esfuerzo cortante de componentes  $T_x, T_y$ ,

$$\sigma_t = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}$$

$$\tau_t = \frac{-T_y S_x}{eI_x} - \frac{T_x S_y}{eI_y}$$

Flexión recta en el plano principal  $yz$  de una sección cualquiera:

$$\sigma_t = \frac{M_x y}{I_x}$$

$$\tau_t = -\frac{T_y S_x}{eI_x}$$

4.3. Piezas a torsión.

Las piezas conformadas en frío de sección abierta y pared delgada no son adecuadas para resistir torsiones, por lo que esta sollicitación deberá evitarse en lo posible mediante las oportunas disposiciones constructivas.

Cuando la carga  $q$  actúa con excentricidad  $d$  respecto al centro de esfuerzos cortantes  $M$  de la sección (figura 9) se produce sollicitación de las componentes:

$$M_t = M_r + M_a = \text{Momento torsor}$$

$$M_r = \text{Momento torsor de rotación (1)}$$

$$M_a = \text{Momento torsor de alabeo}$$

$$B = \text{Bimomento}$$

Entre la carga, la sollicitación y el giro  $\varphi$  de la sección existen las relaciones:

$$\frac{dM_t}{dz} = qd \quad \frac{d^2\varphi}{dz^2} = \frac{B}{EI_a}$$

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_r}{GI_t} \quad \frac{d^3\varphi}{dz^3} = \frac{-M_a}{EI_a}$$

y la ecuación diferencial de la torsión:

$$t^2 \frac{d^4\varphi}{dz^4} - \frac{d^2\varphi}{dz^2} = \frac{qd}{GI_t}$$

siendo  $t$  la longitud característica a torsión de la sección, que vale:

$$t = \sqrt{\frac{EI_a}{GI_t}} = 1,61 \sqrt{\frac{I_a}{I_t}}$$

La solución de la ecuación diferencial con las condiciones de contorno permite obtener la sollicitación.

Las tensiones producidas por la torsión son:

$$\sigma_t = \frac{B \Omega}{I_a}$$

$$\tau_t = \pm \frac{M_r e}{I_t} - \frac{M_a S_a}{e I_a}$$

Cuando haya además flexión, las tensiones son:

$$\sigma = \sigma_f + \sigma_t$$

$$\tau = \tau_f + \tau_t$$

Siendo  $\sigma_f$  y  $\tau_f$  las dadas en 4.2.

Cuando la longitud  $l$  (16.3) cumpla  $l > 6t$  puede despreciarse el momento torsor de alabeo:

$$M_t = M_r \quad M_a = 0 \quad B = 0$$

Cuando  $l < t$  puede despreciarse el momento torsor de rotación:

$$M_r = 0 \quad M_t = M_a \quad B \neq 0$$

En las piezas de chapa conformada de sección abierta es preciso, en general, evaluar los efectos de segundo orden en las tensiones normales de compresión, debidos a la abolladura (2.1 a 2.6) y a la combadura (3.1 a 3.5).

4.4. Correas.

Para el cálculo de las correas se consideran tres casos, según el tipo de elemento de cobertura empleado, y el sistema de fijación de ésta a las correas. Se establece el eje  $x$  en el plano de la cobertura, y el eje  $y$  normal a dicho plano.

Caso 1. Cobertura de amiantocemento.

No puede contarse con la colaboración de la cobertura, calculándose con la sollicitación completa según 4.3.

Caso 2. Cobertura de placas o paneles según Norma NBE-111-1980, dispuesta de modo que pueda considerarse impedido el desplazamiento en su plano. Fijación a las correas mediante ganchos.

La sollicitación tendrá los componentes  $T_y$  y  $M_x$ , admitiendo  $T_x = 0, M_y = 0$ . Para peso propio y presión del viento se considerará  $M_t = 0$ , pero para succión  $q_a$  del viento se considerará un momento torsor  $M_t$  definido por:

$$\frac{dM}{dz} = -q_s d$$

siendo  $d$  la distancia de la línea de acción del gancho al centro de esfuerzos cortantes de la sección (figura 10). Con esta sollicitación se calculan las tensiones según 4.3.

Caso 3. Cobertura de placas o paneles según Norma NBE-111-1980, dispuesta de modo que pueda considerarse impedido el desplazamiento en su plano. Fijación a las correas que impide la torsión de éstas.

Las tensiones en las correas se calculan según 4.2, con  $T_y$  y  $M_x$ , admitiendo:  $T_x = 0, M_y = 0, M_t = 0$ .

4.5. Comprobación de las tensiones.

La tensión normal ponderada en un punto de una sección:

$$\sigma^* = \sigma_f^* + \sigma_t^*$$

se calculará según 4.2 y 4.3 con las componentes de sollicitación en valores ponderados:  $M_x^*, M_y^*, B^*$ .

La tensión tangencial ponderada en un punto de una sección:

$$\tau^* = \tau_f^* + \tau_t^*$$

se calculará según 4.3 con las componentes de sollicitación en valores ponderados:  $T_x^*, T_y^*, M_x^*, M_y^*$ .

Las condiciones de agotamiento con consideración de la abolladura y de la combadura se establecen en 4.5.1 para piezas con elementos comprimidos no rigidizados y en 4.5.2 para piezas con elementos comprimidos rigidizados.

4.5.1. Piezas con elementos no rigidizados.—Cuando la pieza tiene su cabeza comprimida constituida por un elemento plano no rigidizado (figura 11, a) o más de uno (figura 11, b), las tensiones ponderadas deberán cumplir en todo punto:

$$\text{Compresión: } \left[ \frac{\alpha \chi \sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

$$\text{Tracción: } \left[ \frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

siendo  $\chi$  el coeficiente de combadura de la pieza (3.4);  $\alpha$ , el coeficiente de abolladura del elemento que se calcula (2.3.1), y  $\alpha'$ , el coeficiente de abolladura por cortadura (2.5.1) del elemento en que se calcula la tensión.

4.5.2. Piezas con elementos rigidizados.—Cuando la pieza tiene su cabeza comprimida, constituida por un elemento plano rigidizado (figura 2, b y d) o por más de uno (figura 12), se considera la sección eficaz (2.2.3). En cada sección eficaz se obtienen los nuevos ejes, las coordenadas  $x', y', \Omega'$ , de cada punto, y los términos de sección  $I_x', I_y', I_a'$ , y con ellos se calculan según 4.3 las tensiones ponderadas.

Dichas tensiones ponderadas deberán cumplir en todo punto las dos condiciones siguientes:

$$\text{Compresión: } \left[ \frac{\chi \sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

$$\text{Tracción: } \left[ \frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

Como la sección eficaz depende de  $\sigma^*$ , es preciso proceder por aproximaciones sucesivas. Se tantea una sección (figura 12, a) que tenga un momento de inercia prudencialmente mayor que el que se obtenga de las condiciones de agotamiento con los términos de la sección total. Se determina el ancho eficaz de cada elemento comprimido de dicha sección en la hipótesis  $\sigma^* = \sigma_u$  (figura 12, b). Se calculan los términos de dicha sección eficaz, y con las ecuaciones de resistencia se obtienen las tensiones resultantes  $\sigma^*$ .

Si no cumple alguna de las dos condiciones anteriores, la sección es insuficiente, y se elige otra mayor.

Si se cumplen ambas condiciones, la sección es válida, pudiendo tantearse otra menor.

4.6. Cargas concentradas.

Se denomina carga concentrada la que actúa en una longitud  $a \leq h_a$ , siendo  $h_a$  la altura del alma (figura 13).

Las reacciones de sustentación tienen en general la consideración de cargas concentradas.

Las cargas concentradas producen dos efectos:

En el alma, un efecto de abolladura local que se tiene en cuenta según 4.6.1. En las alas comprimidas o traccionadas de piezas cortas, un efecto de variación de tensiones que se calcula según 4.6.5.

(1) Corresponde a la torsión de Saint Venant.

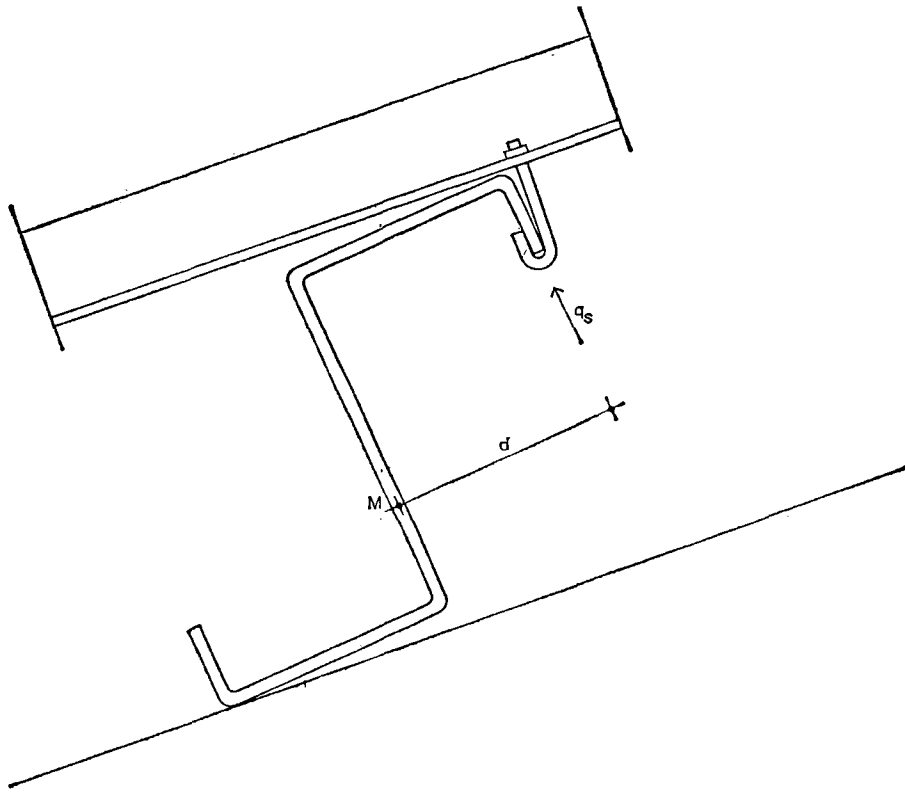
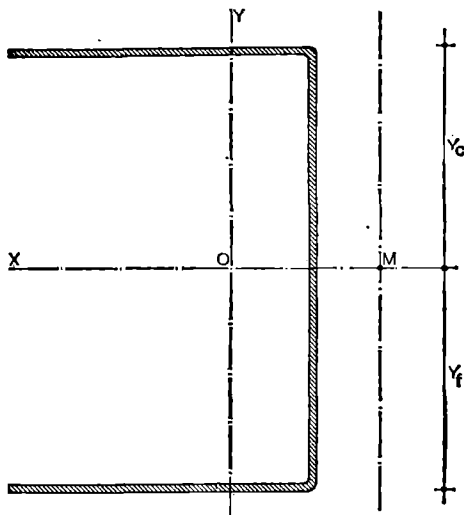
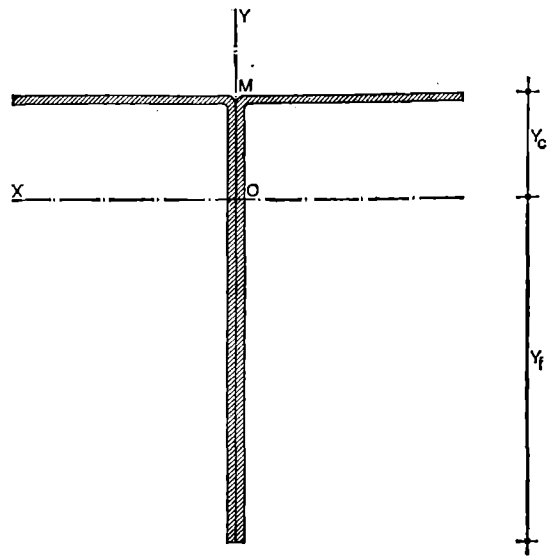


Figura 10 Correa fijada con ganchos

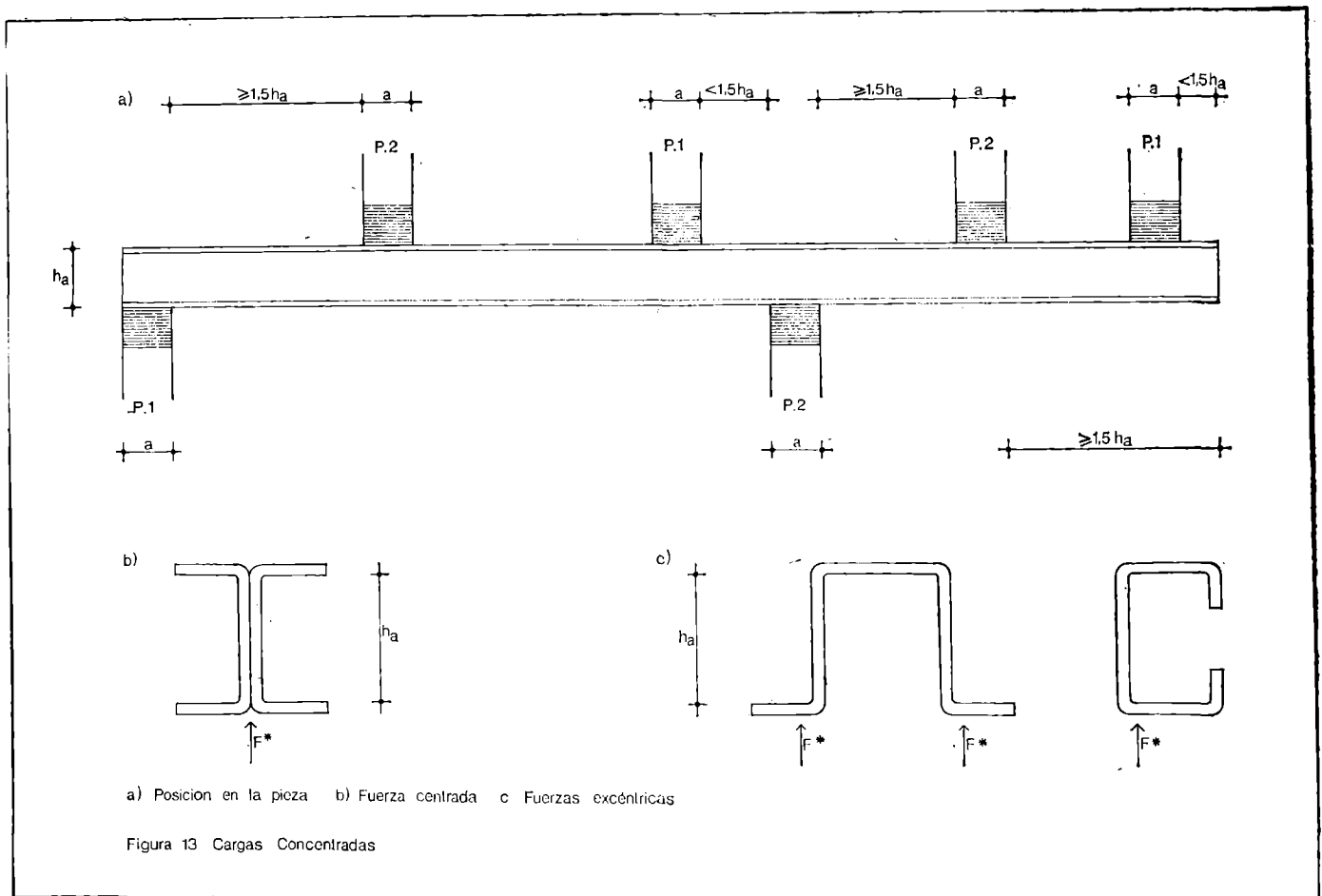
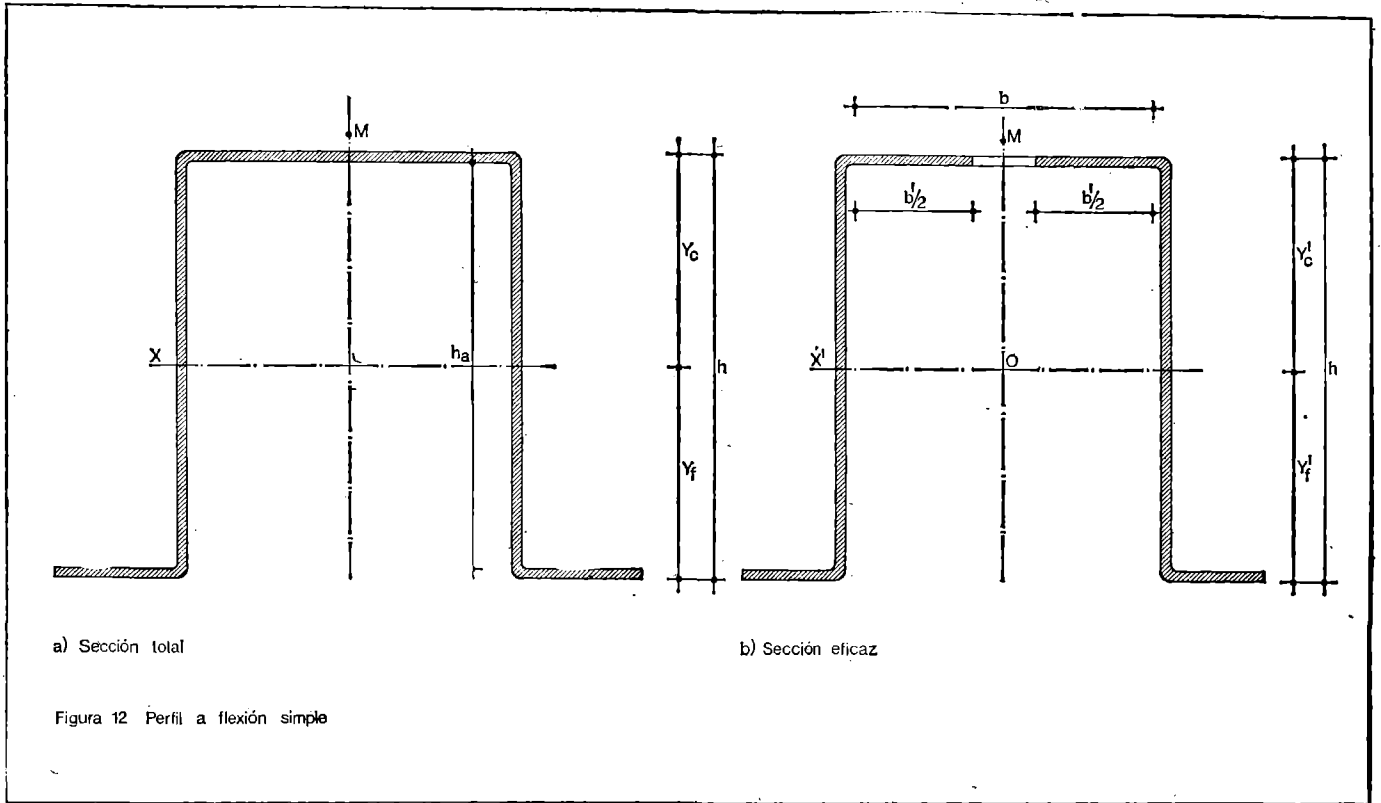


a) Sección U



b) Sección 2LD

Figura 11 Secciones con elementos no rigidizados



4.6.1. Efecto de abolladura local de alma.—Es una pieza, cuya alma tiene altura  $h_a$  (figura 13), unida a las alas mediante redondeo de radio interior  $r \leq 4e$ , en que se aplica una carga concentrada de valor ponderado  $F^*$  se considera que no origina abolladura de alma si  $F^*$  no es superior al máximo admisible  $F_m$ , que depende de la posición de la fuerza según 4.6.2, y cuyos valores se dan en 4.6.3 para cargas coincidentes con el alma y en 4.6.4 para cargas no coincidentes.

4.6.2. Posiciones de una carga concentrada.—Una carga concentrada acción o reacción puede tener dos tipos de posición (figura 13, a).

Posición P.1: Reacciones en los extremos de las piezas. Cargas cercanas a los apoyos o al extremo de una ménsula.

Posición P.2: Reacciones no situadas en los extremos de las piezas. Cargas no cercanas a los apoyos o al extremo de una ménsula.

Se considera cercana si las distancias entre los bordes, indicados en la figura 13, a, son inferiores a  $1,5 h_a$ .

4.6.3. Carga concentrada coincidente con el alma.—Una carga concentrada es coincidente con un alma cuando su resultante está en su plano medio. Salvo casos especiales, esto ocurre solamente en perfiles dobles (figura 13, b).

Su valor máximo admisible, por alma, se calcula con las fórmulas empíricas:

$$\text{En posición P.1: } F_m = \left[ 7,4 + 0,93 \sqrt{\frac{a}{e}} \right] e^2 \sigma_u$$

$$\text{En posición P.2: } F_m = \left[ 11,1 + 2,41 \sqrt{\frac{a}{e}} \right] e^2 \sigma_u$$

4.6.4. Carga concentrada no coincidente con el alma.—Una carga concentrada es no coincidente con un alma cuando su resultante está fuera de su plano medio. Es el caso general de los perfiles simples (figura 13, c).

Su valor máximo admisible se calcula con las fórmulas empíricas:

En posición P.1:

$$F_m = \left[ 1,33 + 0,0583 \left[ 1 - \frac{h_a}{191e} \right] \left[ \frac{a}{e} + 0,5 \right] \right] \left[ 4 - \frac{\sigma_u}{24} \right] \left[ 1,15 - 0,15 \frac{r}{e} \right] e^2 \sigma_u$$

En posición P.2:

$$F_m = \left[ 1,04 + 0,0213 \left[ 1 - \frac{h_a}{256e} \right] \left[ \frac{a}{e} + 55,5 \right] \right] \left[ 5,5 - \frac{\sigma_u}{24} \right] \left[ 1,06 - 0,6 \frac{r}{e} \right] e^2 \sigma_u$$

4.6.5. Piezas cortas con cargas concentradas.—Se denomina pieza corta aquella en que se cumple la condición:

$$l_v < 30 b_v$$

siendo:

$l_v$  = Luz virtual, igual a la distancia entre apoyos en piezas apoyadas, a la distancia entre puntos de inflexión en piezas continuas, o al doble de la luz en ménsulas.

$b_v$  = Anchura virtual en la cabeza que la tenga menor, entendiendo por anchura virtual la que se indica en la figura 14.

En una pieza corta con una o varias cargas concentradas, cuando la distancia libre entre cada dos o entre cada una y el borde interior del apoyo es mayor que  $2 b_v$ , la anchura recta virtual de cada cabeza (1.8.2), tanto la comprimida como la traccionada, se disminuye en la longitud  $\rho b_v$ , siendo:

$$\rho = \frac{30b_v - l_v}{30b_v + 4l_v} < 0$$

Los valores de  $\rho$  se dan en la tabla 4.1.

4.7. Deformaciones.

Las deformaciones pueden calcularse por los métodos habituales de la resistencia de materiales.

Cuando la deformación se calcule para comprobar el cumplimiento de las condiciones de un estado límite de utilización, se aplicarán las acciones características, y las flechas y las demás componentes de deformación se calcularán utilizando los términos de la sección total de la pieza, en las secciones con elementos planos rigidizados y no rigidizados.

Cuando la deformación se calcule como etapa intermedia en la comprobación de la estabilidad, correspondiente a un estado límite último, se aplicarán las acciones ponderadas. La variación de tensiones en la sección, consecuencia de los fenómenos de inestabilidad, que complica mucho el cálculo de deformaciones, puede simplificarse en las secciones con elementos rigidizados utilizando los términos de la sección eficaz de la pieza.

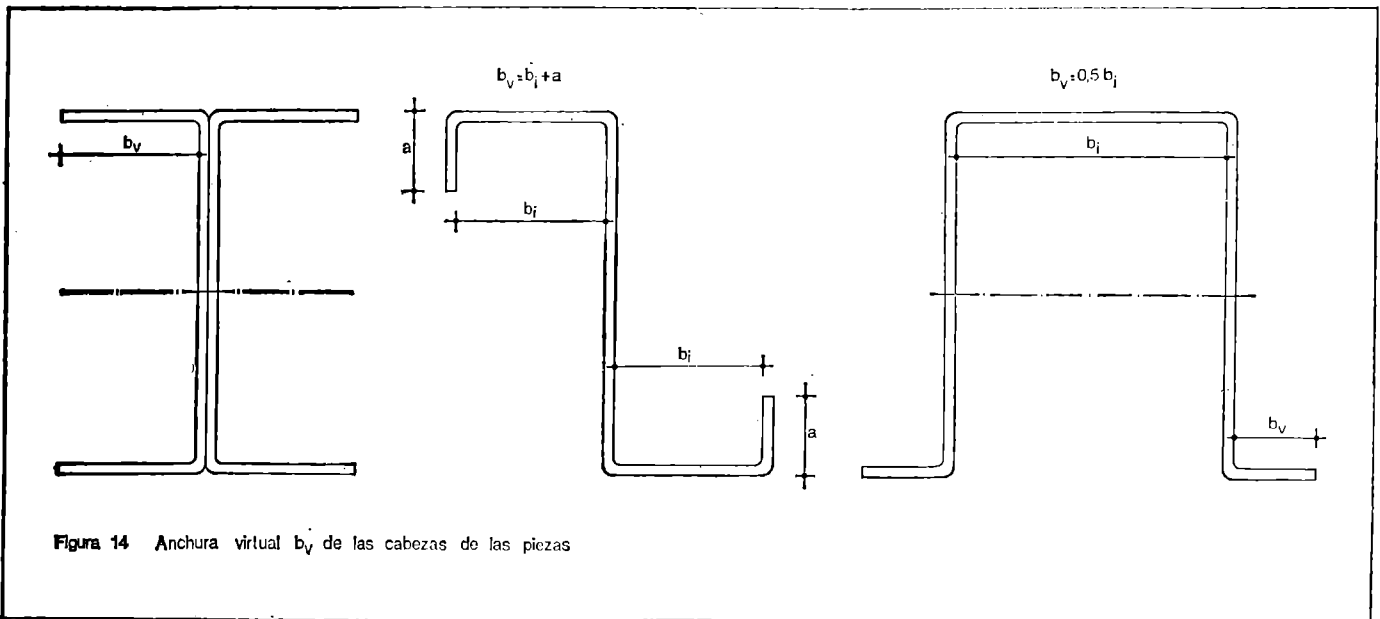


Figura 14 Anchura virtual  $b_v$  de las cabezas de las piezas

TABLA 4.1 FACTOR DE DISMINUCION DE LA ANCHURA VIRTUAL										
Factor de disminución $\rho$ siendo $l_v : b_v$										
$l_v : b_v$	$l_v : b_v +$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	-	0,45	0,40	0,35	0,32
10	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10
20	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01

CAPITULO V

Piezas sometidas a compresión simple y compuesta

5.1. Generalidades.

La compresión simple tiene lugar en las piezas sometidas a un esfuerzo normal de compresión que pasa por el baricentro de la sección.

La compresión compuesta tiene lugar en las piezas sometidas a un esfuerzo normal de compresión en el baricentro de la sección y a un momento flector que puede tener componentes en ambos planos principales.

En ellas se produce pandeo por razón de su esbeltez. Este puede ser pandeo simple (5.2) y pandeo con torsión (5.3).

5.2. Pandeo simple.

Se produce pandeo simple en una pieza comprimida cuando el centro de esfuerzos cortantes de la sección coincide con su baricentro y el radio de giro polar  $i_0$  de la sección es menor que el radio de torsión  $i_t$  de la pieza.

con

$$i_0 \leq i_t$$

$$i_0 = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$

$$i_t = \sqrt{\frac{I_a}{I_y} \left( \frac{\beta}{\gamma} \right)^2 + 0,039 \beta^2 l^2 \frac{I_t}{I_y}}$$

siendo:

- $I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.
- $I_t$  = Módulo de torsión de la sección.
- $I_y$  = Momento de inercia de la sección respecto al eje y perpendicular al plano de pandeo, que pasa por el eje de la pieza y corresponde a la máxima esbeltez (5.2.3) de ésta.
- $l$  = Longitud de la pieza.
- $\beta$  = Coeficiente de esbeltez (5.2.3).
- $\gamma$  = Coeficiente de coacción al alabeo de las secciones extremas:  $\gamma = 1$  alabeo libre,  $\gamma = 0,5$  alabeo impedido.

En una pieza cuya sección tenga elementos de delgadez no superior a 80, el pandeo simple con consideración de la abolladura y combadura puede calcularse por el método aproximado que se describe, y que comprende las determinaciones siguientes: Coeficiente de abolladura según 5.2.1, sección eficaz según 5.2.2, coeficiente de combadura según 5.2.4, esbeltez según 5.2.3, y condiciones de agotamiento según 5.2.5.

Si la sección tiene elementos con delgadez superior a 80 es preciso considerar la interacción no lineal de los fenómenos siguientes: Pandeo general de la pieza, abolladura de los elementos rigidizados, combadura de los elementos extremos y abolladura de los rigidizadores con distorsión de la sección.

5.2.1. Coeficiente de abolladura.—Si la sección contiene uno o más elementos no rigidizados se determina el coeficiente de abolladura  $\alpha$ , según 2.3.1, para la delgadez  $\delta$  del elemento que la tenga mayor. Si todos los elementos de la sección están rigidizados se toma:  $\alpha = 1$ .

5.2.2. Sección eficaz.—La sección eficaz de la pieza se determina según 2.2.2, para la tensión:

$$\sigma^* = \sigma_u \cdot \alpha$$

La sección eficaz se refiere a sus ejes principales de inercia  $x'$ ,  $y'$ , y sus términos de sección se designan:

- $A'$  = Area de la sección eficaz (2.2.2).
- $I_x' I_y'$  = Momentos de inercia de la sección eficaz respecto a los ejes  $x'$ ,  $y'$ , respectivamente.

$$i_x' = \sqrt{\frac{I_x'}{A'}} \quad i_y' = \sqrt{\frac{I_y'}{A'}} \quad \text{Radio de giro respectivos}$$

5.2.3. Esbeltez.—La esbeltez de la pieza en cada plano principal viene dada por las expresiones:

Plano x z: 
$$\lambda_x = \frac{\beta_x l_x}{i_x' \sqrt{\alpha}}$$

Plano y z: 
$$\lambda_y = \frac{\beta_y l_x}{i_y' \sqrt{\alpha}}$$

en las que intervienen el coeficiente de abolladura  $\alpha$  por su influencia en las condiciones de agotamiento (5.2.5), y siendo:

$l_x l_y$  = Longitud de la pieza (1.6.3) en el plano xz o, respectivamente, en el yz.

Generalmente,  $l_x = l_y$ , pero pueden ser diferentes si la pieza tiene vinculación en su longitud que impida el desplazamiento solamente en un plano.

$\beta_x \beta_y$  = Coeficiente de esbeltez en cada plano principal de las vinculaciones. También, generalmente,  $\beta_x = \beta_y$ , pero pueden ser diferentes. Los valores frecuentes son:

- Extremos articulados:  $\beta = 1$ .
- Un extremo articulado y otro empotrado  $\beta = 0,7$ .
- Extremos empotrados:  $\beta = 0,5$ .
- Un extremo empotrado y otro libre:  $\beta = 2$ .
- Otros casos de vinculación: consúltese MV 103-1972.

La esbeltez no será superior a 200 para piezas principales, ni a 250 para piezas secundarias o de arriostramiento.

Si la pieza tiene solamente vinculaciones en sus extremos, el plano de pandeo es perpendicular al eje principal de la sección eficaz, respecto al cual el momento de inercia  $y$ , por tanto, el radio de giro son mínimos.

5.2.4. Coeficiente de combadura.—El fenómeno de combadura (3.1) puede producirse también en las piezas sometidas a compresión.

El coeficiente de combadura  $\kappa$  se calculará como se indica en 3.4.

5.2.5. Condiciones de agotamiento.—En una pieza a compresión simple la condición de agotamiento es:

$$\sigma^* = \frac{N^* \cdot \omega \cdot \alpha}{A'} \leq \sigma_u$$

siendo:

- $N^*$  = Esfuerzo normal.
- $\omega$  = Coeficiente de pandeo que corresponde en la tabla 3.1 a la mayor de las esbelteces,  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$  de la pieza (5.2.3).
- $\alpha$  = Coeficiente de abolladura (5.2.1).

En una pieza a compresión compuesta las condiciones de agotamiento son:

En los extremos de la pieza:

$$\alpha \left[ \frac{N^*}{A'} + \frac{M^*_{x1}}{I_x} y' + \frac{M^*_{y1}}{I_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

$$\alpha \left[ \frac{N^*}{A'} + \frac{M^*_{x2}}{I_x} y' + \frac{M^*_{y2}}{I_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

En la parte central de la misma:

$$\alpha \left[ \frac{N^*}{A'} + \eta_x \frac{\kappa M^*_{xe} + N^*_{ex}}{I_x} y' + \eta_y \frac{M^*_{ye}}{I_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

$$\alpha \left[ \frac{N^*}{A'} + \eta_x \frac{\kappa M^*_{xe}}{I_x} y' + \eta_y \frac{M^*_{ye} + N^*_{ey}}{I_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

siendo:

- $N^*$  = Esfuerzo normal ponderado.
- $M^*_{x1}$ ,  $M^*_{y1}$  = Momentos flectores ponderados en el extremo 1 de la pieza.
- $M^*_{x2}$ ,  $M^*_{y2}$  = Momentos flectores ponderados en el extremo 2 de la pieza.
- $A'$  = Area de la sección eficaz (5.2.2).

$I'_x, I'_y$  = Momentos de inercia de la sección eficaz respecto a los ejes (5.2.2).  
 $x', y'$  = Coordenadas del punto en que se estudian las tensiones.  
 $M^*_{xe}, M^*_{ye}$  = Pareja de momentos ponderados en el punto de la parte central de la pieza (figura 15) que producen el efecto más desfavorable.  
 $\eta_x, \eta_y$  = Factores de amplificación de los momentos.

$$\eta_x = \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_{ex} - \sigma_o} \quad \eta_y = \frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ey} - \sigma_o}$$

$\sigma_{ex}, \sigma_{ey}$  = Tensiones críticas de Euler:

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2} \quad \sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$$

$\sigma_o = \frac{N}{A}$  = Tensión en el baricentro de la sección.  
 $e_x, e_y$  = Excentricidades de imperfección:

$$e_x = (\omega_x - 1) \left[ 1 - \frac{\sigma_u}{\omega_x \sigma_{ex}} \right] \frac{W'_x}{A'}$$

$$e_y = (\omega_y - 1) \left[ 1 - \frac{\sigma_u}{\omega_y \sigma_{ey}} \right] \frac{W'_y}{A'}$$

$\omega_x, \omega_y$  = Coeficientes de pandeo que en la tabla 3.1 corresponden a  $\lambda_x$  y  $\lambda_y$ .  
 $W'_x, W'_y$  = Módulos resistentes de la sección eficaz correspondientes a la fibra más comprimida.  
 $\alpha$  = Coeficiente de combadura (5.2.4).  
 $\alpha$  = Coeficiente de abolladura (5.2.1).

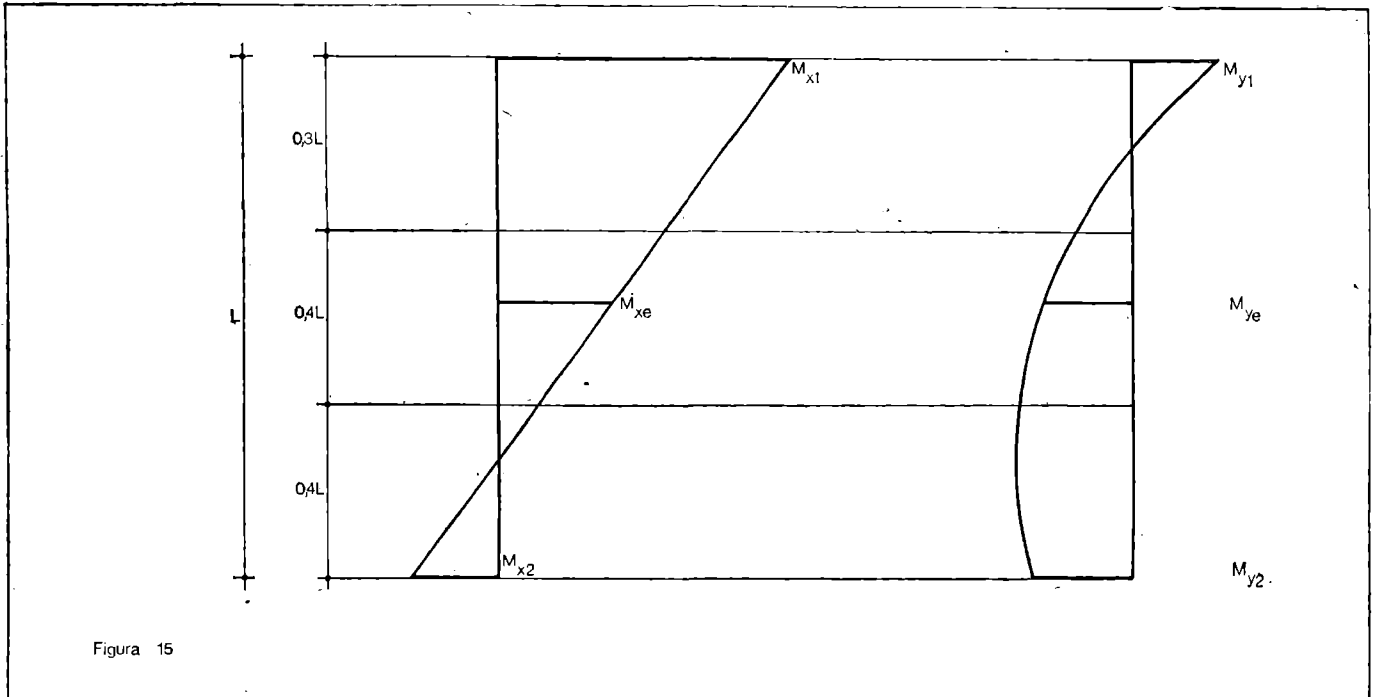


Figura 15

5.3. Pandeo con torsión.

Cuando el centro de esfuerzos cortantes no coincide con el baricentro, o  $i_o > i_k$ , se produce pandeo con torsión. No es posible presentar un método general para el caso en que por las características de la sección de la pieza sea necesario la consideración del pandeo con torsión. En las piezas en que se presente esta sollicitación, el dimensionado puede realizarse mediante cálculos basados en la literatura técnica o justificarse mediante ensayos.

Para los perfiles L el método se establece en 5.4.

5.4. Pandeo de los perfiles L.

Un perfil L, angular de lados iguales, sometido a compresión simple, cuando constituye una pieza, pandea en el plano bisector de las alas. Cuando forma parte de una pieza, unido a otros perfiles, puede pandear en un plano paralelo a un ala. El cálculo a pandeo con torsión en ambos casos puede realizarse por los siguientes métodos aproximados: según 5.4.1, con pandeo en el plano bisector, y según 5.4.2, con pandeo en un plano paralelo a un ala.

5.4.1. Pandeo en el plano bisector.—Se determina el coeficiente de abolladura  $\alpha$  según 2.3.1; se calcula el coeficiente de pandeo  $\omega$  que corresponde a la esbeltez:

$$\lambda = \frac{i_k}{i_n}$$

La condición de agotamiento es:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leq \sigma_u$$

Si es:  $\alpha \left( 1 + \frac{\lambda}{90} \right) > \omega$  se sustituye  $\omega$  por  $\alpha \left( 1 + \frac{\lambda}{90} \right)$  en la fórmula anterior:

5.4.2. Pandeo en un plano paralelo a un ala.—Se determina el coeficiente de abolladura  $\alpha$  como en 5.4.1 y el coeficiente de pandeo  $\omega$  que corresponde a la esbeltez:

$$\lambda = \frac{i_k}{i_x}$$

La condición de agotamiento es:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leq \sigma_u$$

Si es:  $\alpha \left( 1 + \frac{\lambda}{360} \right) > \omega$  se sustituye  $\omega$  por  $\alpha \left( 1 + \frac{\lambda}{360} \right)$  en la fórmula anterior:

CAPITULO VI

Uniones

6.1. Medios de unión.

En la construcción con perfiles, placas y paneles de chapa conformada de acero se emplean los siguientes medios de unión, comunes para perfiles laminados, con las prescripciones y métodos de cálculo que se establecen como se indica:

- Roblones, 6.2.
- Tornillos ordinarios, en 6.3.

- Tornillos de alta resistencia, en 6.3.
- Soldadura, en 6.4.

Además pueden emplearse los siguientes medios de unión no usados para perfiles laminados:

- Tornillos de roscachapa, de varios tipos.
- Remaches en frío.
- Adhesivos de diferentes clases.

Los cuales no han sido aún objeto de normalización. Las características mecánicas y de empleo de éstos deben justificarse mediante resultados de ensayos presentados por su fabricante, completándose, cuando sea preciso, con los encargados por el autor del proyecto o el director de la obra.

**6.2. Uniones roblonadas.**

Pueden emplearse los roblones E 10 y E 24 definidos en la Norma NBE 105-1967, o roblones de diámetro menor no incluidos en dicha Norma, permitiéndose el punzonado a diámetro definitivo.

6.2.1. Agujeros.—La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones del artículo 4.6 de la Norma NBE 104-1966.

El diámetro a del agujero será 1 mm. mayor que el diámetro nominal del roblón. No se limita por el espesor de las chapas de la unión, eligiéndose de modo que se cumplan las condiciones de agotamiento del artículo 6.2.3.

Las distancias s entre los centros de agujeros cumplirán las condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Paralelas al esfuerzo: } & 3a \leq s_1 \leq 8a \\ \text{Normales al esfuerzo: } & 3a < s_2 \leq 6a \end{aligned}$$

Las distancias t entre el centro de un agujero y el borde de la chapa cumplirán las condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Paralelas al esfuerzo: } & 3a \leq t_1 \leq 6a \\ \text{Normales al esfuerzo: } & 1,5a \leq t_2 \leq 3a \end{aligned}$$

6.2.2. Disposiciones.—Se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones:

Cuando el esfuerzo se transmite por el extremo de una chapa no se dispondrán más de seis roblones en cada fila paralela al esfuerzo.

Cuando el esfuerzo tiene distribución continua a lo largo de las chapas no hay limitación en el número de roblones.

6.2.3. Cálculo.—Los esfuerzos ponderados que transmite una chapa a cada uno de los roblones de la unión se calcularán según el artículo 7.4 de la Norma NBE 103-1972.

El esfuerzo ponderado F\* que recibe cada roblón cumplirá las siguientes condiciones de agotamiento:

$$\text{Por cortadura del roblón: } F^* \leq F_{u1} = 0,1 \pi a^2 n \sigma_r$$

$$\begin{aligned} \text{Por aplastamiento de la chapa:} \\ F^* \leq F_{u2} = 2,1 a e \sigma_u \end{aligned}$$

Por cortadura de la chapa en el borde frontal:

$$F^* \leq F_{u3} = 2 e t_1 \tau_u, \text{ con } \tau_u = 0,576 \sigma_u$$

Por tracción en la sección neta de la chapa:

$$F^* \leq F_{u4} = \left[ \frac{2t_2 + \sum s_2}{m} - a \right] e \sigma_u$$

Por arrancamiento de la chapa debida a la inclinación de los roblones:

$$F^* \leq F_{u5} = \xi(a + 5) (e^2_1 + 0,22) \sigma_u$$

$$\text{con } \xi = 0,85 + 0,111 \left[ \frac{e_1}{e_2} - 1 \right]^2 > 0,9$$

En estas fórmulas es:

- a = Diámetro del agujero, en mm.
- e = Espesor de la chapa que transmite el esfuerzo, en mm.
- e<sub>1</sub> = Espesor de la chapa sobre la que se forma la cabeza de cierre del roblón, en mm.
- e<sub>2</sub> = Espesor de la chapa sobre la que apoya la cabeza de origen del roblón, en mm.
- S<sub>2</sub> = Separación entre centros de agujeros, normal al esfuerzo, en mm.
- t<sub>1</sub> = Distancia del centro del agujero al borde frontal, en mm.
- t<sub>2</sub> = Distancia del centro del agujero al borde lateral, en mm.
- m = Número de filas de roblones paralelas al esfuerzo.
- n = Número de secciones transversales del roblón, 1 ó 2, por las que se resiste el esfuerzo transmitido.
- σ<sub>u</sub> = Resistencia de cálculo del acero de la chapa, en kp/mm<sup>2</sup>.
- σ<sub>r</sub> = 25 kp/mm<sup>2</sup> = Resistencia de cálculo del acero del roblón.

6.2.4. Ejecución.—Las uniones roblonadas se realizarán según las prescripciones de los artículos 2.3 y 2.4 de la Norma 104-1966.

**6.3. Uniones atornilladas.**

Pueden emplearse los tornillos ordinarios T 10 a T 24 definidos en la Norma NBE 106-1968 o tornillos ordinarios de diámetro menor no incluidos en dicha Norma. También pueden emplearse los tornillos de alta resistencia TR 10 a TR 24 definidos en la Norma NBE 107-1968.

6.3.1. Agujeros.—La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones del artículo 4.6 de la Norma NBE 104-1966, permitiéndose el punzonado a diámetro definitivo.

El diámetro a del agujero será 1 mm. mayor que el diámetro del vástago del tornillo. No se limita por el espesor de las chapas de unión, eligiéndose de modo que se cumplan las condiciones de agotamiento del artículo 6.3.3.

Las distancias s entre los centros de agujeros cumplirán las condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Paralelas al esfuerzo: } & 3a \leq s_1 \leq 5a \\ \text{Normales al esfuerzo: } & 4a \leq s_2 \leq 7a \end{aligned}$$

Las distancias t entre el centro de un agujero y el borde de la chapa cumplirán las condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Paralelas al esfuerzo: } & 2a \leq t_1 \leq 5a \\ \text{Normales al esfuerzo: } & 2a \leq t_2 \leq 5a \end{aligned}$$

6.3.2. Disposiciones.—Se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones:

En las uniones de fuerza se dispondrán un mínimo de dos tornillos.

6.3.3. Cálculo.—Los esfuerzos ponderados que transmite una chapa a cada uno de los tornillos de la unión se calcularán según el artículo 7.4 de la Norma NBE 103-1972.

El esfuerzo ponderado F\* que recibe cada tornillo cumplirá las siguientes condiciones de agotamiento:

$$\begin{aligned} \text{Por agotamiento del tornillo:} \\ F^* \leq F_{u1} = 0,14 \pi d^2 n \sigma_t \end{aligned}$$

En tornillos de alta resistencia por pérdida de rozamiento:

$$F^* \leq F_{u1} = 1,07 N_o \mu n$$

Por aplastamiento de la chapa:

$$F^* \leq F_{u2} = 2,1 a e \sigma_u$$

Por cortadura de la chapa en el borde frontal:)

$$F^* \leq F_{u3} = 2 e t_1 \tau_u \text{ con } \tau_u = 0,5 \sigma_u$$

Por tracción en la sección neta de la chapa:)

$$F^* \leq F_{u4} = \left[ \frac{2t_2 + \sum s_2}{m} - a \right] e \sigma_u$$

En estas fórmulas es:

- a = Diámetro del agujero, en mm.
- d = Diámetro del vástago del tornillo, en mm.
- e = Espesor de la chapa que transmite el esfuerzo, en mm.
- S<sub>2</sub> = Separación entre centros de agujeros normal al esfuerzo, en mm.
- t<sub>1</sub> = Distancia del centro del agujero al borde frontal, en mm.
- t<sub>2</sub> = Distancia del centro del agujero al borde lateral, en mm.
- m = Número de filas de tornillos paralelas al esfuerzo.
- n = Número de secciones transversales del tornillo, 1 ó 2, por las que se resiste el esfuerzo transmitido por la chapa.
- σ<sub>u</sub> = Resistencia de cálculo del acero de la chapa en kp/mm<sup>2</sup>.
- σ<sub>t</sub> = Resistencia de cálculo del acero del tornillo en kp/mm<sup>2</sup>.
- N<sub>o</sub> = Esfuerzo de pretensado del tornillo (Norma NBE 103-1972, artículo 7.5.9).
- μ = Coeficiente de rozamiento entre las superficies de contacto (Norma NBE 103-1972, artículo 7.5.10).

6.3.4. Ejecución.—Las uniones atornilladas se realizarán según la Norma NBE 104-1966.

**6.4. Uniones soldadas.**

Pueden emplearse los procedimientos de soldeo y las disposiciones que se definen en el artículo 3.1 de la Norma NBE 104-1966.

6.4.1. Soldaduras por arco.—Las soldaduras a tope y las soldaduras de ángulo con los procedimientos de soldeo por arco I, II y III pueden calcularse según el capítulo 8 de la Norma NBE 103-1972, cuando se realicen con las prescripciones del capítulo 3 de la Norma NBE 104-1966.

6.4.2. Soldaduras por resistencia.—Las soldaduras por puntos se realizarán con el procedimiento IV de soldeo eléctrico por resistencia.

El esfuerzo cortante ponderado F\* transmitido por cada punto de soldadura cumplirá la condición de agotamiento:

$$F^* \leq F_u$$

El esfuerzo de agotamiento por punto F<sub>u</sub>, en función de la chapa exterior más delgado de la unión, se da en la tabla 6.1.

TABLA 6.1 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA POR PUNTOS

Espesor de la chapa exterior más delgada e mm	Esfuerzo cortante de agotamiento por punto F <sub>u</sub> kp	Espesor de la chapa exterior más delgada e mm	Esfuerzo cortante de agotamiento por punto F <sub>u</sub> kp
0,25	38	1,50	550
0,30	45	2,00	800
0,40	70	2,50	1150
0,50	95	3,00	1500
0,60	125	4,00	2300
0,80	190	5,00	3250
1,00	260	6,00	4200
1,20	375	7,00	5150

6.5. Uniones longitudinales de una pieza compuesta.

La unión longitudinal entre los perfiles o las chapas que constituyen una pieza compuesta se realiza, en general, con medios de unión discontinuos: roblones, tornillos, puntos de soldadura, etc., aunque pueden emplearse medios continuos: soldadura o adhesivos. El cálculo en las piezas a flexión simple se realiza según 6.8.1, y en las piezas a compresión según 6.5.2.

6.5.1. Pieza a flexión simple.—El esfuerzo rasante ponderado H\*, que tiene que resistir un medio de unión, viene dado por la expresión:

$$H^* = \frac{T^* S \cdot s}{I_n}$$

siendo:

- T\* = Esfuerzo cortante ponderado en la sección transversal que pasa por el medio de unión considerado.
- I = Momento de inercia de la sección transversal total de la pieza respecto al eje neutro.
- S = Momento estático de la sección transversal de la parte que se une, respecto al eje neutro.
- n = Número de medios de unión en la sección transversal que actúan simultáneamente.
- s = Separación longitudinal entre centros de medios de unión discontinuos. La separación s debe limitarse al valor indicado en 6.4.3 para evitar la abolladura de las chapas unidas, por la compresión debida a la flexión de la pieza. Si el medio de unión es continuo se toma s = 1 y H\* es el esfuerzo rasante por unidad de longitud.

6.5.2. Pieza a compresión simple.—En una pieza a compresión simple con pandeo, calculada según 5.2, el esfuerzo rasante ponderado H\*, que tiene que resistir un medio de unión, viene dado por la expresión:

$$H^* = \frac{\sigma_u \pi (\omega - 1) S s}{a l_k \alpha \omega n}$$

siendo:

- l<sub>k</sub> = Longitud de pandeo de la pieza (5.2.3).
- ω = Coeficiente de pandeo (5.2.5) que se sustituye por el coeficiente de combadura χ si χ > ω.
- α = Coeficiente de abolladura (5.2.1).
- S = Momento estático de la sección transversal de la parte que se une respecto al eje principal de la sección perpendicular al plano de pandeo.
- a = Distancia longitudinal entre centros de medios de unión.
- s = Separación longitudinal entre centros de medios de unión.
- n = Número de medios de unión en la sección transversal que actúan simultáneamente.

6.5.3. Limitación de la separación entre medios de unión.—

En una chapa de espesor e unida a otra con medios de unión discontinuos, comprimida con la tensión σ\* dada en 4.5 o 5.2.5 según los casos, la separación s entre los centros de los medios de unión para evitar el pandeo de la chapa entre ellos, debe cumplir la condición:

$$s \leq 39,2 \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} e$$

Entre puntos de soldadura esta separación se incrementa en 10 mm.

En chapa no rigidizada, cuyo borde libre esté a la distancia t del centro del medio de unión, debe cumplirse además la condición:

$$s \leq 3t$$

6.6. Perfil I compuesto de dos U o dos C.

La unión de dos U o de dos C para formar un perfil I compuesto puede ser continua (fig. 1, h) o discontinua (fig. 1, i), de dos líneas. La separación longitudinal s entre medios discontinuos de unión en piezas a flexión simple se da en 6.5.1 y en piezas a compresión simple en 6.5.2.

6.6.1. Piezas a flexión simple.—La separación longitudinal s cumplirá la condición:

$$s \leq \frac{l}{6}$$

siendo l la luz de la viga.

La resistencia a tracción F<sub>u</sub> de un medio de unión bajo una carga concentrada Q\* cumplirá la condición:

$$F_u \leq \frac{Q^* m s}{2ta}$$

siendo:

t = Separación transversal entre ambas líneas de unión.  
m = Distancia del centro de esfuerzos cortantes al centro del alma.

a = Longitud sobre la que actúa la carga concentrada, acción o reacción, tomando a < s.

Bajo una carga uniforme q\*, se cumplirá:

$$F_u \leq \frac{3q^* m s}{2t}$$

Pueden emplearse separaciones s distintas en las zonas de cargas concentradas.

Si s resulta pequeño bajo una carga concentrada, pueden soldarse chapas de refuerzo sobre las alas.

APENDICE A

Cálculo numérico iterativo de los términos de sección y funciones coordenadas de una pieza de chapa conformada

A.1. Objeto del método.

Se desarrolla en este apéndice A un método de cálculo numérico iterativo aplicable a toda sección abierta quebrada (figura A.1), compuesta de tramos rectos con espesor constante en cada tramo, que puede ser diferente de unos a otros.

El método sirve para calcular sus términos de sección: A, x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>, I<sub>x</sub>, I<sub>y</sub>, I<sub>xy</sub>, I<sub>t</sub>, x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub>, I<sub>a</sub>, dados por las expresiones de 4.1, y sus funciones coordenadas: Ω<sub>i</sub>, S<sub>xi</sub>, S<sub>yi</sub>, S<sub>ai</sub>, también dadas por las expresiones de 4.1 en los vértices de la línea media, para el cálculo de las tensiones normales según las fórmulas de 4.2, y en los vértices y centros de tramo para el de las tensiones tangenciales según las de 4.3.

Las fórmulas del método son programables para una calculadora electrónica manual con capacidad de memoria no inferior a 2k. Uno de estos programas se presenta en A.7, dando en A.8 los resultados de cuatro ejemplos realizados con este programa.

A.2. Aplicación a las piezas de chapa conformada.

Este método es aplicable a la sección de una pieza de chapa conformada (fig. A.2) compuesta de m elementos planos con acuerdos cilíndricos, sustituyendo la sección real de la pieza por una sección virtual, en la que en cada acuerdo el arco de circunferencia de su línea media, de radio r y amplitud 2α (figura A.3), se sustituye por una quebrada de tres segmentos rectos: el primero y el tercero, de longitud u, en prolongación de los segmentos rectos adyacentes al acuerdo; el segundo, de longitud v formando ángulo α con el primero y con el tercero, y de tal modo que la longitud de la quebrada sea igual que la del arco:

$$2u + v = 2\alpha r \tag{1}$$

De ello se deduce que:

$$u = \frac{\alpha - \text{sen} \alpha}{1 - \text{cos} \alpha} r \tag{2}$$

$$v = 2 \frac{\text{sen} \alpha - \alpha \text{cos} \alpha}{1 - \text{cos} \alpha} r \tag{3}$$

En el caso frecuente de elementos adyacentes ortogonales, con

$$\alpha = \frac{\pi}{4}, \text{ es: } u = 0,287 r, \quad v = 1,036 r$$

El error que introduce esta sustitución cuando r ≤ 2e es siempre inferior, y en general muy inferior al 1 por 100.

La línea virtual media de la sección virtual (fig. A.4) es así una quebrada constituida por n = 2m - 1 segmentos, a la cual es aplicable el presente método iterativo. Puede también aplicarse el método iterativo. Puede también aplicarse el método a la sección eficaz de un perfil (2.2.2), colocando dos nuevos vértices en los extremos interiores de cada elemento que se considere con anchura eficaz y tomando en ellos e<sub>1</sub> = 20 (ejemplo 4).

El método puede también emplearse para piezas con elementos cilíndricos cualesquiera. La sección real se sustituye por una sección virtual cuya línea media sea una poligonal trazada en el entorno de la curva real, lo más ajustada posible y cuya



longitud sea igual a la de ésta. El error que se comete es tanto menor cuanto mayor sea el número de segmentos.

**A.3. Definición geométrica de la sección.**

La sección virtual de la pieza (fig. A.4) se refiere a un sistema ortogonal de ejes iniciales  $x'$   $y'$ , que conviene elegir, de modo que todos los vértices de la sección estén en el primer cuadrante.

Los datos que definen la sección son:

El número de segmentos  $n$ , que se designan con  $i$  números pares:  $i = 2, 4, \dots, 2n$ .

El espesor  $e_i$  de cada segmento  $i$ .

Las coordenadas  $x'_i$   $y'_i$  de los  $n + 1$  vértices de la línea media, que se designan con  $i$  números impares, como sigue: el vértice inicial:  $i = 1$ . Los  $n - 1$  vértices intersección de segmentos adyacentes:  $i = 3, 5, \dots, 2n - 1$ .

El vértice final:  $i = 2n + 1$ .

Las coordenadas de los  $n - 1$  vértices de intersección se calculan empleando las fórmulas [2] y [3].

**A.4. Ejes baricéntricos de la sección.**

Para cada valor par:  $i = 2, 4, \dots, 2n$  se calcula:  
Coordenadas del punto medio del segmento  $i$ :

$$x'_i = \frac{1}{2} (x'_{i+1} + x'_{i-1}) \quad [4]$$

$$y'_i = \frac{1}{2} (y'_{i+1} + y'_{i-1}) \quad [5]$$

Longitud del segmento  $i$ :

$$l_i = \sqrt{(x'_{i+1} - x'_{i-1})^2 + (y'_{i+1} - y'_{i-1})^2} \quad [6]$$

Area de la sección:

$$A = \sum_{2m} l_i e_i \quad [7]$$

Módulo de torsión de la sección:

$$I_t = \frac{1}{3} \sum_{2m} l_i e_i^3 \quad [8]$$

Coordenadas del baricentro  $o$  en los ejes  $e'$   $y'$ :

$$x'_o = \frac{1}{A} \sum_{2m} l_i e_i x'_i \quad [9]$$

$$y'_o = \frac{1}{A} \sum_{2m} l_i e_i y'_i \quad [10]$$

Para cada valor  $i = 1, 2, 3, \dots, 2n + 1$  se calcula:

Coordenadas baricéntricas de los  $2n + 1$  puntos:

$$x_i = x'_i - x'_o \quad [11]$$

$$y_i = y'_i - y'_o \quad [12]$$

**A.5. Funciones coordenadas y momentos de inercia.**

Para cada valor par:  $i = 2, 4, \dots, 2n$ , mediante las siguientes fórmulas, muchas de ellas de recurrencia, se calcula:

$$A_i = A_{i+1} = \frac{l_i e_i}{2}, \text{ adoptando } A_1 = 0 \quad [13]$$

Momentos estáticos de la sección hasta un vértice:

$$S_{x_i} = S_{x_{i-1}} + \frac{A_i}{4} (y_{i+1} + 3y_{i-1}) \text{ con } S_{x_1} = 0 \quad [14]$$

$$S_{x_{i+1}} = S_{x_{i-1}} + A_i (y_{i+1} + y_{i-1})$$

$$S_{y_{i+1}} = S_{y_{i-1}} + \frac{A_i}{4} (x_{i+1} + 3x_{i-1}) \text{ con } S_{y_1} = 0 \quad [15]$$

$$S_{y_{i+1}} = S_{y_{i-1}} + A_i (x_{i+1} + x_{i-1})$$

Funciones auxiliares:

$$R_{x_i} = \frac{1}{6} (S_{x_{i+1}} + 4S_{x_i} + S_{x_{i-1}}) \quad [16]$$

$$R_{y_i} = \frac{1}{6} (S_{y_{i+1}} + 4S_{y_i} + S_{y_{i-1}}) \quad [17]$$

Momento de inercia:

$$I_x = - \sum_{2m} R_{x_i} (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad [18]$$

$$I_y = - \sum_{2m} R_{y_i} (x_{i+1} - x_{i-1}) \quad [19]$$

$$I_{xy} = - \sum_{2m} R_{x_i} (x_{i+1} - x_{i-1}) \\ = - \sum_{2m} R_{y_i} (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad [20]$$

**A.6. Centro de esfuerzos cortantes, funciones y términos de alabeo.**

Se continúa para cada valor par:  $i = 2, 4, \dots, 2n$ :

Doble del área proyectada desde  $o$ , entre  $1$  y un vértice:

$$\Omega_{oi} = \Omega_{o,i-1} + \frac{1}{2} (x_{i-1} y_{i+1} - x_{i+1} y_{i-1}) \text{ con } \Omega = 0 \quad [21]$$

$$\Omega_{o,i+1} = \Omega_{o,i-1} + (x_{i-1} y_{i+1} - x_{i+1} y_{i-1})$$

Términos auxiliares:

$$I_{xa} = - \sum_{2m} R_{x_i} (\Omega_{o,i+1} - \Omega_{o,i-1}) \quad [22]$$

$$I_{ya} = - \sum_{2m} R_{y_i} (\Omega_{o,i+1} - \Omega_{o,i-1}) \quad [23]$$

Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes:

$$x_m = \frac{I_x I_{ya} - I_{xy} I_{xa}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad [24]$$

$$y_m = \frac{I_x I_{ya} - I_{xy} I_{ya}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad [25]$$

Coordenada de alabeo del vértice  $1$ :

$$\Omega_1 = \frac{1}{A} \sum_{2m} A_i [\Omega_{o,i+1} + \Omega_{o,i-1} - x_m (y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_i) + \\ + y_m (x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i)] \quad [26]$$

Coordenada de alabeo:

$$\Omega_i = \Omega_1 + \Omega_{oi} - \frac{1}{2} x_m (y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_i) + \\ + \frac{1}{2} y_m (x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i) \quad [27]$$

Momento estático de alabeo:

$$S_{a_i} = S_{a_{i-1}} + \frac{1}{2} A_i (\Omega_i + \Omega_{i-1}) \text{ con } S_a = 0 \quad [28]$$

$$S_{a_{i+1}} = S_{a_i} + \frac{1}{2} A_i (\Omega_{i+1} + \Omega_i)$$

Función auxiliar:

$$R_{a_i} = \frac{1}{6} (S_{a_{i+1}} + 4S_{a_i} + S_{a_{i-1}}) \quad [29]$$

Módulo de alabeo:

$$I_a = - \sum_{2m} R_{a_i} (\Omega_{i+1} - \Omega_{i-1}) \quad [30]$$

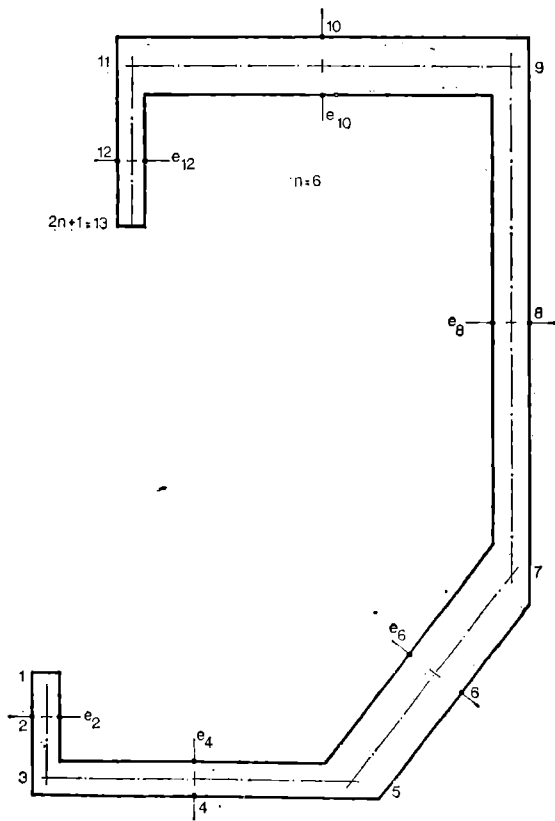


Figura A1 Sección abierta poligonal de  $n=6$  tramos

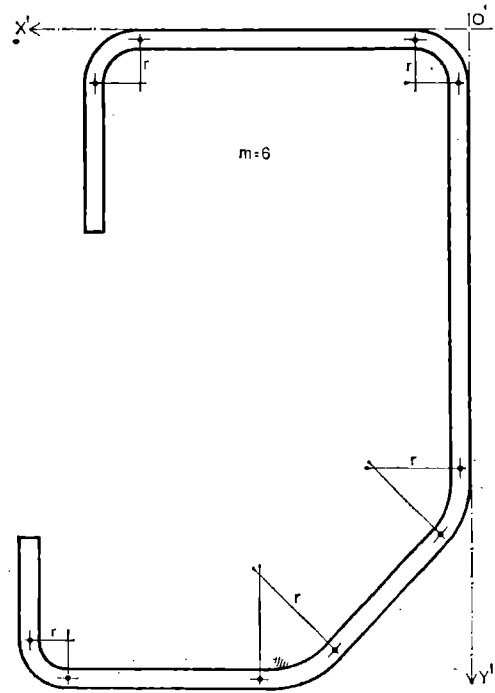


Figura A2 Sección de una pieza de chapa conformada

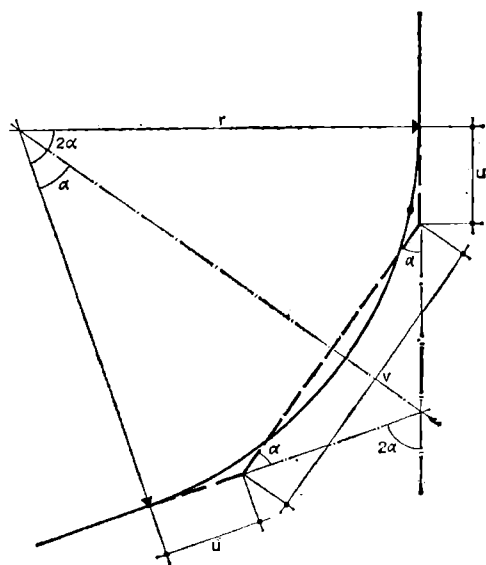


Figura A3 Sustitución de un acuerdo curvo por uno quebrado

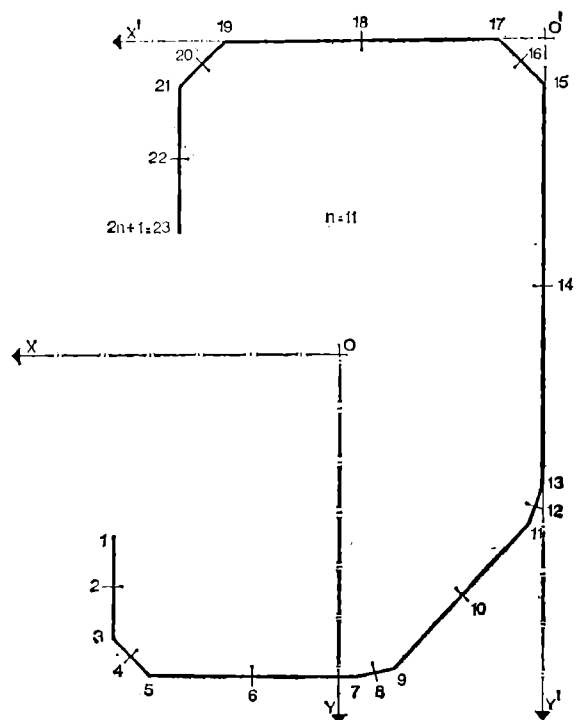


Figura A4 Quebrada media de la sección virtual de la sección de la figura A2

## APENDICE B

## Relación de normas y bibliografía para consulta

- NBE MV-102 1975 Acero laminado para estructuras de edificación.
- NBE MV-103 1972 Cálculo de las estructuras de acero laminado en edificación.
- NBE MV-109 1979 Perfiles conformados de acero para estructura de edificación.
- NBE MV-111 1980 Placas y paneles de chapa conformada de acero para la edificación.
- UNE 36-080-78 Aceros no aleados de uso general en construcción. Tipos y grados.
- UNE 36-570-78 Perfiles abiertos conformados en frío. Características y condiciones generales de recepción y suministro.
- UNE 36-571-79 Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil LF. Medidas.
- UNE 36-572-80 Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfiles UF. Medidas.
- UNE 36-573-79 Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil CF.
- UNE 36-574-79 Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil NF. Medidas.
- UNE 36-575-79 Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil OF. Medidas.
- ECCS-EG-76-1E: Recommendations for steel constructions. Convención Europea de la Construcción Metálica.
- Règles de calcul des constructions en éléments a parois minces en acier. Construction métallique n.º 4 - 1973.
- Cold-formed steel design manual, 1977. American Iron and Steel Institute.
- CSA STANDARD S136-1974: Cold forme steel structural members. Canadian Standards Association.
- Recommandations pour l'étude et l'exécution des constructions métalliques. Volumen II, Anejo n.º 5: Eléments a parois minces formes a froid. Enero 1977.
- Estructuras metálicas ligeras. Dr. Hermann Beer. Informes de la Construcción núms. 193, 194 y 195.
- Propriétés des profilés a froid. M. Grumbach y M. Prudhomme. Construction Métallique n.º 1 - 1974.
- Lateral Bucklong of Channels and Beams. H. N. Hill. Trans. ASCE, vol. 119, pág. 829 - 1954.
- Pieces longues en voiles minces. Vlassov, Eyrolles Editeur. Paris. Calcul des pannes en section Z. L. Sokol. Construction Métallique n.º 1 - 1979.
- Manual on stability of steel structures - European Convention for Constructional Steelwork - junio 1978.
- DIN 4115: Construcciones ligeras y tubulares de acero en estructuras de edificios.
- Normas DIN entre los núms. 7970 a 7981. Cold-formed Steel Construction.
- T. Pekoz y G. Winter. IABSE 1/80 - febrero 1980.
- Torsión. C. F. Kollbrunner, K. Basler. Ed. Springer. Berlín, 1966.

## MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION

**21710** REAL DECRETO 2049/1982, de 24 de julio, por el que se establece un régimen de cuotas de producción de azúcar por Empresas o Grupos de Empresas.

De conformidad con el criterio de la Administración de ir acomodando gradualmente las normas de regulación de las campañas remolachero-azucareras a las de la Comunidad Económica Europea, procede desarrollar el Real Decreto mil seiscientos veintiocho/mil novecientos ochenta y uno, de trece de julio, con perspectivas de futuro, en el sentido de establecer una distribución de la producción de azúcar mediante la asignación de cuotas a las distintas Empresas o grupos de Empresas azucareras.

La adopción de un régimen de cuotas de producción de azúcar por Empresa o grupo de Empresas, pretende no sólo ir adaptando nuestra regulación a la existente en la Comunidad Económica Europea—que fundamenta, entre otros aspectos, su política de Organización Común del Mercado del Azúcar en el establecimiento de un régimen de cuotas por Empresas— sino también que cada Empresa azucarera, conociendo su previsible

cuota de producción de azúcar, vaya realizando las inversiones precisas para modernizar sus estructuras, sin el riesgo de que las mismas puedan quedar infrutilizadas. Es evidente que la ordenación del sector industrial azucarero y la mejora de sus estructuras, requieren unas elevadas inversiones que, para ser afrontadas con criterios de coherencia y racionalidad, deben tener en cuenta la posible asignación de las cuotas a cada Empresa al objeto de no dilapidar recursos, ni incidir negativamente sobre el empleo.

El previsor régimen de cuotas también persigue ordenar la producción sin levantar falsas expectativas entre los cultivadores, ya que cuando se produzca nuestro ingreso en la Comunidad la remolacha que supere las cuotas de producción que se asigne a cada Empresa, en su equivalente en azúcar, sufrirá un fuerte demérito en su precio que incidirá muy directamente en los cultivadores.

Por último, al objeto de hacer más operativo el régimen de cuotas previsto en el presente Real Decreto y evitar desviaciones en el mismo, se incluye a la industria azucarera dentro del régimen de industrias exceptuadas.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación, y previo acuerdo del Consejo de Ministros en su reunión del día 23 de julio de 1982, tengo a bien disponer:

Artículo primero.—Para las campañas remolachero-azucareras mil novecientos ochenta y tres/ochenta y cuatro, mil novecientos ochenta y cuatro/ochenta y cinco y mil novecientos ochenta y cinco/ochenta y seis, se establecerá un régimen de cuotas de producción de azúcar por Empresas o grupos de Empresas.

Artículo segundo.—Las cuotas de azúcar de cada Empresa o grupo de Empresas se establecerán, en las campañas mencionadas en el artículo primero, multiplicando el porcentaje medio de participación de cada Empresa o grupo de Empresas en la producción nacional, durante las campañas mil novecientos ochenta/ochenta y uno, mil novecientos ochenta y uno/ochenta y dos y mil novecientos ochenta y dos/ochenta y tres, por el objetivo de producción nacional de azúcar que se señale para cada campaña.

Artículo tercero.—Las responsabilidades económicas en que incurran las Empresas o grupos de Empresas, cuya producción de azúcar rebase su cuota, se regularán por lo dispuesto en las normas de las campañas remolachero-azucareras.

Artículo cuarto.—Antes del inicio de cada campaña remolachero-azucarera el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, establecerá las cuotas de cada Empresa o grupo de Empresas, de acuerdo con lo establecido en el artículo segundo y teniendo en cuenta las cesiones de cuotas que puedan realizarse entre Empresas o grupos de Empresas.

## DISPOSICION ADICIONAL

Las industrias azucareras quedan sujetas al régimen de exceptuadas a que se refiere el artículo quinto del Real Decreto dos mil seiscientos ochenta y cinco/mil novecientos ochenta, de diecisiete de octubre.

## DISPOSICIONES FINALES

Una.—Se faculta al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación para dictar las disposiciones precisas para la ejecución y desarrollo del presente Real Decreto.

Dos.—El presente Real Decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid a veinticuatro de julio de mil novecientos ochenta y dos.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación,  
JOSE LUIS ALVAREZ ALVAREZ

## M<sup>º</sup> DE SANIDAD Y CONSUMO

**21711** REAL DECRETO 2050/1982, de 30 de julio, por el que se complementa el Reglamento de Lucha contra las Enfermedades Infecciosas, Desinsectación y Desinfección en lo concerniente a las enfermedades de declaración obligatoria.

Creada la Subdirección General de Vigilancia Epidemiológica, dependiente de la Dirección General de Salud Pública, resulta patente la necesidad de complementar lo dispuesto en el Reglamento de veintiséis de julio de mil novecientos cuarenta y cinco