

Parte 4 Cálculo de las piezas de chapa conformada

4.0 Generalidades

Objeto

En esta parte se aplican las reglas de la Parte 3 a 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 que 4 mm.

La posibilidad de tener en cuenta la elevación del límite elástico debida al endurecimiento por la conformación en frío, como se indica en 4.1.2.

Ambito de aplicación

Las reglas de esta parte son aplicables a las placas, paneles y perfiles de chapa conformada de la Parte 2 de esta norma, así como al caso de perfiles dobles o múltiples constituidos por agrupación de dos o más perfiles simples unidos por soldadura, tornillos, remaches u otros medios. También son aplicables a otras piezas de chapa conformada, realizadas con los aceros indicados en la norma UNE 36 080 (EN 10 025).

En 2.3.6 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 impacto que puedan producir deformaciones locales. Las reglas de esta parte no son aplicables, sin justificación especial, a estructuras sometidas a cargas dinámicas.

4.1 Bases de cálculo

4.1.1 Proceso de cálculo

En los estados límites últimos, las comprobaciones se realizarán con las acciones ponderadas, aplicando los coeficientes de ponderación descritos en 3.1.5.

Las tensiones ponderadas resultantes σ^* obtenidas con ellas no rebasarán la condición de agotamiento establecida en 3.1.6; la resistencia de cálculo σ_u del acero en esta condición se calculará como se indica en 3.1.7. Las tensiones ponderadas σ^* y las resistencias de cálculo σ_u se expresan en esta norma en kp/mm^2 .

En los estados límites de utilización, las comprobaciones se realizarán con las acciones características, definidas en 3.1.4.

4.1.2 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:

$$\Delta\sigma_e = 1.8 \frac{ne^2}{A}$$

donde:

$\Delta\sigma_e$ es el incremento del límite elástico, en kp/mm^2 ;

n es el número de pliegues en la pieza;

e es el espesor de la chapa, en mm;

A es el área total de la sección de la pieza, en 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:

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e + \Delta\sigma_e}{\gamma}$$

donde:

$$\gamma_s = 1.1$$

Caso II. Unión espacial con cartelas transversales**Tracción**

El cálculo se efectúa en forma análoga al caso anterior.

donde:

F^* es la fuerza de tracción solicitante;

F_{AB} es la fuerza de agotamiento de las soldaduras A y B;

F_C es la fuerza de agotamiento de las soldaduras C.

Ha de verificarse:

$$F^* \leq F_{AB} + F_C \text{ y } F_D \geq F_C$$

Flexión

donde:

M^* es el momento solicitante;

M_{AB} es el momento flector de agotamiento de las soldaduras A y B;

M_C es el momento torsor de agotamiento de las soldaduras C.

Ha de verificarse:

$$M^* \leq M_{AB} + M_C \text{ y } M_D \geq M_C$$

$$M_{AB}^* = \frac{M_{AB}}{\Sigma M} M^*; M_C^* = \frac{M_C}{\Sigma M} M^*$$

Torsión

donde:

M_T^* es el momento torsor solicitante;

M_{AT} es el momento de agotamiento de las soldaduras A y B [cálculo según el caso (17) de la tabla 3.A6.1];

M_C es el momento de agotamiento de las soldaduras C.

$$M_C = F_C \cdot d$$

donde:

F_C es la fuerza de agotamiento de cada grupo de soldaduras C de unión a una cartela, y

d es la distancia entre cartelas.

Ha de verificarse:

$$M_T^* \leq M_{AT} + M_C \text{ y } F_D \geq F_C$$

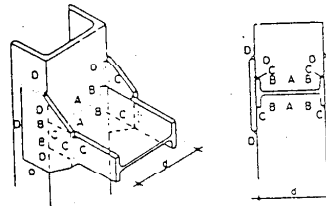


Figura 3.A6.2. Uniones espaciales con cartelas

4.1.4 Dimensiones de un elemento plano

Espesor

Las dimensiones de un elemento plano (figura 4.1.4) son su espesor e , su anchura recta b y su longitud l .

Anchura recta

Es el espesor e de la chapa con que está fabricado el perfil excluidos los recubrimientos.

Es la anchura b_e de un elemento, o de un subelemento, excluyendo los acuerdos curvos. En un elemento multirrigidizado comprende los rigidizadores intermedios (figuras 4.1.4.d y g) verificándose que:

$$b_e \geq \Sigma b_s$$

Longitud

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

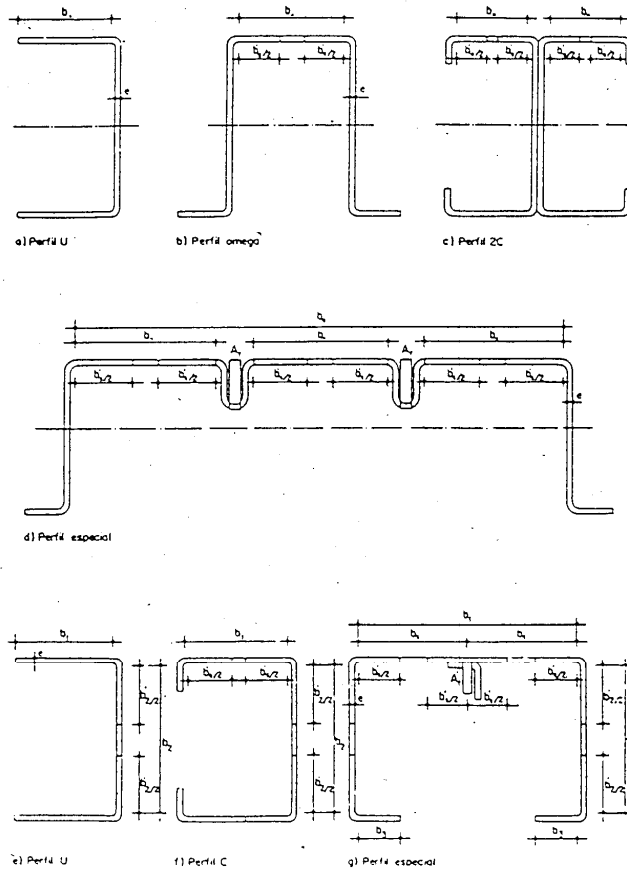


Figura 4.1.4 Secciones eficaces de perfiles sometidos a flexión simple (casos a, b, c y d) y a compresión (casos e, f y g)

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 su valor sea mayor que los expresados en la tabla 4.1.4.

4.1.3 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 4.1.3). Los elementos planos pueden ser de las siguientes clases:

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 4.1.3.

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.

Ejemplos de elementos rigidizados son los designados con R en la figura 4.1.3, en la que se designan con B los rigidizadores de borde.

Elemento multirrigidizado

Elemento rigidizado, que además tiene rigidizadores intermedios, de eje paralelo a la dirección del esfuerzo. Ejemplos de elementos multirrigidizados son los designados con M en la figura 4.1.3, en la que se designan con los rigidizadores intermedios.

Subelemento

Es la parte de un elemento multirrigidizado 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 4.1.3.

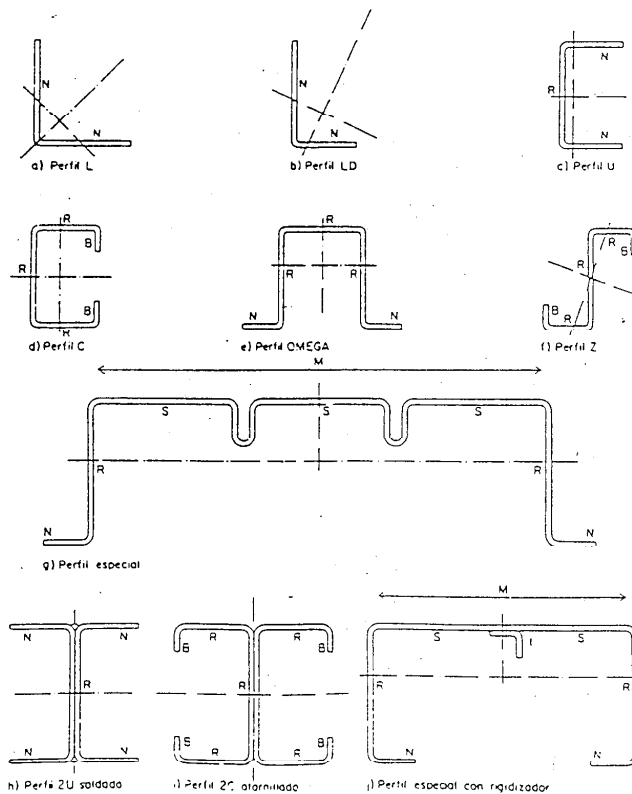


Figura 4.1.3 Perfiles conformados de acero

Cuando el rigidizador sea un labio en ángulo recto (figura 4.1.5.1.a) su anchura a_b no será menor que a_b :

$$a_b = \delta_b e; \delta_b = 2.8 \sqrt{\delta^2 - 117 \frac{24}{\sigma_u}} \leq 5$$

Los valores de x_b y δ_b se indican en la tabla 4.1.5.1

Tabla 4.1.5.1 Características mínimas de los rigidizadores de borde

δ, δ_b	Rigidizador de labio δ_b en acero			Rigidizador de otro tipo x_b en acero		
	A37	A42	A52	A37	A42	A52
10	5.0	5.0	5.0	10	10	10
11	5.0	5.0	5.2	10	10	12
12	5.0	5.1	5.5	10	11	15
13	5.4	5.6	5.9	13	14	18
14	5.8	5.9	6.2	16	17	20
16	6.4	6.4	6.6	22	22	24
18	6.8	6.9	7.0	26	27	29
20	7.2	7.2	7.3	31	31	33
25	7.9	7.9	8.0	41	42	43
30	8.5	8.5	8.6	51	52	53
40	9.5	9.5	9.5	71	71	71
50	10.2	10.2	10.2	89	90	90
60	10.9	10.9	10.9	108	108	109
70	—	—	—	127	127	127
80	—	—	—	150	150	150
90	—	—	—	164	164	164

4.1.5.2

Rigidizador intermedio

Puede ser un pliegue, un perfil unido, o combinación de ambos, en el interior de un elemento multirrigidizado (figura 4.1.5.2), cuya sección tenga un momento de inercia respecto al eje que pasa por su baricentro, paralelo al elemento, no menor que I_x :

$$I_x = x_i e^3; x_i = 3.00 \sqrt{\delta^2 - 117 \frac{24}{\sigma_u}} \leq 20$$

Los valores de x_i se indican en la tabla 4.1.5.2.

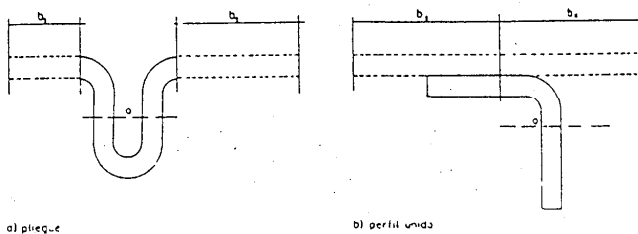


Figura 4.1.5.2 Rigidizadores intermedios

Tabla 4.1.4 Delgadez máxima δ_{max} de un elemento

Elementos	Delgadez máxima δ_{max}
Elementos comprimidos:	
No rigidizado (figura 4.1.4.a)	60
Con rigidizador de labio (figura 4.1.5.1.a)	60
Con rigidizador de pliegue (figura 4.1.5.1.b)	90
Unido en ambos bordes a otro elemento (figura 4.1.4.d)	500
Subelementos comprimidos	250
Elementos con cortadura:	
Cuando $ a'r' > 0.5 r_u$ (4.2.5)	150
Alma simple de pieza flectada (figura 4.1.4.a)	150
Cada chapa en alma múltiple (figura 4.1.4.c) (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 u otros medios, a distancia: $s = t' > 0.5 h$, como delgadez de cada chapa se tomará:

$$\delta = s : e.$$

4.1.5 Rigidizadores

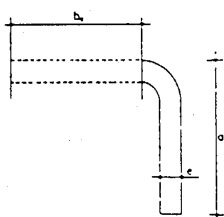
Para reducir el efecto de la abolladura en los elementos comprimidos, pueden disponerse rigidizadores longitudinales, que son de dos clases: rigidizadores de borde o rigidizadores intermedios. No es usual disponer rigidizadores transversales.

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

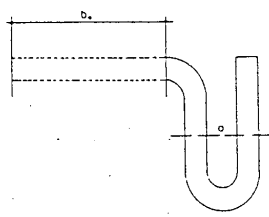
4.1.5.1 Rigidizador de borde

Puede ser de labio (figura 4.1.5.1.a), o de otro tipo (figura 4.1.5.1.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 menor que I_b :

$$I_b = X_b e^3; X_b = 1.83 \sqrt{\delta^2 - 117 \frac{24}{\sigma_u}} \leq 10$$

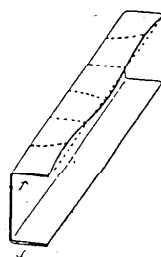


a) labio

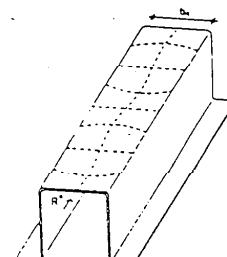


b) pliegue

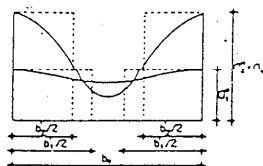
Figura 4.1.5: Rigidizadores de borde



a) Elemento no rigidizado



b) Elemento rigidizado



c) Tensión en el centro de las fibras a lo largo de la anchura recta b del elemento rigidizado y anchura eficaz b_1 , con $\sigma_1 < \sigma_u$ y b_2 en agotamiento con $\sigma_2 = \sigma_u$

Figura 4.2.2 Abolladura de elementos planos comprimidos

4.2.2.1 Anchura eficaz

Es la anchura $b_e = \beta b_u$ de un elemento rigidizado, o $b_e = \beta b_u$ de un subelemento que correspondería a una distribución uniforme de σ^* (figura 4.2.2.c). El factor de eficacia, $\beta \leq 1$, es función de la delgadez y de la tensión ponderada resultante σ^* , y se obtiene en 4.2.4 y 4.2.6. Como a su vez σ^* depende de β , se requiere operar por aproximaciones sucesivas o emplear procedimientos simplificados (4.3.2 y 4.4.2).

4.2.2.2 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 4.1.4), en la cual:

- La anchura recta b_u de los elementos no rigidizados comprimidos se mantiene (figura 4.1.4.e).
- La de los elementos rigidizados comprimidos se sustituye por su anchura eficaz b_e (figura 4.1.4.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_e definida en 4.2.4.2.
- El baricentro de la sección eficaz de un rigidizador coincide con el de su sección total (figura 4.1.4.d y g).
- Los rigidizadores conservan su momento de inercia.

4.2.3 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 σ^* (4.4.5), el coeficiente de abolladura α calculado a continuación, debiendo cumplirse:

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

4.2.3.1 Coeficiente de abolladura

El coeficiente de abolladura α de un elemento no rigidizado, de delgadez δ , tiene el valor siguiente:

Tabla 4.1.5.2 Características mínimas de los rigidizados intermedios

Delgadez del subelemento δ_i	χ , en acero		
	A37	A42	A52
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

4.2 Abolladura

4.2.1 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.

4.2.2 Abolladura por tensiones normales

Un elemento no rigidizado comprimido (4.1.3) de delgadez δ mayor que la delgadez límite:

$$\delta_{in} = 10.8 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}$$

sufre abolladura de forma ondulada (figura 4.2.2.a).

Un elemento rigidizado comprimido (4.1.3) de longitud mayor que la anchura recta y delgadez mayor que la delgadez límite:

$$\delta_{ir} = 40.8 \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}}$$

sufre abolladura formando paneles aproximadamente cuadrados (figura 4.2.2.b) que se deforman alternativamente a un lado y 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 4.2.2.c), con ley de variación que depende de la tensión ponderada máxima σ^* 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 definida a continuación.

Tabla 4.2.3.1 Coeficiente de abolladura α en elementos rectos no rigidizados (*fin*)

Delgalez del elemento	Coeficiente de abolladura α																		Con acero A37
	Elemento unido a otro elemento		Elemento corto, siendo: $l : b_e$																
	Rigidi- zado $l : b_e \geq 1.40$	No rigidi- zado $l : b_e \geq 4.45$																	
δ			≤ 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		
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	4.85	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	8.46		
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		

4.2.4

Tensiones en los elementos rigidizados

El efecto de la abolladura, en estos elementos, se tendrá en cuenta obteniendo la tensión ponderada resultante σ^* con la sección eficaz (4.2.2.2), debiendo cumplirse:

$$|\sigma^*| \leq \sigma_{cr}$$

La sección eficaz de un elemento rigidizado comprimido se determina en función de la tensión ponderada resultante σ^* , en kg/mm^2 , en cada uno de los siguientes casos.

4.2.4.1

Elemento rigidizado entre dos almas

Área eficaz:

$$A' = \beta b_e e$$

$$\text{Si } \delta \leq \delta_m = 10.8 \frac{24}{\sigma_u}; \alpha = 1$$

$$\text{Si } \delta > \delta_m; \alpha = 1 + \frac{(\sigma_u + 9)(\delta - \delta_m)^2}{\xi}$$

En un elemento unido a un elemento no rigidizado, como el ala de un perfil L, si

$$l : b_e \geq 4.45; \xi = 10000$$

En un elemento unido a un elemento rigidizado, como el ala de un perfil U, si

$$l : b_e \geq 1.48; \xi = 18000$$

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

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

Los valores de α en función de δ , y para elementos cortos en función además de l/b_e , en acero A37 se dan en la tabla 4.2.3.1.

Tabla 4.2.3.1 Coeficiente de abolladura α en elementos rectos no rigidizados

Delgadez del elemento δ	Coeficiente de abolladura α																Con acero A37	
	Elemento unido a otro elemento		Elemento corto, siendo: $l : b_e$															
	Rigido- zado $l : b_e \geq 1.40$	No rigido- zado $l : b_e \geq 4.45$																
																		
			≤ 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	1.04	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	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	
18	1.10	1.17	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.14	1.15	1.16	
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	

(Continúa)

Tabla 4.2.4.1 Factor de eficacia en un elemento rigidizado entre dos almas (lin)

Delgadez del elemento δ	Factor de eficacia β siendo σ^* en kp/mm^2																							
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36					
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	0.108					
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	0.106					
430	1	0.402	0.291	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	0.394	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	0.101					
450	1	0.386	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	0.379	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	0.097					
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	0.095					
480	1	0.365	0.266	0.220	0.192	0.173	0.158	0.147	0.138	0.130	0.124	0.116	0.113	0.109	0.105	0.102	0.099	0.096	0.093					
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	0.091					
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	0.089					

4.2.4.2 Elemento rigidizado entre un alma y un rigidizador de borde

El área eficaz vale:

$$A' = \beta b_e e + A_r$$

donde:

β es el factor de eficacia del elemento (tabla 4.2.4.1);

$A_r = \beta_r A_r$ es el área eficaz del rigidizador de borde;

A_r es el área de la sección del rigidizador de borde (4.1.5.1);

β_r es el factor de eficacia del rigidizador (tabla 4.2.4.2).

Los factores de eficacia β , β_r valen:

$$\text{Si } \delta \leq 60: \quad \beta = \frac{56.1}{15.3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}} \geq 1; \quad \beta_r = 1$$

$$\text{Si } 60 < \delta \leq 90: \quad \beta = \frac{56.1 - 0.1(\delta - 60) \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}}{15.3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}} \geq 1$$

$$\beta_r = 1 - \left[\frac{\delta}{30} - 2 \right] (1 - \beta) \geq 1$$

Los valores de β y de β_r en función de δ y σ^* se dan en la tabla 4.2.4.2.

Tabla 4.2.4.2 Factores de eficacia de un elemento rigidizado entre un alma y un rigidizador de borde

Delgadez del elemento	Factores de eficacia β y β_r , siendo σ^* en kp/mm^2																	
	≤ 4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	
δ																		
≤ 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	0.985	0.968	0.935	0.912	0.892	0.873	
50	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	β	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	β_r	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	

$$\text{Si } \delta \leq \delta_v = 40.8 \frac{\sqrt{24}}{\sigma^*}; \beta = 1$$

$$\text{Si } \delta > \delta_v: \beta = \frac{56.1}{15.3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}}$$

Los valores de β en función de δ y σ^* se dan en la tabla 4.2.4.1.

Tabla 4.2.4.1 Factor de eficacia en un elemento rigidizado entre dos almas

Delgadez del elemento		Factor de eficacia β siendo σ^* 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	0.985	0.959	0.935	0.912	0.892	0.873	
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.957	0.921	0.888	0.859	0.833	0.809	0.780	
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.957	0.921	0.888	0.859	0.833	0.809	0.780	0.750	0.720	0.700	
60	1	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	0.617	
70	1	1	1	1	1	0.922	0.866	0.816	0.774	0.739	0.708	0.681	0.658	0.636	0.617	0.600	0.584	0.569	0.555	0.541	
80	1	1	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	0.483	
90	1	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	0.437	
100	1	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	0.400	
110	1	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	0.366	
120	1	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	0.339	
130	1	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	0.313	
140	1	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	0.293	
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	0.299	0.290	0.282	0.275	
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	0.305	0.298	0.289	0.280	0.273	0.266	0.260	
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	0.251	0.245	
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	0.236	0.230	
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	0.226	0.220	
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	0.216	0.210	
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	0.218	0.211	0.206	0.200	
220	1	0.712	0.534	0.448	0.394	0.357	0.328	0.306	0.288	0.273	0.260	0.248	0.238	0.230	0.222	0.215	0.208	0.202	0.197	0.191	
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	0.189	0.183	
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	0.181	0.175	
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	0.175	0.169	
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	0.168	0.162	
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	0.162	0.157	
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	0.157	0.151	
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	0.151	0.147	
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	0.147	0.142	
310	1	0.535	0.395	0.329	0.289	0.260	0.233	0.223	0.209	0.198	0.186	0.180	0.172	0.166	0.160	0.155	0.150	0.146	0.142	0.138	
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	0.138	0.134	
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	0.134	0.130	
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	0.130	0.126	
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	0.126	0.123	
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	0.123	0.120	
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	0.120	0.117	
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	0.117	0.114	
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	0.114	0.111	
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	0.111	0.108	

(Continúa)

Tabla 4.2.4.3.A Factor de eficacia de un elemento multirrigidizado entre dos almas (Método I)

Delgadez virt. del elemento	Factor de eficacia β , siendo σ^* en kg/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	1	0.999	0.996	0.989	0.982	0.973	0.963	0.953	0.943					
40	1	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	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	0.646	0.602	0.561	0.518	0.480	0.450	0.428	0.412	0.399	0.384	0.371	0.359	0.348	0.338	0.329					
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	0.230	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	0.178	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					

4.2.4.3

Elemento multirrigidizado 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:

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

donde:

A es el área de la sección del elemento, incluidos los rigidizadores intermedios;

I es el momento de inercia de dicha sección, respecto al eje que pase por su baricentro, paralelo al elemento;

b_e es la anchura recta total del elemento;

$e_v = \sqrt{\frac{12I}{b_e}}$ es el espesor virtual del elemento;

$\sigma_v = \frac{b_s}{e_v}$ es la delgadez virtual del elemento

Los valores de β_1 en función de δ_v y σ^* se dan en la tabla 4.2.4.1.A.

Método II:

El área eficaz vale:

$$A' = \sum \beta_i b_i e + \sum A_i$$

donde:

$A_i = \beta_i A_i$ es el área eficaz de cada rigidizador intermedio.

a) Caso de uno o dos rigidizadores intermedios:

Si $\delta_s \leq 60$

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

$\beta_i = 1$

Si $\delta_s > 60$

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

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

Los valores de β_s y de β_i en función de δ_s y σ^* se dan en la tabla 4.2.4.3.B.

b) Caso de más de dos rigidizadores intermedios (figura 4.2.4.3).

La anchura eficaz: $b_{e1} = \beta_s b_{s1}$, de los elementos contiguos a almas, y el área eficaz: $A_i = \beta_i A_i$ 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: $b_{e2} = \beta_i b_{i2}$ se calcula con las fórmulas anteriores.

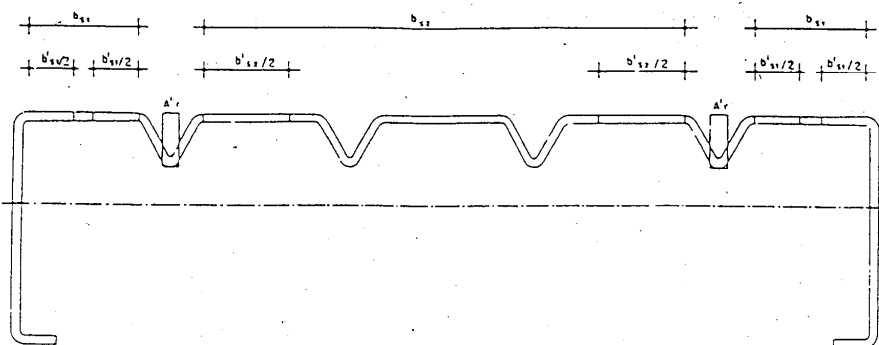


Figura 4.2.4.3 Sección eficaz con elemento multirrigidizado con más de dos rigidizadores

- 4.2.4.4** Elemento multirrigidizado entre un alma y un rigidizador
- El área eficaz se calcula como en caso del elemento multirrigidizado entre dos almas antes expuesto, 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 el caso del elemento entre un alma y un rigidizador de borde.
- 4.2.5** Abolladura por tensiones tangenciales
- En los elementos planos, salvo excepciones, no pueden disponerse rigidizadores transversales (4.1.5). El efecto de la abolladura en un elemento se tendrá en cuenta aplicando a la tensión tangencial ponderada τ el coeficiente de abolladura por cortadura α' que se calcula a continuación, debiendo cumplirse:
- $$|\alpha' \tau| \leq \tau_u = 0,577 \sigma_u$$
- 4.2.5.1** Coeficiente de abolladura por cortadura
- El coeficiente α' de un elemento de delgadez δ tiene el siguiente valor:
- Si $\delta \leq 65 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}$ $\alpha' = 1$
- Si $65 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}} \leq \delta \leq 95 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}$ $\alpha' = \frac{\delta}{65} \sqrt{\frac{\sigma_u}{24}}$
- Si $\delta > 95 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}$ $\alpha' = \frac{\delta^2 \sigma_u}{148.200}$
- Los valores de α' en función de δ para acero A37 se dan en la tabla 4.2.5.1.

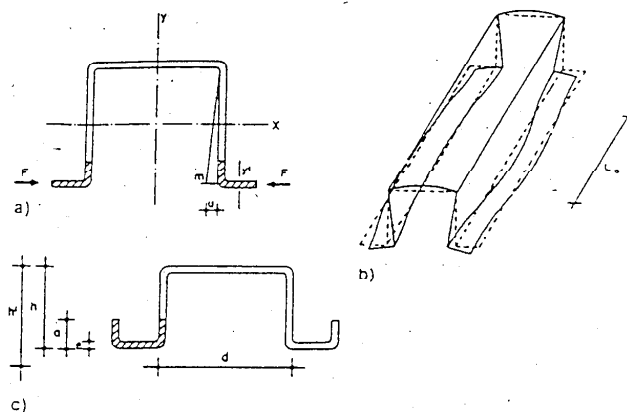


Figura 4.3.1 Combadura de piezas arriostradas longitudinalmente, no directamente en sus cabezas comprimidas

4.3.2 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 $h_c \leq h/6$ (figura 4.3.2.a) o de dos elementos en piezas compuestas (figura 4.3.2.b).

El radio de giro de una cabeza comprimida es:

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

donde:

A_c es el área de la cabeza comprimida

I_c es el momento de inercia de esta área respecto al eje y' que pasa por su baricentro.

Algunas piezas (figura 4.3.1.a) tienen dos cabezas comprimidas, una en cada extremo de la sección.

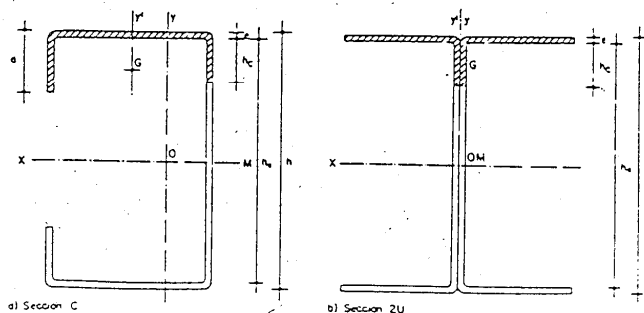


Figura 4.3.2 Pieza virtual para la consideración de la combadura

4.3.3

Longitud de combadura

La longitud de combadura l_c de un 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:

$$l_c = 2l$$

Tabla 4.2.5.1 Coeficiente de abolladura por cortadura para acero A37

δ	Coeficiente α									
	$\delta +$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1	1	1	1	1	1	1.02	1.03	1.05	1.06
70	1.08	1.09	1.11	1.12	1.14	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22
80	1.23	1.25	1.26	1.28	1.29	1.31	1.32	1.34	1.35	1.37
90	1.38	1.40	1.42	1.43	1.45	1.46	1.49	1.52	1.56	1.59
100	1.62	1.65	1.68	1.72	1.75	1.79	1.82	1.85	1.89	1.92
110	1.96	2.00	2.03	2.07	2.10	2.14	2.16	2.22	2.25	2.29
120	2.33	2.37	2.41	2.45	2.49	2.53	2.57	2.61	2.65	2.69
130	2.74	2.78	2.82	2.86	2.91	2.95	3.00	3.04	3.08	3.13
140	3.17	3.22	3.27	3.31	3.36	3.40	3.45	3.50	3.55	3.60
150	3.64	3.69	3.74	3.79	3.84	3.89	3.94	3.99	4.04	4.09
160	4.15	4.20	4.25	4.30	4.36	4.41	4.46	4.52	4.57	4.63
170	4.68	4.74	4.79	4.85	4.90	4.96	5.02	5.07	5.13	5.19
180	5.25	5.31	5.36	5.42	5.48	5.54	5.60	5.66	5.72	5.78
190	5.85	5.91	5.97	6.03	6.09	6.16	6.22	6.28	6.35	6.41
200	6.48	6.54	6.61	6.67	6.74	6.81	6.87	6.94	7.01	7.07
210	7.14	7.21	7.28	7.35	7.42	7.49	7.56	7.63	7.70	7.77
220	7.84	7.91	7.98	8.05	8.13	8.20	8.27	8.34	8.42	8.49
230	8.57	8.64	8.72	8.79	8.87	8.94	9.02	9.10	9.17	9.25
240	9.33	9.41	9.48	9.56	9.64	9.72	9.80	9.88	9.96	10.04
250	10.12									

4.2.6 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:
Elemento no rigidizado:

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

Elemento rigidizado:

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

4.3 Combadura

4.3.1 Concepto

La combadura es un fenómeno de inestabilidad de las cabezas comprimidas de la pieza (4.3.2), denominado pandeo lateral en la Parte 3, 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 (4.4.4) 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 4.3.1) (4.3.5).

El efecto de la combadura se tendrá en cuenta mediante el coeficiente de combadura α calculado según 4.3.4, que multiplica a las tensiones normales ponderadas σ^* debiendo cumplirse:

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

Tipo de acero	Coeficiente ω de pandeo función de la esbeltez $\lambda = \frac{l}{i}$										
	λ	$\lambda +$									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A42	20	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
	30	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07
	40	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11	1.12	1.12
	50	1.13	1.14	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21
	60	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.29	1.30	1.31	1.33
	70	1.34	1.36	1.37	1.39	1.40	1.42	1.44	1.46	1.47	1.49
	80	1.51	1.53	1.55	1.57	1.60	1.62	1.64	1.66	1.69	1.71
	90	1.74	1.76	1.79	1.81	1.84	1.86	1.89	1.92	1.95	1.98
	100	2.01	2.03	2.06	2.09	2.13	2.16	2.19	2.22	2.25	2.29
	110	2.32	2.35	2.39	2.42	2.46	2.49	2.53	2.56	2.60	2.64
	120	2.67	2.71	2.75	2.79	2.82	2.86	2.90	2.94	2.98	3.02
	130	3.06	3.11	3.15	3.19	3.23	3.27	3.32	3.36	3.40	3.45
	140	3.49	3.54	3.58	3.63	3.67	3.72	3.77	3.81	3.86	3.91
	150	3.96	4.00	4.03	4.10	4.13	4.20	4.23	4.30	4.35	4.40
	160	4.45	4.51	4.56	4.61	4.66	4.72	4.77	4.82	4.88	4.93
	170	4.99	5.04	5.10	5.15	5.21	5.26	5.32	5.38	5.44	5.49
	180	5.55	5.61	5.67	5.73	5.79	5.85	5.91	5.97	6.03	6.09
	190	6.15	6.21	6.27	6.34	6.40	6.46	6.53	6.59	6.65	6.72
	200	6.78	6.85	6.91	6.98	7.05	7.11	7.18	7.25	7.31	7.38
	210	7.45	7.52	7.59	7.66	7.72	7.79	7.86	7.93	8.01	8.08
	220	8.15	8.22	8.29	8.36	8.44	8.51	8.58	8.66	8.73	8.80
	230	8.88	8.95	9.03	9.11	9.18	9.26	9.33	9.41	9.49	9.57
	240	9.64	9.72	9.80	9.88	9.96	10.04	10.12	10.20	10.28	10.36
	250	10.44									
A52	20	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05
	30	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.10
	40	1.11	1.12	1.13	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19
	50	1.20	1.22	1.23	1.24	1.25	1.27	1.29	1.30	1.31	1.33
	60	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	1.47	1.49	1.51	1.54
	70	1.56	1.59	1.61	1.64	1.66	1.69	1.72	1.75	1.78	1.81
	80	1.84	1.87	1.90	1.94	1.97	2.01	2.04	2.08	2.11	2.15
	90	2.18	2.22	2.26	2.30	2.34	2.38	2.42	2.46	2.50	2.54
	100	2.59	2.63	2.67	2.72	2.76	2.81	2.85	2.90	2.95	2.99
	110	3.04	3.09	3.14	3.19	3.24	3.29	3.34	3.39	3.44	3.49
	120	3.55	3.60	3.65	3.71	3.76	3.82	3.87	3.93	3.98	4.04
	130	4.10	4.16	4.22	4.27	4.33	4.39	4.45	4.52	4.58	4.64
	140	4.70	4.76	4.83	4.89	4.95	5.02	5.08	5.15	5.22	5.28
	150	5.35	5.42	5.48	5.55	5.62	5.69	5.76	5.83	5.90	5.97
	160	6.04	6.12	6.19	6.26	6.34	6.41	6.48	6.56	6.63	6.71
	170	6.79	6.86	6.94	7.02	7.09	7.17	7.25	7.33	7.41	7.49
	180	7.57	7.65	7.73	7.82	7.90	7.98	8.07	8.15	8.24	8.32
	190	8.40	8.49	8.58	8.66	8.75	8.84	8.93	9.02	9.10	9.19
	200	9.28	9.37	9.47	9.56	9.65	9.74	9.83	9.92	10.02	10.11
	210	10.21	10.30	10.40	10.49	10.59	10.69	10.78	10.88	10.98	11.08
	220	11.18	11.27	11.38	11.48	11.57	11.68	11.78	11.88	11.98	12.09
	230	12.19	12.29	12.40	12.50	12.61	12.72	12.82	12.93	13.03	13.14
	240	13.25	13.36	13.47	13.58	13.69	13.80	13.91	14.02	14.13	14.25
	250	14.36									

Tabla 4.3.4.B Coeficiente de combadura

Tipo de acero	Coeficiente α siendo ζ							
	$\zeta +$	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
A37	0	1.00	1.20	2.35	3.52	4.69	5.86	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

(Continúa)

En una pieza con arriostramiento longitudinal continuo y efectivo que tenga dos cabezas comprimidas simétricas respecto al plano de flexión, no directamente arriostradas (figura 4.3.1.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 4.3.5.

4.3.4. Coeficiente de combadura

El coeficiente de combadura κ puede calcularse, en valor aproximado por exceso, en función de la esbeltez λ de la cabeza comprimida:

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

donde:

l_c es la longitud de combadura (4.3.3);

i_c es el radio de giro de la cabeza comprimida (4.3.2).

Se tomará $\kappa = \omega$, siendo el coeficiente de pandeo que corresponde a λ en la tabla 4.3.4.A.

En el caso de flexión recta en el plano que pasa por el eje y, sin torsión, es más exacto para κ el valor dado en la tabla 4.3.4.B en función del parámetro:

$$\zeta = \frac{I_y I_z}{h \sqrt{I_y (I_y + \pi^2 I_z) \frac{E}{G}}}$$

donde:

h es el canto de la sección en dicho plano;

$I_y, I_z, I_y I_z$ son los términos de la sección total (4.4.1);

E es el módulo de elasticidad longitudinal del acero;

G es su módulo de elasticidad transversal del acero.

Tabla 4.3.4.A Coeficiente de pandeo del acero

Tipo del acero	Coeficiente ω de pandeo función de la esbeltez $\lambda = \frac{l_c}{i_c}$										
	λ	$\lambda +$									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A37	20	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03
	30	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06
	40	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11
	50	1.12	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15	1.16	1.17	1.17	1.18
	60	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.28	1.29
	70	1.30	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.39	1.40	1.42	1.44
	80	1.45	1.47	1.49	1.51	1.53	1.55	1.57	1.59	1.61	1.63
	90	1.65	1.67	1.70	1.72	1.74	1.77	1.79	1.82	1.84	1.87
	100	1.89	1.92	1.95	1.97	2.00	2.03	2.06	2.09	2.12	2.15
	110	2.18	2.21	2.24	2.27	2.30	2.33	2.37	2.40	2.43	2.47
	120	2.57	2.53	2.57	2.60	2.64	2.68	2.71	2.75	2.78	2.82
	130	2.86	2.90	2.94	2.97	3.01	3.05	3.09	3.13	3.17	3.21
	140	3.25	3.29	3.33	3.38	3.42	3.46	3.50	3.55	3.59	3.63
	150	3.68	3.72	3.77	3.81	3.86	3.90	3.95	4.00	4.04	4.09
	160	4.14	4.18	4.23	4.28	4.33	4.38	4.43	4.48	4.53	4.58
	170	4.63	4.68	4.73	4.78	4.83	4.88	4.94	4.99	5.04	5.09
	180	5.15	5.20	5.26	5.31	5.36	5.42	5.48	5.53	5.59	5.64
	190	5.70	5.75	5.81	5.87	5.93	5.99	6.05	6.11	6.16	6.22
	200	6.28	6.34	6.40	6.46	6.53	6.59	6.65	6.71	6.77	6.84
	210	6.90	6.96	7.03	7.09	7.15	7.22	7.28	7.35	7.41	7.48
	220	7.54	7.61	7.67	7.74	7.81	7.88	7.94	8.01	8.08	8.15
	230	8.22	8.29	8.36	8.43	8.49	8.57	8.64	8.71	8.78	8.85
	240	8.92	8.99	9.07	9.14	9.21	9.29	9.36	9.43	9.51	9.58
	250	9.66									

(Continúa)

En la sección de la pieza (figura 4.4.1) se empleará la notación siguiente:

- e, cm espesor de la pared (habitualmente en mm 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);
 Ω , cm² 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, cm² área de la sección:

$$A = \int_0^s eds$$

S_x , cm³ momento estático respecto al eje x, de la parte de sección comprendida entre 0 y s:

$$S_x = \int_0^s y eds$$

S_y , cm³ momento estático respecto al eje y, de la parte de sección comprendida entre 0 y s:

$$S_y = \int_0^s x eds$$

I_x , cm⁴ momento de inercia de la sección respecto al eje x:

$$I_x = \int_0^s y^2 eds$$

I_y , cm⁴ momento de inercia de la sección respecto al eje y:

$$I_y = \int_0^s x^2 eds$$

I_{xy} , cm⁴ producto de inercia:

$$I_{xy} = \int_0^s xy eds$$

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

I_t , cm⁴ módulo de torsión:

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

S_a , cm⁴ momento estático de alabeo de la parte de sección comprendida entre 0 y s:

$$S_a = \int_0^s \Omega eds$$

I_a , cm⁶ módulo de alabeo de la sección:

$$I_a = \int_0^s \Omega^2 eds$$

En el Anejo 4.A1 se presenta un método de cálculo numérico iterativo para determinar en una sección abierta cualquiera de pared delgada: el baricentro, el centro de esfuerzos cortantes, los términos de sección y las funciones coordenadas antes indicadas.

Tipo de acero	$\zeta +$	Coeficiente k siendo ζ						
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
A42	0	1.00	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
A52	0	1.00	1.76	3.52	5.28	7.03	8.79	10.50
	100	1.02	1.93	3.69	5.45	7.21	8.97	10.70
	200	1.04	2.11	3.87	5.63	7.39	9.15	10.90
	300	1.06	2.29	4.04	5.80	7.56	9.32	11.10
	400	1.08	2.46	4.22	5.98	7.74	9.50	11.30
	500	1.11	2.64	4.40	6.16	7.91	9.67	11.40
	600	1.16	2.81	4.57	6.33	8.09	9.85	11.60
	700	1.24	2.99	4.75	6.51	8.27	10.00	11.80
	800	1.40	3.17	4.92	6.68	8.44	10.20	12.00
	900	1.56	3.34	5.10	6.86	8.62	10.40	12.10

4.3.5 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 4.3.1.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_0 (figura 4.3.1.b) que se calculan por la expresión:

$$l_0 = \pi \sqrt{\frac{EI_c}{k}}$$

donde:

I_c es el momento de inercia respecto al eje y' de la cabeza comprimida (4.3.2).
 k es una 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 4.3.1.a).

En el perfil representado en la figura 4.3.1.c el valor de la constante de muelle es:

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

Con: $h' = h + 0.4a$

donde:

a es la altura del labio si el ala no tiene rigidizador;

$h' = h$.

Como longitud de combadura se tomará:

$$l_c = \frac{l_0}{\sqrt{2}}$$

4.4 Piezas sometidas a flexión y a torsión

4.4.1 Consideraciones generales

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

Se tendrán en cuenta el Anejo 3.A2. Cálculo de tensiones en piezas flexionadas de pared delgada y directriz recta y el Anejo 3.A3. Piezas solicitadas a torsión. Para los perfiles conformados en frío, empleados como correas, los métodos de cálculo se establecen en 4.4.4.

donde:

l es la longitud característica a torsión de la sección, que vale:

$$l = \sqrt{\frac{E_s}{G I_t}} = 1,61 \sqrt{\frac{I_s}{I_t}}$$

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

Las tensiones producidas por la torsión son:

$$\sigma_t = \frac{B\Omega}{I_t}; \quad \tau_t = \pm \frac{M_t e}{I_t} - \frac{M_t S_x}{e I_t}$$

Cuando haya además flexión, las tensiones serán:

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

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

donde:

σ_f y τ_f son las dadas en 4.4.2.

Cuando la longitud l (4.1.4) cumpla $l > 6l$, puede despreciarse el momento torsor de alabeo:

$$M_t = M_r; \quad M_s = 0; \quad B = 0$$

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

$$M_r = 0; \quad M_t = M_s; \quad B \neq 0$$

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 (4.2) y a la combadura (4.3).

4.4.4 Correos

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 amianto-cemento.

No puede contarse con la colaboración de la cobertura, calculándose con la sollicitación completa según 4.4.3.

Caso 2. Cobertura de placas o paneles dispuesta de modo que pueda considerarse impedido el desplazamiento en su plano. Fijación a las correas mediante ganchos. La sollicitación tendrá las 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_s 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 4.4.4). Con esta sollicitación se calculan las tensiones según 4.4.3.

Caso 3. Cobertura de placas o paneles 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 4.4.2 con T_y y M_x , admitiendo:

$$T_x = 0, \quad M_y = 0, \quad M_t = 0.$$

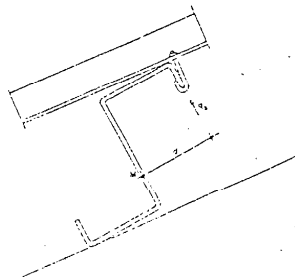


Figura 4.4.4. Correa fijada con ganchos

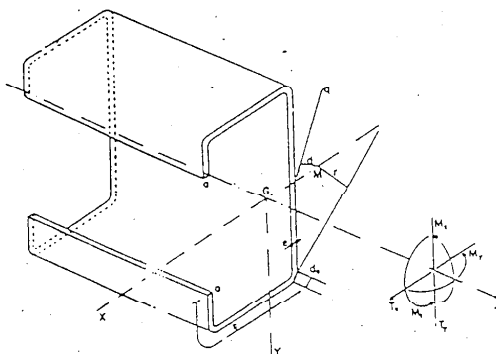


Figura 4.4.1 Pieza de sección abierta

4.4.2 Piezas sometidas a flexión

Las tensiones normales y tangenciales producidas por la flexión simple vienen dadas por la fórmulas que se indican a continuación. La notación complementaria y el convenio de signos se indican en la figura 4.4.1

La flexión esviada, en una sección cualquiera referida a los ejes x, y que no coinciden 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 , viene dada por:

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

$$\tau_t = -\frac{1}{eD} [T_y(S_xI_y - S_yI_{xy}) + T_x(S_yI_x - S_xI_{xy})]$$

donde:

$$D = I_xI_y - I_{xy}^2$$

La flexión esviada en una sección cualquiera, referida a los ejes x, y que coinciden 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 , viene dada por:

$$\sigma_t = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}; \quad \tau_t = -\frac{T_y S_x}{eI_x} - \frac{T_x S_y}{eI_y}$$

La flexión recta en el plano principal y, z de una sección cualquiera viene dada por:

$$\sigma_t = \frac{M_x y}{I_x}; \quad \tau_t = -\frac{T_y S_x}{eI_x}$$

4.4.3 Piezas sometidas a torsión

Las piezas conformadas en frío de sección abierta y pared delgada no son adecuadas para resistir torsiones, por lo que esta sollicitación debe 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 4.4.1), se produce sollicitación con las componentes:

$M_t = M_r + M_s$ momento torsor;
 M_r momento torsor de rotación (1);
 M_s momento torsor de alabeo;
 B bimomento.

Entre la carga, la sollicitación y el giro ϕ de la sección existen las relaciones:

$$\frac{dM_t}{dz} = qd; \quad \frac{d^2\phi}{dz^2} = \frac{B}{EI_s}$$

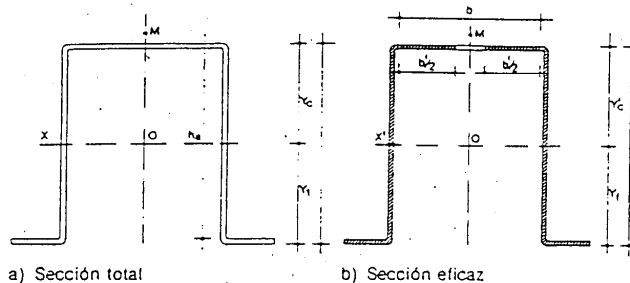
$$\frac{d\phi}{dz} = \frac{M_r}{GI_t}; \quad \frac{d^3\phi}{dz^3} = \frac{-M_s}{EI_s}$$

y la ecuación diferencial de la torsión:

$$\tau^2 \frac{d^4\phi}{dz^4} - \frac{d^2\phi}{dz^2} = \frac{qd}{GI_t}$$

(1) Corresponde a la torsión de Saint Venant

Se tantea una sección (figura 4.4.5.B, 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 $\sigma' = \sigma_y$ (figura 4.4.5.B, b). Se calculan los términos de dicha sección eficaz, y con las ecuaciones de resistencia se obtienen las tensiones resultantes σ' . 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, y puede tantearse otra menor.



a) Sección total

b) Sección eficaz

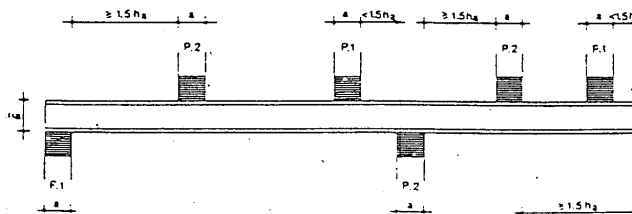
Figura 4.4.5.B Perfil a flexión simple

4.4.6 Cargas concentradas

Se denomina carga concentrada la que actúa en una longitud $a \leq h_a$, siendo h_a la altura del alma (figura 4.4.6.A).

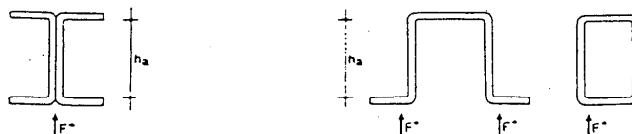
Las reacciones de sustentación tienen en general la consideración de cargas concentradas.

Las cargas concentradas producen dos efectos: en el alma, un efecto de abolladura local; en las alas comprimidas o traccionadas de piezas cortas, un efecto de variación de tensiones. Ambos se calculan a continuación.



a) Posición en la pieza

Figura 4.4.6.A Cargas concentradas



b) Fuerza centrada

c) Fuerzas excéntricas

Figura 4.4.6.A Cargas concentradas (fin)

Efecto de abolladura local del alma

En una pieza cuya alma tiene altura h_a (figura 4.4.6.A), unida a las alas mediante redondeo de radio inferior $r \leq 4e$, en la que se aplica una carga concentrada de valor ponderado F^* , se considera que no origina abolladura del alma si F^* no es mayor que el máximo admisible F_m , que depende de la posición de la fuerza y cuyos valores, para cargas coincidentes con el alma, y para cargas no coincidentes, se definen a continuación.

4.4.5 Comprobación de las tensiones

La tensión normal ponderada en un punto de una sección:

$$\sigma^* = \sigma_1^* + \sigma_2^*$$

se calculará según 4.4.2 y 4.4.3 con las componentes de sollicitación en valores ponderados: M_1^* , M_2^* , B^* .

La tensión tangencial ponderada en un punto de una sección:

$$\tau^* = \tau_1^* + \tau_2^*$$

se calculará según 4.4.3 con las componentes de sollicitación en valores ponderados: T_1^* , T_2^* , M_1^* , M_2^* .

Las condiciones de agotamiento con consideración de la abolladura y de la combadura se establecen a continuación para piezas con elementos comprimidos no rigidizados, y para piezas con elementos comprimidos rigidizados.

Piezas con elementos comprimidos no rigidizados

Cuando la pieza tiene su cabeza comprimida constituida por un elemento plano no rigidizado (figura 4.4.5.A.a) o mas de uno (figura 4.4.5.A.b), las tensiones ponderadas deben cumplir en todo punto:

Compresión:

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

Tracción:

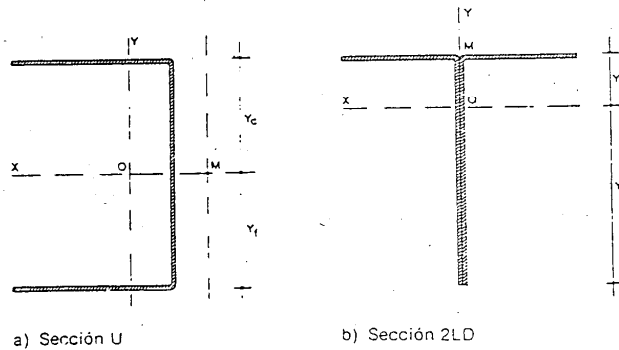
$$\left[\frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[\frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

donde:

κ es el coeficiente de combadura de la pieza (4.3.4);

α es el cociente de abolladura del elemento que se calcula (4.2.3.1);

α' es el coeficiente de abolladura por cortadura (4.2.5.1) del elemento en que se calcula la tensión;



a) Sección U

b) Sección 2LD

Figura 4.4.5.A Secciones con elementos no rigidizados

Piezas con elementos comprimidos rigidizados

Cuando la pieza tiene su cabeza comprimida constituida por un elemento plano rigidizado (figuras 4.1.4.b y c) o por más de uno (figura 4.4.5.B), se considera la sección eficaz (4.2.2). En cada sección eficaz se obtienen los nuevos ejes, las coordenadas x' , y' , Ω' , de cada punto y los términos de sección $I_{x'}$, $I_{y'}$, $I_{x'y'}$, y con ellos se calculan, según 4.4.3, las tensiones ponderadas. Dichas tensiones ponderadas deben cumplir en todo punto las dos condiciones siguientes:

Compresión:

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

Tracción:

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

Como la sección eficaz depende de σ^* , es preciso proceder por aproximaciones sucesivas.

Tabla 4.4.6 Factor de disminución de la anchura virtual

$\zeta : b_v$	Factor de disminución ρ siendo $\zeta : b_v$									
	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

4.4.7 Deformaciones

Las deformaciones pueden calcularse por los métodos habituales de 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 los 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.

4.5 Piezas sometidas a compresión simple y compuesta

4.5.1 Generalidades

La compresión 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 que pasa por 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 (4.5.2) y pandeo con torsión (4.5.3).

4.5.2 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.

$$i_0 \leq i_t$$

con

$$i_0 = \sqrt{i_x^2 + i_y^2} \quad i_t = \sqrt{\frac{I_x}{I_y} \left(\frac{\beta}{\gamma} \right)^2 + 0.039 \beta^2 \frac{I_x}{I_y}}$$

donde:

I_x es el módulo de alabeo de la sección;

I_t es el módulo de torsión de la sección;

I_y es el 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 de ésta, definida a continuación;

l es la longitud de la pieza;

β es el coeficiente de esbeltez;

γ es el coeficiente de coacción al alabeo de las secciones extremas: $\gamma = 1.0$ alabeo libre, $\gamma = 0.5$ alabeo impedido.

En una pieza cuya sección tenga elementos con delgadez no mayor que 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, sección eficaz, esbeltez, coeficiente de combadura y condiciones de agotamiento.

Si la sección tiene elementos con delgadez mayor que 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.

Posiciones de una carga concentrada

Una carga concentrada acción o reacción, puede tener dos tipos de posición (figura 4.4.6.A.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.

Una carga se considera cercana si las distancias a los bordes, indicados en la figura 4.4.6.A.a son menores que $1.5h_s$.

Carga concentrada coincidente con el alma

Una carga concentrada es coincidente con el alma de una pieza cuando su resultante está en su plano medio. Salvo casos especiales, esto ocurre solamente en perfiles dobles (figura 4.4.6.A.b).

Su valor máximo admisible, por alma, se calcula con las fórmulas empíricas: En posición P.1:

$$F_m = \left[7.4 + 0.93 \sqrt{\frac{a}{e}} \right] e^2 \sigma_u$$

En posición P.2:

$$F_m = \left[11.1 + 2.41 \sqrt{\frac{a}{e}} \right] e^2 \sigma_u$$

Carga concentrada no coincidente con el alma

Una carga concentrada es no coincidente con el alma de una pieza cuando su resultante está fuera de su plano medio. Es el caso general de los perfiles simples (figura 4.4.6.A.c).

Su valor máximo admisible se calcula con las fórmulas empíricas:

En posición P.1:

$$F_m = \left[1.33 + 0.0583 \left(1 - \frac{h_s}{191e} \left(\frac{a}{e} + 0.5 \right) \right) \right] \left[4 - \frac{\sigma_u}{24} \right] \left[1.15 - 0.15 \frac{r}{e} \right] e^2 \sigma_u$$

En posición P.2:

$$F_m = \left[1.64 + 0.0213 \left(1 - \frac{h_s}{256e} \left(\frac{a}{e} + 55.5 \right) \right) \right] \left[5.5 - \frac{\sigma_u}{24} \right] \left[1.06 - 0.6 \frac{r}{e} \right] e^2 \sigma_u$$

Piezas cortas con cargas concentradas

Se denomina pieza corta aquella en que se cumple la condición:

$$l_v < 30b_v$$

donde:

l_v es la luz virtual, igual a la distancia entre apoyos en piezas apoyadas, a la distancia entre puntos de inflexión en piezas continuas, y al doble de la luz en ménsulas.

b_v es la anchura virtual de la cabeza que la tenga menor, entendiendo por anchura virtual la que se indica en la figura 4.4.6.B.

En una pieza corta con una o varias cargas concentradas, cuando la distancia libre entre cada dos cargas o entre una carga y el borde interior del apoyo es mayor que $2b_v$, la anchura virtual recta de cada cabeza (4.1.4), tanto la comprimida como la traccionada, se disminuye en la longitud ρb_v .

donde:

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

Los valores de ρ se dan en la tabla 4.4.6.

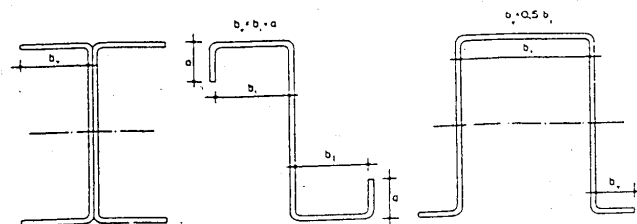


Figura 4.4.6.B Anchura virtual b_v de las cabezas de las piezas

En la parte central de la misma:

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

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

donde:

N^* es el esfuerzo normal ponderado;
 M_{x1}^*, M_{y1}^* son los momentos flectores ponderados en el extremo 1 de la pieza;
 M_{x2}^*, M_{y2}^* son los momentos flectores ponderados en el extremo 2 de la pieza;
 A' es el área de la sección eficaz;
 I_x, I_y son los momentos de inercia de la sección eficaz respecto a los ejes;
 x', y' son las coordenadas del punto en que se estudian las tensiones;
 M_{xe}^*, M_{ye}^* son los momentos flectores ponderados en el punto de la parte central de la pieza (figura 4.5.2) que produzcan el efecto más desfavorable;
 η_x, η_y son los factores de amplificación de los momentos:

$$\eta_x = \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_{ex} - \sigma_0} ; \eta_y = \frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ey} - \sigma_0}$$

σ_{ex}, σ_{ey} son las tensiones críticas de Euler:

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

$\sigma_0 = \frac{N^*}{A'}$ es la tensión en el baricentro de la sección;

e_x, e_y son las excentricidades de imperfección:

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

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

ω_x, ω_y son los coeficientes de pandeo que en la tabla 4.3.4.A corresponden a λ_x, λ_y ;

W_x', W_y' son los módulos resistentes de la sección eficaz correspondientes a la fibra más comprimida;

κ es el coeficiente de combadura;

α es el coeficiente de abolladura.

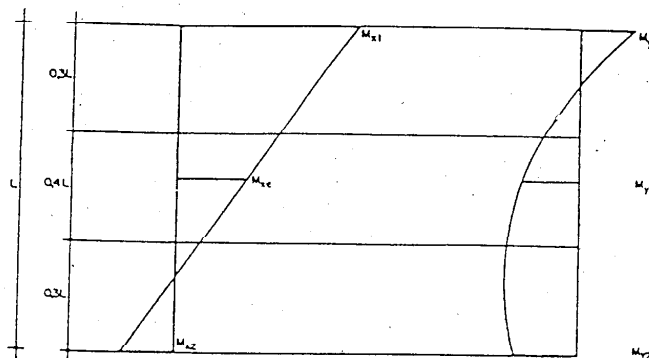


Figura 4.5.2 Gráfica de los momentos M_x y M_y en una pieza

Coeficiente de abolladura

Si la sección contiene uno o más elementos no rigidizados se determina el coeficiente de abolladura α , según 4.2.3.1, para el elemento que tenga mayor delgadez δ . Si todos los elementos de la sección están rigidizados se toma: $\alpha = 1$.

Sección eficaz

La sección eficaz de la pieza se determina según 4.2.2.2, para la tensión: $\sigma^* = \sigma_u : \alpha$.

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

A' área de la sección eficaz;

I'_x , I'_y momentos de inercia de la sección eficaz respecto a los ejes x' , y' , respectivamente.

$$i'_x = \sqrt{\frac{I'_x}{A'}} : i'_y = \sqrt{\frac{I'_y}{A'}} \quad \text{Radios de giro respectivos}$$

Esbeltez

La esbeltez de la pieza en cada plano principal viene dada por las expresiones

$$\text{Plano } xz: \lambda_x = \frac{\beta_x l_x}{i'_x \sqrt{\alpha}}$$

$$\text{Plano } yz: \lambda_y = \frac{\beta_y l_y}{i'_y \sqrt{\alpha}}$$

en las que intervienen el coeficiente de abolladura α por su influencia en las condiciones de agotamiento expuestas más adelante, y donde:

l_x , l_y son las longitudes de la pieza (4.1.4) en los planos xz e yz , respectivamente. 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.

β_x , β_y son los coeficientes 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:	consúltase 3.2.4.

La esbeltez no será mayor que 200 para piezas principales, ni que 250 para piezas secundarias o de arriostamiento.

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.

Coeficiente de combadura

El fenómeno de combadura (4.3.1) puede producirse también en las piezas sometidas a compresión.

El coeficiente de combadura κ se calculará como se indica en 4.3.4.

Condiciones de agotamiento

En una pieza sometida a compresión simple la condición de agotamiento es:

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

donde:

N^* es el esfuerzo normal;

ω es el coeficiente de pandeo que corresponde en la tabla 4.3.4.A a la mayor de las esbelteces, λ_x , λ_y , de la pieza;

α es el coeficiente de abolladura.

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

En los extremos de la pieza:

$$\alpha \left[\frac{N^*}{A'} + \frac{M_{x1}^*}{I'_x} y' + \frac{M_{y1}^*}{I'_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

$$\alpha \left[\frac{N^*}{A'} + \frac{M_{x2}^*}{I'_x} y' + \frac{M_{y2}^*}{I'_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

Agujeros

La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones de 5.3.6.

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.

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

En dirección paralela al esfuerzo: $3a \leq s_1 \leq 8a$

En dirección normal al esfuerzo: $3a \leq s_2 \leq 6a$

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

En dirección paralela al esfuerzo: $3a \leq t_1 \leq 6a$

En dirección normal al esfuerzo: $1.5a \leq t_2 \leq 3a$

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.

Cálculo

Los esfuerzos ponderados que transmite una chapa a cada uno de los roblones de la unión se calcularán según el Anejo 3.A5, de la Parte 3 de esta norma.

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

Por cortadura del roblón:

$$F^* \leq F_{ur} = 0.1 \pi a^2 n \sigma_r$$

Por aplastamiento de la chapa:

$$F^* \leq F_{u2} = 2.1 a e \sigma_u$$

Por cortadura de la chapa en el borde frontal:

$$F^* \leq F_{u3} = 2 e t_1 \sigma_u$$

con $\tau_u = 0.576 \sigma_u$

Por tracción en la sección neta de la chapa:

$$F^* \leq F_{u4} = \left[\frac{2t_2 + 1.5s_2}{m} - a \right] e \sigma_u$$

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

$$F^* \leq F_{u5} = \xi (a + 5) (e_1^2 + 0.22) \sigma_u$$

$$\text{con } \xi = 0.85 + 0.111 \left[\frac{e_1}{e_2} - 1 \right]^2 \geq 0.9$$

donde:

a es el diámetro del agujero, en mm;

e es el espesor de la chapa que transmite el esfuerzo, en mm;

e_1 es el espesor de la chapa sobre la que se forma la cabeza de cierre del roblón, en mm;

e_2 es el espesor de la chapa sobre la que apoya la cabeza de origen del roblón, en mm;

s_2 es la separación entre centros de agujeros, normal al esfuerzo, en mm;

t_1 es la distancia del centro de agujero al borde frontal, en mm;

t_2 es la distancia del centro del agujero al borde lateral, en mm;

m es el número de filas de roblones paralelas al esfuerzo;

n es el número de secciones transversales del roblón, 1 ó 2, por las que se resiste el esfuerzo transmitido;

σ_u es la resistencia de cálculo del acero de la chapa, en kp/mm^2 ;

$\sigma_r = 25 \text{ kp/mm}^2$. Resistencia de cálculo del acero del roblón.

Ejecución

Las uniones roblonadas se realizarán según las prescripciones de 5.1.3 y 5.1.4.

4.6.3 Uniones atornilladas

Pueden emplearse los tornillos ordinarios T 10 a T 24 definidos en 2.5.

También pueden emplearse los tornillos de alta resistencia TR 12 a TR 24 definidos en 2.6. En ambos casos pueden emplearse tornillos de menor diámetro no incluidos en los apartados 2.5 y 2.6.

4.5.3 Pandeo con torsión

Quando el centro de esfuerzos cortantes no coincide con el baricentro o $i_y > i_x$, 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 a continuación.

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: con pandeo en el plano bisector, y con pandeo en un plano paralelo a un ala, detallados a continuación.

Pandeo en el plano bisector

Se determina el coeficiente de abolladura α , según 4.2.3.1; se calcula el coeficiente de pandeo que corresponde a la esbeltez:

$$\lambda = \frac{l_k}{i_y}$$

La condición de agotamiento es:

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

Si $\omega < \alpha (1 + \lambda/90)$ se sustituye ω por $\alpha (1 + \lambda/90)$ en la fórmula anterior.

Pandeo en un plano paralelo a un ala

Se determina el coeficiente de abolladura α , y el coeficiente de pandeo que corresponde a la esbeltez:

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

La condición de agotamiento es:

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

Si $\omega < \alpha (1 + \lambda/360)$ se sustituye ω por $\alpha (1 + \lambda/360)$ en la fórmula anterior.

4.6 Uniones**4.6.1 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, en 4.6.2.
- Tornillos ordinarios y de alta resistencia, en 4.6.3.
- Soldadura, en 4.6.4.

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

- Tornillos 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 obra.

4.6.2 Uniones roblonadas

Pueden emplearse los roblones E 10 a E 24 definidos en 2.4, o roblones de diámetro no incluido en dicho apartado permitiéndose realizar el punzonado hasta alcanzar el diámetro definitivo.

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

$$F^* \leq F_u$$

El esfuerzo cortante de agotamiento por punto F_u , en función de la chapa exterior más delgada de la unión, se da en la tabla 4.6.4.

Tabla 4.6.4 Resistencia de la soldadura por puntos

Espeor de la chapa exterior más delgada e en mm	Esfuerzo cortante de agotamiento por punto F_u en kp
0.25	38
0.30	45
0.40	70
0.50	95
0.60	125
0.80	190
1.00	260
1.20	375
1.50	550
2.00	600
2.50	1150
3.00	1500
4.00	2300
5.00	3250
6.00	4200
7.00	5150

4.6.5 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 sometidas a flexión simple y en las sometidas a compresión simple se realiza como se indica a continuación.

Pieza sometida a flexión simple

El esfuerzo rasante ponderado H^* que tiene que resistir un medio de unión viene dado por la expresión:

$$H^* = \frac{T^* S_s}{I_n}$$

donde:

T^* es el esfuerzo cortante ponderado en la sección transversal que pasa por el medio de unión considerado;

I es el momento de inercia de la sección transversal total de la pieza, respecto al eje neutro;

S es el momento estático de la sección transversal de la parte que se une, respecto al eje neutro;

n es el número de medios de unión en la sección transversal que actúan simultáneamente;

s es la separación longitudinal entre centros de medios de unión discontinuos. La separación s debe limitarse al valor indicado en 4.6.3 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.

Pieza sometida a compresión simple

En una pieza sometida a compresión simple con pandeo, calculada según 4.5.2, el esfuerzo rasante ponderado H^* que tiene que resistir un medio de unión viene dado por la expresión:

$$H^* = \frac{\sigma_c \pi (\omega - 1) S_s}{a l_k \alpha n}$$

donde:

l_k es la longitud de pandeo de la pieza;

ω es el coeficiente de pandeo que se sustituye por el coeficiente de combadura $\kappa > \omega$;

α es el coeficiente de abolladura;

S es el 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 es la distancia longitudinal entre centros de medios de unión;

s es la separación longitudinal entre centros de medios de unión;

n es el número de medios de unión en la sección transversal que actúan simultáneamente.

Agujeros

La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones de 5.3.6, pero se permite el punzonado hasta alcanzar el diámetro definitivo. El diámetro a del agujero será 1 mm mayor que el diámetro del vástago del tornillo. Dicho diámetro no estará limitado por el espesor de las chapas de unión, y se elegirá de tal modo que se cumplan las condiciones de cálculo expuestas a continuación.

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

En dirección paralela al esfuerzo: $3a \leq s_1 \leq 5a$.

En dirección normal al esfuerzo: $4a \leq s_2 \leq 7a$.

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

En dirección paralela al esfuerzo: $2a \leq t_1 \leq 5a$.

En dirección normal al esfuerzo: $2a \leq t_2 \leq 5a$.

Disposiciones

En las uniones de fuerza se dispondrán dos tornillos, como mínimo.

Cálculo

Los esfuerzos ponderados que transmite una chapa a cada uno de los tornillos de la unión se calcularán según el anejo 3.A5 de la Parte 3 de esta norma. El esfuerzo ponderado F^* que recibe cada tornillo cumplirá las condiciones de agotamiento siguientes:

Por agotamiento del tornillo:

$$F^* \leq F_{ut} = 0.14\pi d^2 n \sigma_1$$

En tornillos de alta resistencia, por pérdida de rozamiento:

$$F^* \leq F_{ut} = 1.7 N_0 \mu n$$

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:

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

donde:

a es el diámetro del agujero, en mm;

d es el diámetro del vástago del tornillo, en mm;

e es el espesor de la chapa que transmite el esfuerzo, en mm;

s_2 es la separación entre centros de agujeros normal al esfuerzo, en mm;

t_1 es la distancia del centro del agujero al borde frontal, en mm;

t_2 es la distancia del centro del agujero al borde lateral, en mm;

m es el número de filas de tornillos paralelas al esfuerzo;

n es el número de secciones transversales del tornillo, 1 ó 2, por las que se resiste el esfuerzo transmitido por la chapa;

σ_u es la resistencia de cálculo del acero de la chapa, en kp/mm²;

σ_1 es la resistencia de cálculo del acero del tornillo, en kp/mm²;

N_0 es el esfuerzo de pretensado del tornillo (3.6.5);

μ es el coeficiente de rozamiento entre la superficie de contacto (3.6.5).

Ejecución

Las uniones atornilladas se realizarán según la Parte 5 de esta norma.

4.5.4 Uniones soldadas

Pueden emplearse los procedimientos de soldeo y las disposiciones que se definen en 5.2.

Soldadura por arco

Las soldaduras a tope y las soldaduras de ángulo, realizadas con los procedimientos I, II y III de soldeo por arco eléctrico pueden calcularse según 3.7 cuando se realicen con las prescripciones de 5.2.

Soldaduras por resistencia

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

Aplicación a las piezas de chapa conformada

Este método es aplicable a la sección de una pieza de chapa conformada (figura 4.A1.2) 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 4.A1.3) 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:

$$2u + v = 2\alpha r \quad (1)$$

De ellos se deduce que:

$$u = \frac{\alpha - \text{sen} \alpha}{1 - \text{cos} \alpha} r \quad (2)$$

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

En el caso frecuente de elementos adyacentes ortogonales, con

$$\alpha = \frac{\pi}{4}, \quad \text{es } u = 0.267r, \quad v = 1.036r$$

El error que introduce esta sustitución cuando r es grande respecto a e , en general menor que el 1 por 100.

La línea virtual media de la sección virtual (figura 4.A1.4) es así una quebrada constituida por $n = 2m - 1$ segmentos, a la cual es aplicable este método iterativo. Puede también aplicarse el método a la sección eficaz de un perfil (4.2.2), colocando dos nuevos vértices en los extremos interiores de cada elemento que se considere con anchura eficaz y tomando en ellos $e_i = 0$.

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.

Definición geométrica de la sección

La sección virtual de la pieza (figura 4.A1.4) se refiere a un sistema ortogonal de ejes iniciales $x'y'$, que conviene elegir de tal 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:

$$i = 1. \text{ Los } n - 1 \text{ vértices intersección de segmentos adyacentes:}$$

$$i = 3, 5, \dots, 2n - 1.$$

Vértice final:

$$i = 2n + 1$$

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

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 :

$$l_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2} \quad (6)$$

Limitación de la separación

En una chapa de espesor e unida a otra con medios de unión discontinuos, comprimidos entre medios de unión con la tensión σ^* dada en 4.4.5 o en 4.5.2, 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 de condición:

$$s \leq 3t$$

4.6.6 Perfil I compuesto de 2U o de 2C

La unión de dos U o de dos C para formar un perfil I compuesto puede ser continua (figura 4.1.3.h) o discontinua (figura 4.1.3.i). La separación longitudinal s entre medios discontinuos de unión en piezas sometidas a flexión simple y en piezas sometidas a compresión simple se obtiene de lo indicado en 4.6.5.

Piezas sometidas a flexión simple

La separación longitudinal s cumplirá la condición:

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

donde:

l es la luz de la viga.

La resistencia a tracción F_u de un medio de unión bajo una carga concentrada Q^* cumplirá la condición:

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

donde:

t es la separación transversal entre ambas líneas de unión;

m es la distancia del centro de esfuerzos cortantes al centro del alma;

a es la longitud sobre la que actúa la carga concentrada, acción o reacción, tomando $a < s$.

Bajo una carga uniforme q^* , se cumplirá:

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

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.

Anejos de la Parte 4

Anejo 4.A1 Cálculo numérico iterativo de los términos de sección y funciones coordenadas de una pieza de chapa conformada

Objeto del método

Se desarrolla en este anejo un método de cálculo numérico iterativo aplicable a toda sección abierta quebrada (figura 4.A1.1), compuesta de tramos rectos con espesor constante en cada tramo, aunque puede ser diferente de unos a otros. El método sirve para calcular sus términos de sección: A , x_g , y_g , I_x , I_y , I_{xy} , I_{xx} , I_{yy} , I_{xy} , x_m , y_m , I_{xm} , I_{ym} , dados por las expresiones de 4.4.1 y sus funciones coordenadas: Ω , S_{xx} , S_{yy} , S_{xy} , también dadas por las expresiones de 4.4.1, en los vértices de la línea media, para el cálculo de las tensiones normales según las fórmulas de 4.4.2, y en los vértices y centros de tramo para el cálculo de las tensiones tangenciales según las expresiones de 4.4.3. Las fórmulas del método son programables con calculadora de capacidad de memoria no menor que 2K.

Coordenada de alabeo del vértice 1:

$$\Omega_1 = \frac{1}{A} \sum_{m=1}^n A_m (\Omega_{0,i+1} + \Omega_{0,i-1} - x_m(y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_i) + y_m(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i)) \quad (26)$$

Coordenada de alabeo:

$$\Omega_i = \Omega_1 + \Omega_{0,i} - \frac{1}{2} x_m(y_{i-1} + y_{i+1} - 2y_i) + \frac{1}{2} y_m(x_{i-1} + x_{i+1} - 2x_i) \quad (27)$$

$$\Omega_{i+1} = \Omega_i + \Omega_{0,i+1} - x_m(y_{i+1} - y_i) + y_m(x_{i+1} - x_i)$$

Momento estático de alabeo:

$$S_{2i} = S_{2i-1} + \frac{1}{2} A_i (\Omega_i + \Omega_{i-1}); \text{ con } S_2 = 0 \quad (28)$$

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

Función auxiliar:

$$R_{2i} = \frac{1}{6} (S_{2i+1} + 4S_{2i} + S_{2i-1}) \quad (29)$$

Módulo de alabeo:

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

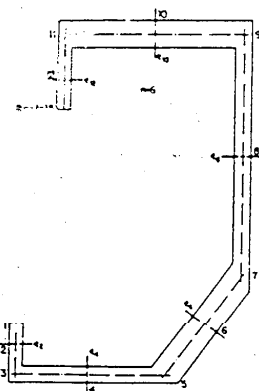


Figura 4.A1.1 Sección abierta poligonal de tramos

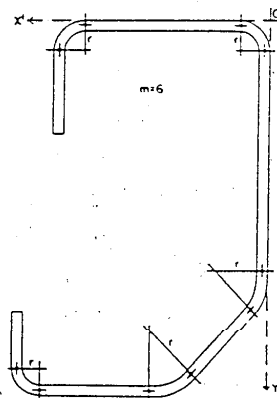


Figura 4.A1.2 Sección de una pieza de chapa conformada

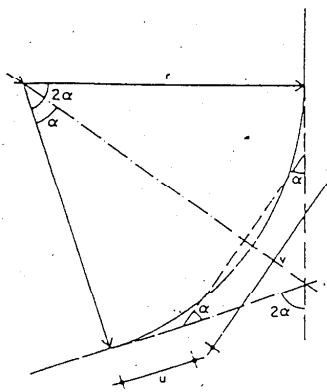


Figura 4.A1.3 Sustitución de un acuerdo curvo por uno quebrado

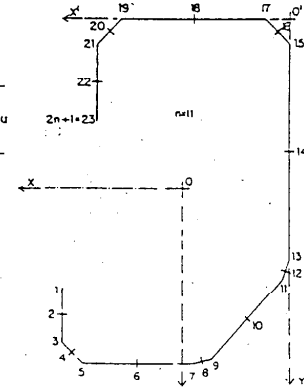


Figura 4.A1.4 Quebrada media de la sección virtual de la sección de la figura 4.A1.2

Área 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 x' , y' :

$$x'_0 = \frac{1}{A} \sum_{2m} l_i e_i x'_i \quad (9)$$

$$y'_0 = \frac{1}{A} \sum_{2m} l_i e_i y'_i \quad (10)$$

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

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

$$x_i = x'_i - x'_0 \quad (11)$$

$$y_i = y'_i - y'_0 \quad (12)$$

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:

$$S_{xi} = S_{x, i-1} + \frac{A_i}{4} (y_{i+1} + 3y_{i-1}); \text{ con } S_{x1} = 0 \quad (14)$$

$$S_{xi+1} = S_{x, i-1} + A_i (y_{i+1} + y_{i-1})$$

$$S_{yi} = S_{y, i-1} + \frac{A_i}{4} (x_{i+1} + 3x_{i-1}); \text{ con } S_{y1} = 0 \quad (15)$$

$$S_{yi+1} = S_{y, i-1} + A_i (x_{i+1} + x_{i-1})$$

Funciones auxiliares:

$$R_{xi} = \frac{1}{6} (S_{x, i+1} + 4S_{xi} + S_{x, i-1}) \quad (16)$$

$$R_{yi} = \frac{1}{6} (S_{y, i+1} + 4S_{yi} + S_{y, i-1}) \quad (17)$$

Momento de inercia:

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

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

$$I_{xy} = -\sum_{2m} R_{xi} (x_{i+1} - x_{i-1}) = -\sum_{2m} R_{yi} (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (20)$$

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:

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

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

Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes:

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

$$y_m = \frac{I_x I_{ya} - I_{xy} I_{xa}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (25)$$

Tabla 5.1.2 Limitaciones para agujeros

Diámetro del agujero mm	Espesor de cada pieza		Máxima suma de espesores de las piezas unidas mm
	Mínimo mm	Máximo mm	
11	4	10	45
13	4	12	55
15	5	14	65
17	6	16	70
19	7	18	80
21	8	20	90
23	10	24	100
25	12	28	115
28	14	36	130

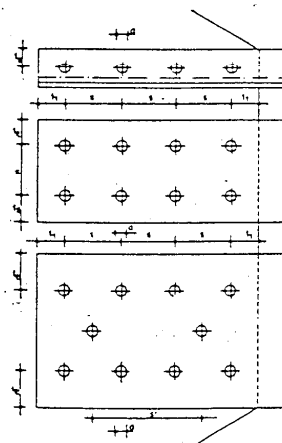


Figura 5.1.2 Separación entre agujeros

5.1.3 Calentamiento de los roblones

Se recomienda calentar los roblones en horno de atmósfera reductora, en horno eléctrico, o en máquinas calentadoras por resistencia. Se permite el uso de la fragua. Se prohíbe el uso del soplete.

Se calentará uniformemente toda la longitud del roblón, salvo en las técnicas de calentamiento diferencial para roblones de gran longitud, que se definirán para cada caso previos los ensayos oportunos.

Ningún roblón permanecerá en el horno, o en la máquina, en espera de su colocación, más tiempo del necesario para alcanzar la temperatura deseada.

Al iniciar la colocación, la temperatura del roblón estará comprendida entre 1050°C (rojo naranja) y 950°C (rojo cereza claro). Al terminar de formarse la cabeza de cierre, la temperatura no será mayor que 700°C (rojo sombra).

El horno o máquina estará lo suficientemente próximo a la zona de roblonado para que no se produzca enfriamiento apreciable del roblón antes de su colocación.

No se utilizará ningún roblón calentado y dejado enfriar.

5.1.4 Colocación de los roblones

El roblonado se realizará de modo que las piezas de la unión queden perfectamente apretadas unas contra otras y no se produzcan curvaturas o alabeos. Todo roblón colocado rellenará completamente su agujero. Antes de colocar un roblón se eliminará de su superficie la cascarilla y la escoria si las lleva adheridas. Para ello se cumplirán las prescripciones siguientes:

Orden de colocación de los roblones

Se recomienda comenzar la colocación de los roblones por el centro de costura, y continuar hacia cada extremo alternativamente. En las costuras de varias filas paralelas de roblones la colocación se realizará simultáneamente en todas las filas.