

## EUROCÓDIGO 3

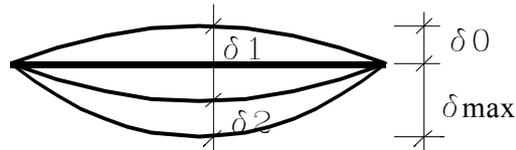
### COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA LAS ACCIONES.

Concargas.	$\gamma_c = 1,35$	Favorables	$\gamma_c = 1$
Sobrecargas	$\gamma_c = 1,5$	Favorables	$\gamma_c = 0$

Si la acción permanente única es descompuesta en desfavorable y favorable, la parte favorable se puede multiplicar por  $\gamma = 1,1$ ; y la desfavorable por  $\gamma = 1,35$ .

En cualquier caso, el efecto más perjudicial será el considerado.

### FLECHAS ADMISIBLES EN VIGAS.

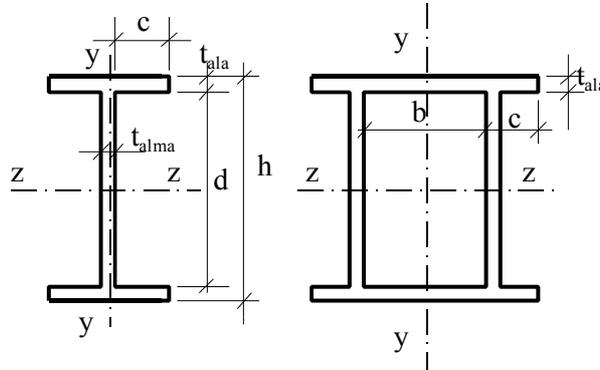


	$\delta_{\text{máx}}$	$\delta_2$
Techos en general	L/200	L/250
Suelos en general y techos con utilización frecuente	L/250	L/300
Suelos y techos con escayola o acabados frágiles	L/250	L/350
Suelos que soporten columnas, Tabiques o muros	L/400	L/500
Cargas de grúas a motor	L/1.000	

### FLECHAS ADMISIBLES EN PILARES

Pórticos sin grúas	H/150	
Pórticos (otros) de una planta	H/300	H = total; h = cada piso
Cada piso de varias plantas	h/300	
Conjunto de varias plantas	H/500	

**Clasificación a flexión compuesta con pandeo de perfiles por proporciones *altura/espesor de almas* y *anchura/espesor alas* (elementos internos), y *anchura/espesor alas* (elementos externos).**



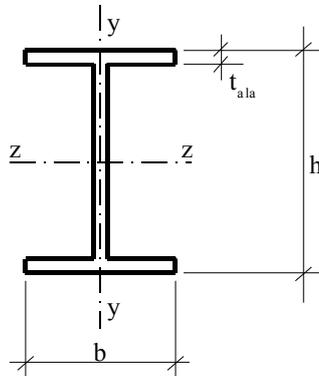
- Clase 1 Capacidad de giro plástico.
- Clase 2 Capacidad de giro plástico limitada.
- Clase 3 Comprobar la posible plasticidad impedida por abolladura.
- Clase 4 No admite plasticidad.  
Comprobar la abolladura incluso dentro de límite elástico.

d = altura del alma.  
b = ancho del ala entre dos almas.  
c = ancho del ala desde el alma al borde.

Clase	Límites	Límites	Límites	
	Alma flectada (Interna)	Ala comprimida (interna)	Ala comprimida (externa)	
1 capacidad de giro plástico	$d/t_{\text{alma}} < 66$	$b/t_{\text{ala}} < 30$	<b>Laminada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 9$
			<b>Soldada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 8$
2 capacidad de giro plástico limitada	$d/t_{\text{alma}} < 77$	$b/t_{\text{ala}} < 35$	<b>Laminada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 10$
			<b>Soldada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 9$
3 plasticidad impedida por abolladura	$d/t_{\text{alma}} < 114$	$b/t_{\text{ala}} < 38$	<b>Laminada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 14$
			<b>Soldada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 13$
4 obligado comprobar la abolladura	$d/t_{\text{alma}} > 114$	$b/t_{\text{ala}} > 38$	<b>Laminada</b>	$c/t_{\text{ala}} > 14$
			<b>Soldada</b>	$c/t_{\text{ala}} < 13$

**Clasificación a pandeo de perfiles por proporciones *altura/ancho* .**

Dimensiones y espesores de perfiles en doble T.



Curvas de pandeo dependientes de los espesores y proporción de dimensiones de los perfiles (canto/ancho).

Curvas de pandeo			
Tipo de sección	Límites	Eje de pandeo	Curva de pandeo
Perfiles en doble T laminadas	$h/b > 1,2$ $t_{ala} < 40 \text{ mm}$	z - z	a
		y - y	b
	$h/b > 1,2$ $40 \text{ mm} < t_{ala} < 100 \text{ mm}$	z - z	b
		y - y	c
	$h/b < 1,2$ $t_{ala} < 100 \text{ mm}$	z - z	b
		y - y	c
Perfiles en doble T soldadas	$t_{ala} < 40 \text{ mm}$	z - z	b
		y - y	c
	$t_{ala} > 40 \text{ mm}$	z - z	c
		y - y	d
Secciones huecas	Laminada en caliente	cualquiera	a
	Conformada en frío	cualquiera	c
Secciones en cajón soldadas	En general	cualquiera	b
	Soldaduras gruesas y $b/t_{ala} < 30$	z - z	c
	Soldaduras gruesas y $h/t_{alma} < 30$	y - y	c
Secciones en: U - L - T y pletinas y redondos macizos		cualquiera	c

### COMPRESIÓN CON PANDEO.

Tensión unitaria crítica:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} = \frac{\pi^2 Ei^2}{L^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_1^2}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{\sigma_{cr}}}; \text{ con } \sigma_{cr} \text{ en } N/mm^2$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = 93,9\varepsilon = \begin{matrix} S235 \rightarrow 93,9 \\ S275 \rightarrow 86,8 \\ S325 \rightarrow 76,4 \end{matrix}$$

$$\vec{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \begin{matrix} S235 \rightarrow \frac{\lambda}{93,9} \\ S275 \rightarrow \frac{\lambda}{86,8} \\ S325 \rightarrow \frac{\lambda}{76,4} \end{matrix}$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\vec{\lambda} - 0,2) + \vec{\lambda}^2 \right]$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \left[ \Phi^2 - \vec{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \leq 1$$

donde:

$$\omega = \frac{1}{\chi} = \Phi + \left[ \Phi^2 - \vec{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 1$$

El coeficiente de imperfección  $\alpha$  depende de la curva de pandeo: **a, b, c o d.**

	a	b	c	d
Coeficiente $\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

Curvas de pandeo del material **S275**  
**Valores de  $\omega$  en función de  $\lambda$**   
 $\varepsilon = 0,9244$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = 93,9\varepsilon = (S275) \rightarrow 86,8$$

$$\vec{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = (S275) \rightarrow \frac{\lambda}{86,8}$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\vec{\lambda} - 0,2) + \vec{\lambda}^2 \right]$$

donde:

$$\omega = \frac{1}{\chi} = \Phi + \left[ \Phi^2 - \vec{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 1$$

**Coeficiente de imperfección tipo a**  
**( $\alpha = 0.21$ )**

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,01	1,01	1,01	1,01	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	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17
60	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
70	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37
80	1,39	1,40	1,42	1,44	1,45	1,47	1,49	1,51	1,52	1,54
90	1,56	1,58	1,60	1,62	1,65	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76
100	1,78	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,96	1,99	2,02
110	2,04	2,07	2,10	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	2,28	2,31
120	2,34	2,37	2,41	2,44	2,47	2,51	2,54	2,57	2,61	2,64
130	2,68	2,71	2,75	2,78	2,82	2,86	2,89	2,93	2,93	3,01
140	3,04	3,08	3,12	3,16	3,20	3,24	3,28	3,32	3,36	3,40
150	3,44	3,48	3,52	3,56	3,60	3,65	3,69	3,73	3,78	3,82
160	3,86	3,91	3,95	4,00	4,04	4,09	4,13	4,18	4,22	4,27
170	4,32	4,36	4,41	4,46	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70	4,75
180	4,80	4,86	4,90	4,95	5,00	5,05	5,10	5,15	5,20	5,25
190	5,30	5,36	5,41	5,46	5,52	5,57	5,62	5,68	5,73	5,79
200	5,84	5,90	5,95	6,01	6,06	6,12	6,18	6,23	6,29	6,35
210	6,40	6,46	6,52	6,58	6,64	6,70	6,75	6,81	6,87	6,93
220	6,99	7,05	7,12	7,18	7,24	7,30	7,36	7,42	7,49	7,55
230	7,61	7,67	7,74	7,80	7,87	7,93	7,99	8,06	8,12	8,19
240	8,26	8,32	8,39	8,45	8,52	8,59	8,65	8,72	8,79	8,86
250	8,93									

Curvas de pandeo del material **S275**  
Valores de  $\omega$  en función de  $\lambda$   
 $\varepsilon = 0,9244$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = 93,9\varepsilon = (S275) \rightarrow 86,8$$

$$\vec{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = (S275) \rightarrow \frac{\lambda}{86,8}$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\vec{\lambda} - 0,2) + \vec{\lambda}^2 \right]$$

donde:

$$\omega = \frac{1}{\chi} = \Phi + \left[ \Phi^2 - \vec{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 1$$

Coeficiente de imperfección tipo **b**  
( $\alpha = 0.34$ )

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05
30	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10
40	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17
50	1,18	1,19	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26
60	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,34	1,35	1,36	1,37
70	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,48	1,49	1,51	1,53
80	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72
90	1,74	1,76	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,90	1,93	1,95
100	1,98	2,01	2,03	2,06	2,09	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23
110	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38	2,41	2,44	2,47	2,50	2,54
120	2,57	2,60	2,64	2,67	2,70	2,74	2,77	2,81	2,84	2,88
130	2,91	2,95	2,99	3,02	3,06	3,10	3,14	3,17	3,21	3,25
140	3,29	3,33	3,37	3,41	3,45	3,49	3,53	3,57	3,61	3,66
150	3,70	3,74	3,78	3,83	3,87	3,91	3,96	4,00	4,04	4,09
160	4,13	4,18	4,22	4,27	4,32	4,36	4,41	4,46	4,50	4,55
170	4,60	4,65	4,69	4,74	4,79	4,84	4,89	4,94	4,99	5,04
180	5,09	5,14	5,19	5,24	5,30	5,35	5,40	5,45	5,51	5,56
190	5,61	5,67	5,72	5,77	5,83	5,88	5,94	5,99	6,05	6,11
200	6,16	6,22	6,27	6,33	6,39	6,45	6,50	6,56	6,62	6,68
210	6,74	6,80	6,86	6,92	6,98	7,04	7,10	7,16	7,22	7,28
220	7,34	7,40	7,46	7,53	7,59	7,65	7,72	7,78	7,84	7,91
230	7,97	8,04	8,10	8,17	8,23	8,30	8,36	8,43	8,50	8,56
240	8,63	8,70	8,76	8,83	8,90	8,97	9,04	9,11	9,17	9,24
250	9,31									

Curvas de pandeo del material **S275**  
**Valores de  $\omega$  en función de  $\lambda$**   
 $\varepsilon = 0,9244$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = 93,9\varepsilon = (S275) \rightarrow 86,8$$

$$\vec{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = (S275) \rightarrow \frac{\lambda}{86,8}$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\vec{\lambda} - 0,2) + \vec{\lambda}^2 \right]$$

donde:

$$\omega = \frac{1}{\chi} = \Phi + \left[ \Phi^2 - \vec{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 1$$

**Coefficiente de imperfección tipo c**  
**( $\alpha = 0.49$ )**

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,15
40	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24
50	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,31	1,32	1,33	1,34	1,36
60	1,37	1,38	1,40	1,41	1,43	1,44	1,46	1,47	1,49	1,50
70	1,52	1,54	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	1,66	1,68
80	1,70	1,73	1,75	1,77	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,90
90	1,93	1,95	1,98	2,00	2,03	2,05	2,08	2,10	2,13	2,16
100	2,19	2,21	2,24	2,27	2,30	2,33	2,36	2,39	2,42	2,45
110	2,48	2,51	2,54	2,58	2,61	2,64	2,67	2,71	2,74	2,78
120	2,81	2,84	2,88	2,92	2,95	2,99	3,02	3,06	3,10	3,13
130	3,17	3,21	3,25	3,29	3,32	3,36	3,40	3,44	3,48	3,52
140	3,56	3,60	3,64	3,69	3,73	3,77	3,81	3,86	3,90	3,94
150	3,98	4,03	4,07	4,12	4,16	4,21	4,25	4,30	4,34	4,39
160	4,44	4,48	4,53	4,58	4,63	4,67	4,72	4,77	4,82	4,87
170	4,92	4,97	5,02	5,07	5,12	5,17	5,22	5,27	5,32	5,37
180	5,42	5,48	5,53	5,58	5,64	5,69	5,74	5,80	5,85	5,91
190	5,96	6,02	6,07	6,13	6,18	6,24	6,30	6,35	6,41	6,47
200	6,52	6,58	6,64	6,70	6,76	6,82	6,88	6,94	7,00	7,06
210	7,12	7,18	7,24	7,30	7,36	7,42	7,48	7,55	7,61	7,67
220	7,74	7,80	7,86	7,93	7,99	8,06	8,12	8,18	8,25	8,32
230	8,38	8,45	8,51	8,58	8,65	8,72	8,78	8,85	8,92	8,99
240	9,06	9,12	9,19	9,26	9,33	9,40	9,47	9,54	9,61	9,68
250	9,76									

Curvas de pandeo del material **S275**  
**Valores de  $\omega$  en función de  $\lambda$**   
 $\varepsilon = 0,9244$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = 93,9\varepsilon = (S275) \rightarrow 86,8$$

$$\vec{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = (S275) \rightarrow \frac{\lambda}{86,8}$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\vec{\lambda} - 0,2) + \vec{\lambda}^2 \right]$$

donde:

$$\omega = \frac{1}{\chi} = \Phi + \left[ \Phi^2 - \vec{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 1$$

**Coefficiente de imperfección tipo d**  
**( $\alpha = 0.76$ )**

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11
30	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,23
40	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29	1,30	1,32	1,33	1,35	1,36
50	1,38	1,39	1,41	1,42	1,44	1,46	1,47	1,49	1,51	1,52
60	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,63	1,65	1,67	1,69	1,72
70	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,85	1,87	1,89	1,92	1,94
80	1,97	1,99	2,02	2,04	2,07	2,09	2,12	2,15	2,17	2,20
90	2,23	2,26	2,28	2,31	2,34	2,37	2,40	2,43	2,46	2,49
100	2,52	2,56	2,59	2,62	2,65	2,69	2,72	2,75	2,79	2,82
110	2,85	2,89	2,92	2,96	2,99	3,03	3,07	3,10	3,14	3,18
120	3,21	3,25	3,29	3,33	3,37	3,41	3,45	3,49	3,53	3,57
130	3,61	3,65	3,69	3,73	3,77	3,81	3,87	3,90	3,94	3,99
140	4,03	4,07	4,12	4,16	4,21	4,25	4,30	4,34	4,39	4,43
150	4,48	4,53	4,57	4,62	4,67	4,72	4,77	4,81	4,86	4,91
160	4,96	5,01	5,06	5,11	5,16	5,21	5,26	5,31	5,37	5,42
170	5,47	5,52	5,57	5,63	5,68	5,73	5,79	5,84	5,90	5,95
180	6,01	6,06	6,12	6,17	6,23	6,29	6,34	6,40	6,46	6,51
190	6,57	6,63	6,69	6,75	6,81	6,87	6,93	6,98	7,04	7,10
200	7,17	7,23	7,29	7,35	7,41	7,47	7,53	7,60	7,66	7,72
210	7,79	7,85	7,91	7,98	8,04	8,11	8,17	8,24	8,30	8,37
220	8,43	8,50	8,57	8,63	8,70	8,77	8,84	8,90	8,97	9,04
230	9,11	9,18	9,25	9,32	9,39	9,46	9,53	9,60	9,67	9,74
240	9,81	9,88	9,96	10,03	10,10	10,17	10,25	10,32	10,39	10,47
250	10,54									

## PANDEO LATERAL O VUELCO DE LAS VIGAS.

El momento crítico a pandeo lateral es aquel para el cual, estando impedido el vuelco en los extremos, la viga se desestabiliza y vuelca por la parte central, originando una torsión. De acuerdo con la *teoría de la estabilidad elástica* debida a Timoshenko, la expresión del momento crítico viene dada por:

$$M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y G I_T}}{L}$$

donde:

- $I_y$  momento de inercia respecto al eje paralelo al alma.
- $I_T$  momento polar para secciones en doble te.
- $E$  modulo de elasticidad longitudinal. Acero:  $E = 2,1 \times 10^6$  kp/cm<sup>2</sup>
- $G$  modulo de elasticidad transversal. Acero:  $G = 8,44 \times 10^5$  kp/cm<sup>2</sup>
- $L$  longitud de la viga.

La tensión unitaria crítica ideal para el pandeo lateral es:

$$\sigma_{ki} = \frac{M_{cr}}{W_z}$$

siendo  $W_z$  el modulo resistente a la flexión.

La tensión crítica ideal puede tomar valores por encima del límite de proporcionalidad ( $0,8\sigma_F$ ), al haber considerado previamente el material súper-elástico; por lo que se hace necesario determinar un valor límite real para la tensión crítica.

Una buena aproximación de la tensión crítica real viene dada por:

$$\sigma_{kr} = \sigma_{ki} \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{kr} - \sigma_p}{\sigma_F - \sigma_p} \right)^2 \right]$$

despejando  $\sigma_{kr}$  resulta:

$$\sigma_{kr} = \frac{1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}} + \sqrt{\left(1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}}\right)^2 - 2,4\sigma_F^2}}{2}$$

donde  $\sigma_F$  es el límite de fluencia del material.

La tensión admisible de trabajo debe ser inferior del valor de  $\sigma_{kr}$ .

*Observación:* No será necesario comprobar el pandeo del cordón comprimido, cuando se encuentre inmovilizado en puntos aislados, con separación inferior a cuarenta veces el radio de giro respecto al eje de la dirección de la carga.

### VIGAS ARMADAS. ABOLLADURA DEL ALMA.

La tensión unitaria crítica normal y tangencial, a partir de la cual aparece abolladura, tienen la forma:

$$\sigma_{ki} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{t}{h_0} \right)^2$$

La tensión de referencia de Euler es:

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{t}{h_0} \right)^2$$

para el acero,  $\mu = 0,3$  y  $E = 2,1 \times 10^6$  resulta:

$$\sigma_c = 1,898 \times 10^6 \left( \frac{t}{h_0} \right)^2$$

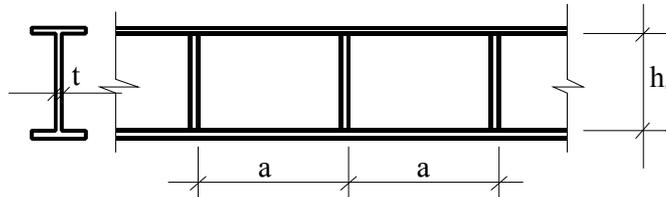
Si solo existen tensiones normales, la tensión crítica ideal es:

$$\sigma_{1ki} = k_1 \sigma_c$$

Si solo existen tensiones tangenciales, la tensión crítica ideal es:

$$\tau_{ki} = k_2 \sigma_c$$

Los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  se determinan de la siguiente forma:



$$\text{siendo: } \alpha = a/h_0$$

Coeficiente  $K_1$  para  $\sigma$  crítica:

$$\alpha \geq \frac{2}{3} \quad K_1 = 23,9$$

$$\alpha < \frac{2}{3} \quad K_1 = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6\alpha^2$$

Coeficiente  $K_2$  para  $\tau$  crítica:

$$\alpha > 1 \quad K_2 = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$$

$$\alpha \leq 1 \quad K_2 = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$$

Si actúan simultáneamente tensiones normales y tangenciales, la tensión crítica ideal de abolladura es:

$$\sigma_{ki} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{1ki}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{1ki}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{ki}}\right)^2}}$$

donde  $\psi$  es la relación entre las máximas tensiones de compresión y tracción debidas a la flexión; y:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \frac{M_f h_o}{2 I_z}$$

$$\tau = \frac{V}{t h_o}$$

El valor real de la tensión crítica (compresión, cortadura o compresión y cortadura) tendrán un valor real menor que la tensión admisible de cálculo; y al igual que si solamente actúa la normal o la cortante, viene dada por:

$$\sigma_{kr} = \frac{1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}} + \sqrt{\left(1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}}\right)^2 - 2,4\sigma_F^2}}{2}$$

donde  $\sigma_F$  es el límite de fluencia del material.