

# Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de Rosario

## Pandeo en secciones metálicas simples y compuestas

Construcciones de  
madera y de hierro

Cod. 20505-14

Ing. Rosa Lefevre  
Colaboradora: M.M.O. Lilian Cano

Dpto. de Construcciones

Masterización: RECURSOS PEDAGÓGICOS



50 AÑO



---

### **Bibliografía:**

- CIRSOC 301-1982
- CIRSOC 302-1982

### **Páginas web:**

- <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/301.htm>
- <http://www.arquitecturaenacero.org/>

### **Observación:**

Este apunte es un resumen de lo enunciado en el CIRSOC 301 – 302 en el que sólo se incluye lo necesario para el cálculo de acuerdo con la incumbencia del título de T.C.O.

# Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de Rosario

## Pandeo en secciones metálicas simples y compuestas

Construcciones de  
madera y de hierro

**Cod. 20505-14**

Ing. Rosa Lefevre  
Colaboradora: M.M.O. Lilian Cano

**Dpto. de Construcciones**

**M a s t e r i z a c i ó n : R E C U R S O S P E D A G Ó G I C O S**

### Barras rectas axialmente comprimidas:

Como las barras de estructura metálica resultan elementos esbeltos, son muy susceptibles al fenómeno de pandeo. Recordemos que en una barra esbelta bajo la



acción de cargas de compresión sucede lo siguiente: mientras la carga permanezca por debajo de un determinado valor " $P_{ki}$ ", la barra conserva su forma recta, siendo su equilibrio estable; incrementando  $P$  hasta alcanzar dicho valor, además de la posibilidad del estado de equilibrio con la forma recta de la pieza aparecen otros estados posibles de equilibrio en los que la forma recta se convierte en curva con desplazamientos infinitésimos de sus diversos puntos. Para nuevos incrementos de  $P$  los desplazamientos se hacen finitos y la pieza se encuentra sometida a flexión compuesta, debido al descentramiento de la carga  $P$  con relación a la directriz de la barra. La barra se comporta como si al alcanzar la carga exterior el valor crítico que da lugar al cambio de forma, se produjese una pérdida repentina de la capacidad de resistencia, hasta el punto que, en las piezas sobreviene la rotura bajo tensiones inferiores a las correspondientes a los límites de fluencia y de proporcionalidad.

Debido a que el momento producido por la excentricidad de la carga con respecto al eje es imposible evaluar, y el calcular la carga crítica de Eüler:

$$P_{ki} = (\pi^2 \times E \times I) / L^2$$

nos llevaría a determinar una tensión crítica distinta en cada caso, que a su vez sería función de la esbeltez, se procederá a verificar las secciones metálicas sometidas a compresión según el método de las tensiones admisibles indicado en el CIRSOC 302 (1982) que establece lo siguiente:

$$\sigma = \omega \times N/A \leq \sigma_{adm}$$

donde:

**N**: máximo esfuerzo de compresión actuante en la barra

**A**: sección bruta de la barra

$\omega$  : coeficiente de pandeo obtenido de las tablas 1 a 6 del CIRSOC 302 (1982), función del tipo de acero utilizado y de la esbeltez de la barra  $\lambda$  que será la mayor de las dos relaciones:

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z$$

siendo:

$i_y$  e  $i_z$  los radios de giros correspondientes a los ejes principales de la sección

$S_{ky}$  y  $S_{kz}$  las longitudes de pandeo tomadas teniendo en cuenta la vinculación en los extremos de barras.

Recordar que:

- para la barra articulada-articulada  $s_k = L$ ,
- para la empotrada – libre  $s_k = 2 L$ ,
- articulada – empotrada  $s_k = 0,7 L$
- para la empotrada – empotrada  $s_k = 0,5 L$ .

# PANDEO EN SECCIONES METÁLICAS SIMPLES Y COMPUESTAS

## CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE MADERA

En el caso de esbelteces menores que 20 debe tomarse

$$\omega = 1 + 0,05 (\omega_{20} - 1)\lambda$$

En construcciones metálicas, tal como se explico para elementos de madera, también puede aplicarse el método Dömke para tener una idea de la sección que deberá verificar lo expresado anteriormente o bien proponer una sección y verificarla. Siempre debemos recordar que para que la sección trabaje en condiciones económicas y no se desaproveche material se deberá verificar que:

$$0,8 \sigma_{adm} \leq \sigma \leq \sigma_{adm}$$

Por otro lado el reglamento establece que deben respetarse condiciones de esbeltez a saber:

$$\lambda \leq 150$$

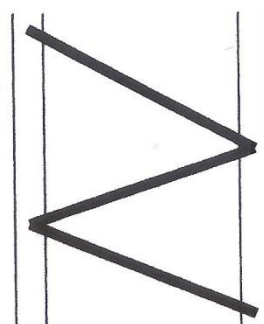
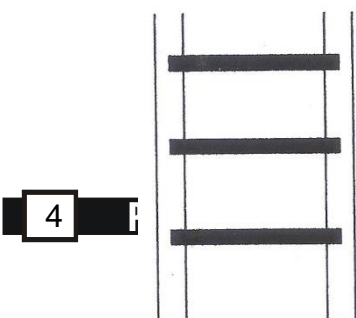
### Secciones compuestas solicitadas a compresión:

En muchos casos el pretender dimensionar barras solicitadas a compresión con secciones simples lleva a soluciones muy costosas y pesadas, por tal razón se recurre a las secciones compuestas.

En estos casos se deberán abordar dos problemas: El dimensionamiento de la sección que resiste la compresión y el dimensionamiento de las uniones transversales planteadas. Ambos problemas son igualmente importantes ya que por más que la sección resistente esté perfectamente dimensionada si falla la unión colapsará la barra; podríamos decir que la barra de sección compuesta con sus uniones transversales mal dimensionadas se comportaría de la misma forma que si consideráramos la barra como un perfil I al cual le disminuyéramos tanto el espesor del alma hasta las alas se separaran y por lo tanto deberían de funcionar como una única sección.

Podemos tener dos tipos de uniones transversales:

- Unión con presillas o pretinas (planchuelas transversales)
- Uniones con diagonales o celosías.





### Uniones con presillas



### Uniones con diagonales



Obviamente como los elementos de unión en cada caso trabajan distintos deberán dimensionarse de diferente forma: las presillas a flexión y las diagonales a compresión. Para realizar el análisis de las verificaciones que deben realizarse en las secciones compuestas deberán definirse algunos conceptos:

Eje material: es aquel que une los centros de gravedad de las secciones simples.

Eje inmaterial: es aquel que no cumple la condición anterior y es perpendicular al eje material. Se definirá también la magnitud auxiliar  $\lambda_i$  que tendrá distintas expresiones según se trate de uniones empresilladas o con diagonales:

Presillas:

$$\lambda_i = s_i / i_i$$

Donde:

$s_i$  es la máxima luz libre parcial

$i_i$  es el radio de giro mínimo de la sección simple

Diagonales:

# PANDEO EN SECCIONES METÁLICAS SIMPLES Y COMPUESTAS

## CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE MADERA

$\lambda_1$  tendrá distintas expresiones según el diseño adoptado para las diagonales (ver Fig.1) siendo la más común:

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{ \left[ \left( \frac{2A}{nA_D} \right) \times \left( \frac{d^3}{s_1 a^2} \right) \right]}$$

Donde:

**A**: sección de la sección simple

**A<sub>D</sub>**: sección de la diagonal

**n**: número de uniones transversales en planos paralelos

**d** : longitud de la diagonal

**s<sub>1</sub>**: máxima luz libre parcial

**a** : distancia entre ejes baricéntricos de perfiles simples

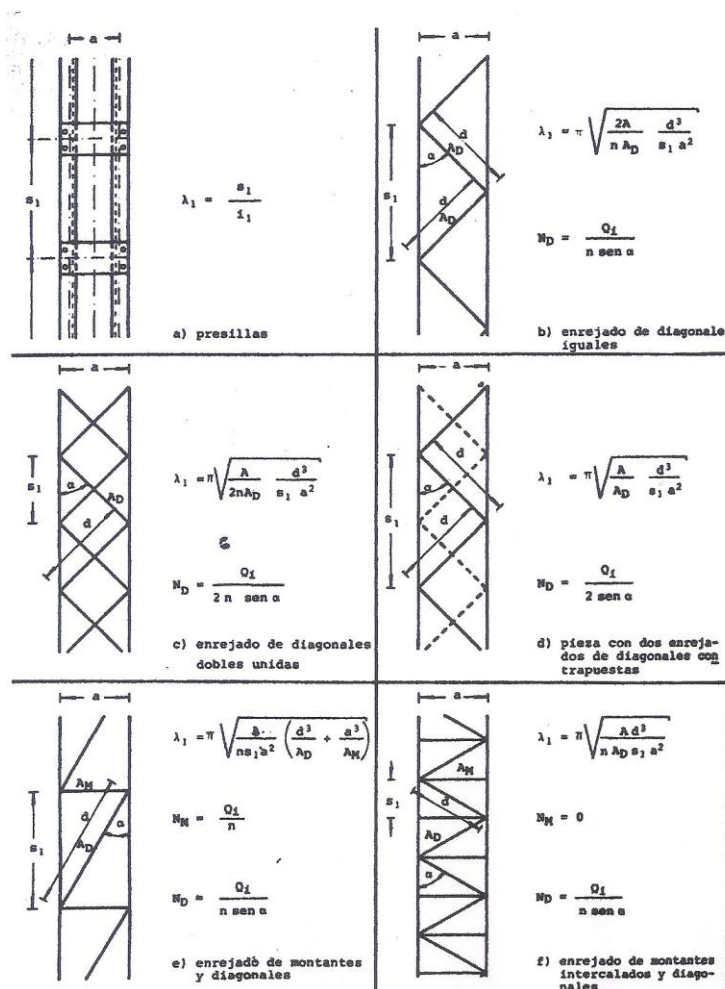


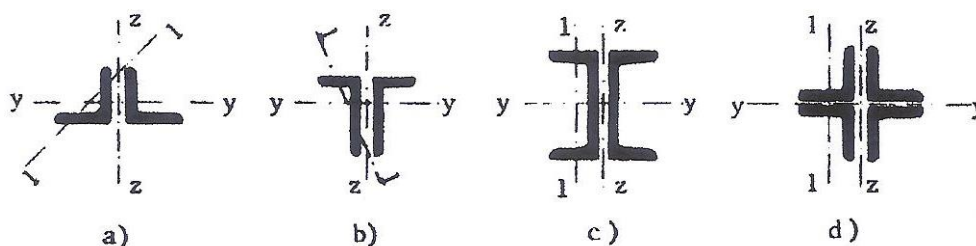
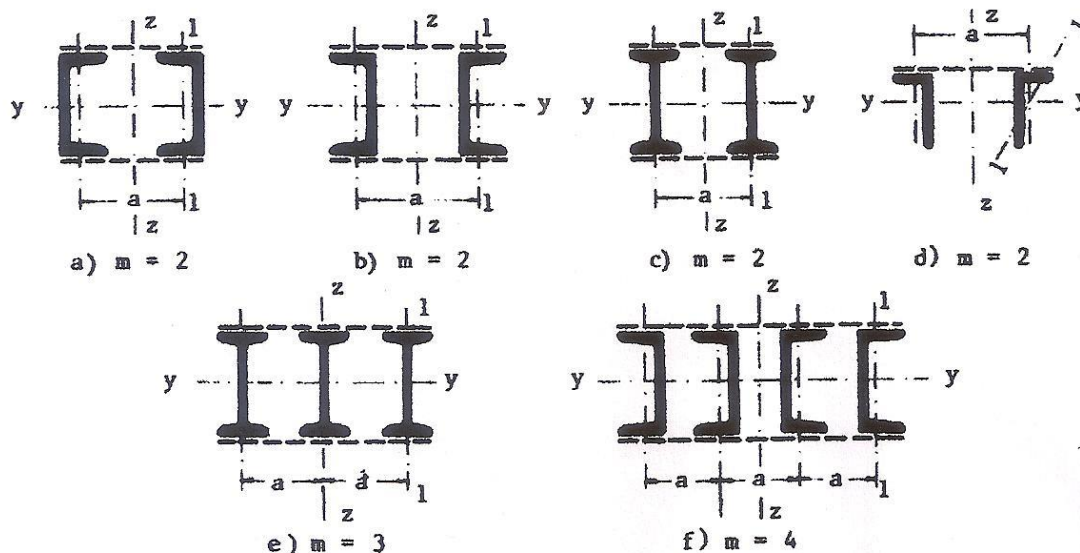
Figura 1

El CIRSOC 302, establece tres grupos de barras distintas según la disposición de los perfiles y el tipo de perfiles, a saber:

### Grupo I:



Son aquellas que presentan un eje material y-y y un eje libre z-z.



El reglamento establece que según el eje material la barra se comporta como si fuera una sección simple y por lo tanto han de calcularse como tal según el eje y-y. Con respecto al eje inmaterial se considerará a la barra como si fuera de sección simple pero con una esbeltez ideal.

s/y-y

$$*\sigma_y = \square_y N/A \leq \sigma_{adm}$$

$\omega_y$  obteniendo a partir de  $\lambda_y$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

s/z-z

$$*\sigma_z = \omega_{zi} N/A \leq \sigma_{adm}$$

$\omega_{zi}$  obteniendo a partir de  $\lambda_{zi}$

$$\lambda_{zi} = \sqrt{\lambda_z^2 + m/2\lambda_1^2}$$

$$\lambda_{zi} = S_{kz} / i_z$$

$$i_z = \sqrt{I_z/A}$$

$\lambda_1$  = obtenido en función a la unión s/  
lo expresado anteriormente.



# PANDEO EN SECCIONES METÁLICAS SIMPLES Y COMPUESTAS

## CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE MADERA

$$* \lambda_{zi} \leq 150$$

$$* \lambda_y \leq 150$$

\*  $s/i_1 \leq 50$  (para garantizar que no haya pandeo local, cualquiera sea el tipo de unión que se realice: presillas o diagonales)

En las expresiones anteriores debe considerarse:

**N**: máximo esfuerzo de compresión en la barra

**A**: sección de la barra compuesta

**m**: número de uniones transversales perpendiculares al eje z-z

**S<sub>ky</sub>**, **S<sub>kz</sub>**: luces de pandeo según los ejes y-y, z-z respectivamente determinadas en función de la vinculación de las barras según dichos ejes.

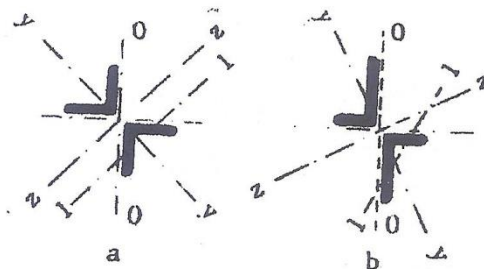
**I<sub>y</sub>**, **I<sub>z</sub>**: momentos de inercia respecto del eje y-y, z-z respectivamente. No olvidar que según el eje z-z deberá calcularse la inercia de la sección compuesta con el teorema de Steiner.

$$\sigma_{adm} = \sigma_{fl} / \gamma$$

$\gamma$ : coeficiente de seguridad adoptado según el tipo de construcción y el recaudo constructivo (según CIRSOC 301).

### **Grupo II:**

Están compuestas por dos ángulos dispuestos en cruz y con una longitud de pandeo similar en ambas direcciones.



El reglamento establece que sólo necesitan ser comprobadas al pandeo normalmente al eje y-y:

$$*s/y-y$$

$$\sigma_y = \omega_y N/A \leq \sigma_{adm}$$

$\omega_y$  obtenido a partir de  $\lambda_y = Sk / i_y$

$$Sk = (sk_y + sk_z)/2$$

$i_y$  = radio de giro respecto al eje material y-y

$$*s_1/i_1 \leq 50 \text{ (para garantizar el pandeo local)}$$



Para las barras dispuestas según la figura (b) puede tomarse

$$i_y = i_0 / 1,15 \text{ y por lo tanto}$$

$$\lambda_y = 1,15 s_{ky} / i_0$$

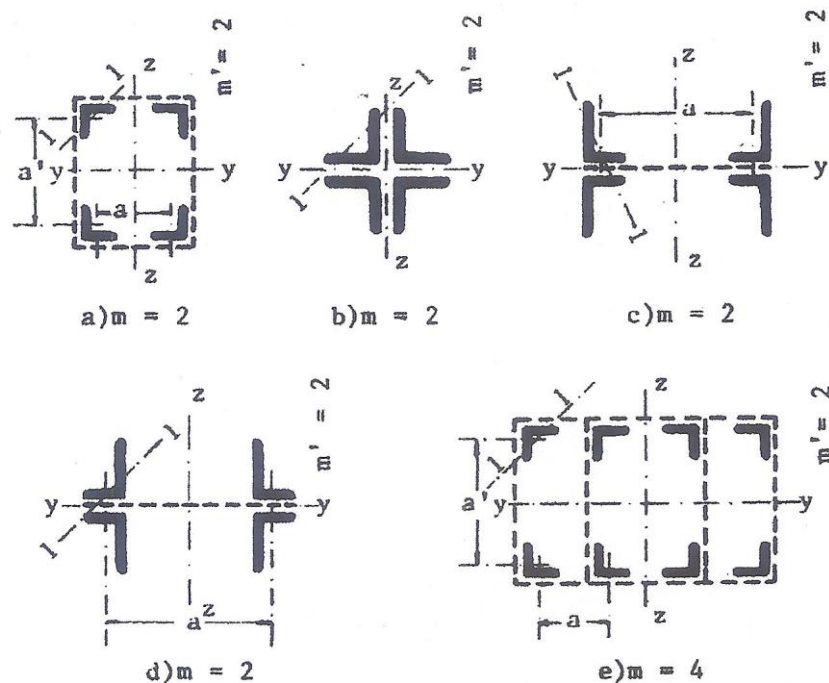
donde:

$i_0$  es el radio de giro de la sección total respecto al eje baricéntrico paralelo a las alas mayores de los angulares.

### Grupo III:

Estas barras no tienen ningún eje material.

El reglamento establece que se deben verificar según los dos ejes como si fueran barras simples pero con esbelteces ideales en ambos.



#### s/y-y

$$*\sigma_y = \omega_{yi} N/A \leq \sigma_{adm}$$

$\omega_{yi}$  obtenido a partir de  $\lambda_{yi}$

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m'}{2} \lambda_1^2}$$

$$*s_{1y} / i_1 \leq 50 [4 - (3\omega_{yi}N) / (A\sigma_{adm})]$$

Esto para garantizar el pandeo local

#### s/z-z

$$*\sigma_z = \omega_{zi} N/A \leq \sigma_{adm}$$

$\omega_{zi}$  obtenido a partir de  $\lambda_{zi}$

$$\lambda_{zi} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{m'}{2} \lambda_1^2}$$

$$*s_{1z} / i_1 \leq 50 [4 - (3\omega_{zi}N) / (A\sigma_{adm})]$$

### Calculo de Uniones Transversales:

Tal como se dijo antes, todas las uniones transversales sean presillas o diagonales, así como sus enlaces, deben dimensionarse de tal forma que las tensiones producidas por

## CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE MADERA

el esfuerzo de corte ideal  $Q_i$ , (generado por el fenómeno de pandeo), no sobrepasen las tensiones admisibles determinadas en función del tipo de acero, tipo de construcción y recaudo constructivo (según CIRSOC 301-1982).

El esfuerzo de corte  $Q_i$  se calculará con cualquiera de las dos siguientes expresiones:

$$Q_i = (A\sigma_{adm} / 80)$$

(generalmente aplicada en el caso de puentes y grúas o para diagonales).

O bien:

$$Q_i = (\omega_{zi} N/80)$$

(para construcciones en general).

Los valores de  $\omega_{zi}$  deberán tomarse a partir de  $\lambda_{zi}$  de las tablas correspondientes según el tipo de acero utilizado (tablas 1 a 6 CIRSOC 302). Si la barra no tiene eje material, es decir barras del Grupo III, hay que calcular también las uniones transversales en la otra dirección, necesaria cuando la barra padea normalmente al eje y.

### **\*Presillas:**

Se dimensionarán y verificarán a flexión simple y corte con el esfuerzo T considerado actuante en el centro de la presilla.

$$T = (Q_i \times s_i) / a$$

(para barras de dos elementos  $m=2$ )

O bien

$$T = (Q_i \times s_i) / 2a$$

(para barras de tres elementos  $m=3$ )

En el caso de barras empresillada, en las cuales la distancia entre ejes de las barras simples ( $a$ ), sea mayor a  $20 i_1$ , debe aumentarse el esfuerzo de corte ideal que ha de tomarse para el cálculo en un porcentaje igual a:

$$5 (a/i_1 - 20)\%$$

Debe aclararse que este incremento sólo se hará en las barras unidas con presillas, no así en las uniones con diagonales que son apropiadas para grandes separaciones.

Las presillas deben colocarse a distancias iguales o aproximadamente iguales, deben unirse a cada barra con dos remaches como mínimo o con cordones de soldadura equivalente. El número de recuadros debe ser como mínimo 3, o sea que deben colocarse presillas por lo menos en los tercios de la longitud de la barra. Además las barras compuestas deben tener en sus extremos chapas de unión (presillas extremas), que tienen que estar unidas a cada barra simple mediante tres remaches como mínimo o con un cordón de soldadura equivalente.

En las barras compuestas de dos elementos, en las cuales la distancia entre las barras simples es igual o solo un poco mayor que el espesor de la chapa de nudo, no necesitan tener en los extremos chapas de unión especiales, pero sin embargo han de disponerse al menos en los tercios de la longitud de la barra presillas que están unidas a cada barra simple mediante, como mínimo, dos remaches o un cordón de soldadura equivalente.



En las uniones con presillas o diagonales no deben usarse tornillos, salvo en aquellos lugares en que no es factible colocar remaches, en ese caso deben usarse tornillos calibrados.

**\*Diagonales:**

Las diagonales se calcularán a pandeo considerando que su luz de pandeo  $S_{kd} = d$  y un esfuerzo actuante sobre ellas:

$$N_D = Q_i / (n \times \sin \alpha)$$

Donde:

$$Q_i = (A \times \sigma_{adm}) / 80$$

**n:** número de uniones transversales en planos paralelos

**$\alpha$ :** ángulo que forma la diagonal con la sección simple.

Deberá verificarse:

$$\sigma = \omega N_D / A_D \leq \sigma_{adm}$$

Donde

$\omega$  obtenido a partir de  $\lambda = d / i_d$

En el caso que la celosía tenga también montantes éstos se calcularán a pandeo con el esfuerzo:

$$N_M = Q_i / n$$

Deberá verificarse:

$$\sigma = \omega N_M / A_M \leq \sigma_{adm}$$

**Barras rectas de sección contante solicitadas a compresión axil y flexión:**

Las barras rectas que se encuentran solicitadas a compresión axil y flexión en las que el centro de gravedad se encuentra a igual distancia del borde traccionado y del borde comprimido, deberán verificarse de la flexo-compresión:

$$\sigma = N/A + M/Wc \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma = \omega N/A + M/Wc \leq \sigma_{adm}$$

En el caso de tratarse de barras compuestas unidas por diagonales deberá reemplazarse  $Wc$  por:

$$a \times A$$

donde:

**a:** distancia entre ejes de secciones simples

**A:** sección compuesta

**Pandeo lateral de vigas, seguridad frente al pandeo lateral en vigas de sección I**

En las vigas solicitadas a flexión en el plano del alma, debe comprobarse si es suficiente su seguridad frente al pandeo lateral, en el cual la viga experimenta una flexión lateral y al mismo tiempo se tuerce.

La seguridad frente al pandeo lateral se eleva mediante cualquier medida que tienda a impedir la torsión y la flexión lateral de la viga, como los arriostramientos transversales, que impiden el giro en su plano de una sección de la viga; deberán colocarse no sólo en los apoyos sino también si es posible en otras secciones de la viga.

Si el cordón comprimido de la viga está impedido de desplazarse lateralmente en puntos aislados cuya separación es la distancia  $a$  y si el radio de giro  $i_z$  de la sección de la cabeza comprimida  $A_c$  respecto al eje  $z$  es:

$i_z \geq a / 40$  puede prescindirse de la comprobación de la seguridad frente al pandeo lateral.

$A_c$ : sección de la cabeza comprimida que corresponde a las alas y 1/5 del área del alma.

$$i_z = \sqrt{(I_{zc} / A_c)}$$

Si el radio de giro de la cabeza comprimida es menor que  $a/40$  se deberá cumplir que:

$$\sigma \leq 1,14 \sigma_{adm} / \omega$$

Donde:

$\omega$ : coeficiente de pandeo determinado de las tablas  $\lambda-\omega$  (correspondientes al tipo de acero usado: tablas 1 a 6, CIRSOC 302), en función de la esbeltez:

$$\lambda = a / i_z$$

$\sigma_{adm} = \sigma_f / \gamma$  donde el coeficiente de seguridad se determinará en función del tipo de construcción, tipo de recaudo constructivo y tipo de carga, mientras que la tensión de fluencia se determinará en función del tipo de acero, todo según CIRSOC 301 – 1982.