



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# Miembros sometidos a flexión y corte

## Criterios de diseño según CIRSOC 301-2018

### Guía de estudio

**Dr. Francisco J. Crisafulli**

Profesor Titular Construcciones Metálicas y de  
Madera



# Miembros en flexión y corte - Vigas

Las solicitaciones de flexión y corte usualmente actúan en forma combinada. Ambas se relacionan entre sí según la ecuación:

$$V = \frac{dM}{dx}$$



Reglamento CIRSOC 301-2018:

Estados límites últimos por flexión. Capítulo F

Estados límites últimos por corte. Capítulo G

Condiciones de servicio. Capítulo L



# Miembros sometidos a flexión





## Miembros en flexión simple

- Plastificación de la sección:  $M_n = M_p = Z_x F_y (10^{-3}) \leq 1.5 M_y$   
Fluencia del ala comprimida o fluencia del ala traccionada
- Pandeo lateral-torsional (LTB)
- Pandeo local del ala (FLB)
- Pandeo local del alma (WLB)

$$M_n \leq M_p$$

Momento de diseño:  $M_d = \phi M_n = Z F_y (10^{-3}) \leq 1.5 M_y$

En todos los casos  $\phi = 0.90$

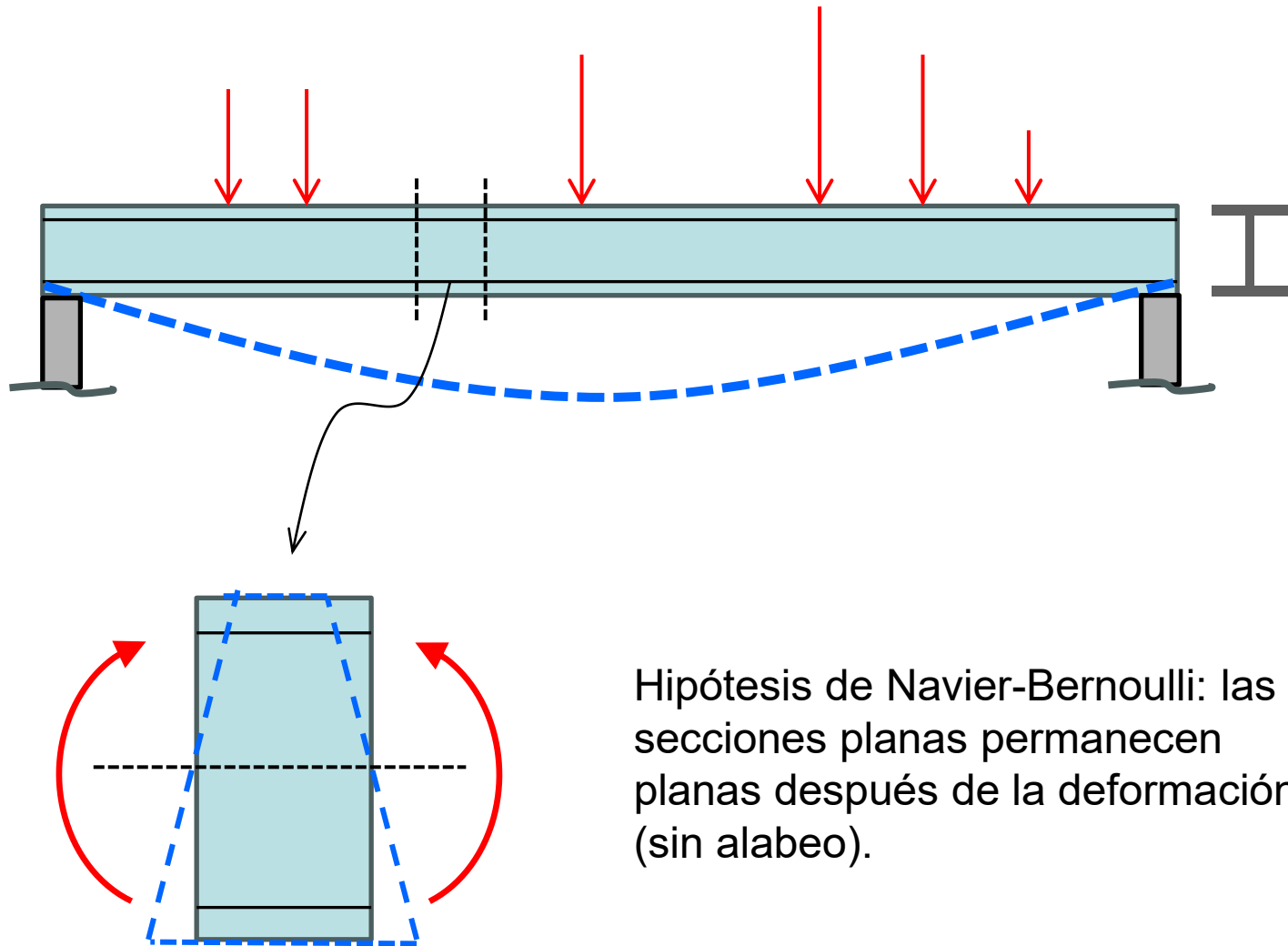
Momento de fluencia:  $M_y = S_x F_y (10^{-3})$

$Z_x$ : módulo plástico en  $\text{cm}^3$

$S_x$ : módulo resistente elástico en  $\text{cm}^3$



## Miembros en flexión simple



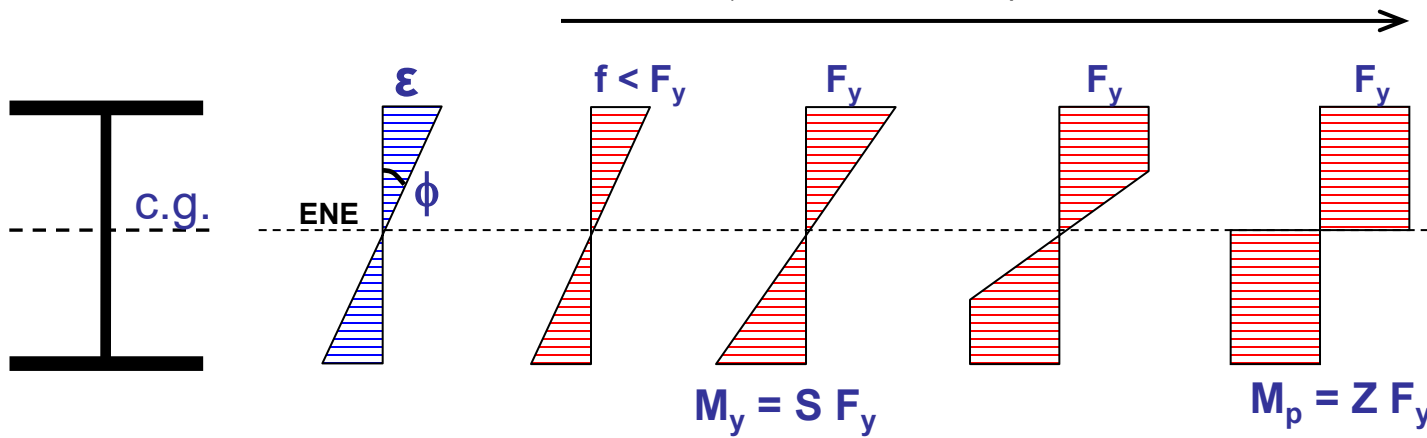
Hipótesis de Navier-Bernoulli: las secciones planas permanecen planas después de la deformación (sin alabeo).



Plastificación: se considera que todas las fibras de la sección se plastifican (de modo que la capacidad a flexión se determina en estado último). Primero consideramos el caso de una sección con doble simetría:

Diagramas de deformación

Diagramas de tensión,  $f$ , a medida que se incrementa la curvatura,  $\phi$ , hasta alcanzar la plastificación.



Sección con doble simetría: el eje neutro elástico (ENE) coincide con el eje neutro plástico (ENP).

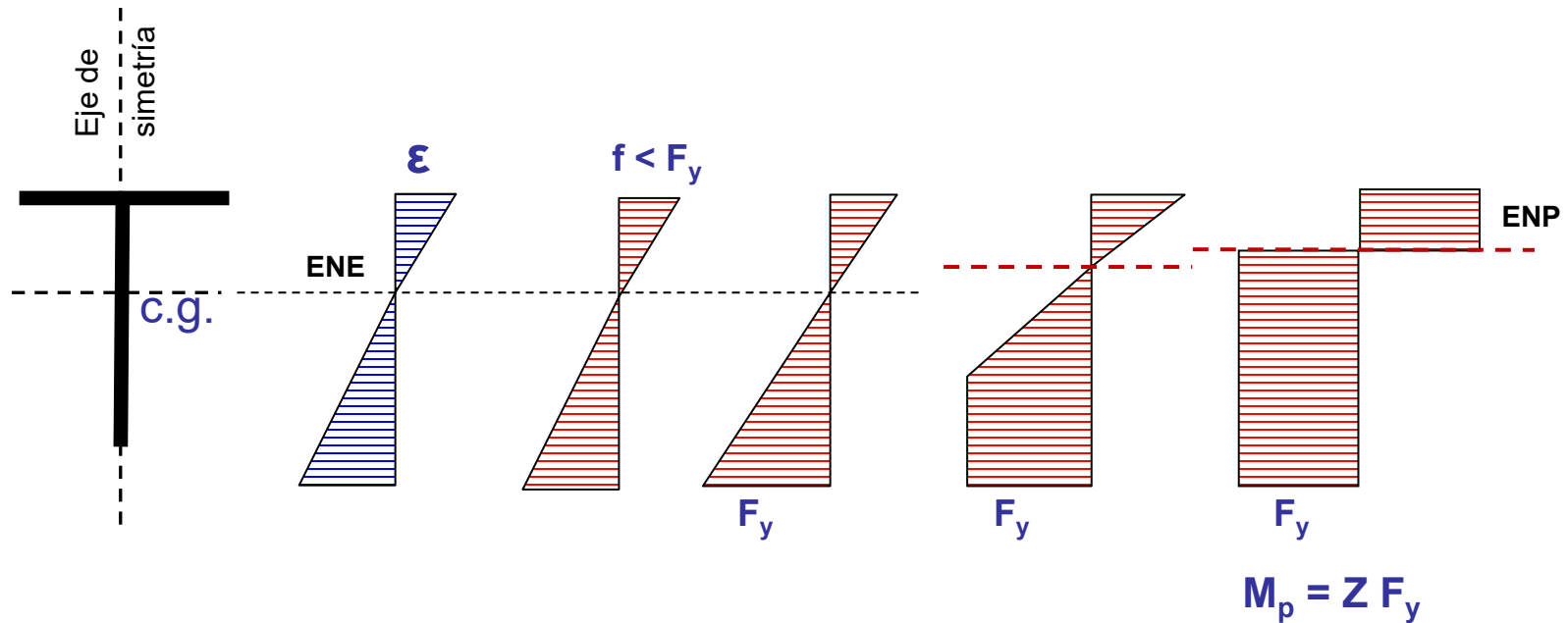
$$M_p = \int_A y F_y dA = F_y \int_A y dA = Z F_y$$

$M_y = S F_y$ : momento de fluencia (se produce cuando fluyen las fibras más alejadas del eje neutro.  $S$  representa el módulo resistente elástico de la sección).

$M_p = Z F_y$ : momento plástico. Se determina a partir de la hipótesis de que toda la sección fluye (parte en tracción y parte en compresión).  $Z$  representa el módulo plástico de la sección.



Plastificación: en el caso de una sección con un solo eje de simetría la posición del eje neutro se modifica a medida que la sección va fluyendo.



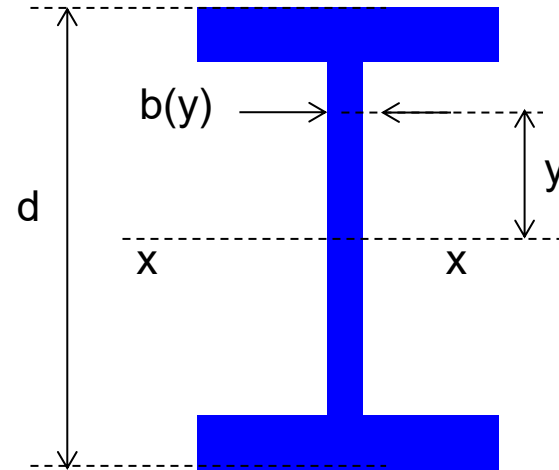
Sección con un solo eje de simetría: en este caso el eje neutro elástico (ENE) corta el centro de gravedad de la sección, pero no coincide con el eje neutro plástico (ENP). A medida que se produce la fluencia, el eje neutro se desplaza para mantener el equilibrio entre el momento flector externo y el resultante de las tensiones axiales en la sección.

La posición del ENP se determina de modo tal que divida a la sección en dos áreas iguales.



Cálculo del módulo plástico Z:

$$Z = \int_A y \, dA = \int_{-d/2}^{d/2} b(y) y \, dy$$



Los valores del módulo plástico se encuentran tabulados para los distintos tipos de perfiles laminados (ver tablas de perfiles de CIRSOC).



## Cálculo del módulo plástico Z:

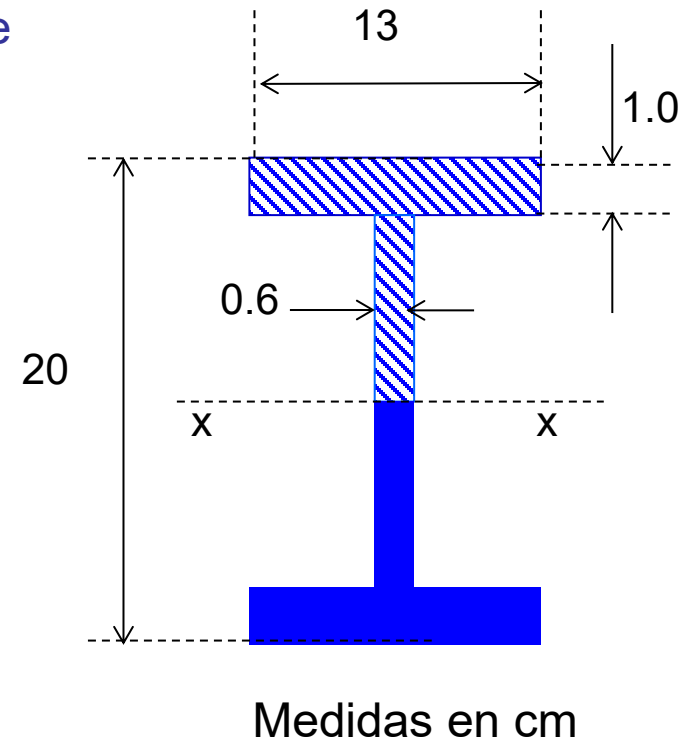
Si la sección es simétrica respecto a un eje baricéntrico, el módulo plástico Z se puede calcular como el doble del momento estático de la mitad de la sección con respecto a dicho eje.

Ejemplo. Se considera la mitad de la sección y se calculan los momentos estáticos.

$$\text{Momento estático ala} = 13 \times 1 \times 9.5 = 123.5 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Momento estático} \\ \text{mitad alma} &= 9 \times 0.6 \times 4.5 = 24.3 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

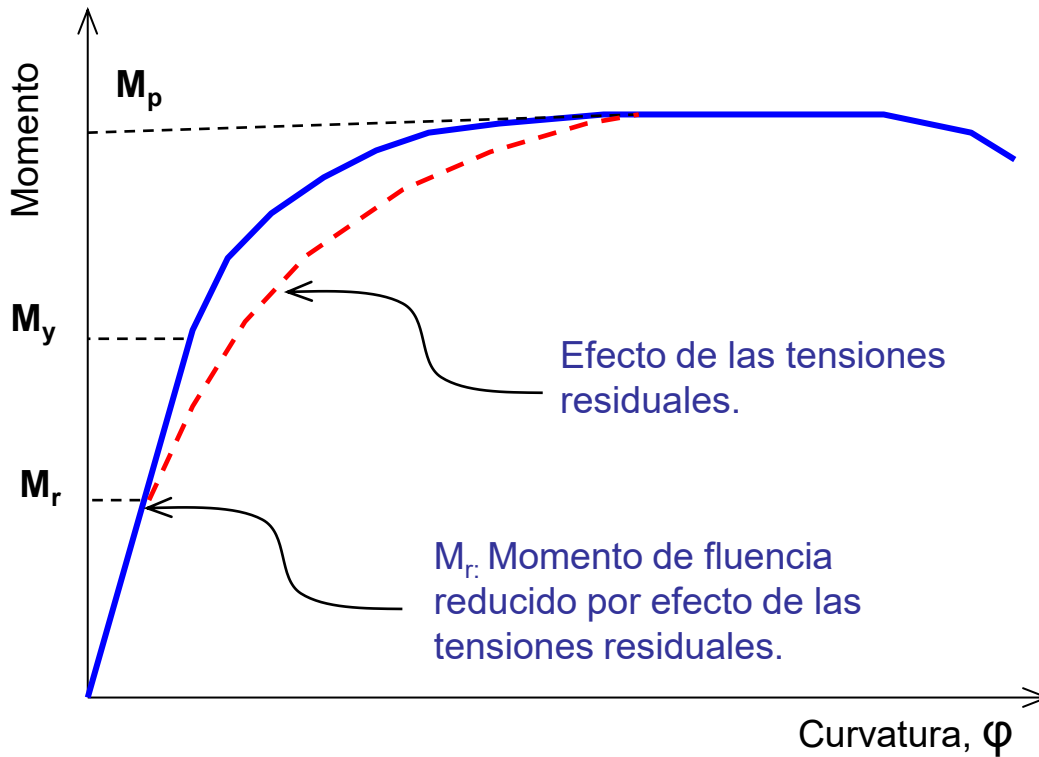
$$\mathbf{Z = 2 (123.5 + 24.3) = 295.6 \text{ cm}^3}$$



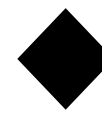


$$M_d = \varphi M_p, \quad \varphi = 0.90$$

$$M_p \text{ (kNm)} = Z \text{ (cm}^3\text{)} F_y \text{ (MPa)} (10^{-3}) \leq 1.5 M_y$$



Factor de forma:  $Z / S$



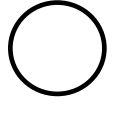
2.0



1.7



1.5



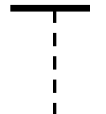
1.27



1.2



1.12 a 1.2



1.0



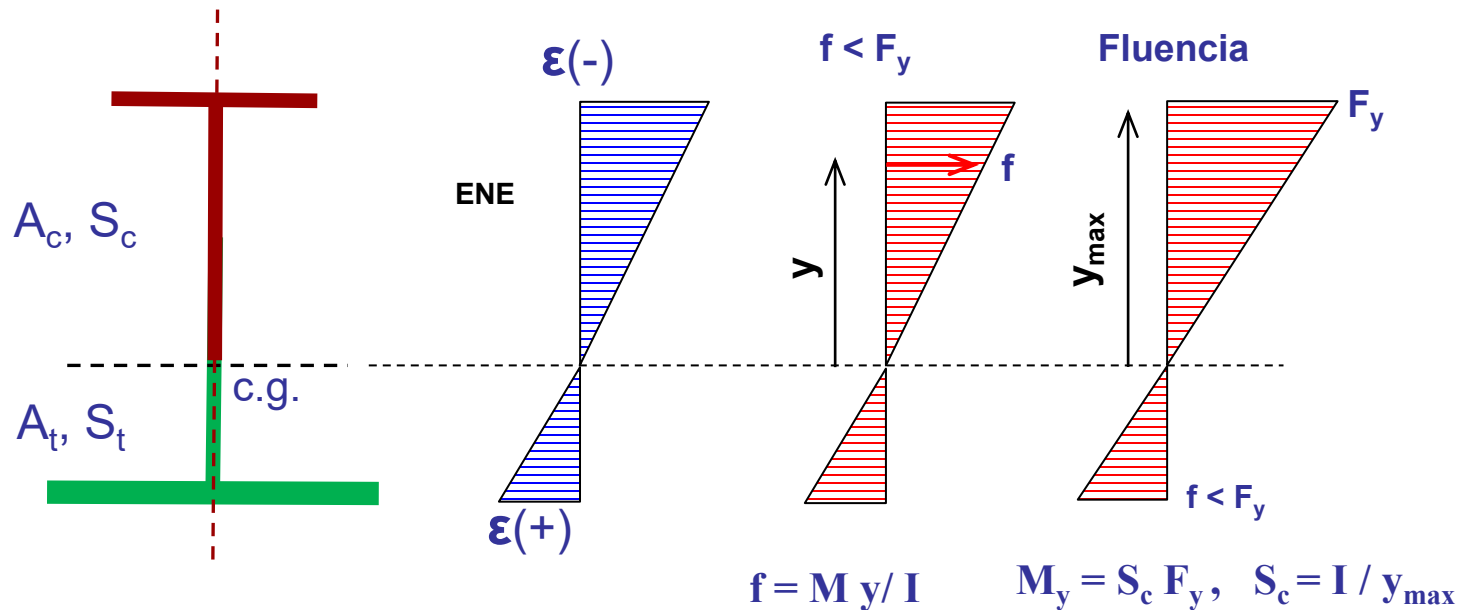
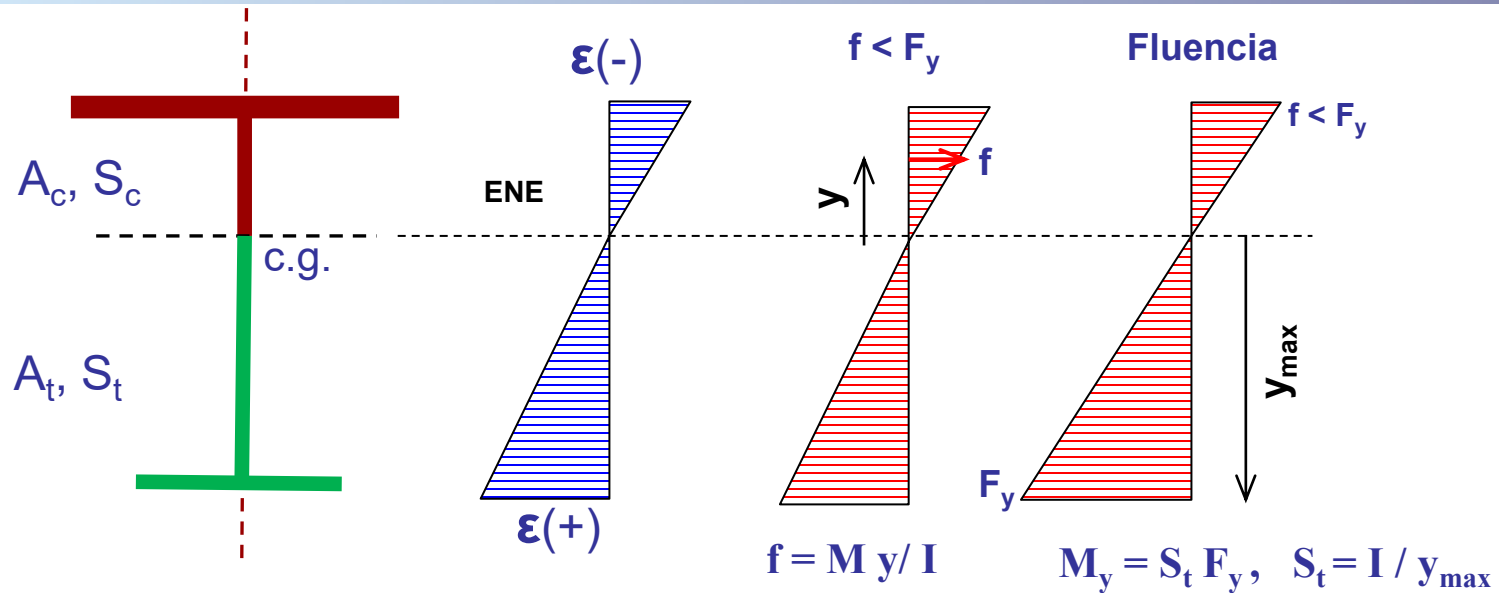
# ELU: Fluencia de ala comprimida y ala traccionada

En el caso de miembros con secciones de doble T de simple simetría o asimétricos, el reglamento en las Secciones F.4, F.5 y F.12 no considera la plastificación como estado límite, sino que requiere la verificación de dos estados límites de fluencia que son:

- Fluencia de ala comprimida
- Fluencia de ala traccionada



# ELU: Fluencia de ala comprimida y ala traccionada





# ELU: Fluencia de ala comprimida y ala traccionada

- **Fluencia de ala comprimida:**  $M_n = R_{pc} M_{xc} = R_{pc} F_{yf} S_{xc} (10)^{-3}$

$M_{xc}$  : momento elástico referido al ala comprimida, en KNm.

$S_{xc}$  : módulo resistente elástico referido al ala comprimida, en cm<sup>3</sup>.

$R_{pc}$  : factor de plastificación del alma.  $1.0 \leq R_{pc} \leq M_p / M_{xc}$

- **Fluencia de ala traccionada:**  $M_n = R_{pt} M_{xt} = R_{pt} F_y S_{xt} (10)^{-3}$

a) Cuando  $S_{xt} \geq S_{xc}$ , este estado límite no se considera

b) Cuando  $S_{xt} < S_{xc}$ :

$M_{xt}$  : momento elástico referido al ala comprimida, en KNm.

$S_{xt}$  : módulo resistente elástico referido al ala traccionada, en cm<sup>3</sup>.

$R_{pt}$  : factor de plastificación del alma.  $1.0 \leq R_{pt} \leq M_p / M_{xt}$

Los factores de plastificación del alma se determinan según lo requerido en las Secciones F.4, F.5 y F.12 del reglamento, dependiendo del caso considerado.



# ELU: Fluencia de ala comprimida y ala traccionada

- **Fluencia de ala traccionada**

a) Cuando  $S_{xt} \geq S_{xc}$ , el este estado límite no se considera

a) Cuando  $S_{xt} < S_{xc}$ :  $M_n = R_{pt} M_{xt} = R_{pt} F_y S_{xt} (10)^{-3}$

$M_{xt}$  : momento elástico referido al ala comprimida, en KNm.

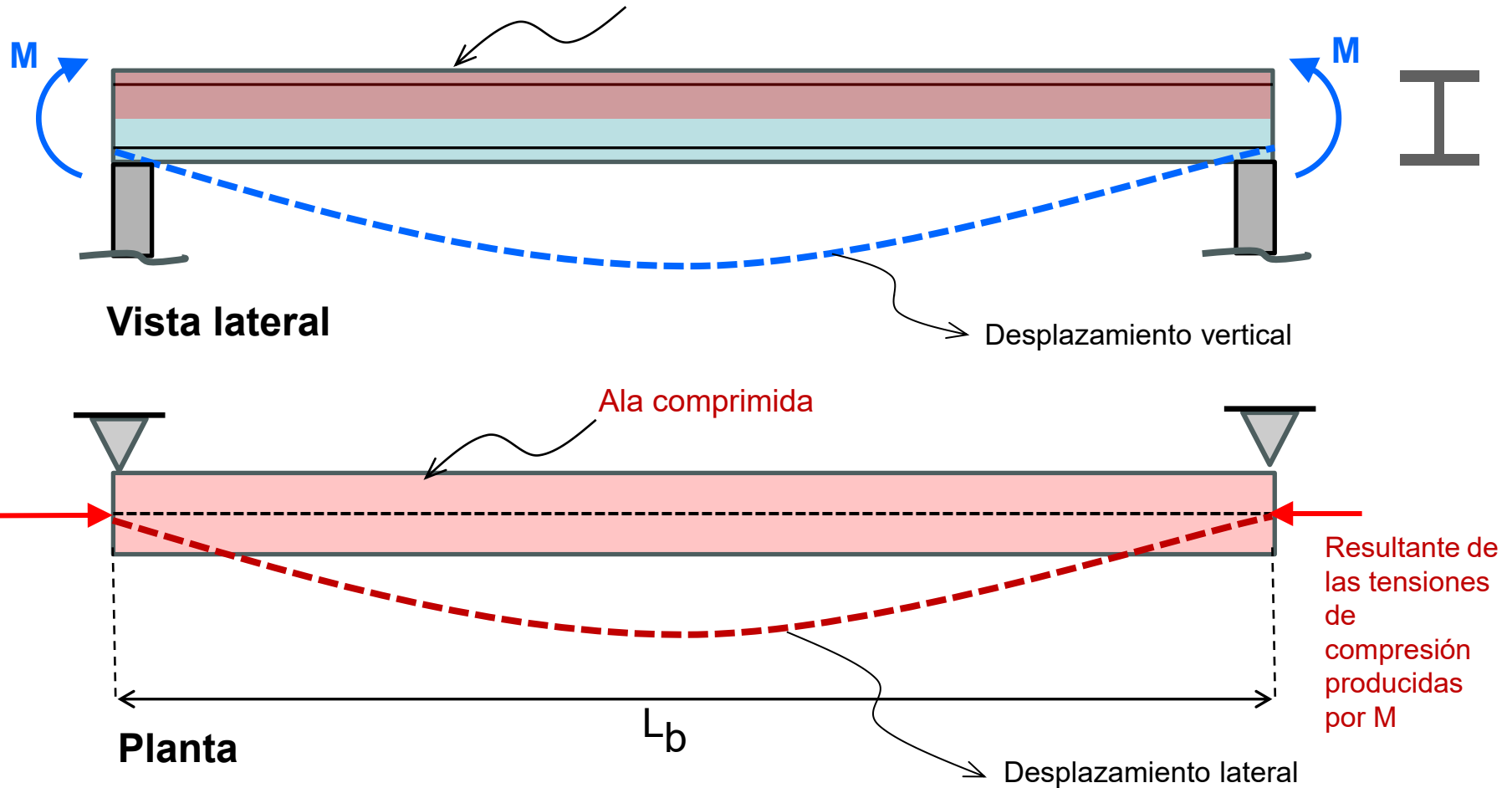
$S_{xt}$  : módulo resistente elástico referido al ala traccionada, en cm<sup>3</sup>.

$R_{pt}$  : factor de plastificación del alma. Si el alma es compacta, Rp



## Pandeo lateral torsional

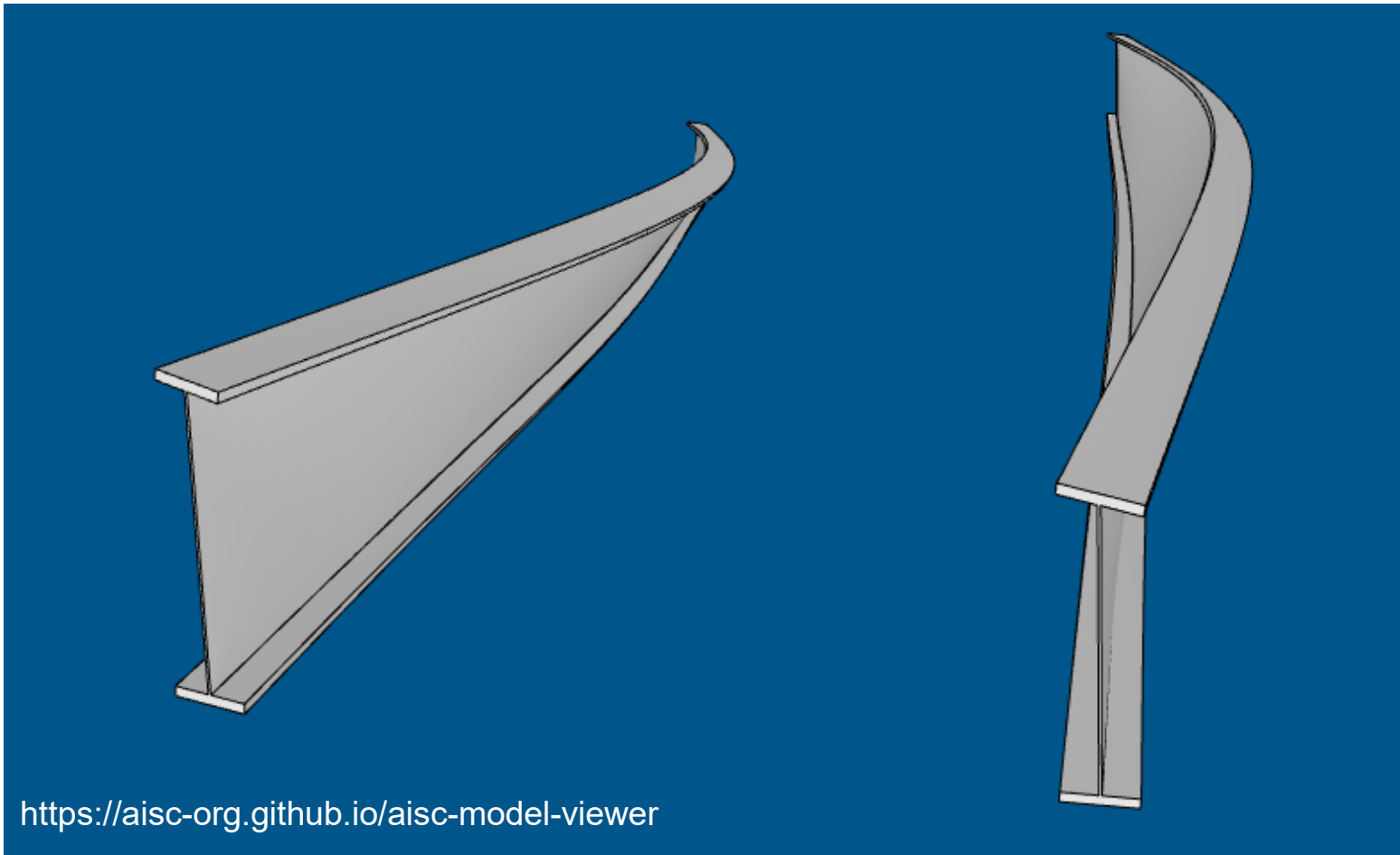
Viga simplemente apoyada sometida a momentos flectores,  $M$ , en los extremos





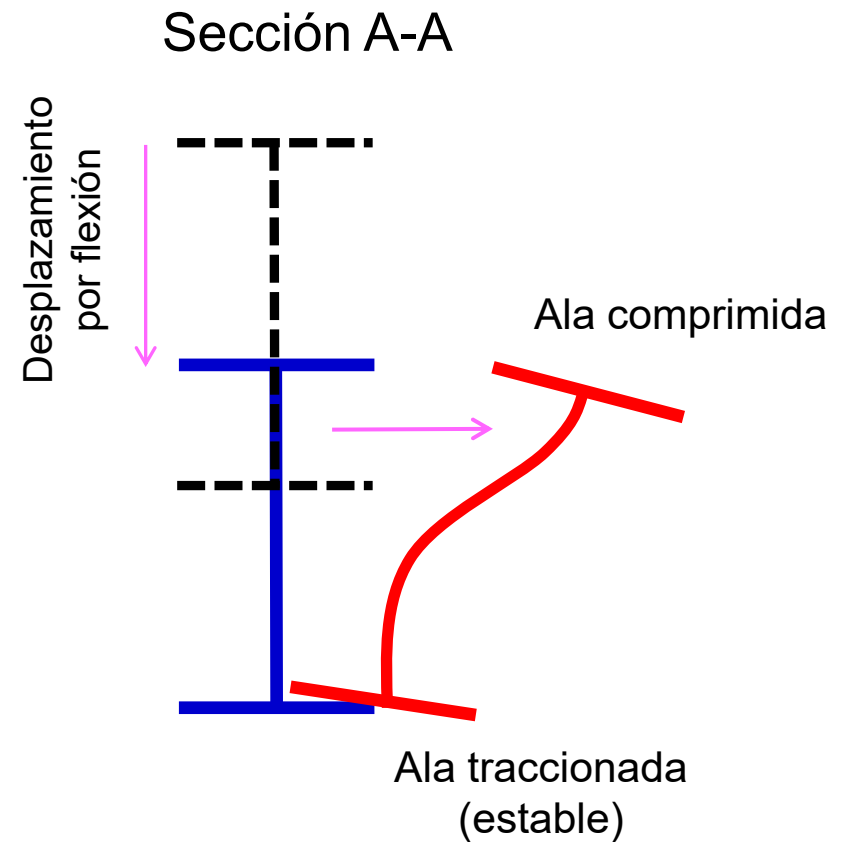
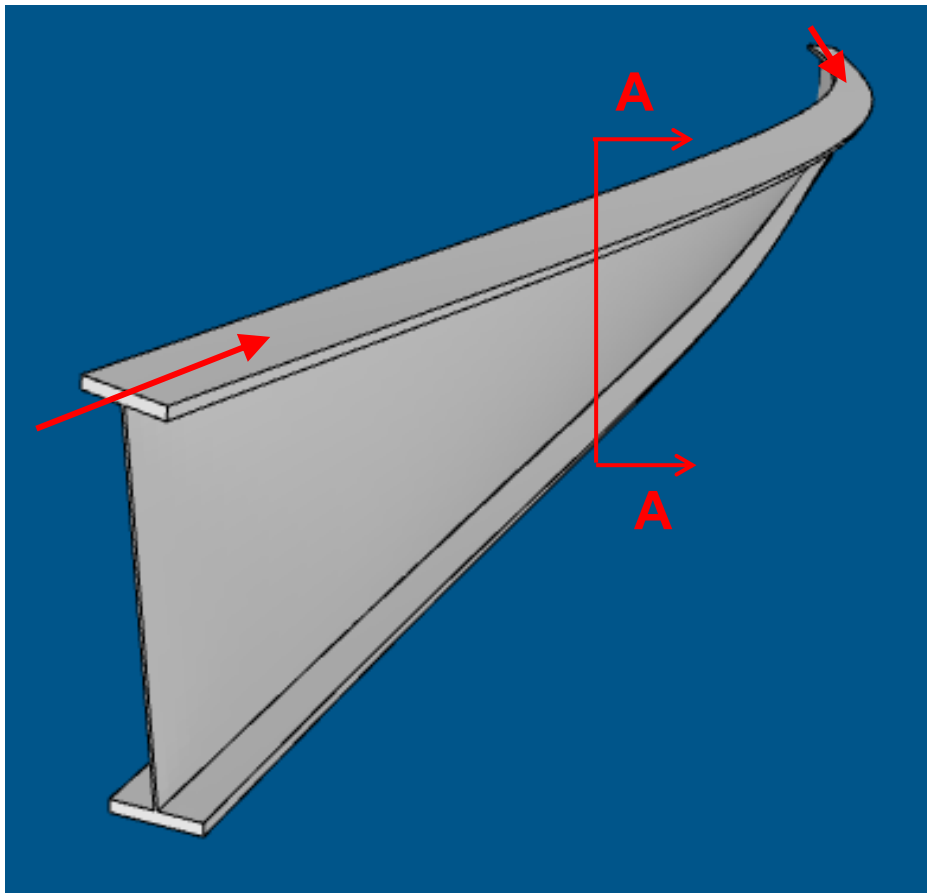
# ELU: Pandeo lateral-torsional

El pandeo lateral torsional es un fenómeno de inestabilidad que afecta principalmente el ala comprimida de perfiles flexionados. **Ver video de ensayo de laboratorio en Aula Abierta donde se muestra este fenómeno físico.**





## Deformación de la viga por flexión simple y pandeo lateral torsional

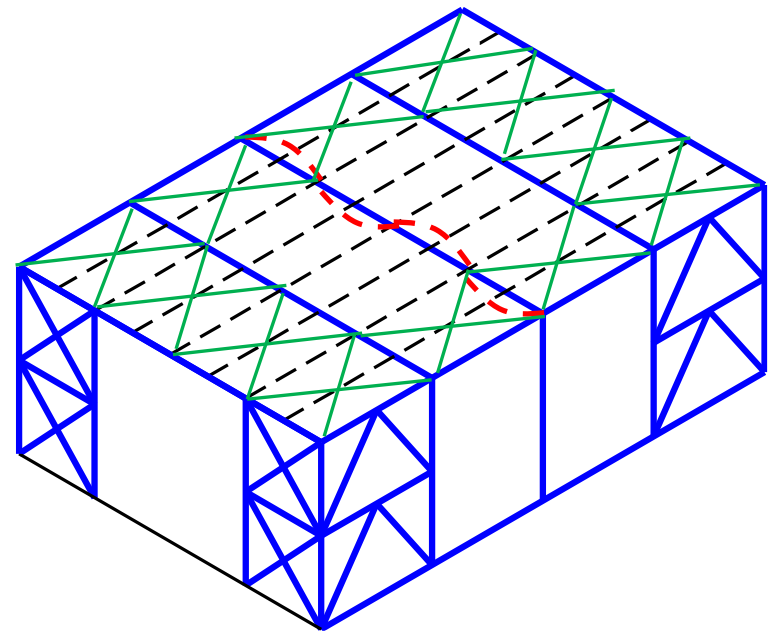
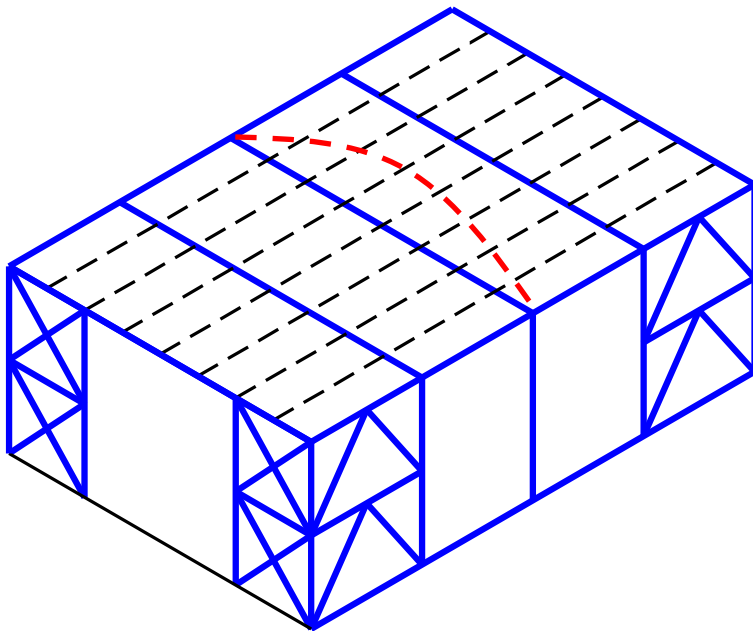




# ELU: Pandeo lateral-torsional

Este estado límite último se debe considerar cuando ELU se determina a partir de la comparación entre la longitud lateralmente no arriostrada de la viga,  $L_b$ , es mayor que el valor límite  $L_p$  (definido en el reglamento para distintos casos)

La longitud lateralmente no arriostrada  $L_p$  se define como la **distancia entre puntos donde el desplazamiento lateral del ala comprimida está impedido**.

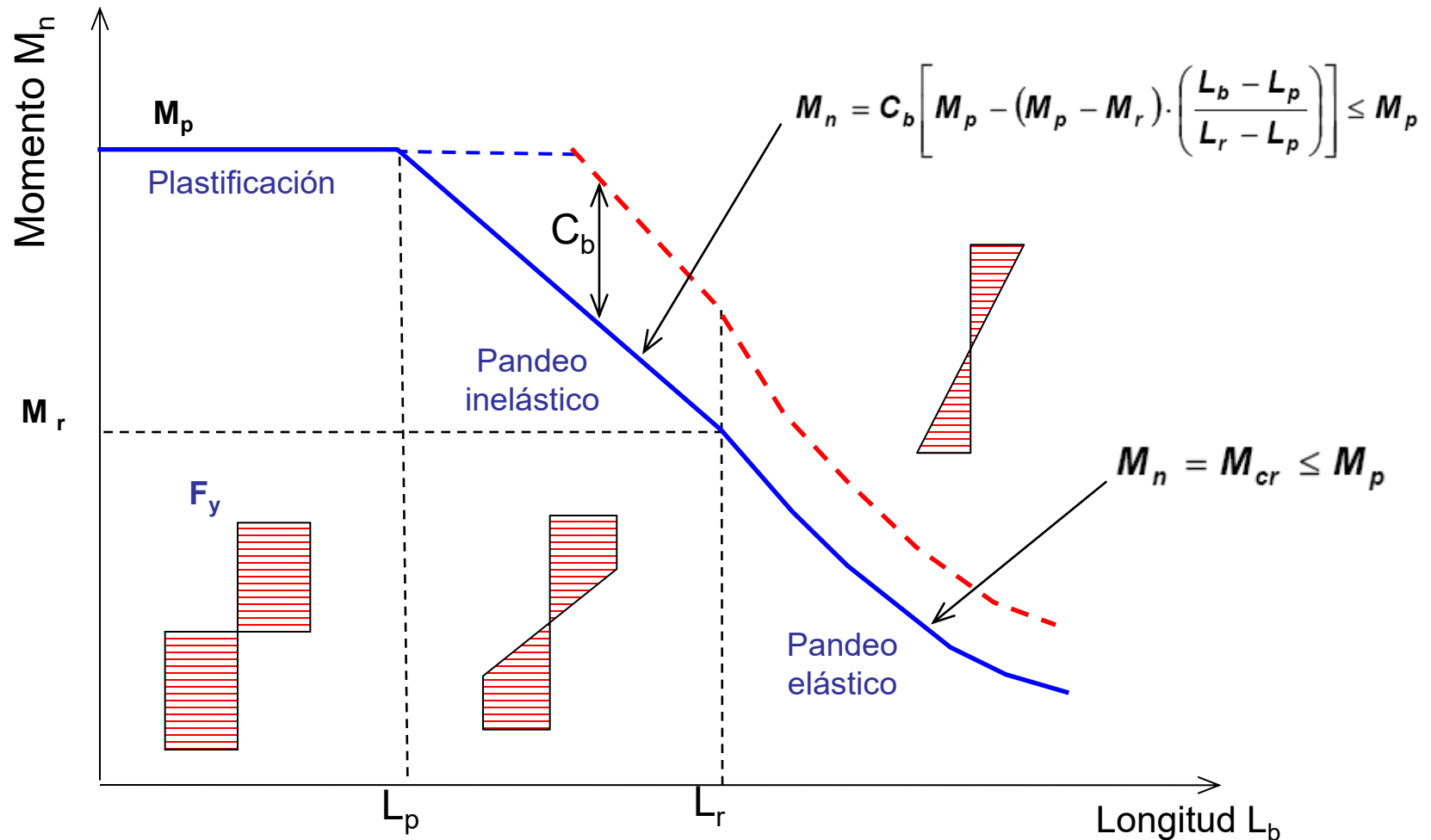


La longitud  $L_p$  para el ala superior comprimida puede ser distinta que para el ala inferior comprimida.



# ELU: Pandeo lateral-torsional

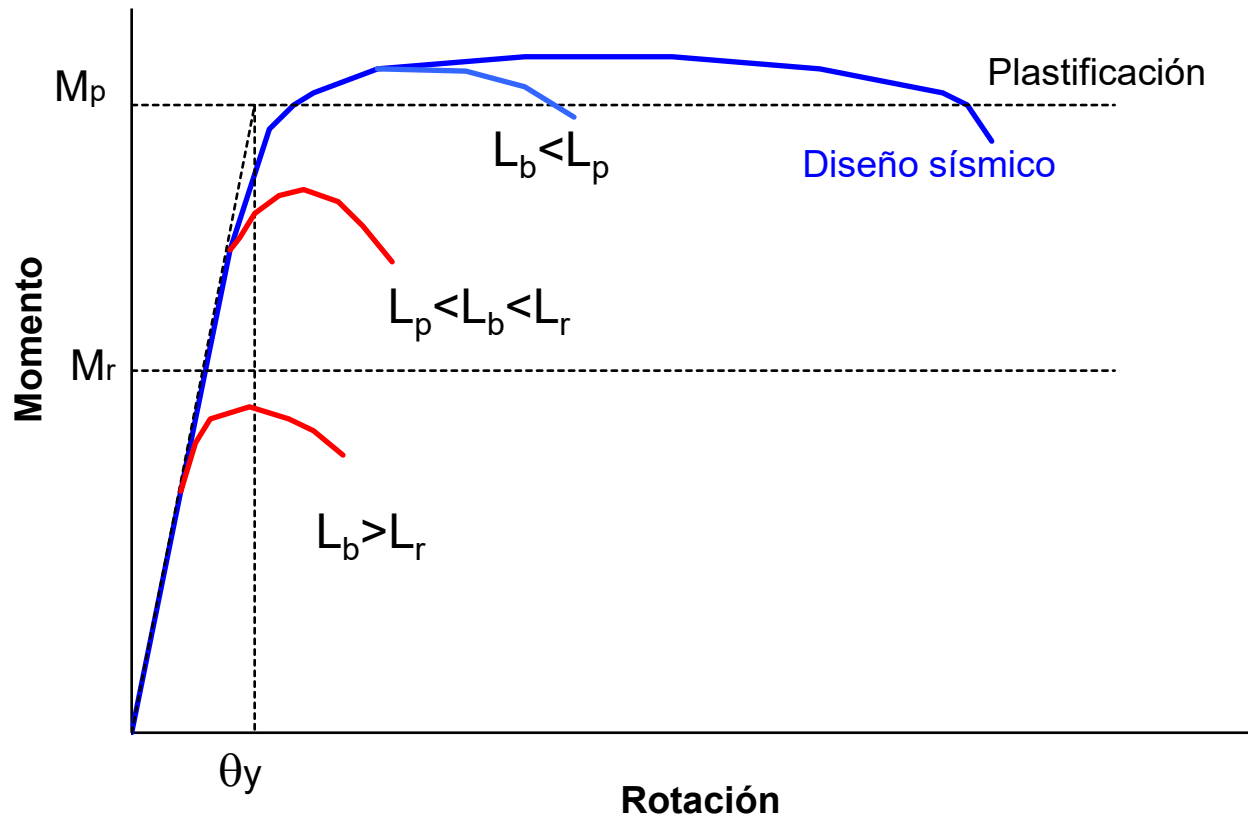
La consideración de este ELU se determina a partir de la comparación entre la longitud no arriostrada de la viga,  $L_b$ , y dos valores límites  $L_p$  y  $L_r$ :





# ELU: Pandeo lateral-torsional

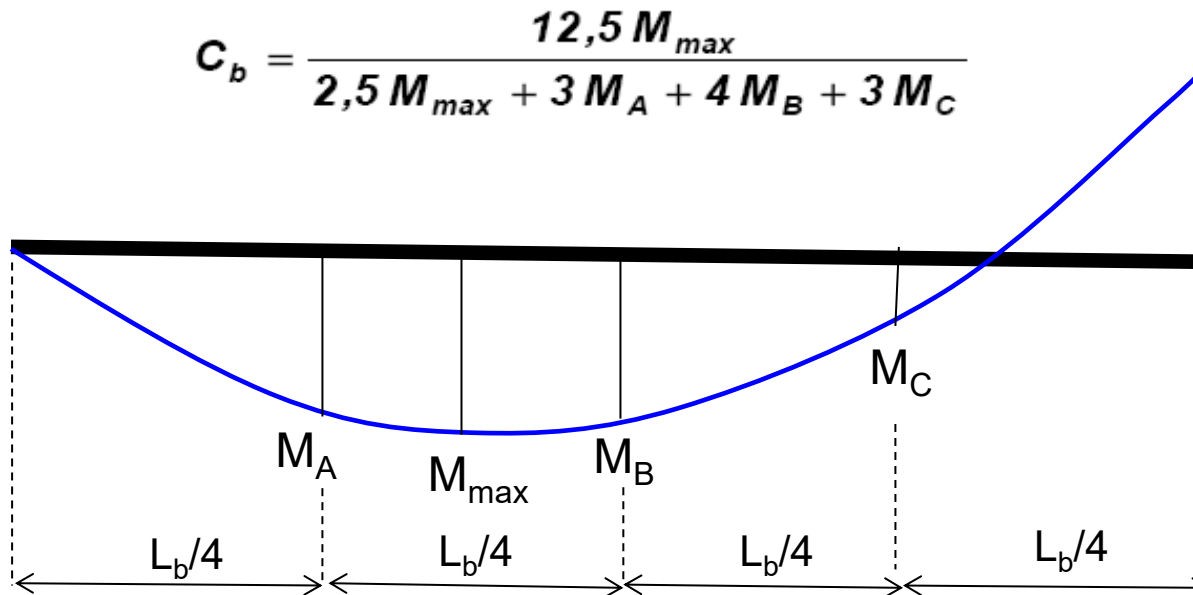
La ocurrencia del pandeo lateral torsional, cuando  $L_b > L_p$ , reduce la resistencia flexional de la viga.





# ELU: Pandeo lateral-torsional

El factor  $C_b$  considera la variación del momento flector, y por lo tanto, la variación de la fuerza de compresión en el ala. Las ecuaciones de resistencia para lateral-torsional en rango elástico se ha determinado considerando el caso de flexión uniforme (que es más simple porque la compresión es uniforme a lo largo de la viga).

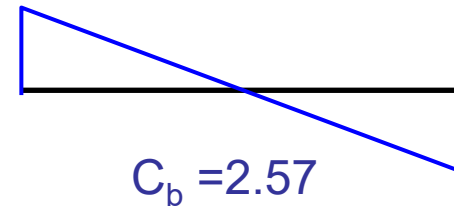
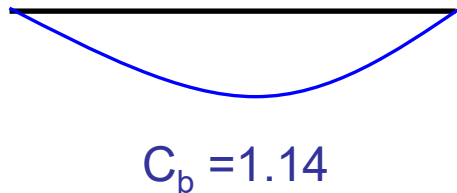


El diagrama de momentos a considerar para el cálculo de  $C_b$  es diagrama correspondiente al estado o combinación de carga que se está verificando. No debe usarse el diagrama de momentos envolvente.



# ELU: Pandeo lateral-torsional

Valor del factor  $C_b$  para casos usuales:



Se permite adoptar conservadoramente un valor  $C_b = 1$  para todos los casos de diagramas de momento flector.

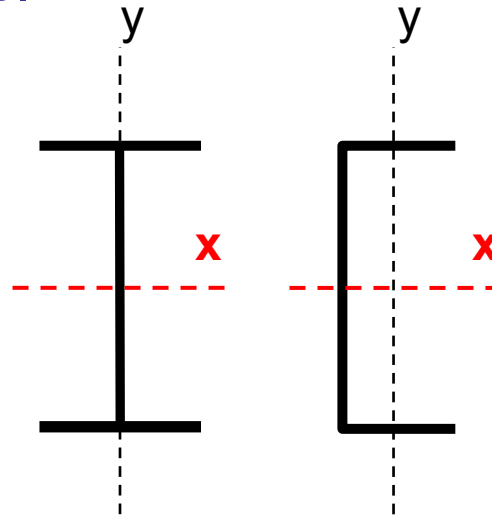
Para miembros en voladizo, cuando el extremo libre no esté arriostrado, se deberá tomar  $C_b = 1$  para todos los casos, cualquiera sea el diagrama de momento.



# ELU: Pandeo lateral-torsional

El reglamento CIRSOC 301-2018 considera distintos casos para determinar los parámetros vinculados al estado límite de pandeo lateral-torsional.

Por ejemplo, en la Sec. F.2. se considera el caso de miembros de secciones compactas doble T (de doble simetría) y canal, flexionados alrededor de su eje fuerte.



En estos casos no corresponde considerar los estados límites últimos de pandeo local de ala y alma porque las secciones son compactas



## Sec. F.2. Determinación de las longitudes límites $L_p$ y $L_r$ :

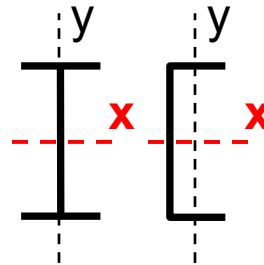
Cargas aplicadas en alma o ala inferior

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}}$$

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A_g}{2}} \quad (\text{MPa})$$

$$X_2 = \frac{4 C_w}{I_y} \left( \frac{S_x}{G J} \right)^2 \quad (\text{MPa})^{-2}$$



Cargas aplicadas en el ala superior

$$L_p = 1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}}$$

$$L_r = 1,28 \frac{r_y X_1}{F_L}$$

J: módulo de torsión,  $\text{cm}^4$ .

$C_w$ : módulo de alabeo,  $\text{cm}^6$ .



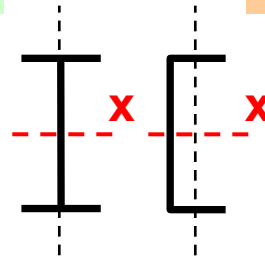
# ELU: Pandeo lateral-torsional

Sec. F.2. Determinación de las longitudes límites y de  $M_r$  y  $M_c$  :

Cargas aplicadas en alma o ala inferior

$$M_r = F_L S_x (10^{-3})$$

$$M_{cr} = (10^{-3}) C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w} = \frac{(10^{-3}) C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2(L_b / r_y)^2}}$$



Cargas aplicadas en el ala superior

$$M_r = F_L S_x (10^{-3})$$

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) 1,28 C_b S_x X_1}{L_b / r_y}$$

$F_L = (F_{yt} - F_r)$  o  $F_{yw}$ , (menor valor).

$F_r = 69\text{MPa}$  para secciones laminadas o  $114\text{ Mpa}$  para secciones soldadas.

Las propiedades geométricas de los perfiles  $A_g$ ,  $I$ ,  $r$ ,  $Z$ ,  $S$ ,  $J$ ,  $C_w$  se obtienen de las tablas de perfiles de CIRSOC. Para perfiles doble T y canal (U) también se incluye valores de  $L_r$ ,  $L_p$ ,  $X_1$  y  $X_2$ .



## Soluciones para controlar el pandeo lateral-torsional

En la práctica, ocurre frecuentemente que la resistencia de diseño por pandeo lateral-torsional es menor (o mucho menor) que la resistencia por plastificación. En estos casos, para optimizar el diseño, se pueden adoptar distintas soluciones:

- Disminuir la longitud  $L_b$  mediante arriostramientos u otros miembros estructurales.
- Reforzar la sección en forma eficiente (considerar que  $r_y$  es el parámetro principal para incrementar los límites  $L_p$  y  $L_r$ ).
- Utilizar un perfil de mayores dimensiones (alternativa menos conveniente).

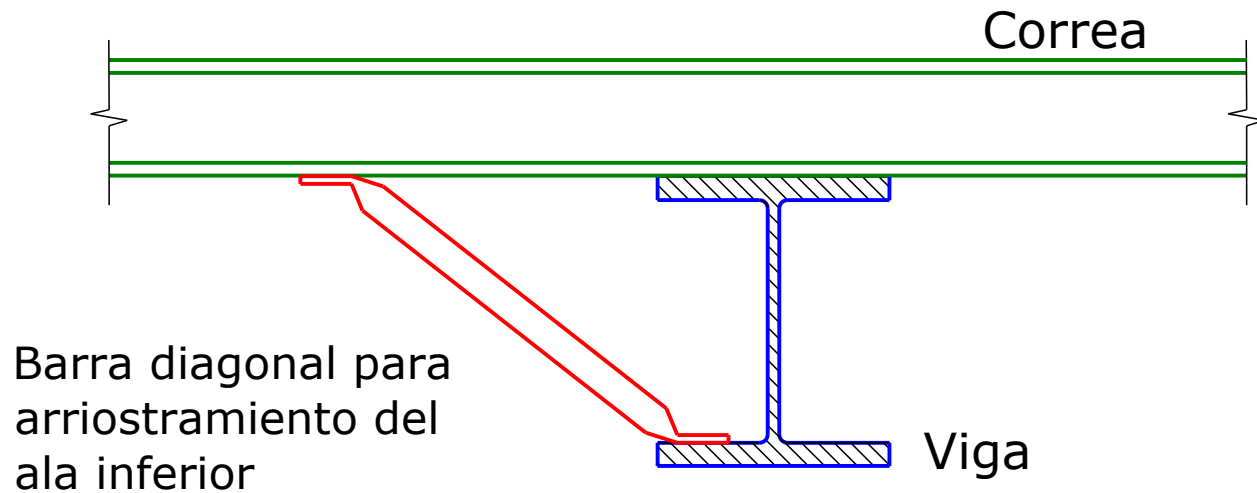




# ELU: Pandeo lateral-torsional

En los casos en que el sistema de arriostramiento se dispone en la parte superior de la viga, como es usual en naves industriales, el ala inferior no está impedida de pandear lateralmente, dado que no se encuentra directamente conectada al sistema de arriostramientos.

Cuando es necesario restringir también el movimiento lateral del ala inferior en ciertos puntos, una solución consiste en emplear una barra diagonal que conecta el ala de la viga con una correa que forma parte del sistema de arriostramiento de cubierta. En el ejemplo que se muestra en la figura se usa una barra tubular, cuyos extremos han sido achatados para permitir las uniones (ya sea con juntas soldadas o abulonadas).

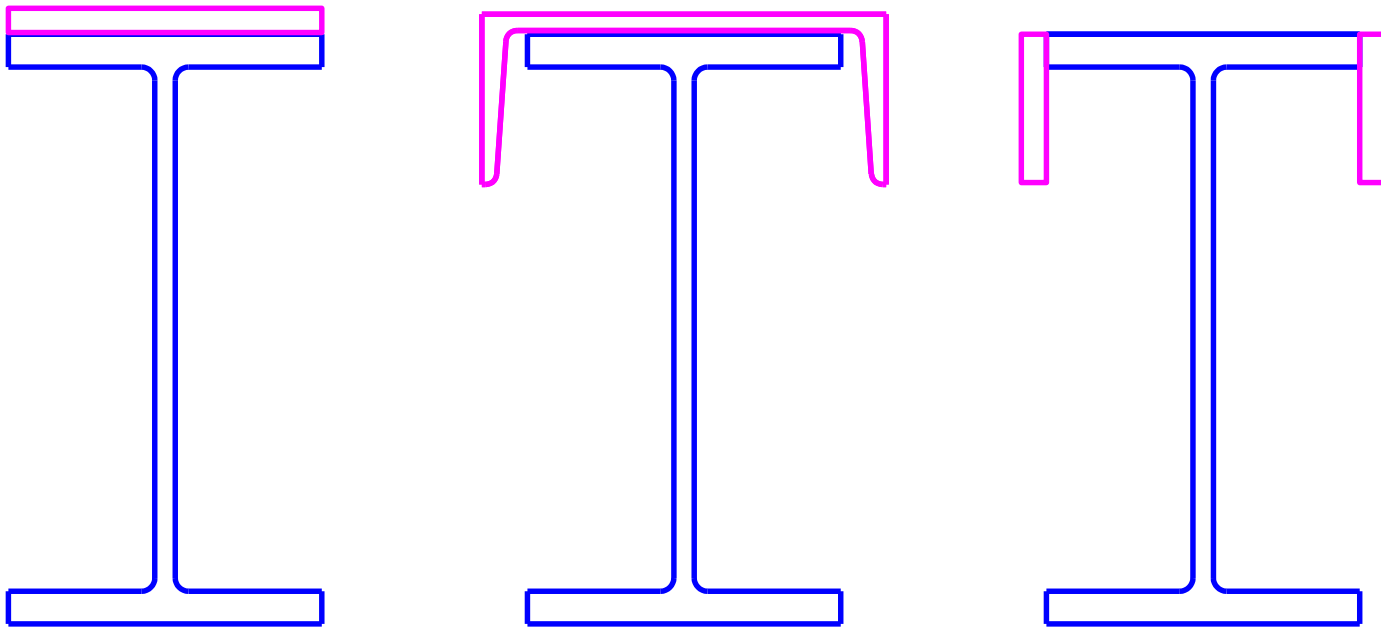




## Soluciones para controlar el pandeo lateral-torsional

Reforzar la sección en forma eficiente (considerar que  $r_y$  es el parámetro principal para incrementar los límites  $L_p$  y  $L_r$ ).

¿Cuál de estas alternativas es la más eficiente?

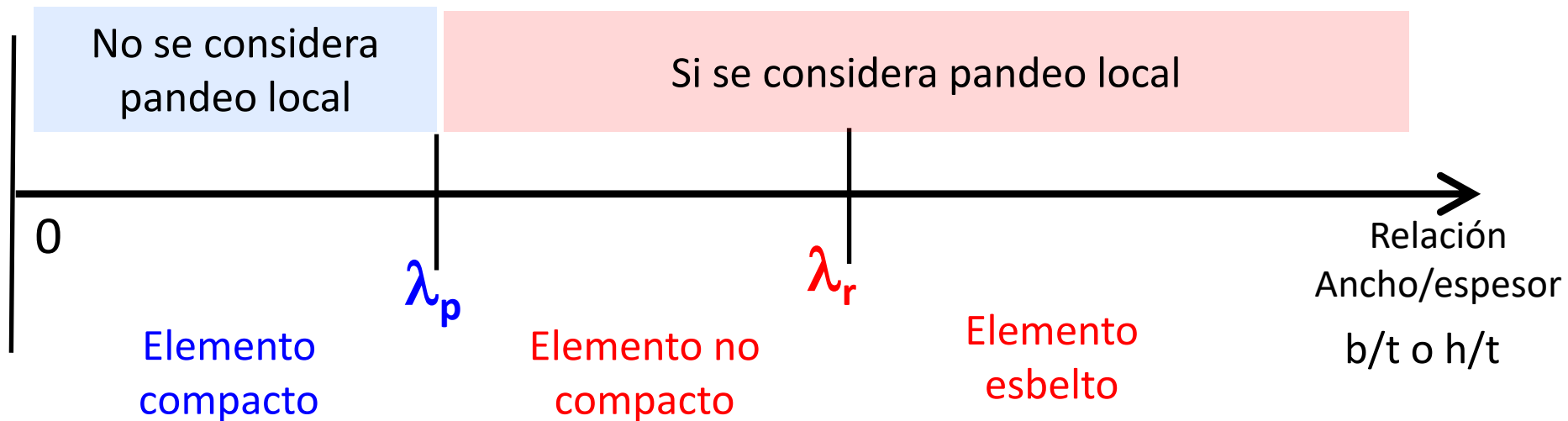




# ELU: Pandeo local de vigas. FLB y WLB

La consideración de los estados límites últimos por pandeo local de ala (FLB, *flange local buckling*) o pandeo local de alma (WLB, *web local buckling*) se define a partir de la clasificación de secciones.

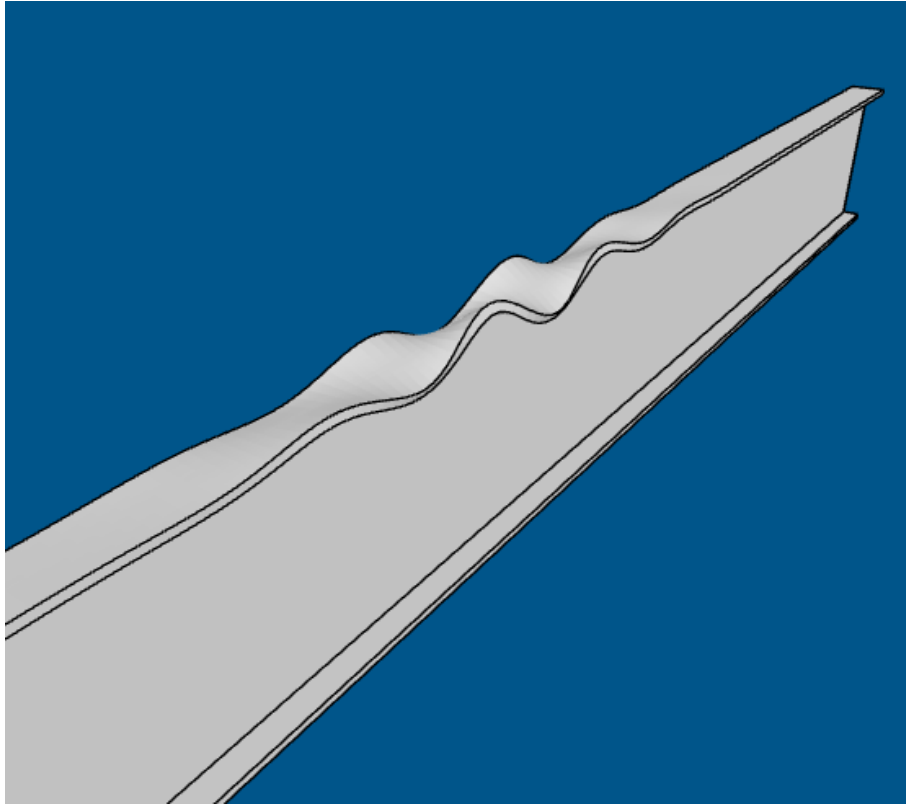
Solo se considera el pandeo local cuando los elementos son no compactos o esbeltos:



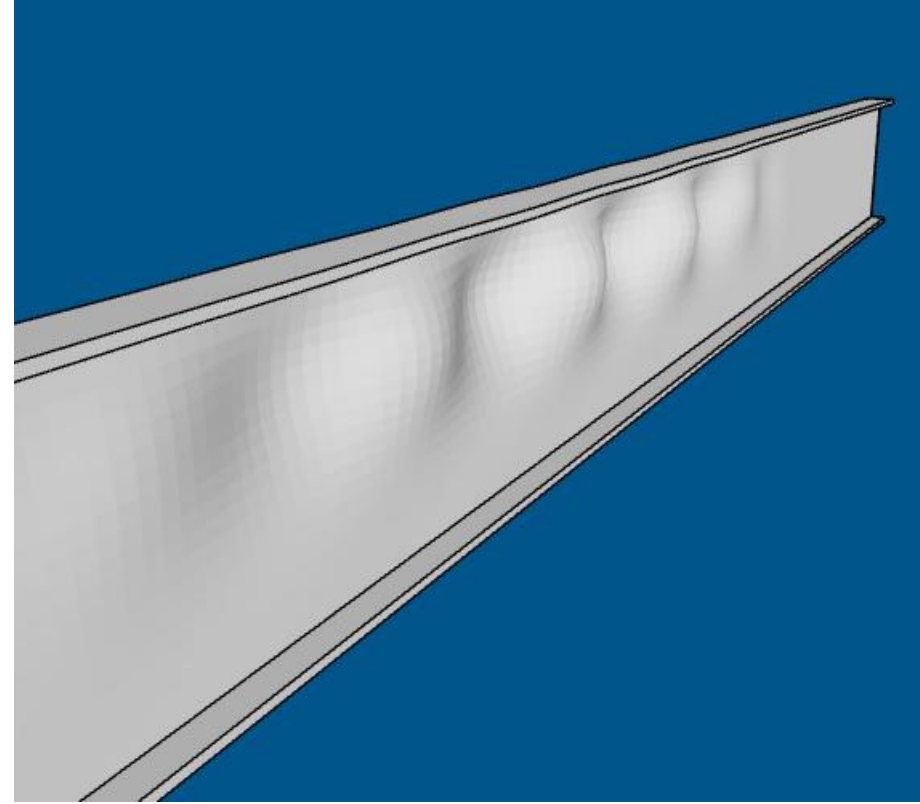


# ELU: Pandeo local de vigas. FLB y WLB

Pandeo del ala comprimida por flexión



Pandeo de alma por flexión

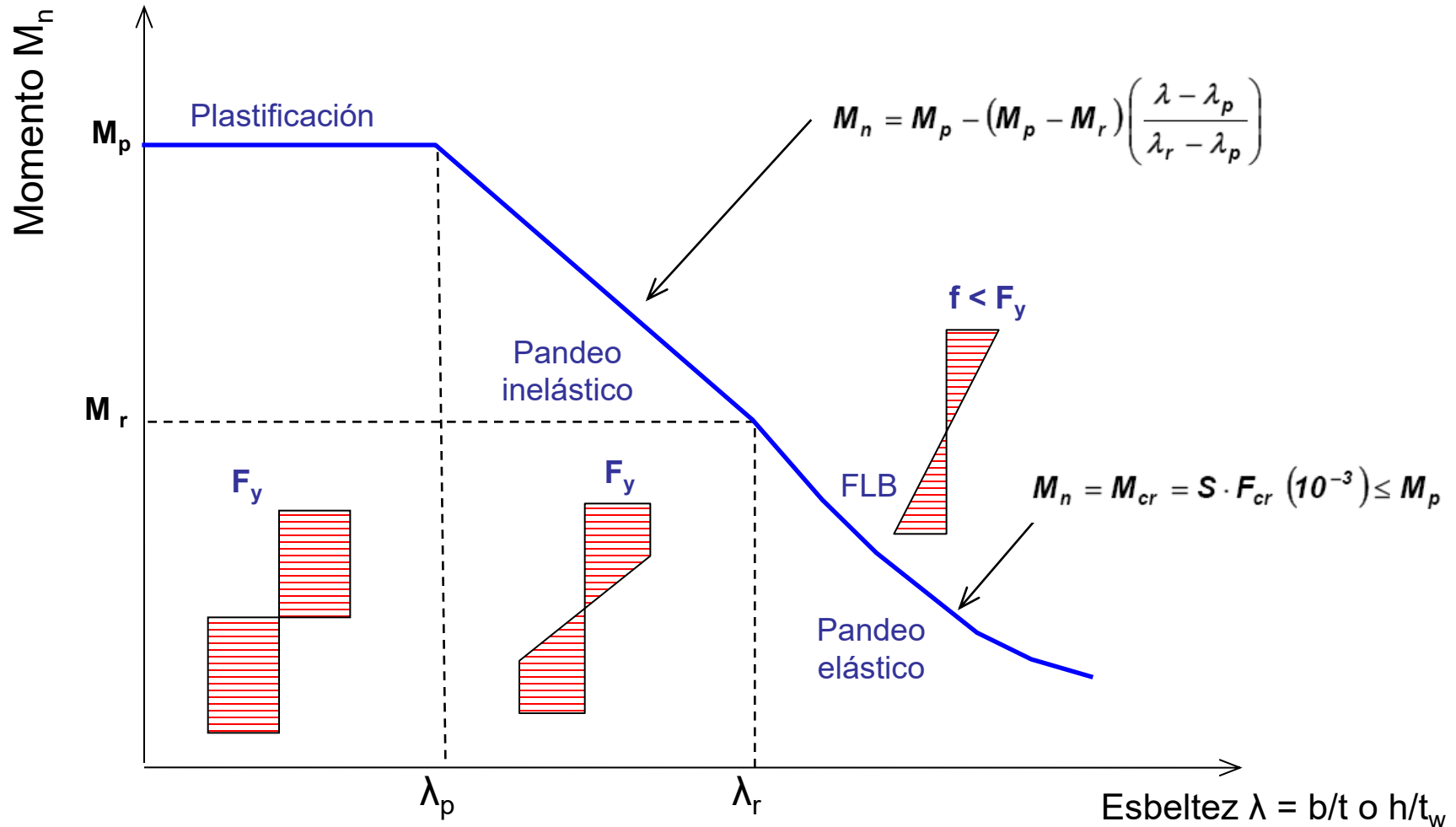


<https://aisc-org.github.io/aisc-model-viewer>



# ELU: Pandeo local de vigas. FLB y WLB

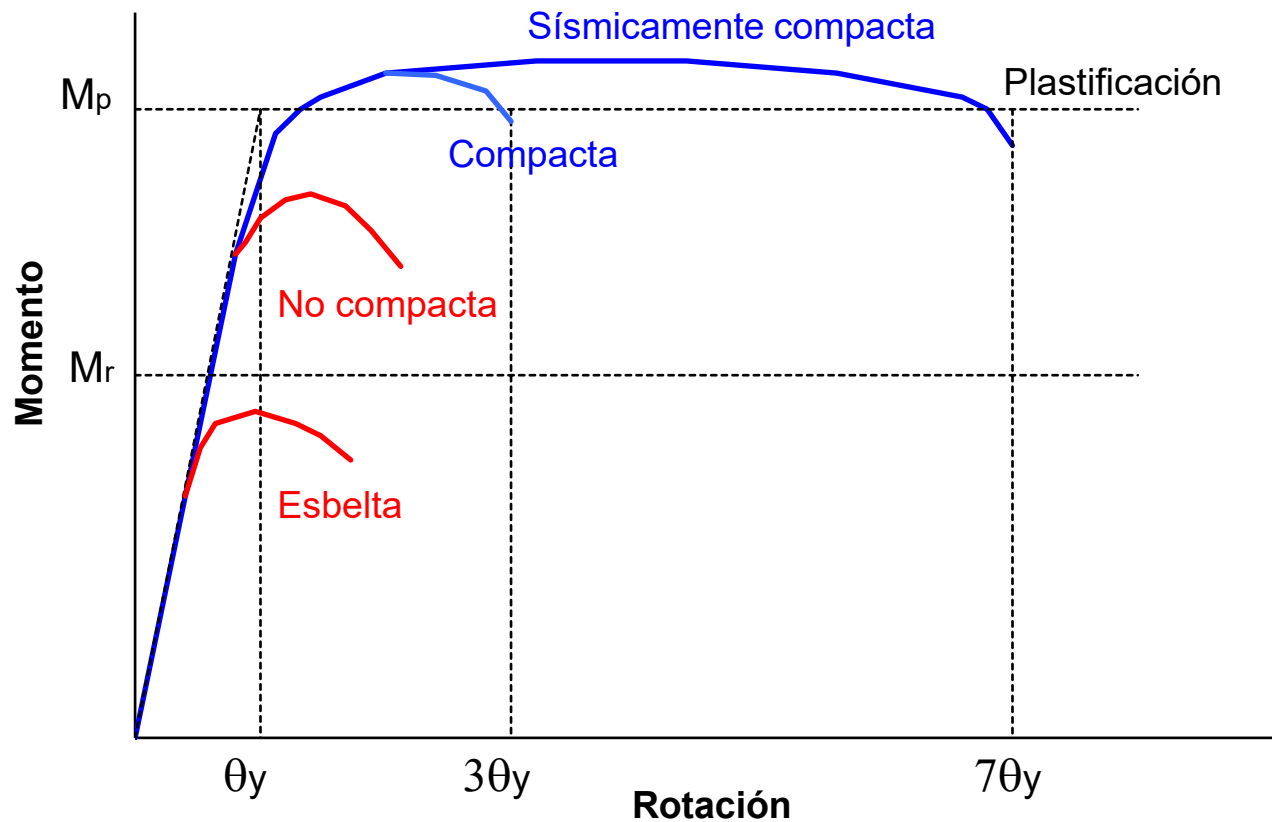
Criterio general para la consideración del pandeo local





# ELU: Pandeo local de vigas. FLB y WLB

La ocurrencia de fenómenos de pandeo local afecta la respuesta estructural, reduciendo el momento nominal como se indica en el diagrama Momento-Rotación de la figura:

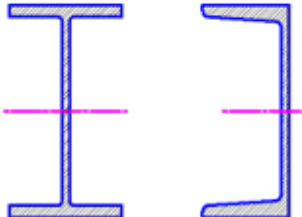
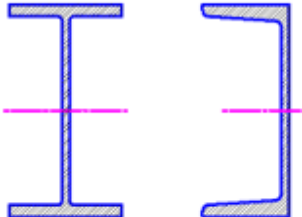
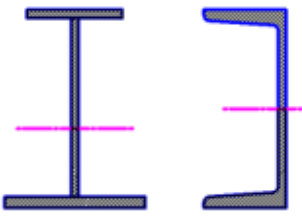
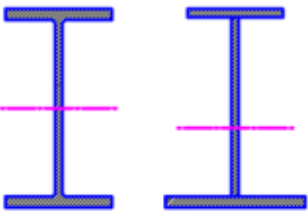
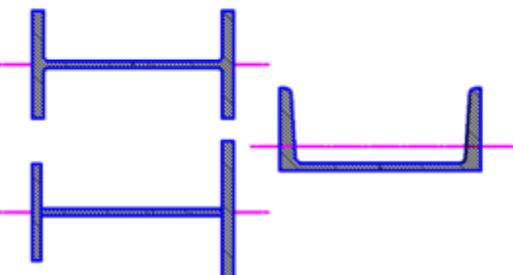


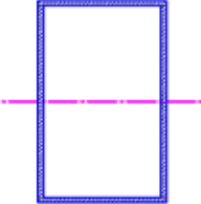
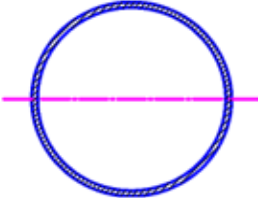
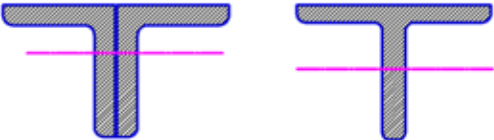
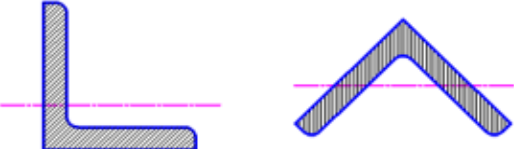
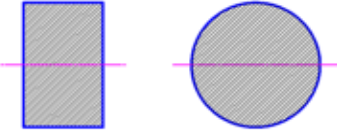


# ELU: Resumen según tipo de sección

A continuación, se presenta una tabla resumen donde se indican los 11 casos que se incluyen en el Capítulo F del CIRSOC 301-2018. Se indica en cada caso, el tipo de sección del miembro flexionado, la sección del reglamento, la esbeltez de ala y alma, y los estados límites últimos a considerar en la verificación.

En esta guía de estudio, se han presentado los aspectos conceptuales de los distintos estados límites últimos de flexión y las ecuaciones principales para la verificación. Los criterios detallados a aplicar en cada caso se describen en el Capítulo L del reglamento.

Sección Cap. F	Tipo de sección	Esbeltez del ala	Esbeltez del alma	Estados límites últimos
F.2		Compacta	Compacta	Plastificación Pandeo lateral-torsional
F.3		No compacta Esbelta	Compacta	Pandeo lateral-torsional Pandeo local de ala comprimida
F.4		Compacta No compacta Esbelta	Compacta No compacta	Fluencia de ala comprimida Pandeo lateral-torsional Pandeo local de ala comprimida Fluencia de ala traccionada
F.5		Compacta No compacta Esbelta	Esbelta	Fluencia de ala comprimida Pandeo lateral-torsional Pandeo local de ala comprimida Fluencia de ala traccionada
F.6		Compacta, No compacta, Esbelta	No aplica	Plastificación Pandeo local de ala

Sección Cap. F	Tipo de sección	Esbeltez del ala	Esbeltez del alma	Estados límites últimos
F.7		Compacta No compacta Esbelta	Compacta No compacta Esbelta	Plastificación Pandeo lateral-torsional Pandeo local de ala Pandeo local de alma
F.8		No aplica	No aplica	Plastificación Pandeo local
F.9		Compacta No compacta Esbelta	No aplica	Plastificación Pandeo lateral-torsional Pandeo local de ala Pandeo local de alma
F.10		No aplica	No aplica	Plastificación Pandeo lateral-torsional Pandeo local de ala
F.11		No aplica	No aplica	Plastificación Pandeo lateral-torsional
F.12	Secciones asimétricas	No aplica	No aplica	Fluencia (momento elástico) Pandeo lateral torsional Pandeo local



# Miembros sometidos a corte





# Miembros sometidos a corte

El reglamento plantea dos métodos diferentes para verificar la resistencia a corte:

- Método que no considera la resistencia poscrítica o pospandeo (Sección G.2). Este es el procedimiento que se utiliza más usualmente en la práctica
- Método que considera la resistencia poscrítica o acción de campo de tracción (Sección G.3). Este método se aplica a miembros de secciones doble T con rigidizadores transversales.



## Miembros sometidos a corte con almas no rigidizadas y rigidizadas (Sección G.2)

- Fluencia.
  - Pandeo local del alma.
- $$V_n = 0.6 F_{yw} A_w C_v (10^{-1})$$

Corte de diseño:  $V_d = \phi_v V_n$

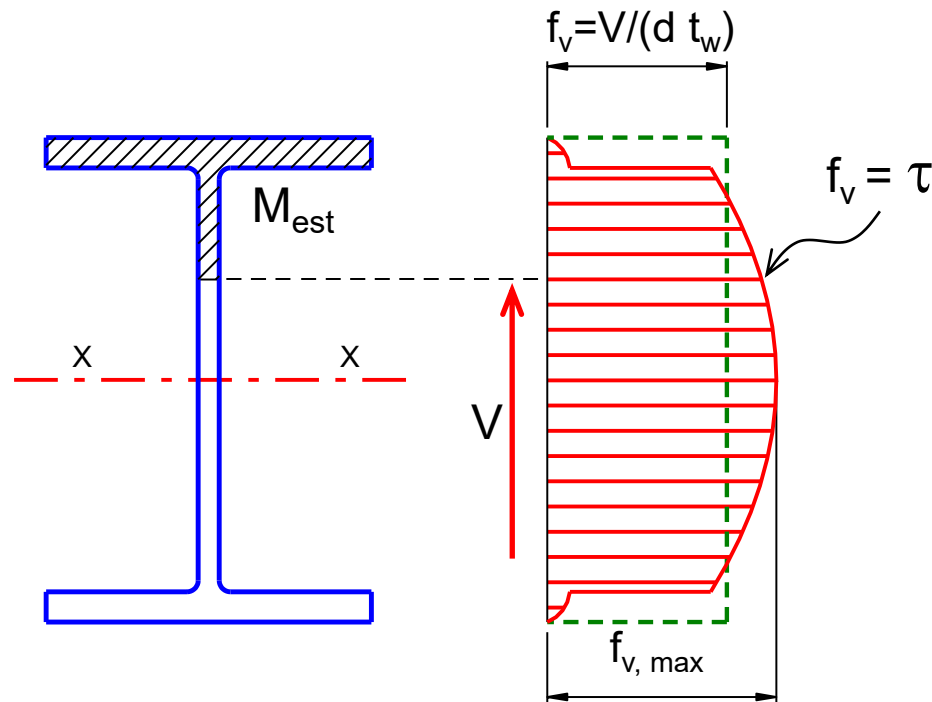
$$\phi_v = 0.90$$

$C_v$ : coeficiente de corte definido como la relación entre la tensión crítica de pandeo de alma y la tensión de fluencia.

En secciones típicas de acero, el esfuerzo de corte es resistido principalmente por el alma de la sección.

Distribución tensiones de corte (según Fórmula de Jouravski)

$$f_v = \tau = V M_{est} / (I_x b)$$

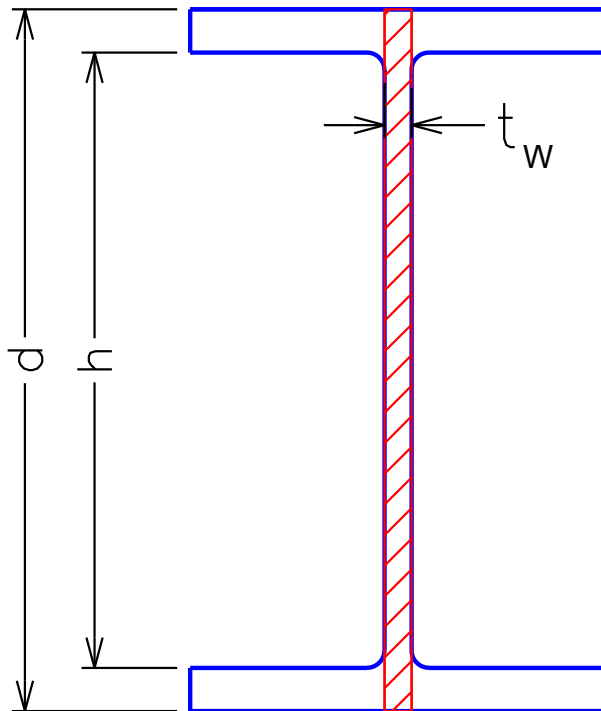


## Resistencia nominal de fluencia por corte s/CIRSOC

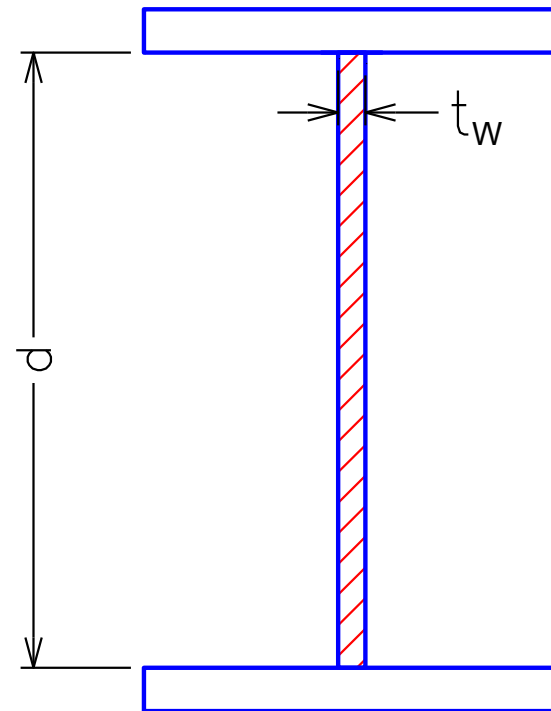
$$V_n = V_y = 0.6 F_{yw} A_w (10^{-1})$$

$$A_w = d t_w$$

$0.6 F_{yw}$  es la tensión de fluencia por corte, según el criterio de falla de von Mises, que indica que la fluencia en un metal dúctil comienza cuando la **energía de distorsión** en el material alcanza el mismo valor que en un ensayo uniaxial de tracción en el punto de fluencia.



Perfil laminado

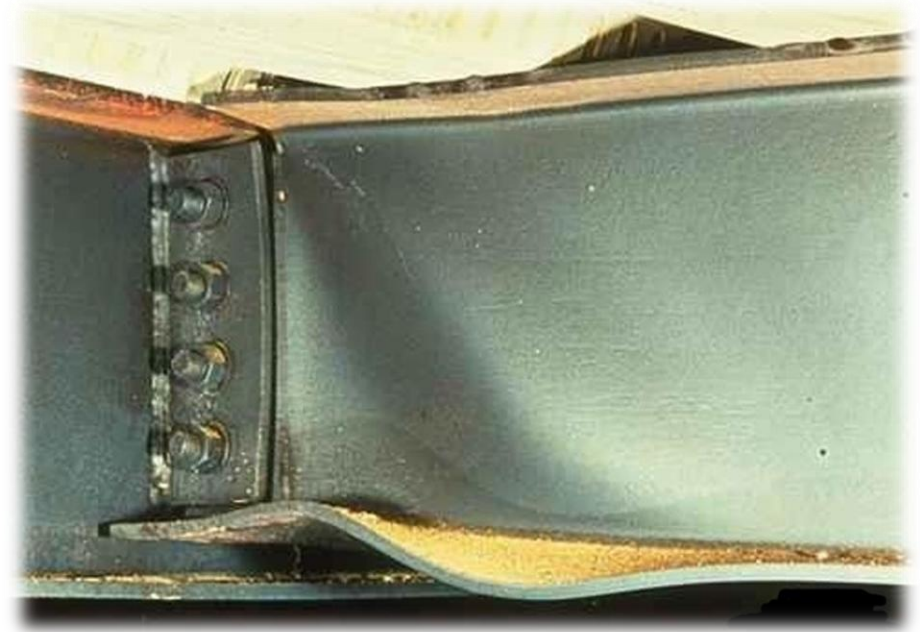
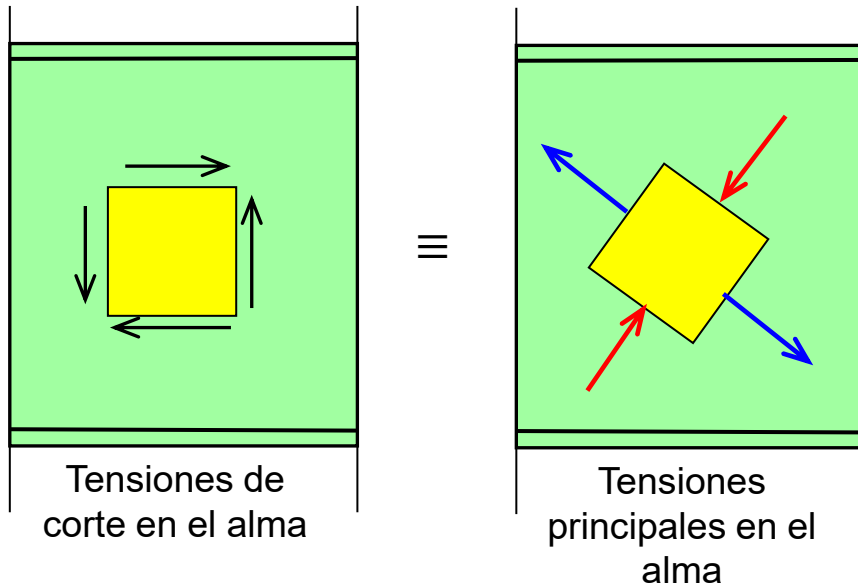


Sección armada,  $d=h$ .

# ELU: Pandeo local del alma por corte

El esfuerzo de corte, resistido principalmente en el alma, origina tensiones principales de tracción y compresión. Éstas últimas pueden producir el pandeo local o abollamiento de la placa

Este estado límite último controla la verificación a corte cuando la  $h/t_w$  del alma supera un cierto valor.



Pandeo local de alma por corte en el extremo de una viga

La verificación del pandeo local del alma por corte depende si la viga tiene o no rigidizadores.

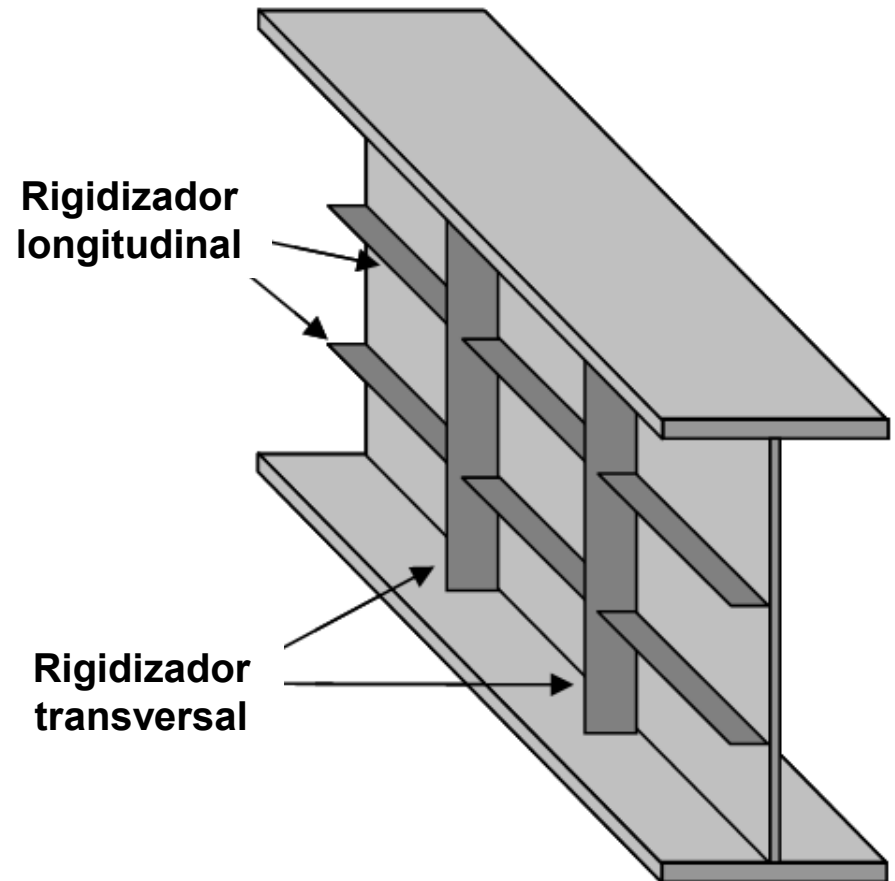
Los rigidizadores son chapas verticales que se sueldan al alma de la viga y a una o a las dos alas, y se disponen con una separación  $a$ .



El uso de rigidizadores permite diseñar vigas con almas de mayor esbeltez porque aumentan la resistencia al pandeo local del alma, pero no modifica la resistencia a fluencia por corte (dado que el área del alma,  $A_w$ , es la misma)

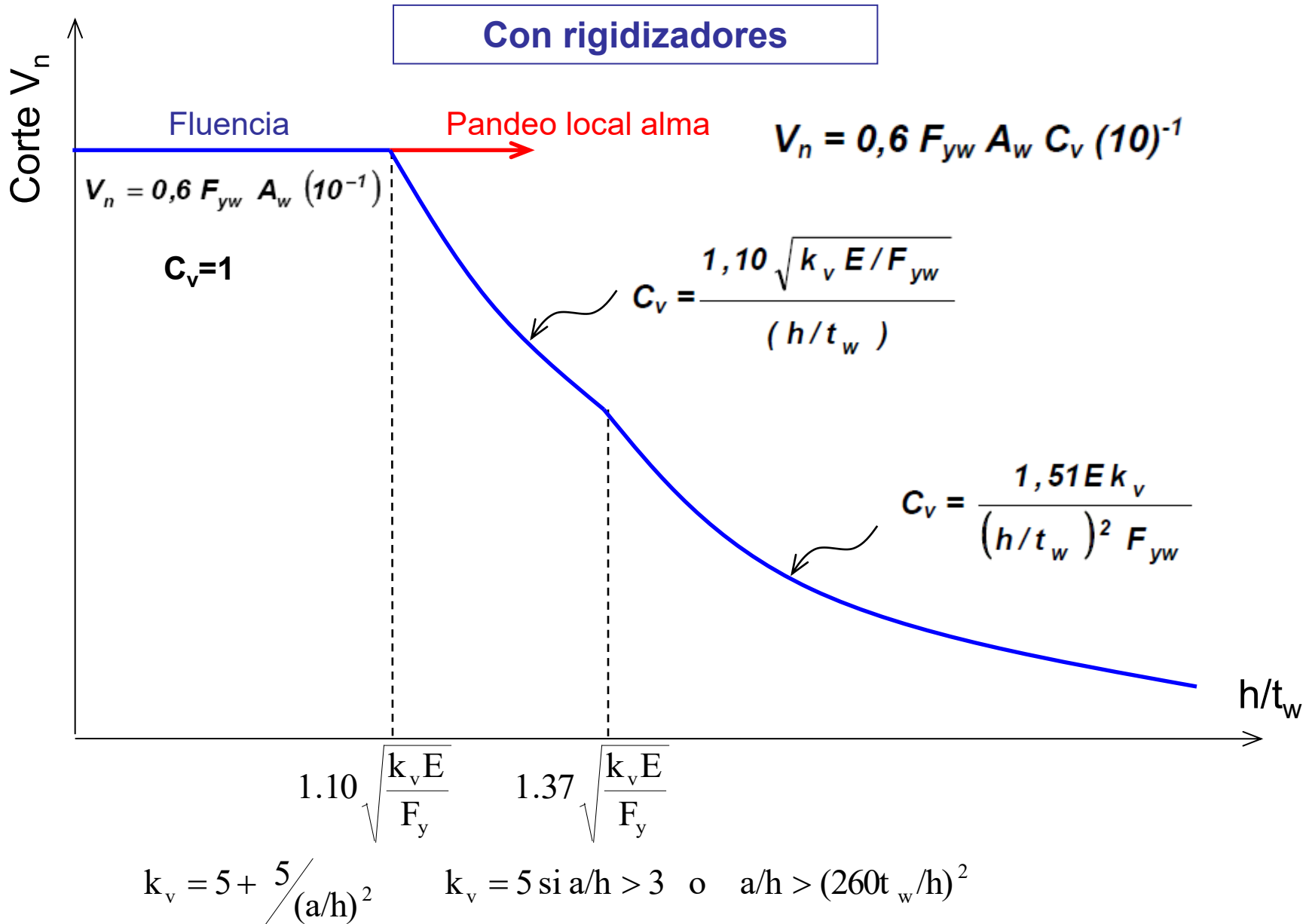
El reglamento CIRSOC 301 considera solamente el caso de rigidizadores de alma dispuestos transversalmente (este es el caso más usual en la práctica)

Sin embargo, en algunas aplicaciones especiales como como vigas de grandes luces con alma esbelta, se pueden disponer rigidizadores transversales y longitudinales en forma combinada. De esta forma se mejora la resistencia al pandeo local del alma, no solo por corte, sino también por flexión.





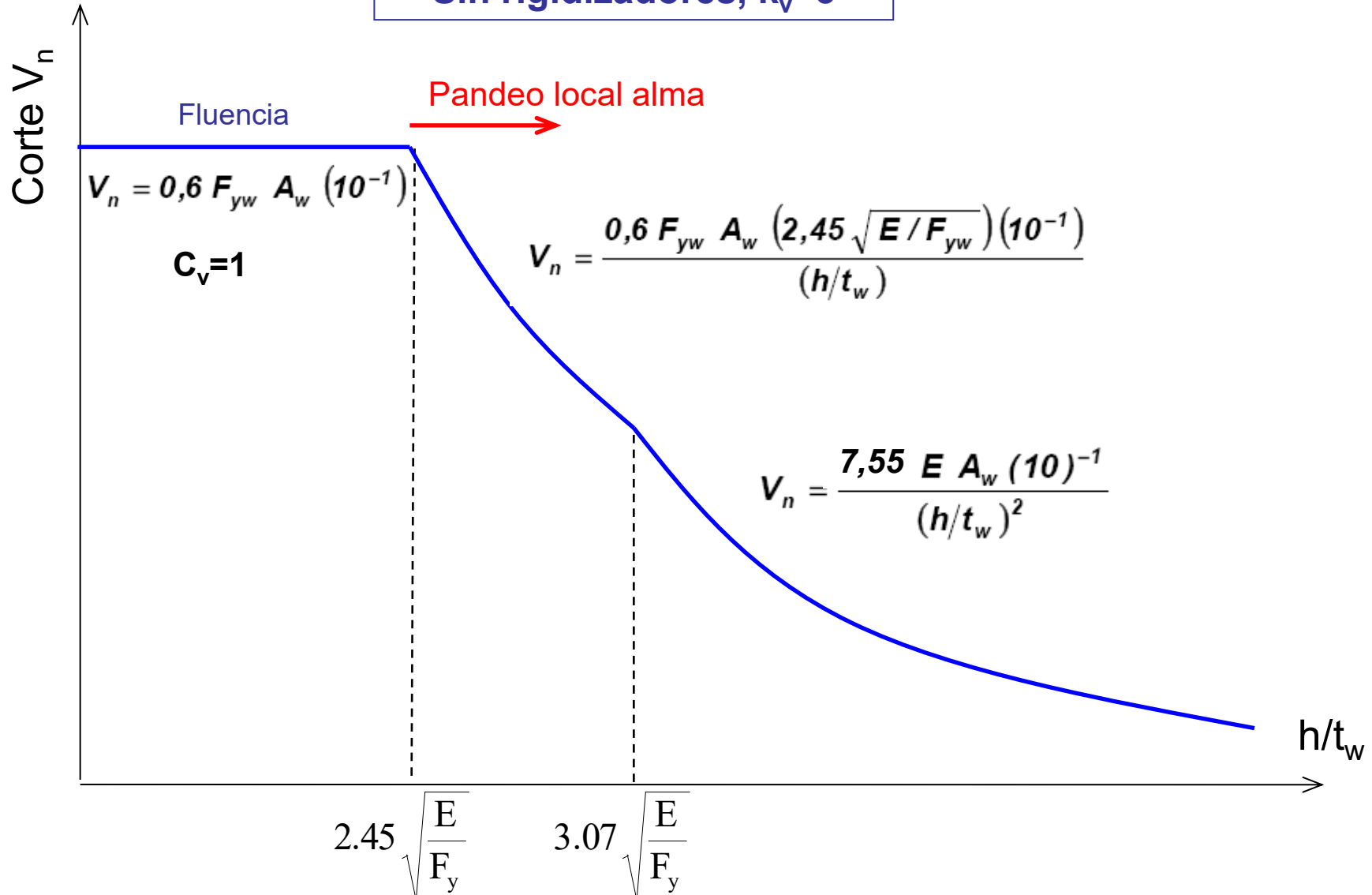
# ELU: Fluencia y pandeo local por corte





# ELU: Fluencia y pandeo local por corte

Sin rigidizadores,  $k_v=5$





Los rigidizadores no son necesarios:

- cuando  $h/t_w \leq 2,45 \sqrt{E / F_{yw}}$  ,
- ó
- donde  $V_u \leq 0,6 \phi_v A_w F_{yw} C_v (10^{-1})$

$C_v$  es el coeficiente de corte, calculado para  $k_v=5$ .

Si no se usan rigidizadores, en las ecuaciones se usa siempre  $k_v=5$ .



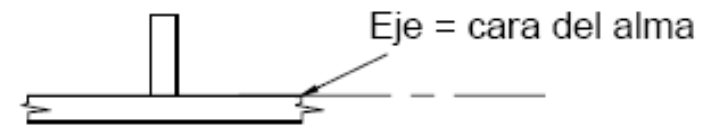
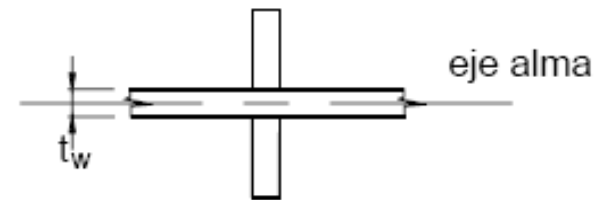
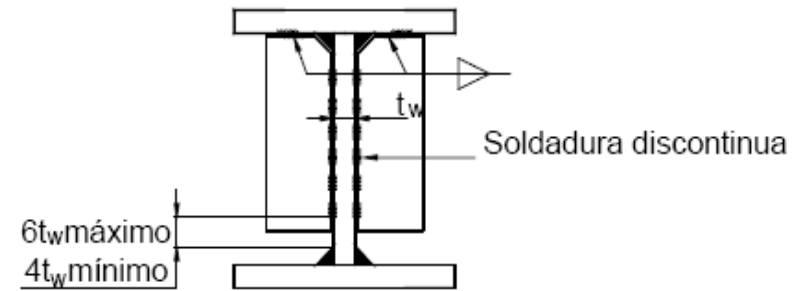
## Requerimientos para rigidizadores:

El momento de inercia de los rigidizadores (simples o dobles) deberá cumplir:

$$I_{st} \geq a t_w^3 j$$

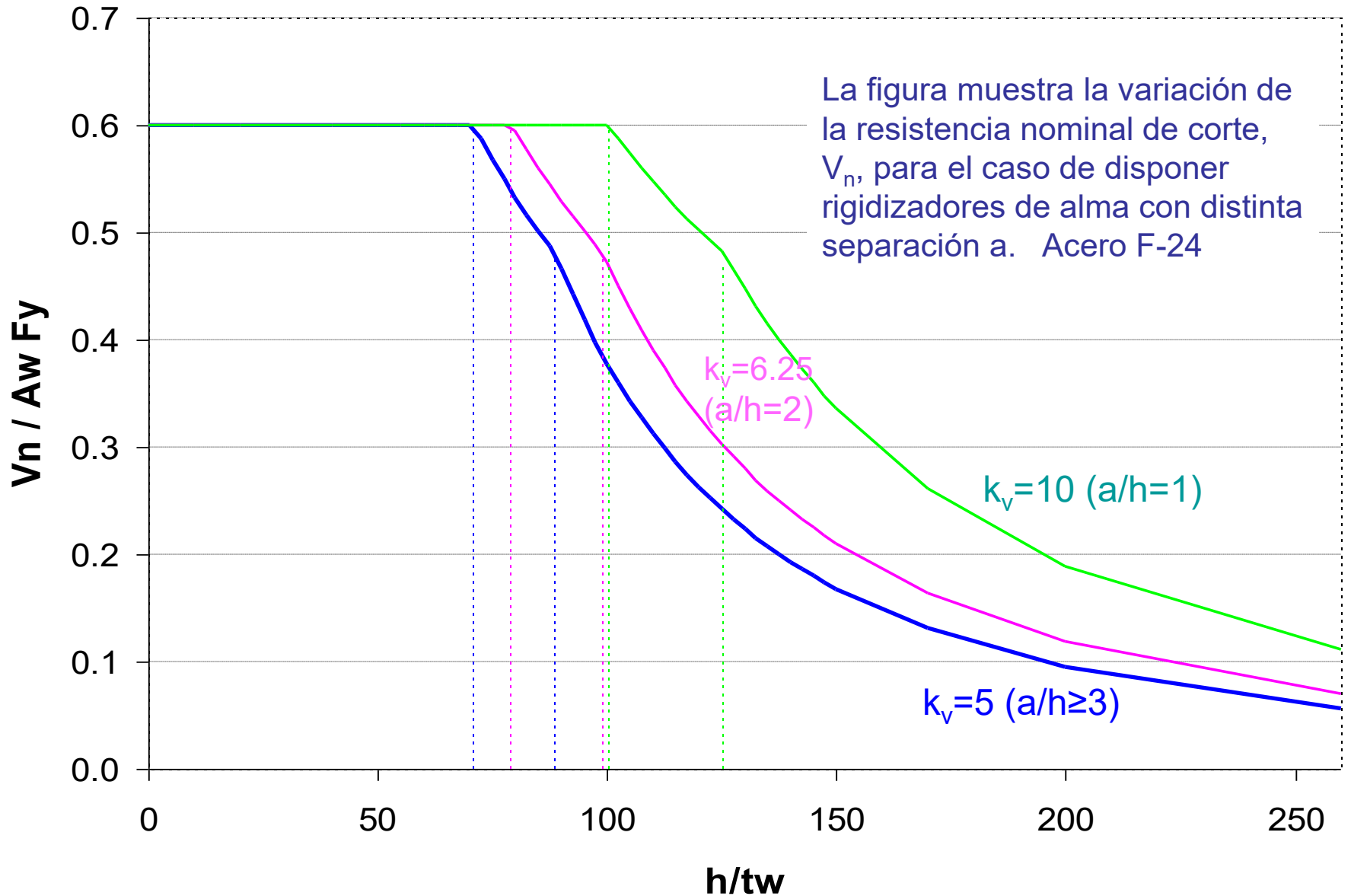
$$j = \frac{2,5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 \geq 0,5$$

Los rigidizadores intermedios podrán terminar a una cierta distancia del ala traccionada, siempre que no sea necesario transmitir a través de ellos cargas concentradas o reacciones de apoyo, en cuyo caso deberán unirse al ala traccionada.





# ELU: Fluencia y pandeo local por corte





# Corte – Casos particulares

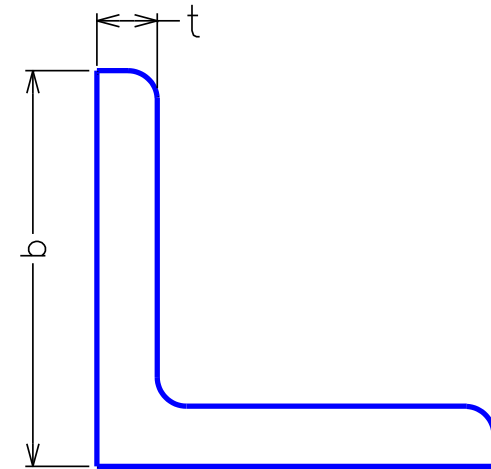
**Ángulos simples:** la verificación se realiza utilizando las ecuaciones generales indicadas previamente, considerando:

b: el ancho del ala que resiste la fuerza de corte

t: espesor del ala

$$h/t_w = b/t$$

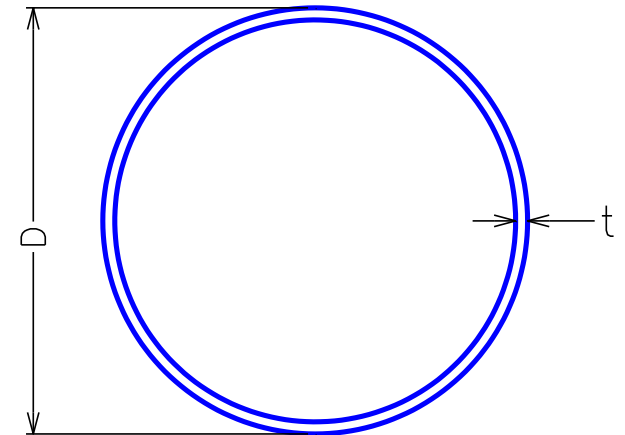
$$k_v = 1.2$$



**Tubos circulares:** la resistencia nominal a corte se determina como:

$$V_n = F_{cr} (A_g/2) (10)^{-1}$$

donde  $F_{cr}$  se determina en función de la relación diámetro-espesor  $D/t$  (ver Sección G.5)

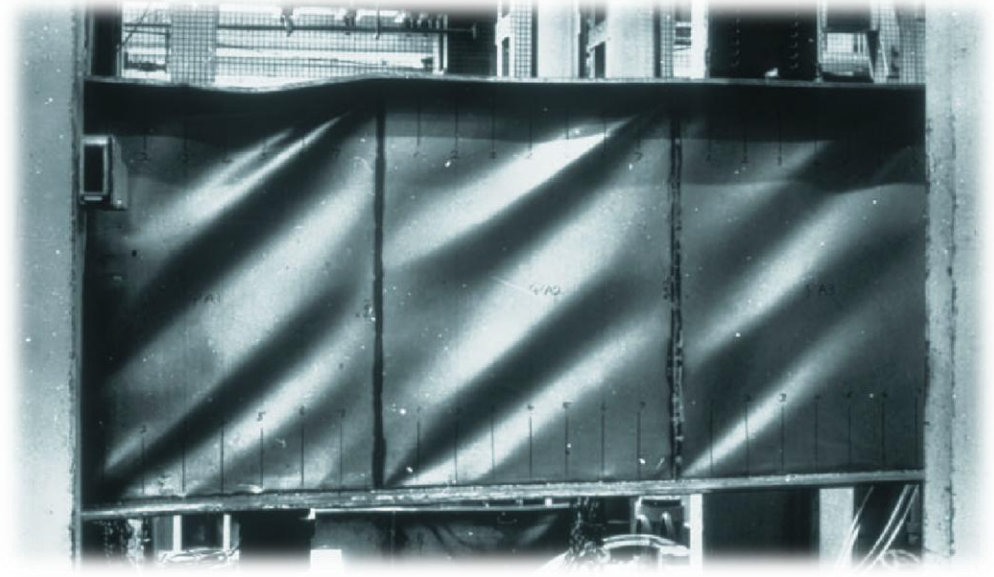




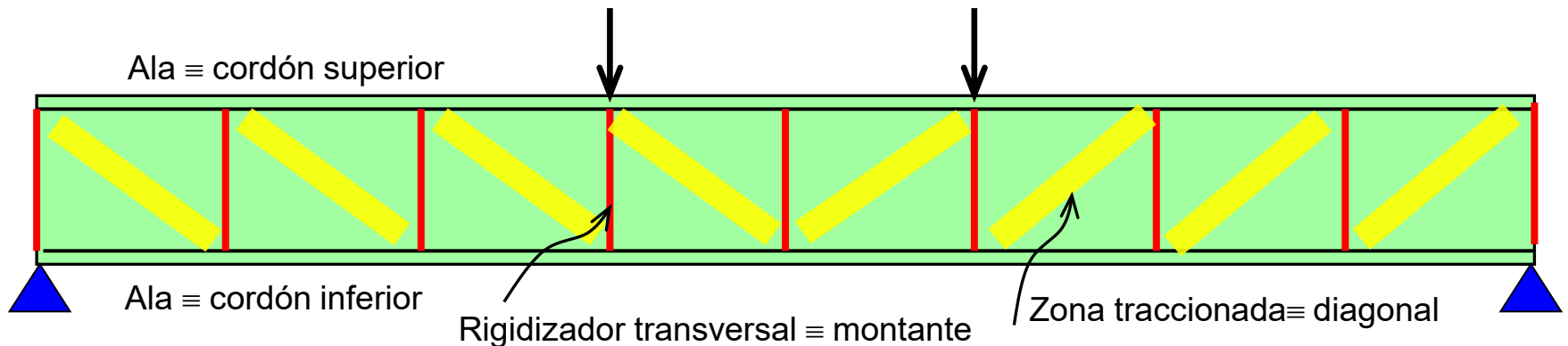
# Corte – Acción de campo de tracción

La acción de campo de tracción, como mecanismo de resistencia a corte, se considera cuando el alma pandea y la placa desarrolla comportamiento post-crítico (aumento de resistencia).

Si se disponen rigidizadores transversales en el alma, la viga puede analizarse mediante la analogía del reticulado equivalente (Sección G.3):



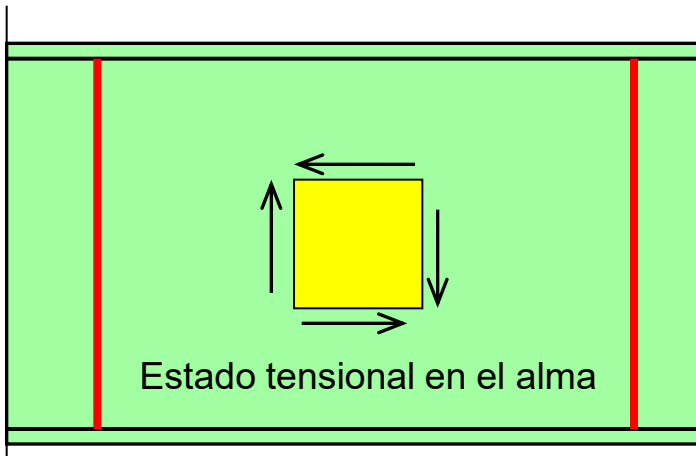
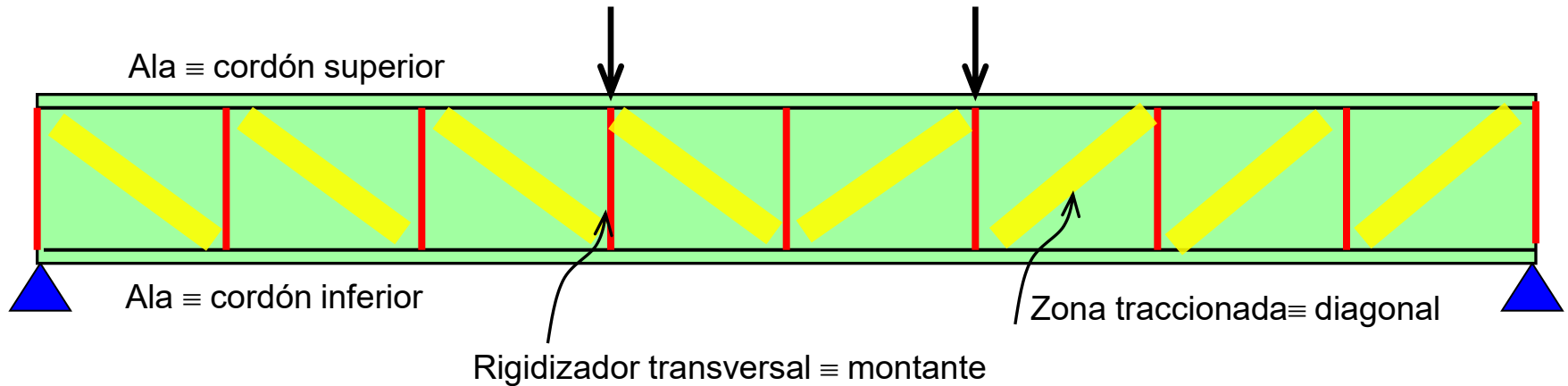
Placas láminas. Instituto Técnico de la Estructura de Acero, ITEA.





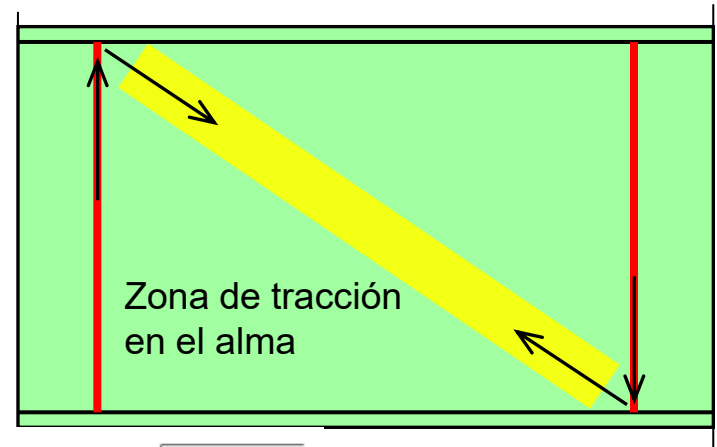
# Corte – Acción de campo de tracción

## Analogía del reticulado equivalente



$$\frac{h}{t_w} > 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$$

$$V_n = 0,6 A_w F_{yw} \left( C_v + \frac{1 - C_v}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) (10^{-1})$$



$$C_v = \frac{1,10 \sqrt{k_v E / F_{yw}}}{h / t_w}$$

$$C_v = \frac{1,51 E k_v}{\left( \frac{h}{t_w} \right)^2 F_{yw}}$$

$$1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \leq \frac{h}{t_w}$$

$$\frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$$



# Estados límites de servicio





El reglamento CIRSOC 301-2018 define **estado límite de servicio** como la condición límite que afecta la capacidad de la estructura con un uso normal para conservar el aspecto, el mantenimiento, la durabilidad, el confort de los ocupantes o el buen funcionamiento de equipos.

Los estados límites de servicio se verifican con combinaciones de acciones propias para esos estados (ver Sección B.2.3 del reglamento), en la que las acciones de servicio se consideran con la intensidad esperada para un uso normal de la estructura durante la vida útil de la misma (en general se considera como tal la acción nominal).

$$(D + F) + (\Sigma L_i \text{ ó } W \text{ ó } T) \quad (\text{B.2.8})$$

$$(D + F) + 0,7 [(\Sigma L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\Sigma L_i + T)] \quad (\text{B.2.9})$$

$$(D + F) + 0,6 \Sigma L_i + 0,6 W + 0,6 T \quad (\text{B.2.10})$$

siendo:

$$\Sigma L_i = [L + H + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)] \quad (\text{B.2.11})$$



Las condiciones de servicio se verificarán utilizando combinaciones de acciones nominales (sin mayorar) comparando con valores límites adoptados para cada caso:

$$S_{\text{ser}} \leq S_{\text{lim}}$$

Por ejemplo, para una viga se controla que la flecha máxima (determinada por análisis estructural) no exceda el valor límite reglamentario (Tabla L3.1 del reglamento):

$$f_{\text{max}} \leq L/n$$

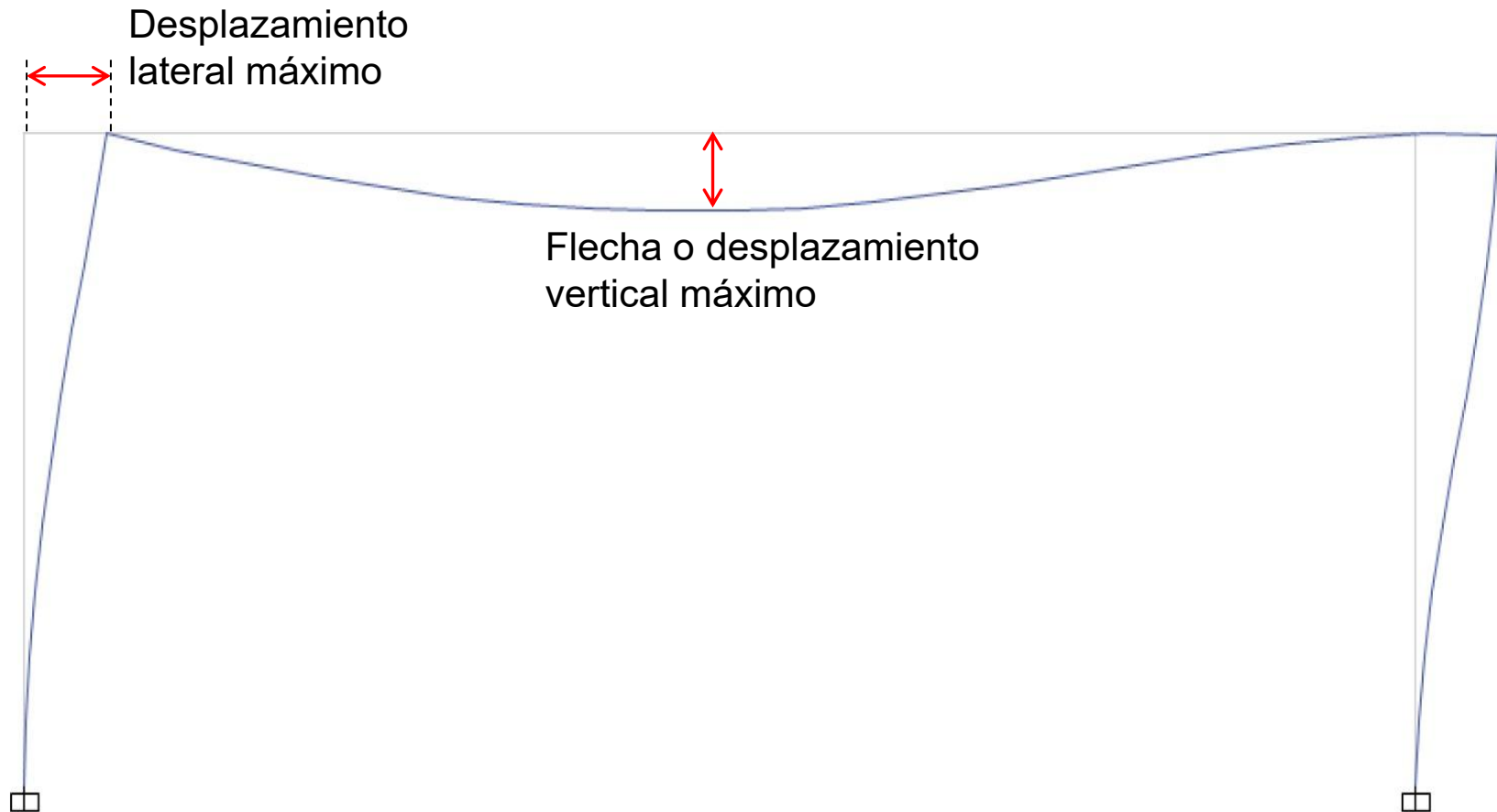
También se deben controlar los desplazamientos laterales por viento y sismo (INPRES-CIRSOC 103, Parte I):

$$d_{\text{max}} \leq L/n$$

Es responsabilidad del diseñador considerar requerimientos especiales de cada caso particular, por ejemplo, en vigas de grandes luces o estructuras que soportan equipos sensibles.



## Ejemplo: pórtico biempotrado bajo cargas gravitatorias y sismo





**Tabla L3.1: valores límites para deformaciones y desplazamientos**

Desplazamiento vertical máximo:

$$f_{\text{máx}} = f - f_0$$

$f_0$ : contraflecha

Para ménsulas,  $L = 2$  veces la longitud del voladizo.

EDIFICIOS INDUSTRIALES				
	Elemento	Flecha total	Flecha por carga variable	
			debida a:	Valor
Deformaciones verticales	Miembros soportando cubiertas rígidas	L/200	Sobrecarga Útil	L/240
	Miembros soportando cubiertas flexibles	L/150	Sobrecarga Útil	L/180
	Miembros soportando pisos	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Vigas carril para grúas de capacidad $\geq 200 \text{ kN}$		Rueda sin impacto	L/800 <sup>(e)</sup>
	Vigas carril para grúas de capacidad $< 200 \text{ kN}$		Rueda sin impacto	L/600 <sup>(e)</sup>
Desplazamiento lateral <sup>(d)</sup>	Vigas carril		Frenado transversal	L/600 <sup>(e)</sup>
	Desplazamiento de columnas con respecto a la base por acción de viento	H/150	Viento	H/160
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de puente grúa		Frenado puente Grúa	H/400 <sup>(e)</sup>
PARA OTROS EDIFICIOS				
Deformaciones verticales	Cubiertas y techos en general	L/200	Sobrecarga Útil	L/250
	Cubiertas y techos con carga frecuente de personas (no mantenimiento)	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Pisos en general	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Miembros de pisos o techos que soporten elementos y revestimientos susceptibles de fisuración	L/300	Sobrecarga Útil	L/350
	Pisos que soporten columnas	L/400	Sobrecarga Útil	L/500
	Donde la deformación puede afectar el aspecto	L/250		
Desplazamiento lateral <sup>(d)</sup>	Desplazamiento total del edificio referido a su altura total		Viento	$H_T/300$
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones no tienen provisiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	$H_p/400$
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones tienen provisiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	$H_p/300$



## Vibraciones de pisos

En la verificación de **vigas, vigas armadas y vigas de reticulado** que forman la estructura de soporte de pisos se deberá considerar el efecto de la vibración debida a la circulación de personas, salto o baile de personas en forma rítmica, funcionamiento de maquinarias o equipos, o a otras causas, para evitar que produzca incomodidad en los ocupantes, daños en los revestimientos y/o equipamientos, o resonancia. Ello será especialmente considerado cuando los pisos son de grandes superficies sin tabiques divisorios u otros medios de amortiguamiento.

El reglamento no especifica los criterios ni ecuaciones para realizar esta verificación.



# Solicitaciones combinadas





## Flexión simple:

$$M_x \neq 0, \quad M_y = 0, \quad P = 0$$

$$M_x = 0, \quad M_y \neq 0, \quad P = 0$$

## Flexión biaxial o desviada:

$$M_x \neq 0, \quad M_y \neq 0, \quad P = 0$$

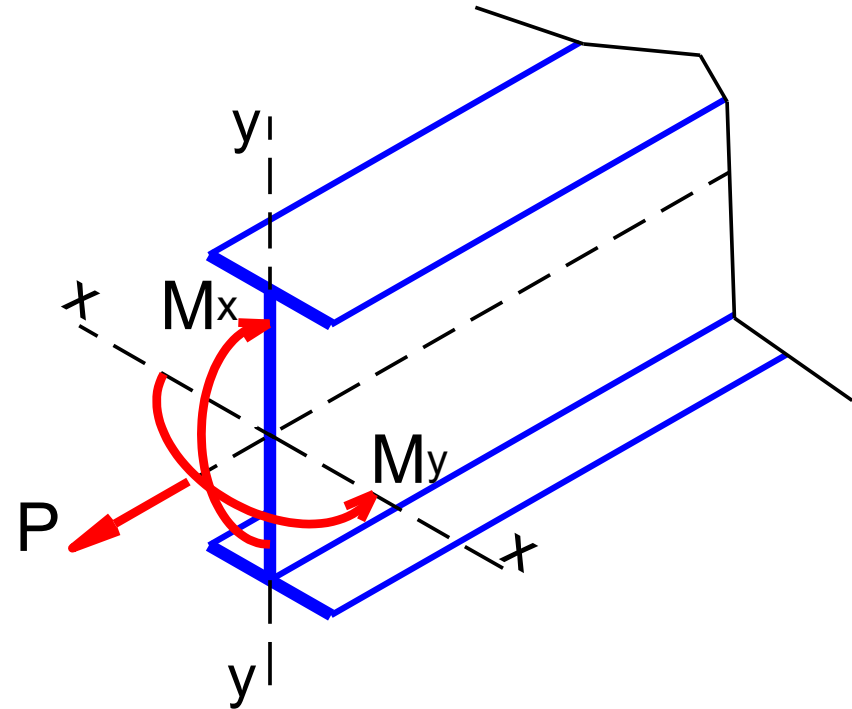
## Flexión compuesta (plana o simple):

$$M_x \neq 0, \quad M_y = 0, \quad P \neq 0$$

$$M_x = 0, \quad M_y \neq 0, \quad P \neq 0$$

## Flexión compuesta oblicua:

$$M_x \neq 0, \quad M_y \neq 0, \quad P \neq 0$$



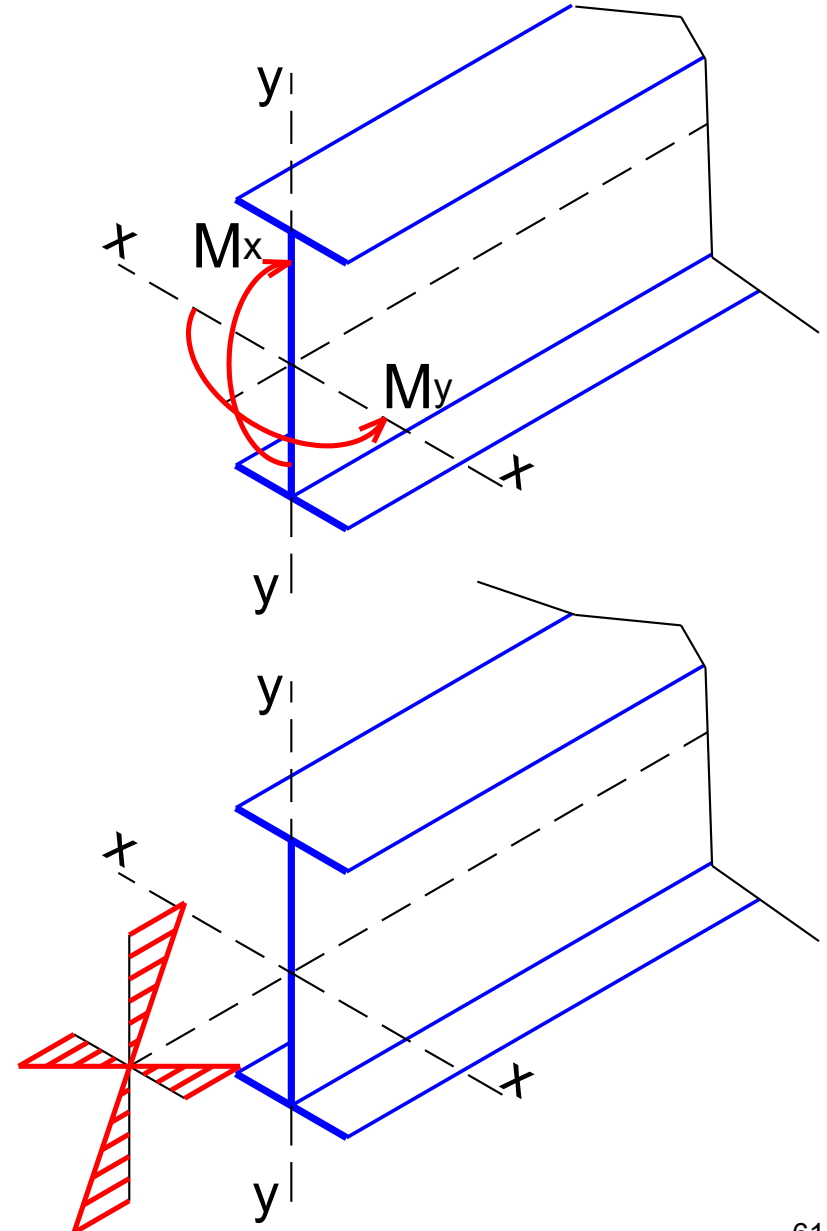


**Flexión biaxial:**

**$M_x \neq 0$ ,  $M_y \neq 0$ ,  $P = 0$**

Criterio de verificación s/CIRSOC 301,  
Cap. H:

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0$$

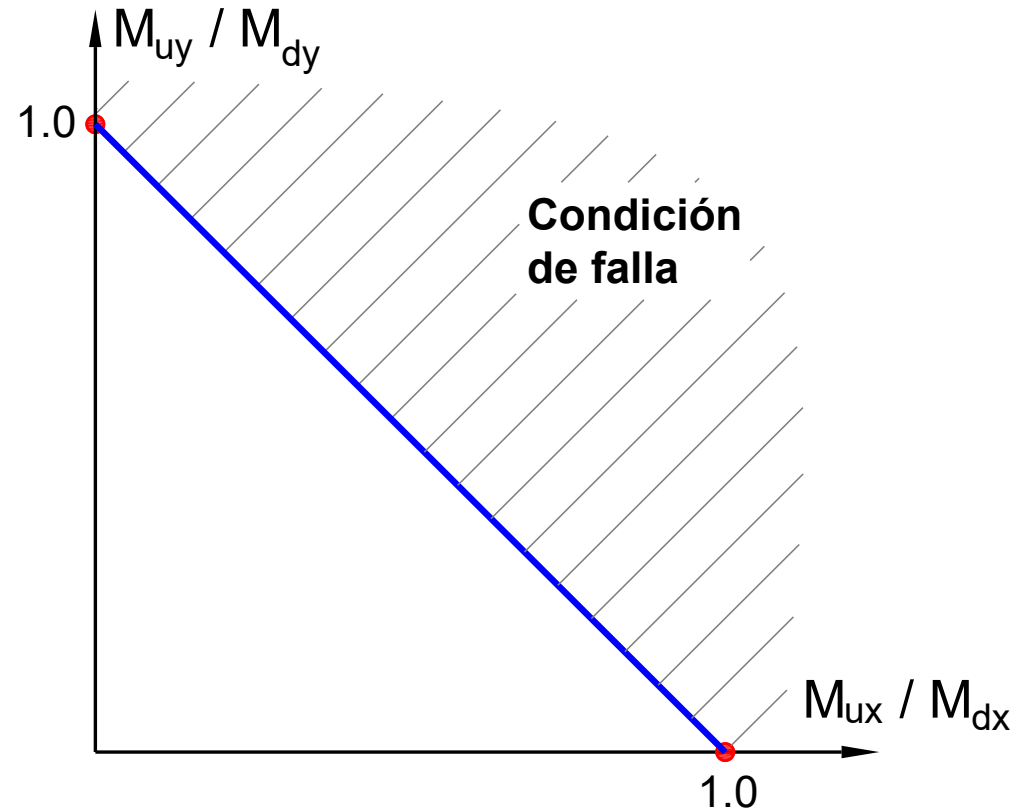




## Flexión biaxial:

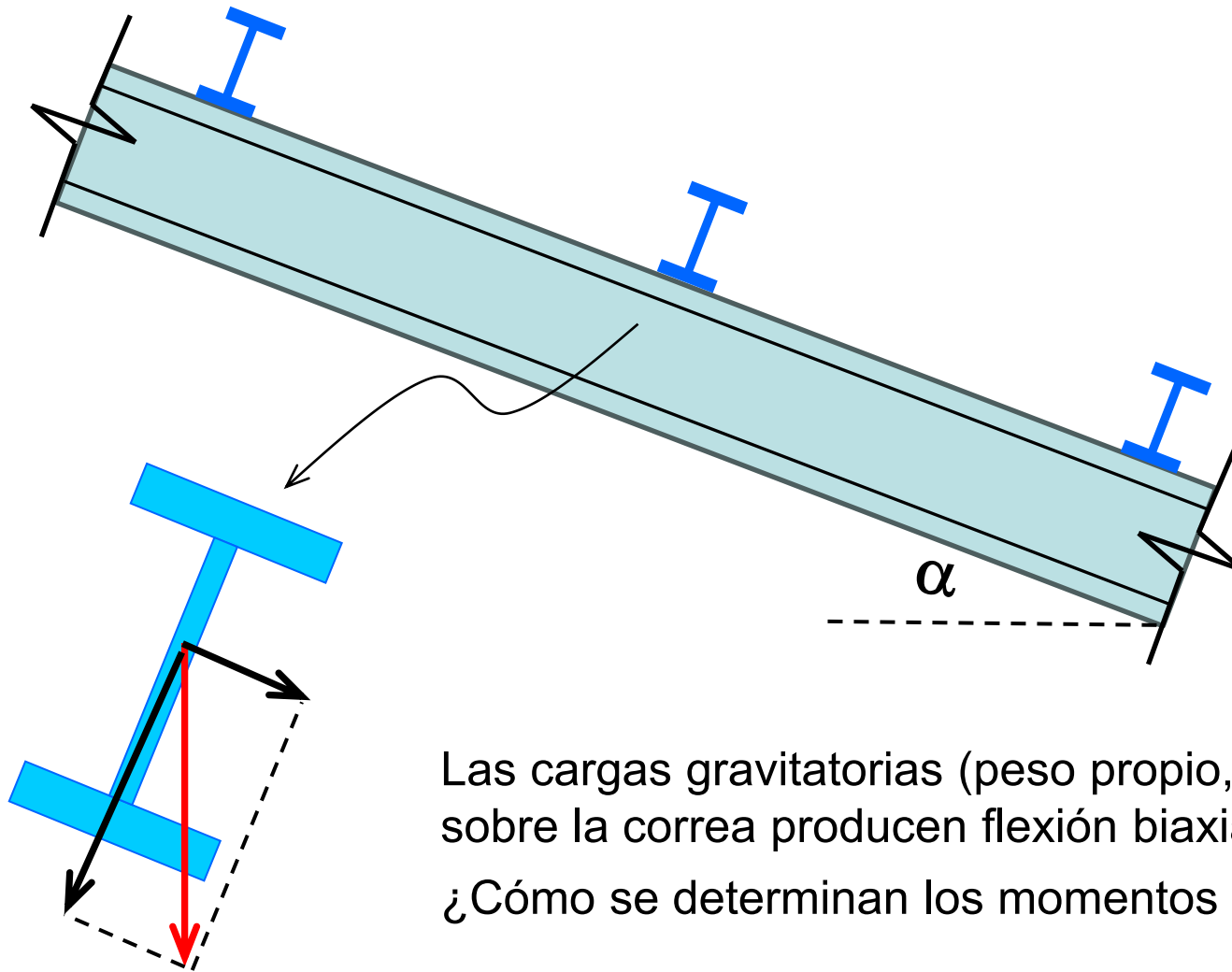
$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0$$

La figura muestra la representación gráfica de la ecuación reglamentaria que corresponde a una interacción lineal entre la flexión según los dos ejes principales de la sección.





## Ejemplo de flexión biaxial: correa en una cubierta inclinada



Las cargas gravitatorias (peso propio, nieve) sobre la correa producen flexión biaxial.

¿Cómo se determinan los momentos flectores?