

APLICACIÓN CIRSOC 301-EL

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

Capítulo F

Apéndice A-F

07/08/2007

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

Prescripciones y temas relacionados:

- Capítulo B: REQUERIMIENTOS DE PROYECTO
 - B.1 y B.2: Área bruta y área neta
 - B.5: Pandeo local
 - B.6: Restricciones al giro de apoyos
 - B.8: Elementos simplemente apoyados
 - B.9: Empotramientos
 - B.10: Dimensionamiento de vigas y vigas armadas
- Apéndice B: REQUERIMIENTOS DE PROYECTO
 - A-B.5: Pandeo local: clasificación, secciones con elementos esbeltos.
- Capítulo C: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTABILIDAD

.....

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN



.....

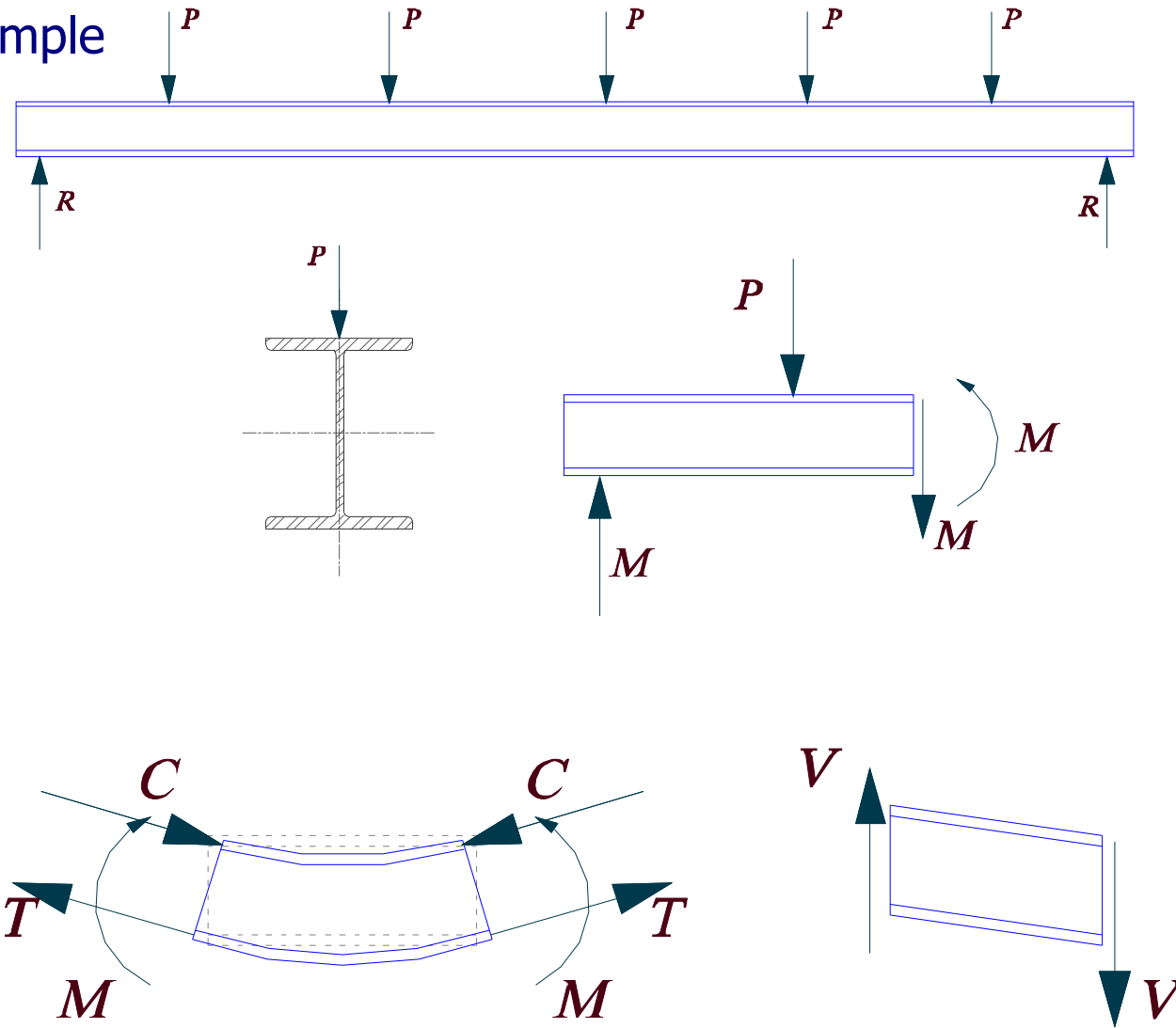
- **Capítulo F y Apéndice F: VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN**
- **Capítulo y Apéndice G: VIGAS DE ALMA ESBELTA**
- **Capítulo H: ESFUERZOS COMBINADOS**
- **Capítulo K: FUERZAS CONCENTRADAS, ACUMULACIÓN DE AGUA Y FATIGA**

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

- COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN SIMPLE DE UNA VIGA
- ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN
 - Plastificación y fluencia de la sección
 - Pandeo local del ala
 - Pandeo local del alma
 - Pandeo lateral torsional de la barra
 - Comportamiento a corte: plástico y abollamiento
- VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA
 - Capacidad resistente a flexión
 - Capacidad resistente a corte, con acción de campo a tracción
 - Rigidizadores transversales
 - Interacción de flexión y corte

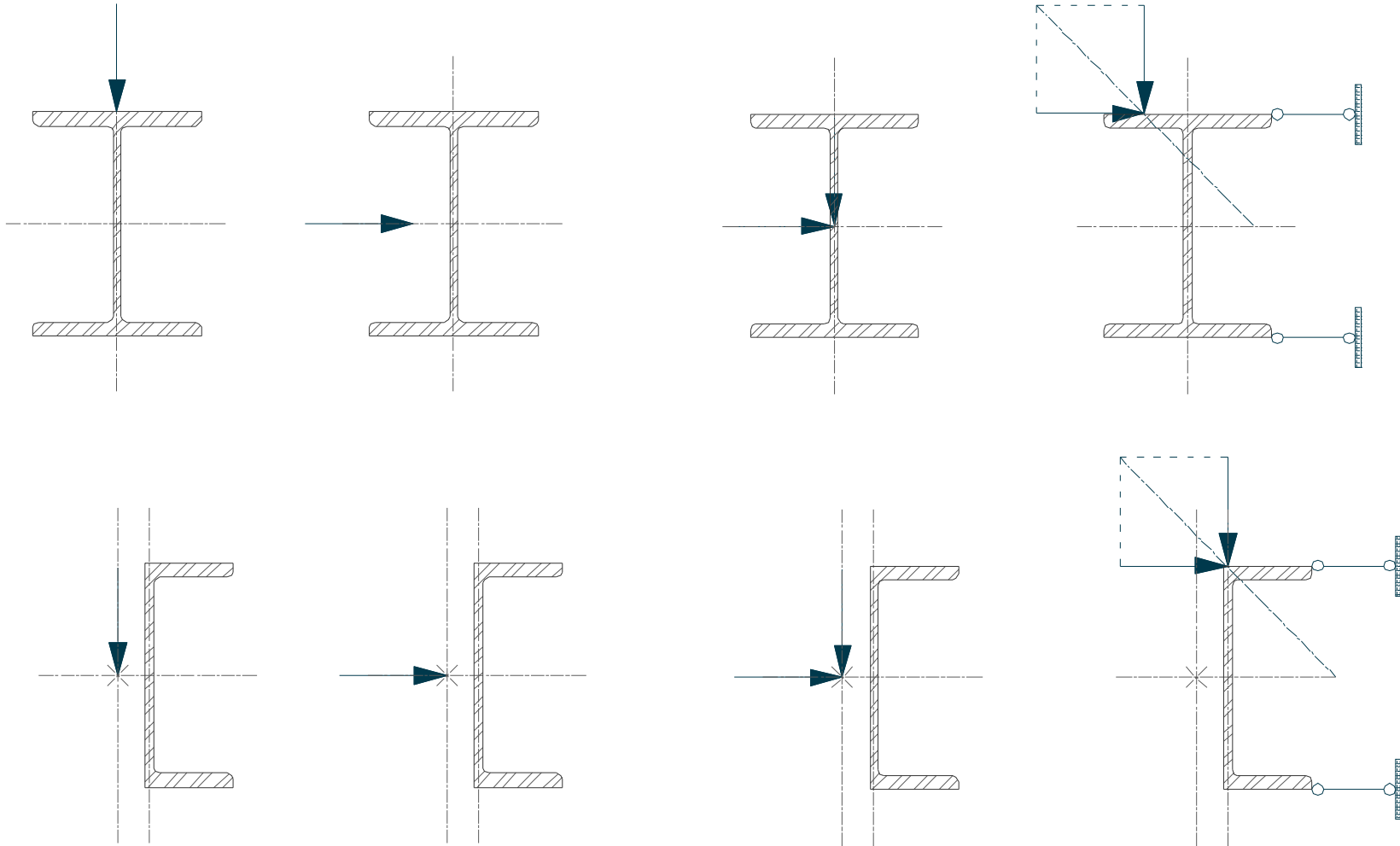
COMPORTAMIENTO SIMPLE DE UNA VIGA

Flexión simple



COMPORTAMIENTO SIMPLE DE UNA VIGA

- Flexión simple: restricción lateral para aplicar la teoría de flexión simple



CONDICIONES DE PROYECTO o DISEÑO

• CONDICIÓN DE RESISTENCIA o CAPACIDAD DE LA VIGA

+ En FLEXIÓN:

$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n$$

+ En CORTANTE

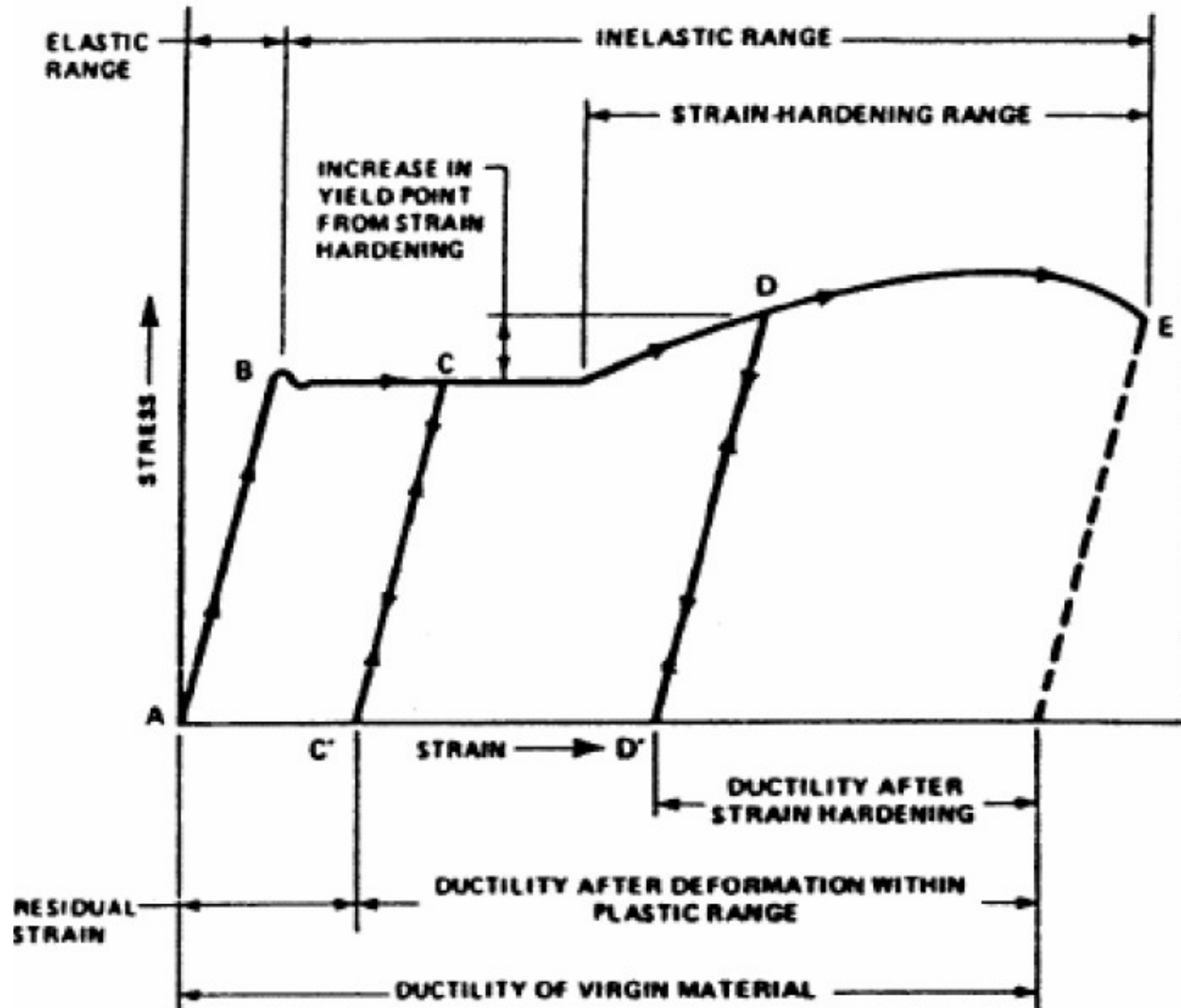
$$V_u \leq \phi_v \cdot V_n$$

• CONDICIÓN DE RIGIDEZ o DEFORMACIONES

$$\Delta_{serv} \leq \Delta_{adm} \cong \frac{L}{nnnn}$$

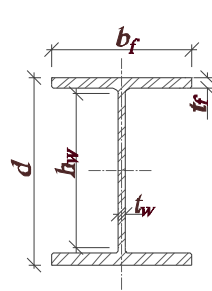
ESTADO LÍMITE DE VIGA EN FLEXIÓN

- Relación esfuerzo/deformación del acero con cargas monotónicas



ESTADOS LÍMITE DE VIGA EN FLEXIÓN

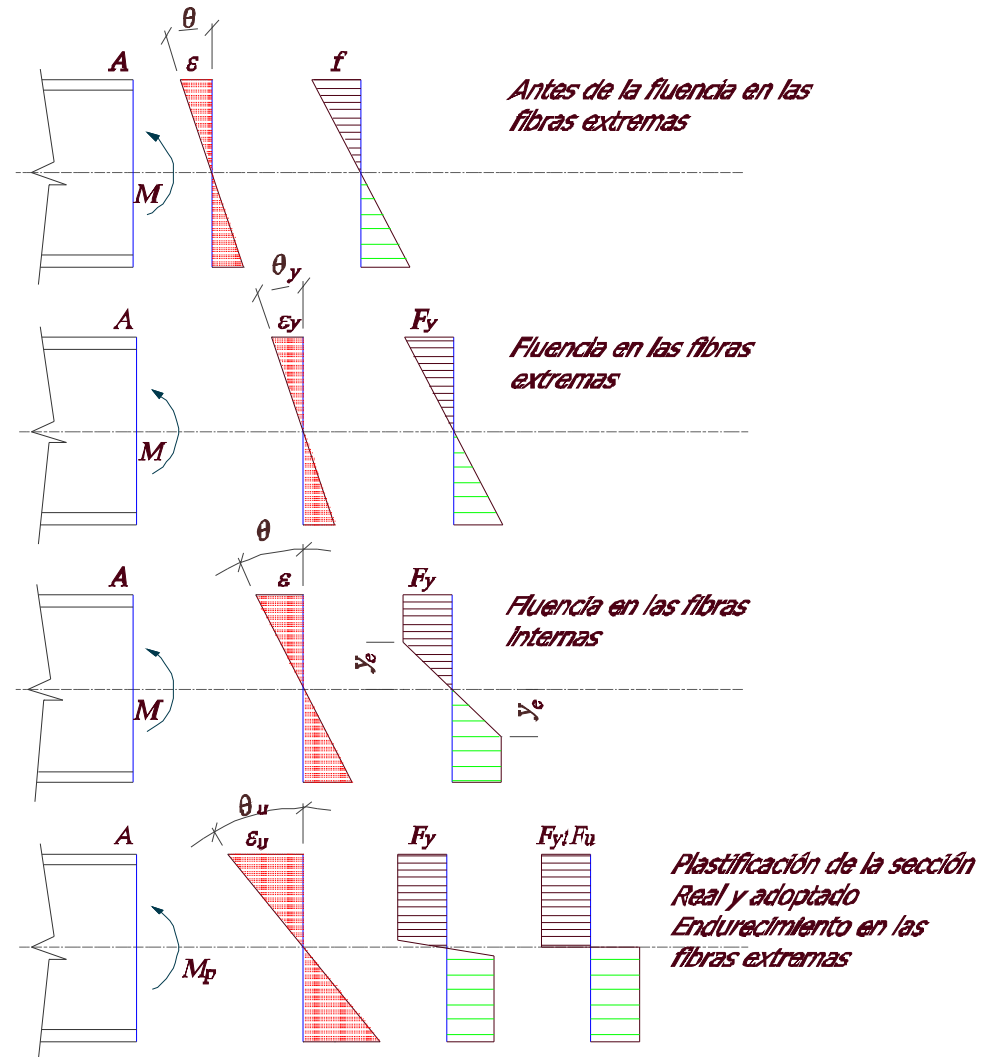
Comportamiento de la sección flexada



$$M_y = S_x \cdot F_y$$

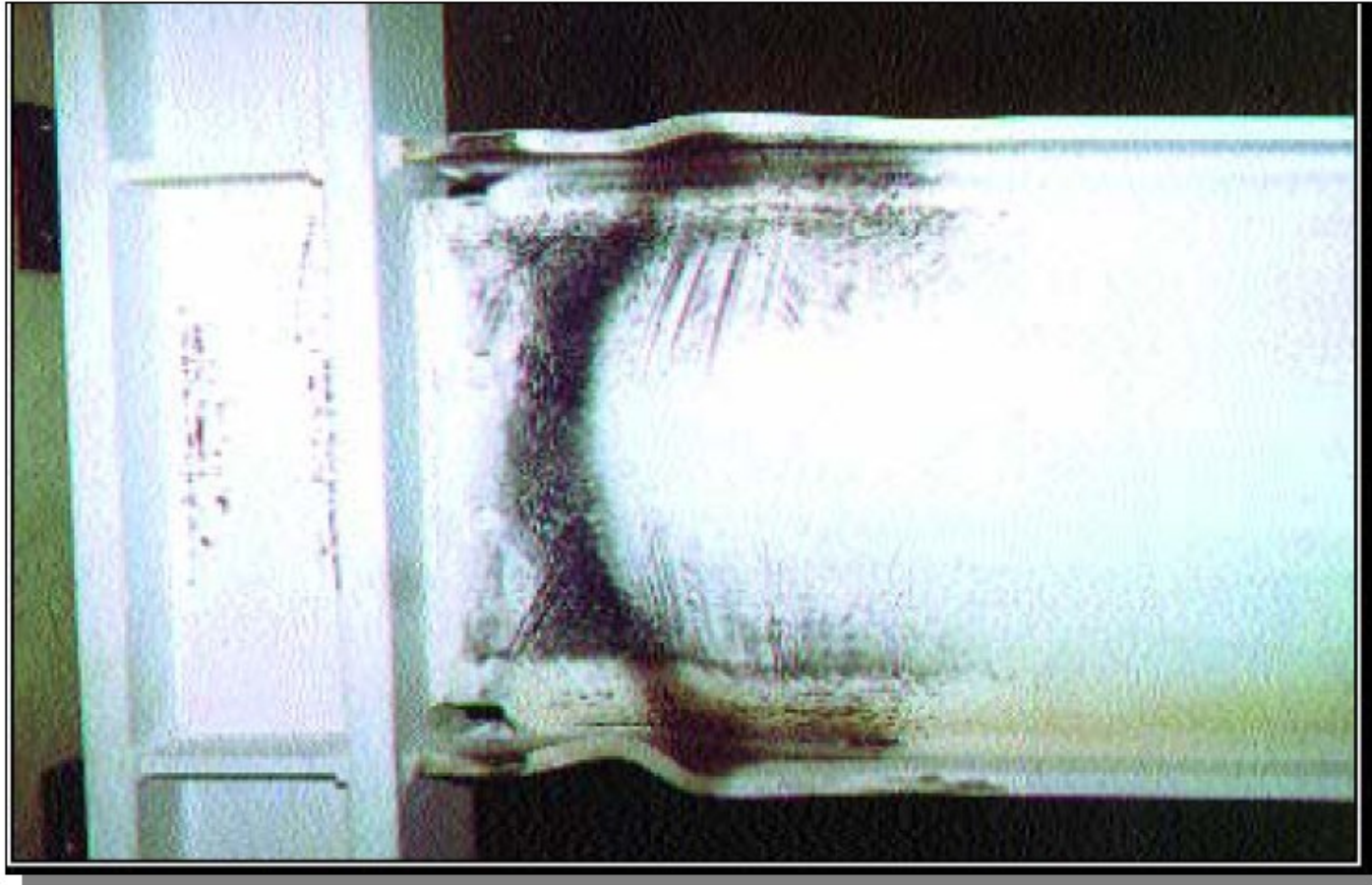
$$M_p = Z_x \cdot F_y$$

$$k_f = M_p / M_y$$



ESTADOS LÍMITES DE VIGA EN FLEXIÓN

- Formación de la rótula plástica



ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

● Ductilidad seccional

Ensayo de perfil W en laboratorio

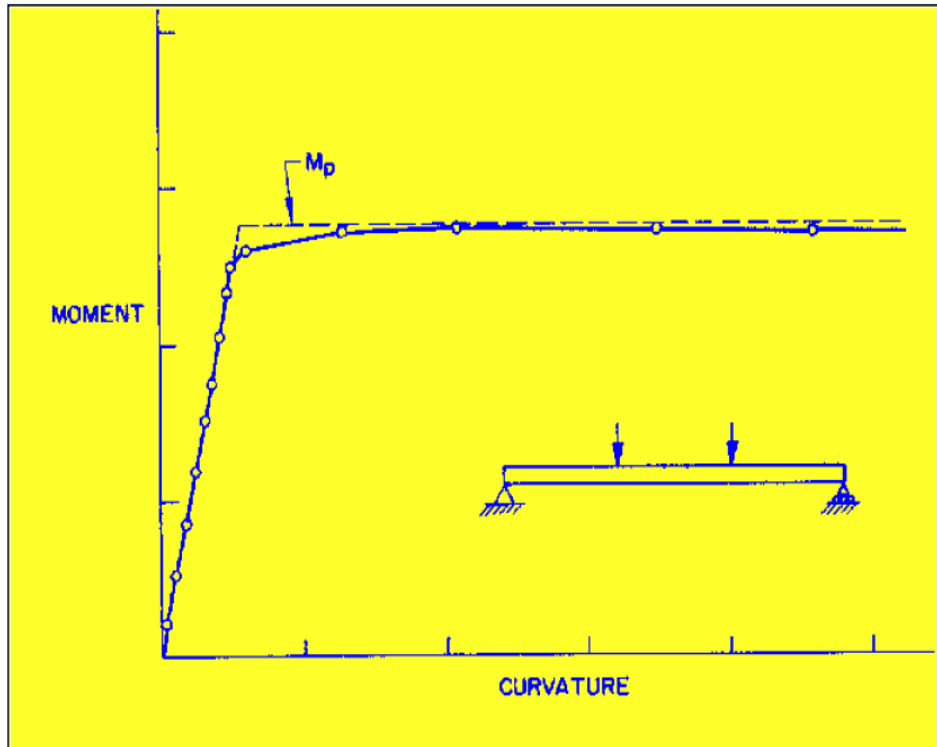
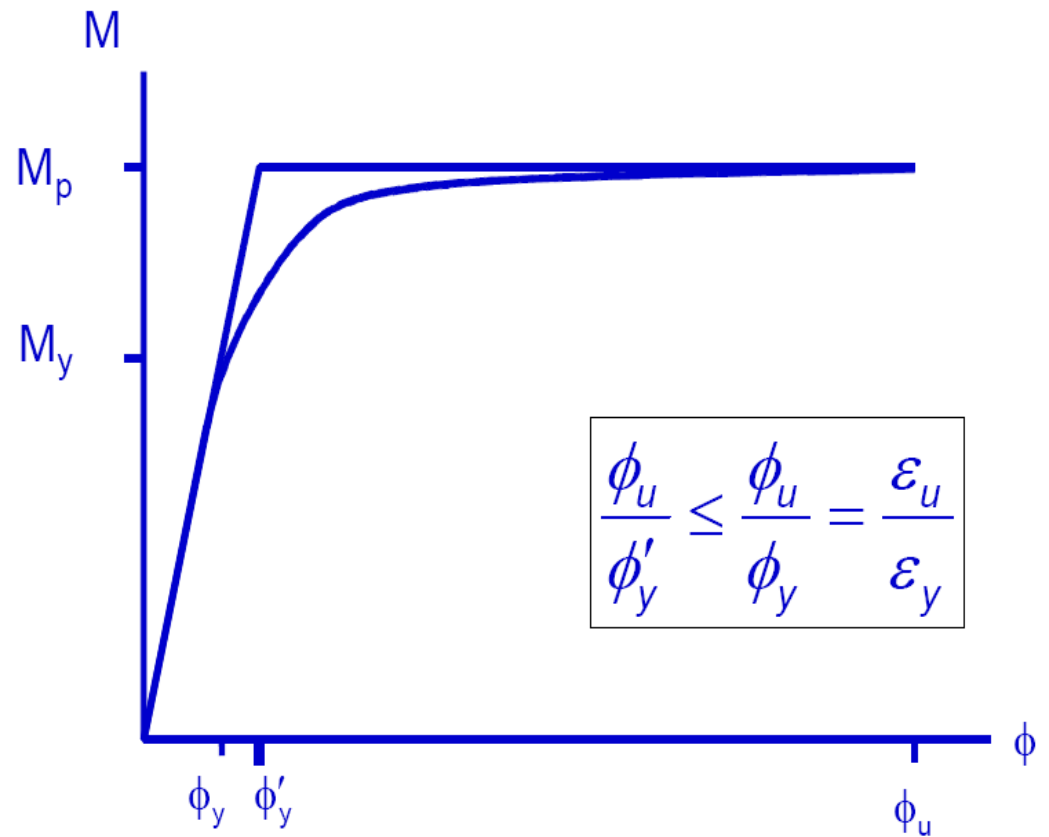
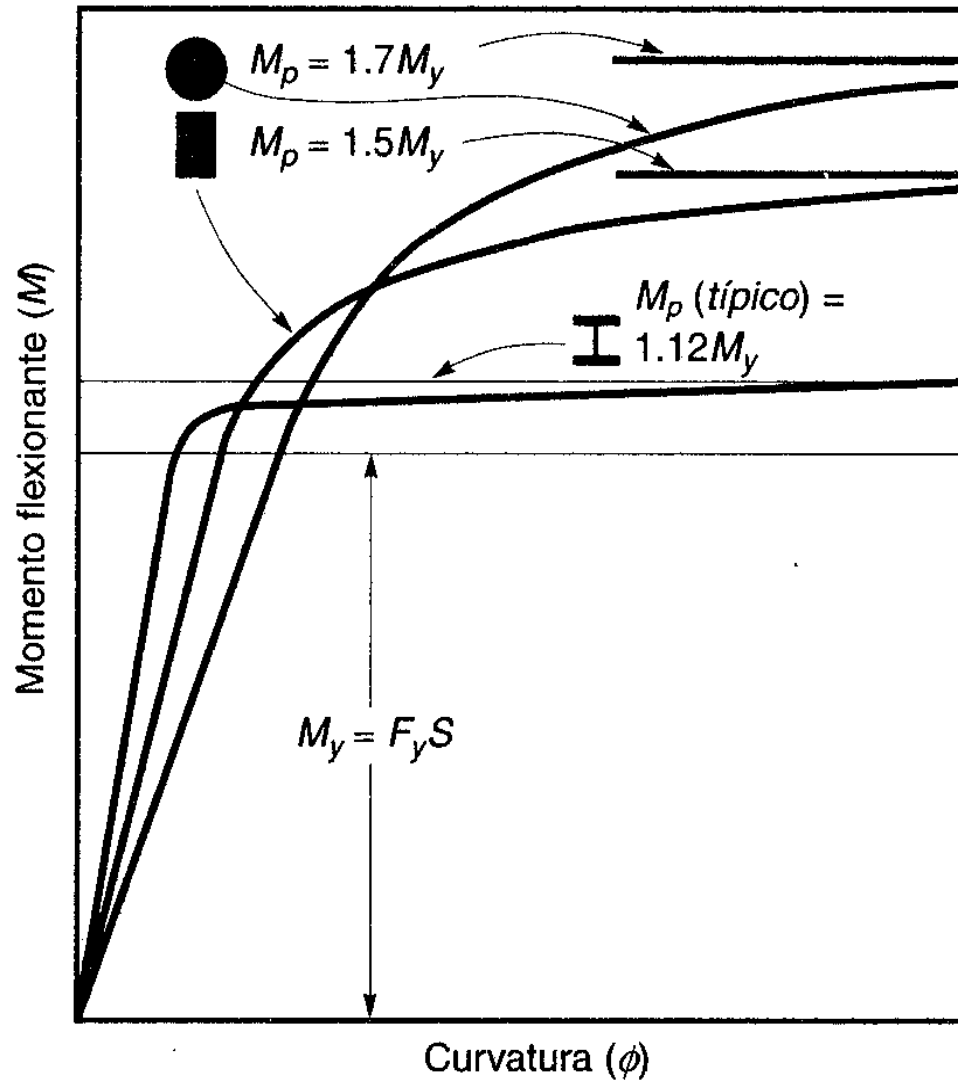


Diagrama Momento-Curvatura



ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

- Diagrama Momento-Curvatura: diferentes secciones transversales



$$M_p = Z_x \cdot F_y$$

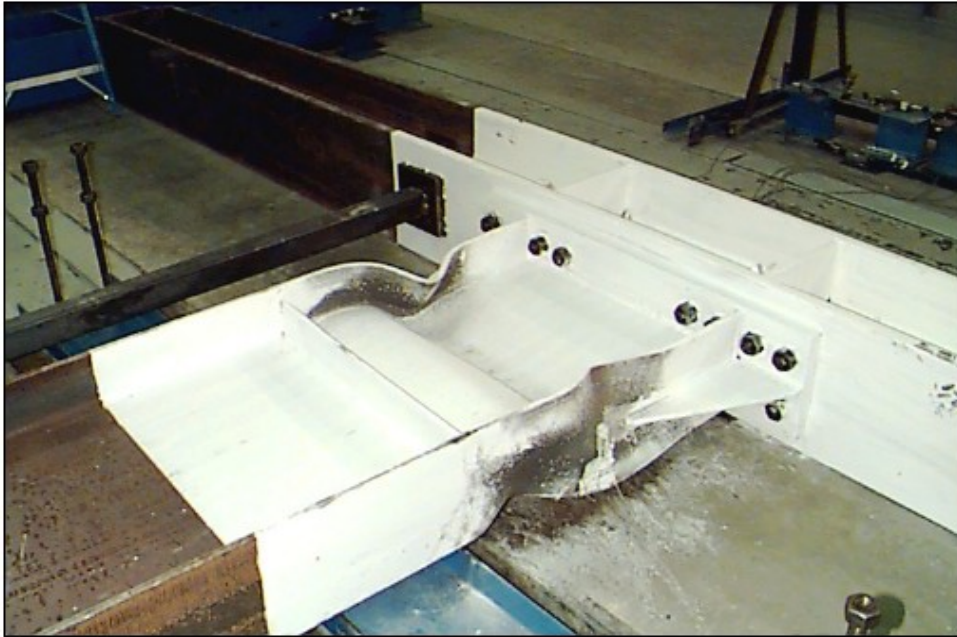
$$M_p \leq 1.5 \cdot M_y$$

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

- ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN
 - X ~~Plastificación y fluencia de la sección~~
 - + **Pandeo local del ala**
 - + **Pandeo local del alma**
 - + Pandeo lateral torsional de la barra
 - + Comportamiento a corte: plástico y abollamiento

ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

● Pandeo Local del Ala o Patín (LBF) – (PLP)



● Pandeo Local de Alma (LBW) - (PLA)



$$M_{cr} = S_x \cdot F_{cr}$$
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E \cdot t^2}{(1 - \mu^2) \cdot b^2 \cdot t} = k_c \frac{E \cdot t^2}{b^2} = k_c \left(\frac{b}{t} \right)^2$$

PANDEO LOCAL DEL ALA O PATÍN (PLP)

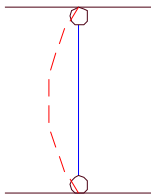
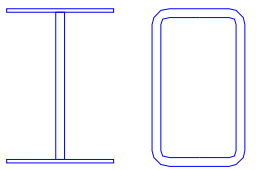
• Evidentemente, el máximo aprovechamiento de la resistencia de la placa se tiene para:

• $F_{cr} = F_y$

$$F_{cr} = F_y = k_c \frac{E}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \Rightarrow \left(\frac{b}{t}\right)^2 = k_c \frac{E}{F_y}$$

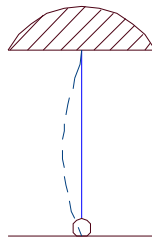
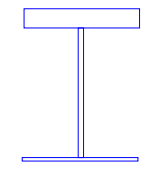
$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = \lambda_{lim} = \sqrt{k_c \frac{E}{F_y}} = k_r \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r \cong 0,7 \cdot \lambda_{lim}$$



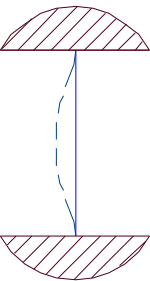
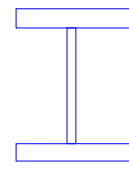
$k_c = 4.00$

$k_c = 4.00$

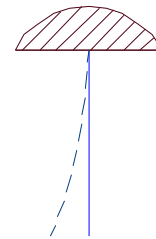
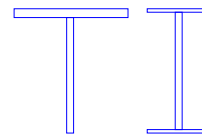


5.42

----- 5.00 -----

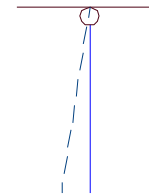
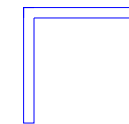


6.97



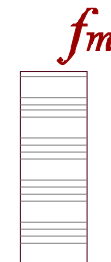
1.277

1.28



0.425 teórico

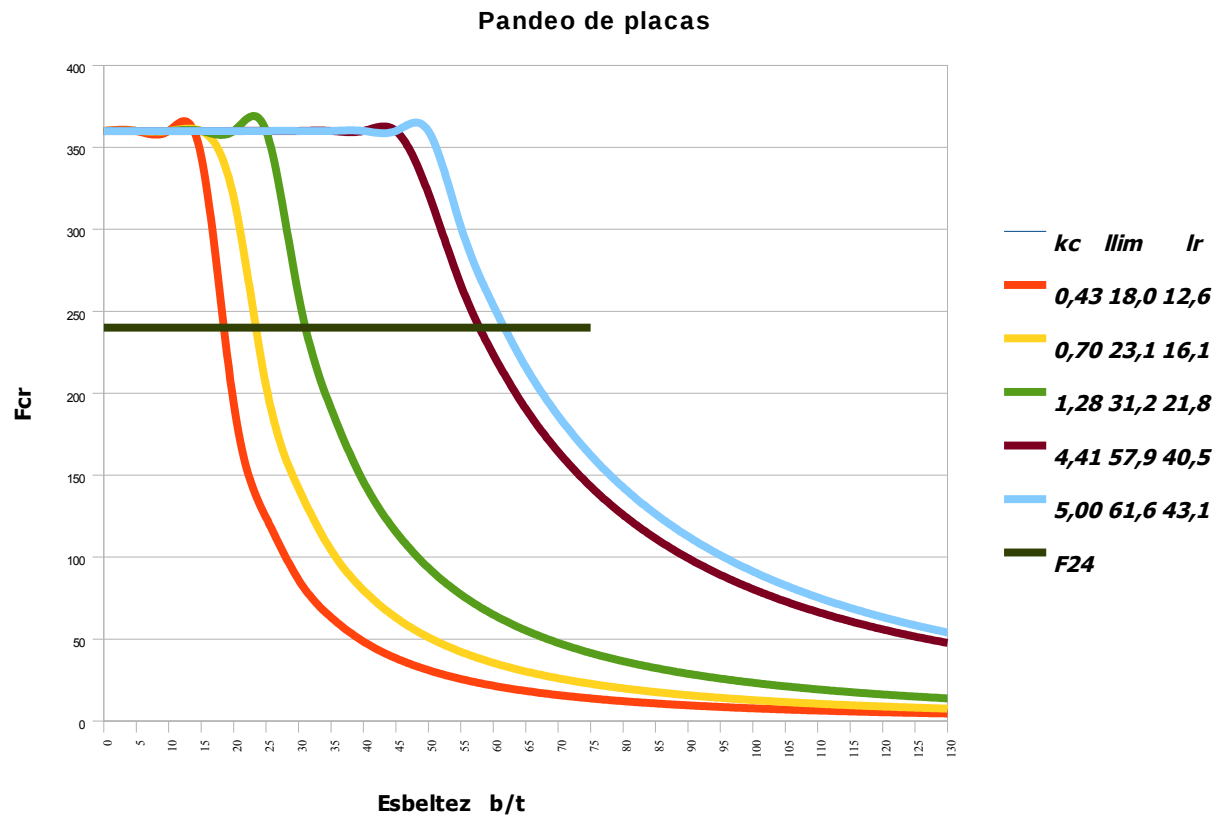
0.425 realista



PANDEO LOCAL DEL ALA o PATÍN (PLP)

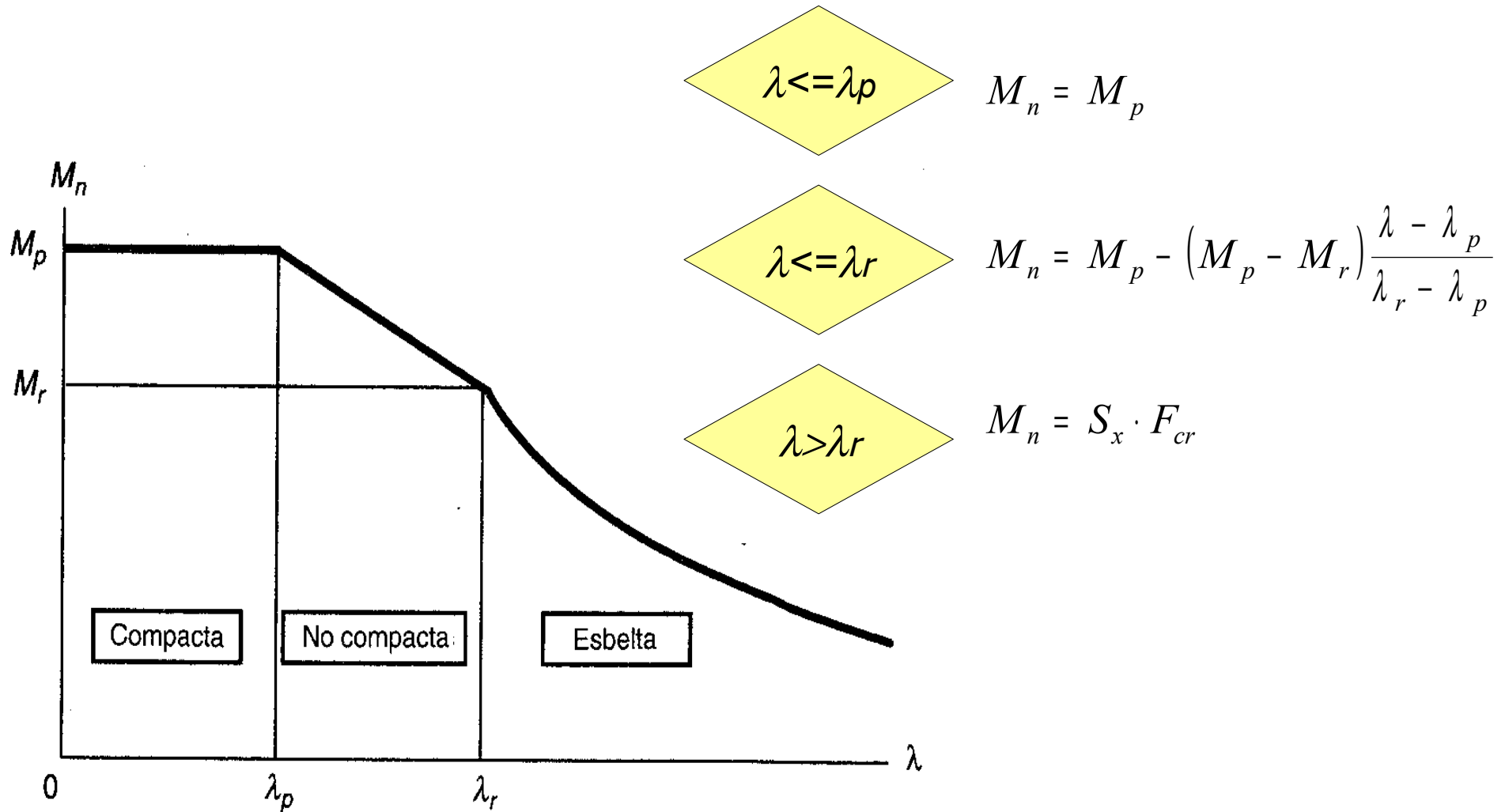
• Evidentemente, el máximo aprovechamiento de la resistencia de la placa se tiene para:

- $F_{cr} = F_y$



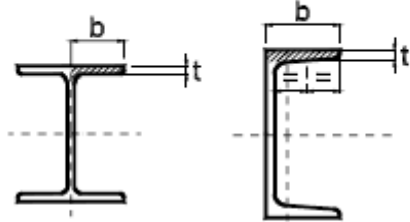
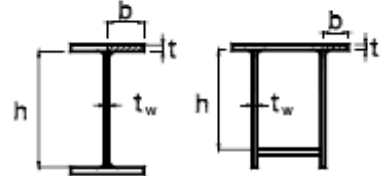
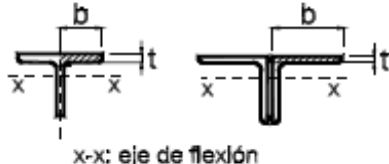
CAPACIDAD CONTROLADA POR PANDEO LOCAL del ALA o PATÍN (PLP) o del ALMA (PLA)

- Las expresiones de M_n resultan:



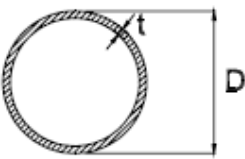
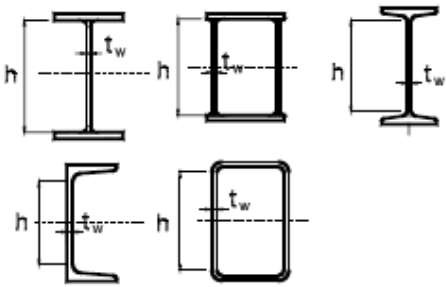
PANDEO LOCAL DEL ALA o PATÍN (PLP)

Tabla B.5.1.

A) ELEMENTOS NO RIGIDIZADOS						
Caso	Descripción del Elemento	Elemento	Relación ancho/espesor	λ_{pp} (j)	λ_p	λ_r
1	Alas de vigas laminadas de perfiles "doble Te" y canales sometidas a flexión		b/t	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (a)	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (b)	$0,83 \sqrt{\frac{E}{F_L}}$ (c)
2	Alas de vigas "doble Te" soldadas (homogéneas o híbridas) o alas salientes de vigas soldadas, sometidas a flexión.		b/t	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}}$ (a)	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}}$ (b)	$0,95 \sqrt{\frac{E}{(F_L / k_c)}}$ (c) (d)
3	Alas de perfiles "Te" y alas de pares de ángulos en unión continua en flexión en el plano de simetría		b/t	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (a)	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (b)	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

PANDEO LOCAL DEL ALMA (PLA)

Tabla B.5.1. (Continuación)

Caso	Descripción del Elemento	Elemento	Relación ancho/espesor	λ_{pp} (j)	λ_p	λ_r
B) ELEMENTOS RIGIDIZADOS						
8 (a)	Elementos tubulares de sección circular en compresión axil		D/t	No aplicable	No aplicable	0,11 (E / F_y)
8 (b)	Elementos tubulares de sección circular en flexión		D/t	0,045 (E / F_y)	0,07 (E / F_y)	0,31 (E / F_y)
9	Almas comprimidas por flexión (i)		h/t _w	$3,06 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (l)	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (e) (k)	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (f)

DETERMINACIÓN DE M_n EN FUNCIÓN DE LA ESBELTEZ DE PATINES O ALMA

Resumen

PARÁMETROS PARA DETERMINAR M_n en función de esbeltez de alas o patines y de alma

	Sección	Parámetro de esbeltez	λ_{pp}	λ_p	λ_r	M_r	F_{cr}	Estado límite	Notas y Observaciones
ALAS O PATINES	 Laminada	$\frac{b_f}{2 \cdot t_f}$	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,83 \sqrt{\frac{E}{F_L}}$	$F_L \cdot S_x$	$\frac{0,69 E}{\lambda^2}$	PLP	$F_L = F_y - 69$
	 Laminada	$\frac{b_f}{2 \cdot t_f}$	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,83 \sqrt{\frac{E}{F_L}}$	$F_y \cdot S_x$	$\frac{0,69 E}{\lambda^2}$	PLP	
	 Soldada	$\frac{b_f}{2 \cdot t_f}$	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{E}{(F_L/k_c)}}$	$F_L \cdot S_x$	$\frac{0,90 E \cdot k_c}{\lambda^2}$	PLP	$0,35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0,763$
	 Soldada	$\frac{b_f}{2 \cdot t_f}$	$0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{E}{(F_L/k_c)}}$	$F_y \cdot S_x$	$\frac{0,69 E}{\lambda^2}$	PLP	$F_L = F_y - 114$
A L M A	  Laminada Soldada	$\frac{h}{t_w}$	$3,06 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$R_e \cdot F_{yf} \cdot S_x$	NO APLICA F APLICA G	PLA	$R_e = \frac{12 + a_r(3m - m^3)}{12 + 2a_r} \leq 1$ $a_r = A_{gw} / A_{gf}$ $m = F_{yw} / F_{yf}$ (o F_{crf})
ALAS O PATINES	 Laminada Soldada	$\frac{b_f}{t_f}$		$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$F_y \cdot S_{eff}$	$F_y \cdot \frac{S_{eff}}{S_y}$	PLP	Perfiles tubulares Todo otro perfil

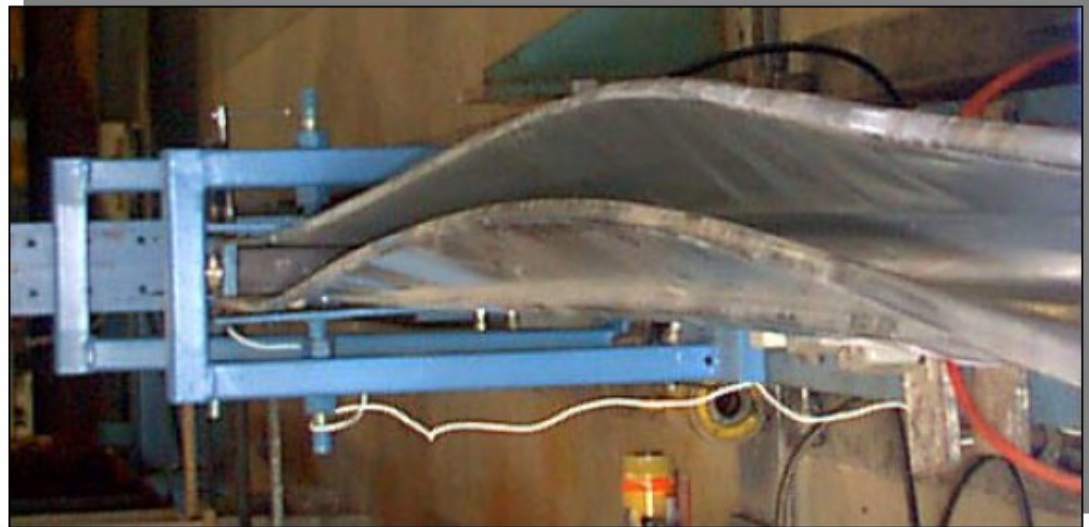


BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

- ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN
 - X ~~Plastificación y fluencia de la sección~~
 - X ~~Pandeo local del ala~~
 - X ~~Pandeo local del alma~~
 - + Pandeo lateral torsional de la barra
 - + Comportamiento a corte: plástico y abollamiento

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

✚ Pandeo lateral torsional de la barra



ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

Pandeo Lateral Torsional (PLT)

- Comportamiento de las vigas sometidas a TORSION

Torsión Libre o de Saint Venant
– Cortante en todas las fibras

Torsión restringida, o de
Timoshenko – Flexión en las
alas

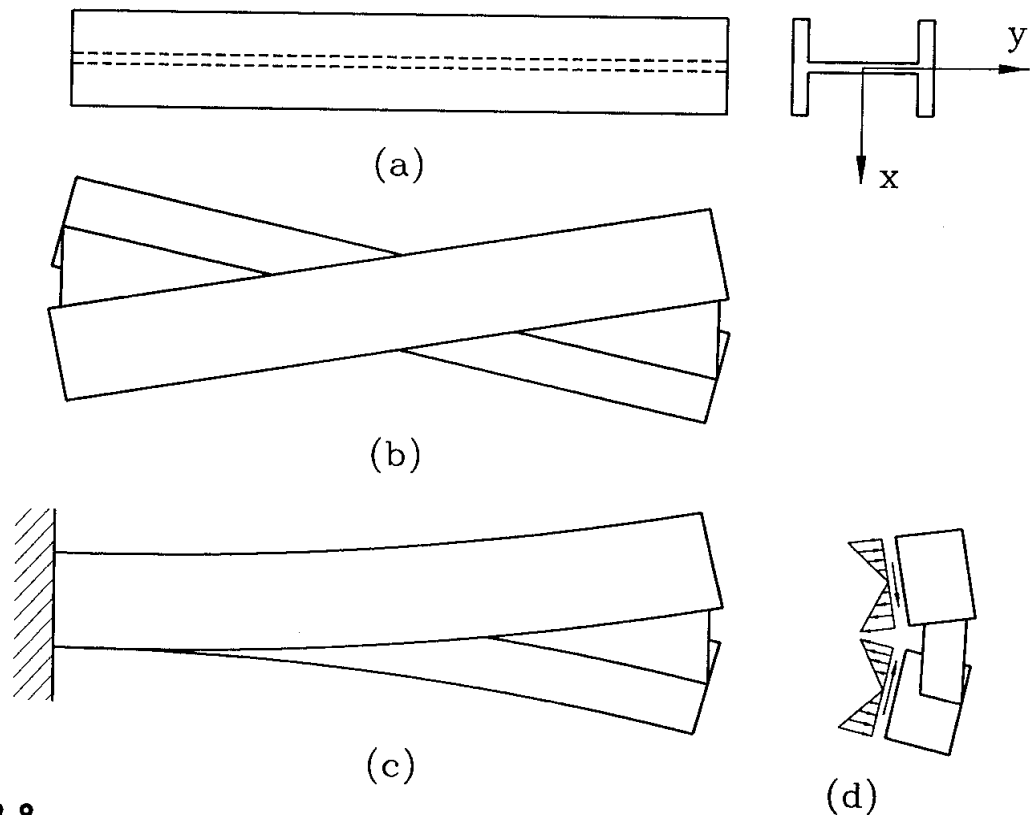


Figura 3.8
Alabeo de la sección por torsión

ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

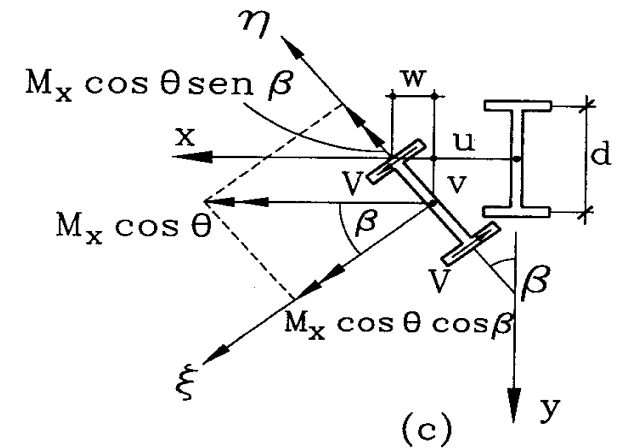
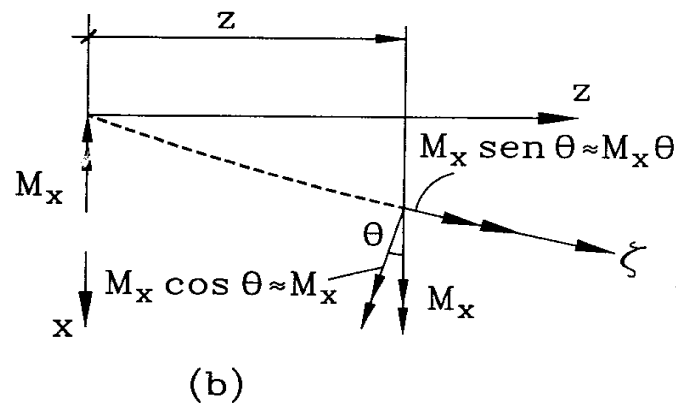
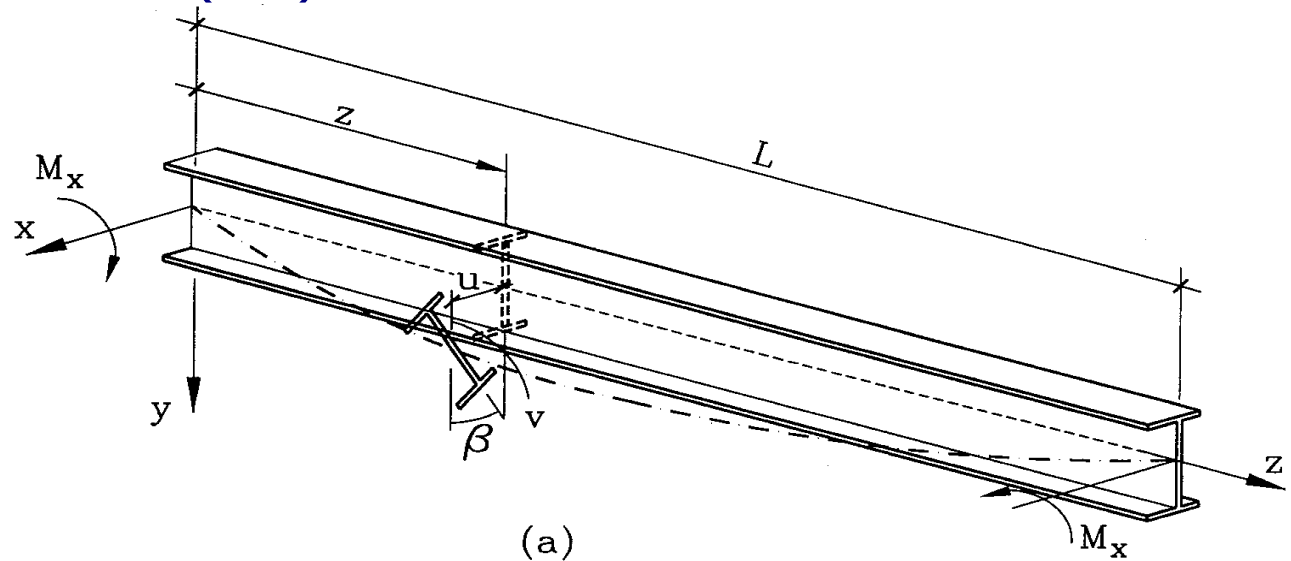
Pandeo Lateral Torsional (PLT)

● Pandeo LATERAL TORSIONAL (PLT)

La capacidad de la barra a pandeo lateral torsional depende de

➔ la resistencia a torsión por corte

➔ La resistencia a torsión por alabeo



ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

Pandeo Lateral Torsional (PLT)

- Evidentemente, para una sección dada, el **M_{cr}** depende de la *longitud no arriostrada* **L_b**

$$M_{cr} = C_b \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 E I_y G J}{L_b^2} + \frac{\pi^4 E^2 C_w I_y}{L_b^4}}$$

- **C_b** factor que considera la forma de distribución del momento en el tramo no arriostrado

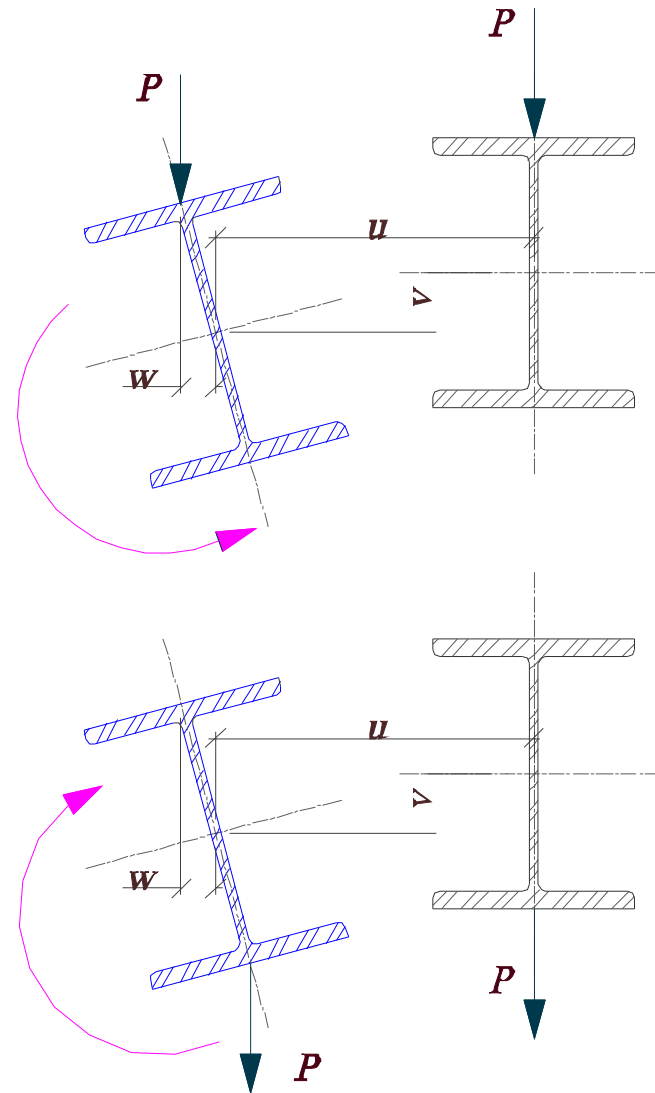
$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \cdot \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 \cdot I_y C_w}$$

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \cdot \sqrt{E I_y G J} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E C_w}{G J L_b^2}}$$

ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

Pandeo Lateral Torsional (PLT)

- La posición de la carga respecto del Baricentro o del Centro de Cortante de la sección, también influye en la capacidad de la barra a pandeo lateral torsional



ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN

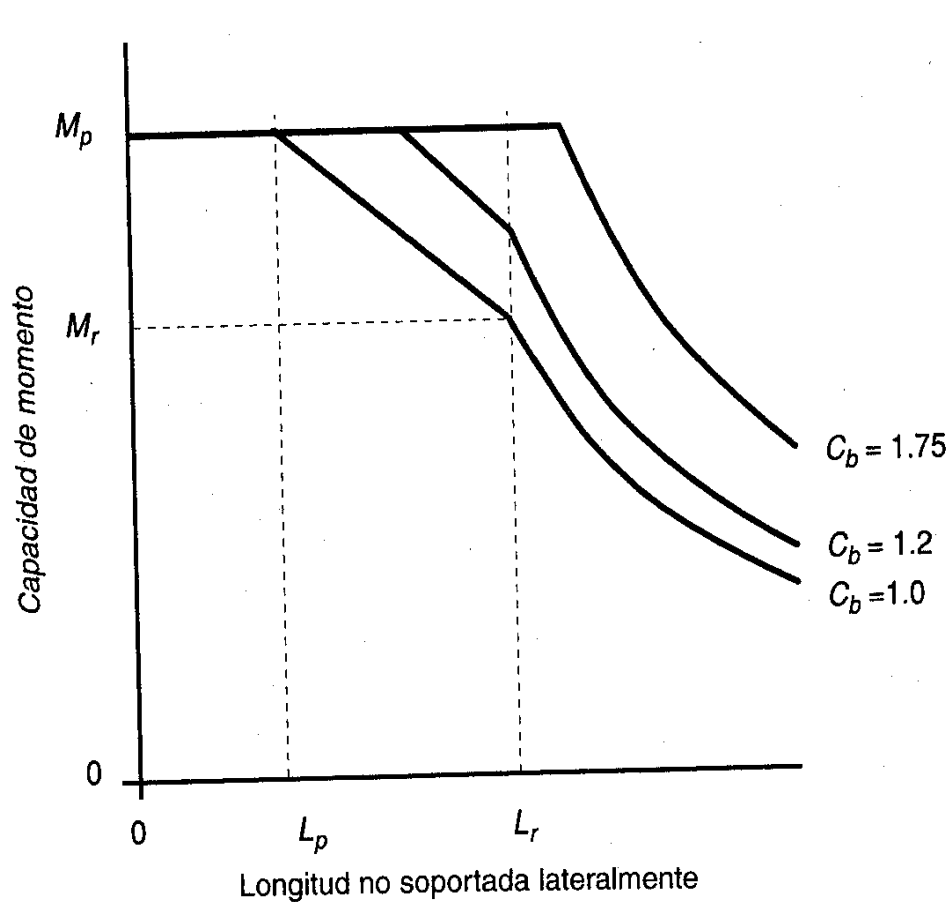
Pandeo Lateral Torsional (PLT)

Como en todo fenómeno de pandeo, aquí también se tienen tres situaciones límites:

- El PLT es *elástico* $L_b > L_r$ $M_n = M_{cr}$
 - El PLT es *inelástico*: $L_p \leq L_b \leq L_r$ $M_n = M_{cr-i}$
 - El PLT no se verifica, la *sección plastifica* $L_b < L_p$ $M_n = M_p$
-
- Si se pretende una sección particularmente dúctil $L_b < L_{pp}$ $M_n = M_p$

CAPACIDAD CONTROLADA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL (PLT)

- Las expresiones de M_n resultan:



$$L \leq L_p$$

$$M_n = M_p$$

$$L \leq L_r$$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{L - L_p}{L_r - L_p}$$

$$L > L_r$$

$$M_n = S_x \cdot F_{cr}$$

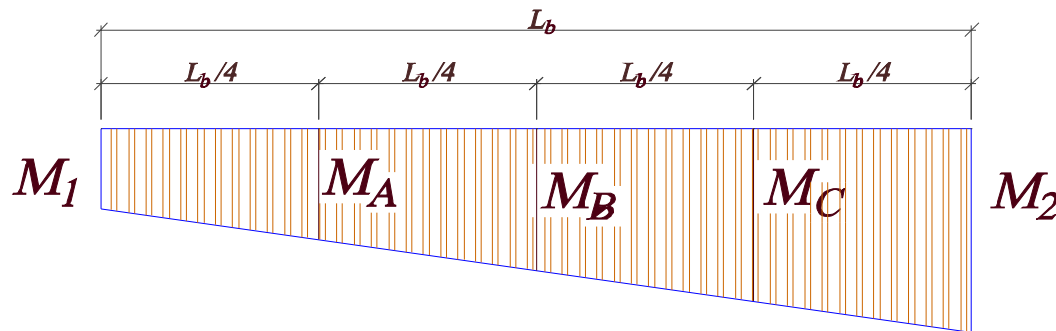
CAPACIDAD CONTROLADA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL (PLT)

•.... el **M_r** y **M_{cr}** de:

Sección	Parámetro de esbeltez	L_p	L_r	M_r	M_{cr}	Notas y Observaciones
 Laminada Soldada	Carga en baricentro o ala inferior	$1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot F_L^2}}$	$F_L \cdot S_x$	$M_{cr} = \frac{C_b \pi}{L_b} \cdot \sqrt{E I_y G J} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E C_w}{G J L_b^2}}$	$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}}$ $X_2 = \frac{4 C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)^2$
 Laminada Soldada	Carga en baricentro o ala inferior	$\frac{1,3 r_y E}{M_p} \cdot \sqrt{J \cdot A}$	$\frac{2 r_y E}{M_r} \sqrt{J \cdot A}$	$F_{yf} \cdot S_x$	$M_{cr} = \frac{2 C_b \cdot E}{L_b / r_y} \cdot \sqrt{J \cdot A}$	$F_L \leq F_y - F_r$ $F_L \leq F_{yw}$
 Laminada Soldada	Carga en ala superior	$1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,28 \frac{r_y X_1}{F_L}$	$F_L \cdot S_x$	$M_{cr} = \frac{1,28 C_b \cdot S_x X_1}{L_b / r_y}$	$F_L = F_y - F_r$
 Laminada Soldada	Carga en ala superior	$\frac{1,2 r_y E}{M_p} \cdot \sqrt{J \cdot A}$	$\frac{1,8 r_y E}{M_r} \sqrt{J \cdot A}$	$F_{yf} \cdot S_x$	$M_{cr} = \frac{1,8 C_b \cdot E}{L_b / r_y} \cdot \sqrt{J \cdot A}$	Perfiles laminados $F_r = 69$ Vigas armadas, soldadas $F_r = 114$

CAPACIDAD CONTROLADA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL (PLT)

- El factor de corrección **C_b** permite considerar la mayor capacidad del tramo solicitado por un momento flector variable (no constante)



$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

- Los momentos en **VALOR ABSOLUTO**

FACTOR DE CORRECCION DE PLT – C_b

Forma	M_1	M_A	M_B	M_C	M_2	M_{max}	C_b
Rectangular	1	1	1	1	1	1	1
Triangular	0	0,25	0,5	0,75	1	1	1,67
Trapezoidal	1	1,25	1,5	1,75	2	2	1,25
Bi-triangular simétrico	-1	-0,5	0	0,5	1	1	2,27
Bi-triangular asimétrico	-1	0,25	1,5	2,75	4	4	2

CAPACIDAD EN FLEXIÓN DE UNA BARRA PRISMÁTICA

- APÉNDICE A-F.1

- Resume y generaliza los métodos y situaciones que determinan la valoración del **M_n** :

- ★ ~~Plastificación y fluencia de la sección~~
- ★ ~~Pandeo local del ala~~
- ★ ~~Pandeo local del alma~~
- ★ ~~Pandeo lateral torsional de la barra~~

CAPACIDAD EN FLEXIÓN DE UNA BARRA PRISMÁTICA

•APÉNDICE A-F.1

A-F.1. DIMENSIONAMIENTO A FLEXIÓN

La *resistencia de diseño a flexión en barras flexadas* será:

con:

$$\phi_b = 0,90$$

$$\phi_b M_n$$

siendo:

M_n la resistencia nominal a flexión

La Tabla **A-F.1.1** presenta un resumen tabulado de las expresiones (F.1.1) a (F.1.15) para la determinación de la resistencia nominal a flexión de vigas y vigas armadas.

Para determinar los factores de esbeltez de secciones transversales no incluidas en la Tabla **A-F.11**, ver el Apéndice **B**, Sección **A-B.5.3**.

Para barras flexadas con alas de áreas desiguales, ver en el Apéndice **B**, Sección **A-B.5.1** la determinación de λ_r para el estado límite de pandeo local del alma.

La *resistencia nominal a flexión* es el menor valor obtenido de los correspondientes a los estados límites de plastificación, pandeo lateral-torsional (**LTB**), pandeo local del ala (**FLB**) y pandeo local del alma (**WLB**).

CAPACIDAD EN FLEXIÓN DE UNA BARRA PRISMÁTICA

• APÉNDICE A-F.1

- Cuando $\lambda \leq \lambda_p$:

$$M_n = M_p \quad (\text{A-F.1.1})$$

Cuando $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$:

Para el *estado límite de pandeo lateral-torsional* :

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{A-F.1.2})$$

Para los *estados límites de pandeo local del ala y alma* :

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (\text{A-F.1.3})$$

Cuando $\lambda > \lambda_r$:

Para los *estados límites de pandeo lateral-torsional y pandeo local del ala*:

$$M_n = M_{cr} = S \cdot F_{cr} (10^{-3}) \leq M_p \quad (\text{A-F.1.4})$$

CAPACIDAD EN FLEXIÓN DE UNA BARRA PRISMÁTICA

•APÉNDICE A-F.1

Tabla A-F.1.1. Parámetros nominales de resistencia

Sección	Momento Plástico Mp	Estado Límite De Pandeo	Momento Límite De Pandeo Mr	Tensión Crítica Fcr	Parámetros de Esbelteces			Limitaciones
					λ	λ_p	λ_r	
Canales y vigas de secciones doble "Te" de simple y doble simetría (incluyendo vigas Híbridas) que flexan respecto al eje mayor "x". [a]	$F_y Z_x (10^{-3})$ [b]	Pandeo lateral torsional de barras de doble simetría y canales	$F_L S_x (10^{-3})$	$\frac{C_b X_1 \sqrt{2}}{\lambda} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2 \lambda^2}}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yt}}}$	[c,d]	Aplicable a barras de secciones doble "Te" si $h/t_w \leq \lambda_r$ Cuando $h/t_w > \lambda_r$ Ver Apéndice G
		Pandeo lateral torsional de barras de simetría simple	$F_L S_{xc} (10^{-3}) \leq F_{yt} S_{xt} (10^{-3})$	[e]	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yt}}}$	Valor de λ para el cual $M_{cr} (C_b=1) = M_r$	
		Pandeo Local del Ala	$F_L S_x (10^{-3})$	[f]	$\frac{b}{t}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yt}}}$	[g]	
		Pandeo Local del Alma	$R_s F_{yt} S_x (10^{-3})$	No Aplicable	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yt}}}$	λ_r como se define en la Sección B.5.1	
Canales y barras de secciones doble "Te" de simple y doble simetría que flexan respecto al eje menor "y" [a]	$F_y Z_y (10^{-3})$	Pandeo Local del Ala	$F_y S_y (10^{-3})$	$\frac{0,69 E}{\lambda^2}$	$\frac{b}{t}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yt}}}$	$0,83 \sqrt{\frac{E}{F_L}}$	ninguna
NOTA : Pandeo lateral torsional se aplica solamente para flexión respecto al eje de mayor momento de inercia. Fórmulas para cargas en alma y ala inferior. Para cargas en ala superior ver Sección F.1.2. [a] Excluyendo ángulos dobles en contacto continuo y "Te". [b] Calculado para una distribución de tensiones totalmente plástica para secciones híbridas. [c] $X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}}$ $X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G J} \right)^2$ [d] $\lambda_r = \frac{X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}}$ [e] $F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_{xc}}$ donde $M_{cr} = \frac{2 E (10)^{-3} C_b}{L_b} \sqrt{I_y J} \cdot [B_1 + \sqrt{(1 + B_2 + B_1^2)}] \leq M_p$ donde $B_1 = 2,25 [2 (I_{yc}/I_y) - 1] (h/L_b) \sqrt{(I_y/J)}$ $B_2 = 25 (1 - I_{yc}/I_y) (I_{yc}/J) (h/L_b)^2$ $C_b = 1,0$ si $(I_{yc}/I_y) < 0,1$ ó $(I_{yc}/I_y) > 0,9$					[f] $F_{cr} = \frac{0,69 E}{\lambda^2}$ para secciones laminadas. $F_{cr} = \frac{0,90 E k_c}{\lambda^2}$ para secciones soldadas donde $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ y $0,35 \leq k_c \leq 0,763$ [g] $\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{F_L}}$ para secciones laminadas $\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{(F_L / k_c)}}$ para secciones soldadas			Unidades S en cm³ I en cm⁴ Z en cm³ J en cm⁴ M en kN.m L en cm F en MPa X₁ en MPa X₂ en (MPa)⁻² C_w en cm⁶

CAPACIDAD EN FLEXIÓN DE UNA BARRA PRISMÁTICA

• APÉNDICE A-F.1

Tabla A-F.1.1 (continuación) Parámetros Nominales de Resistencia

Sección	Momento Plástico M_p	Estado Límite de Pandeo	Momento Límite de Pandeo M_r	Tensión Crítica F_{cr}	Parámetros de Esbelteces			Limitaciones
					λ	λ_p	λ_r	
Secciones simétricas sólidas , excepto barras rectangulares, flexadas respecto a su eje de mayor inercia	$F_y Z_x(10^{-3})$	No aplicable		No aplicable				
Barras rectangulares sólidas flexadas respecto a su eje de mayor inercia	$F_y Z_x(10^{-3})$	Pandeo lateral torsional	$F_y S_x(10^{-3})$	$\frac{2E(10)^{-3}C_b\sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13E(10)^{-3}\sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{2E(10)^{-3}\sqrt{JA}}{M_r}$	Ninguna
Secciones cajón simétricas cargadas en un plano de simetría	$F_y Z(10^{-3})$	Pandeo lateral torsional	$F_y S_{eff}(10^{-3})$	$\frac{2E(10)^{-3}C_b\sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13E(10)^{-3}\sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{2E(10)^{-3}\sqrt{JA}}{M_r}$	Aplicable si $\frac{h}{t_w} \leq 5,7\sqrt{E/F_y}$
		Pandeo local del ala	$F_y S_{eff}(10^{-3})$	$\frac{S_{eff}}{S_x} F_y$ [I]	$\frac{b}{t}$	$1,12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ p. tubular $1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ rest.perfiles	Ninguna
		Pandeo local del alma	Similar al caso de secciones <i>I</i>	Similar al caso de secciones <i>I</i>				
Tubos Circulares	$F_y Z(10^{-3})$	Pandeo lateral torsional	No aplicable	No aplicable				
		Pandeo local del ala	$M_n = \left(\frac{0,021E}{D/t} + F_y \right) S(10^{-3})$ [h] $M_r=M_n$ para $D/t=\lambda_r$	$\frac{0,33E}{D/t}$	$\frac{D}{t}$	$\frac{0,071E}{F_y}$	$\frac{0,31E}{F_y}$	$\frac{D}{t} < \frac{0,45E}{F_y}$
		Pandeo local del alma	No aplicable	No aplicable				
[h] Esta expresión se debe utilizar en lugar de la expresión A-F.1.4 .				[i] S_{eff} es el módulo resistente elástico de la sección efectiva para la sección con el ala comprimida de ancho b_e definido en el Apéndice B.5.3.b.				



$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n$$

- ★ Plastificación **M_p**
- ★ Pandeo local del ala **M_{crf}**
- ★ Pandeo local del alma **M_{crw}**
- ★ Pandeo lateral torsional **M_{crLT}**

$$M_n = \text{Mín} [M_p; M_{crf}; M_{crw}; M_{crPL}]$$

$$\phi_b = 0,90$$

BARRAS Y ELEMENTOS EN FLEXIÓN

- ESTADOS LÍMITES DE VIGAS EN FLEXIÓN
 - X ~~Plastificación y fluencia de la sección~~
 - X ~~Pandeo local del ala~~
 - X ~~Pandeo local del alma~~
 - X ~~Pandeo lateral torsional de la barra~~
- Comportamiento a corte: plástico y abollamiento