



Resistencia de Materiales

INESTABILIDAD DE BARRAS PRISMÁTICAS. PANDEO

- Columna de Euler
- Influencia de las condiciones de apoyo. Longitud de pandeo.
- Tensión crítica de Euler. Radio de Giro. Esbeltez mecánica.

CONTENIDO DE LA ASIGNATURA

BLOQUE TEMÁTICO: ELASTICIDAD Y RESISTENCIA DE MATERIALES

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA ELASTICIDAD Y LA RESISTENCIA DE MATERIALES

CAPÍTULO 2: EL SÓLIDO ELÁSTICO.

CAPÍTULO 3: CRITERIOS DE PLASTIFICACIÓN Y DE ROTURA

CAPÍTULO 4: RESISTENCIA DE MATERIALES. CONCEPTOS BÁSICOS

CAPÍTULO 5: TRACCIÓN Y COMPRESIÓN

CAPÍTULO 6: FLEXIÓN PLANA ELÁSTICA.

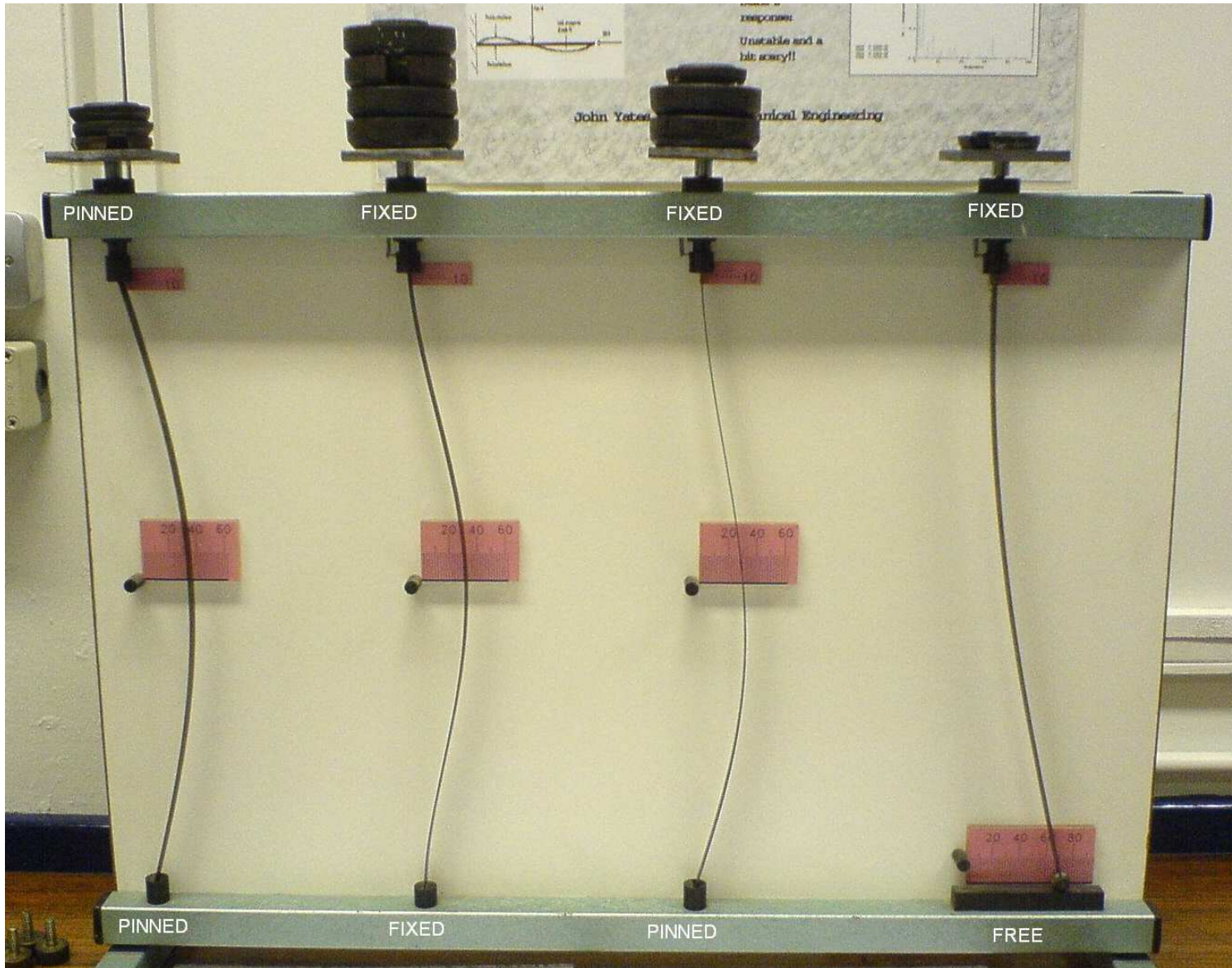
CAPÍTULO 7: INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO PLÁSTICO

CAPÍTULO 8: FLEXO-COMPRESIÓN DESVIADA

CAPÍTULO 9: TORSIÓN

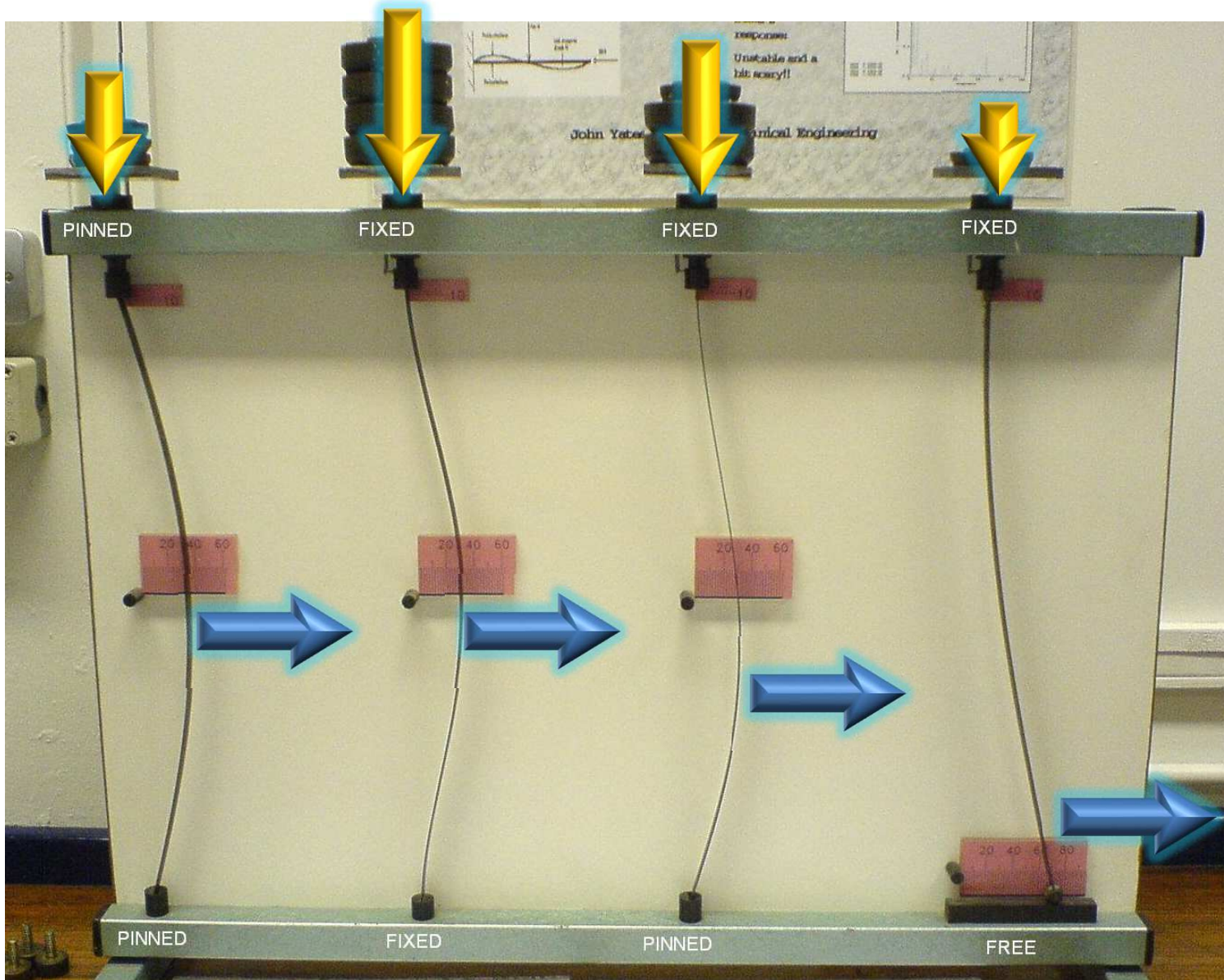
CAPÍTULO 10: POTENCIAL ELÁSTICO DE BARRAS. MÉTODOS ENERGÉTICOS

CAPÍTULO 11: INESTABILIDAD DE BARRAS PRISMÁTICAS. PANDEO



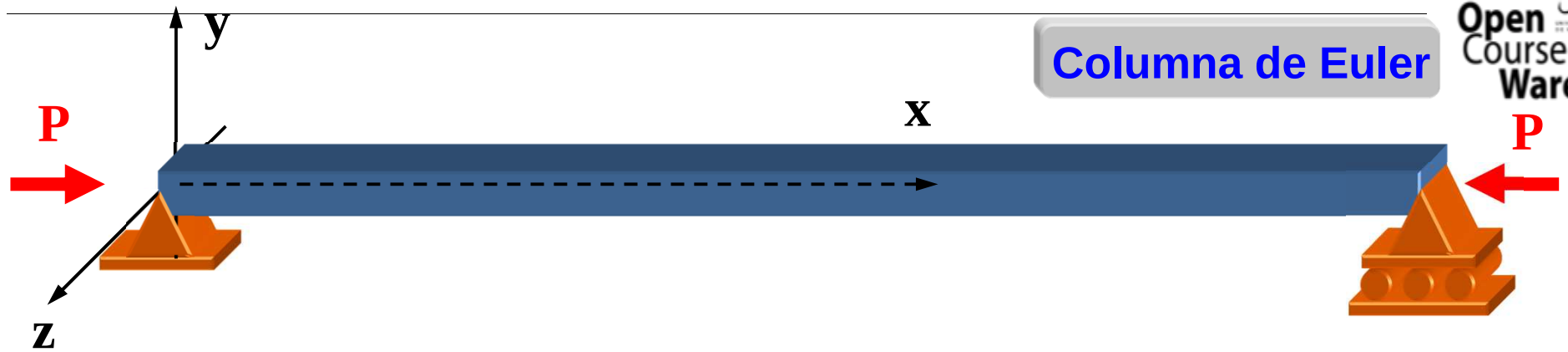
*fuente: Wikipedia.org



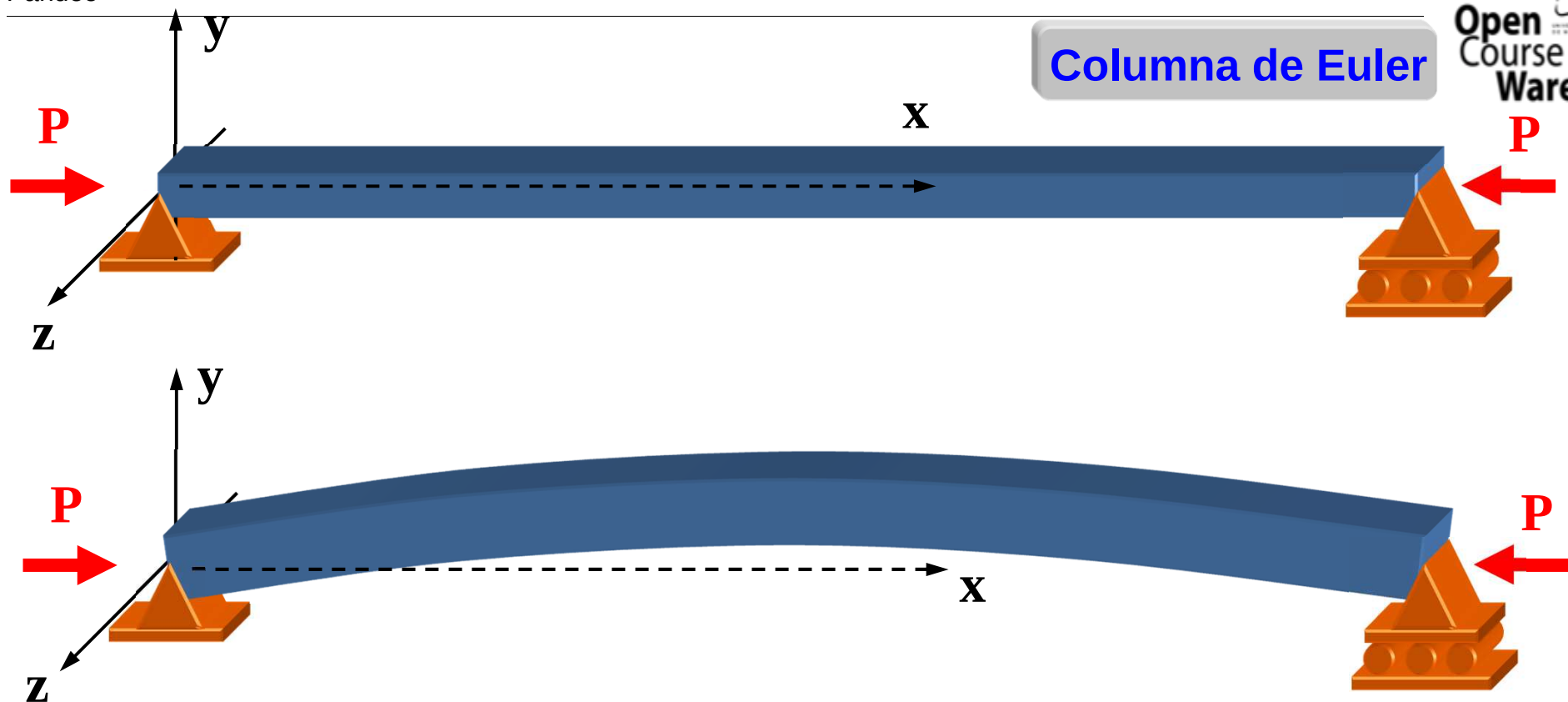


*fuente: Wikipedia.org

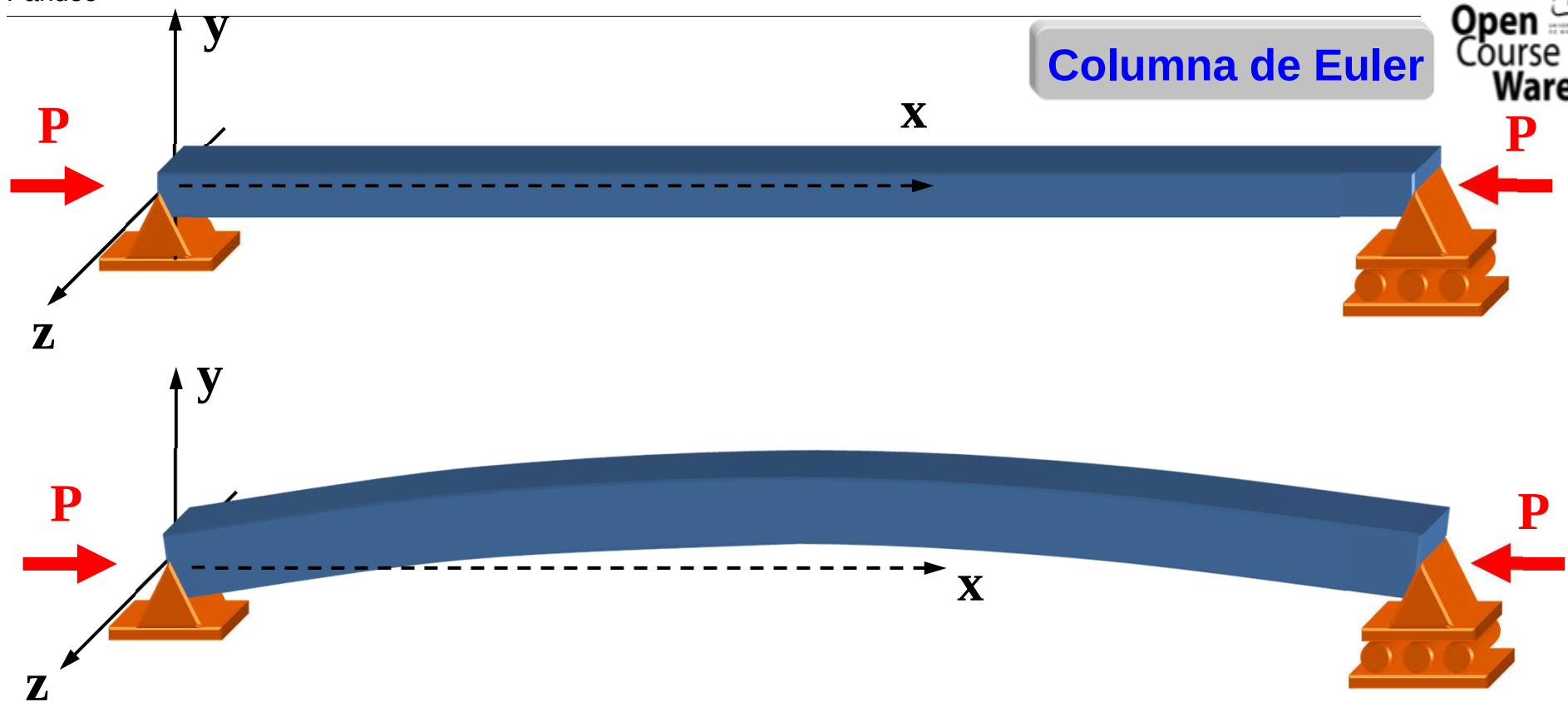




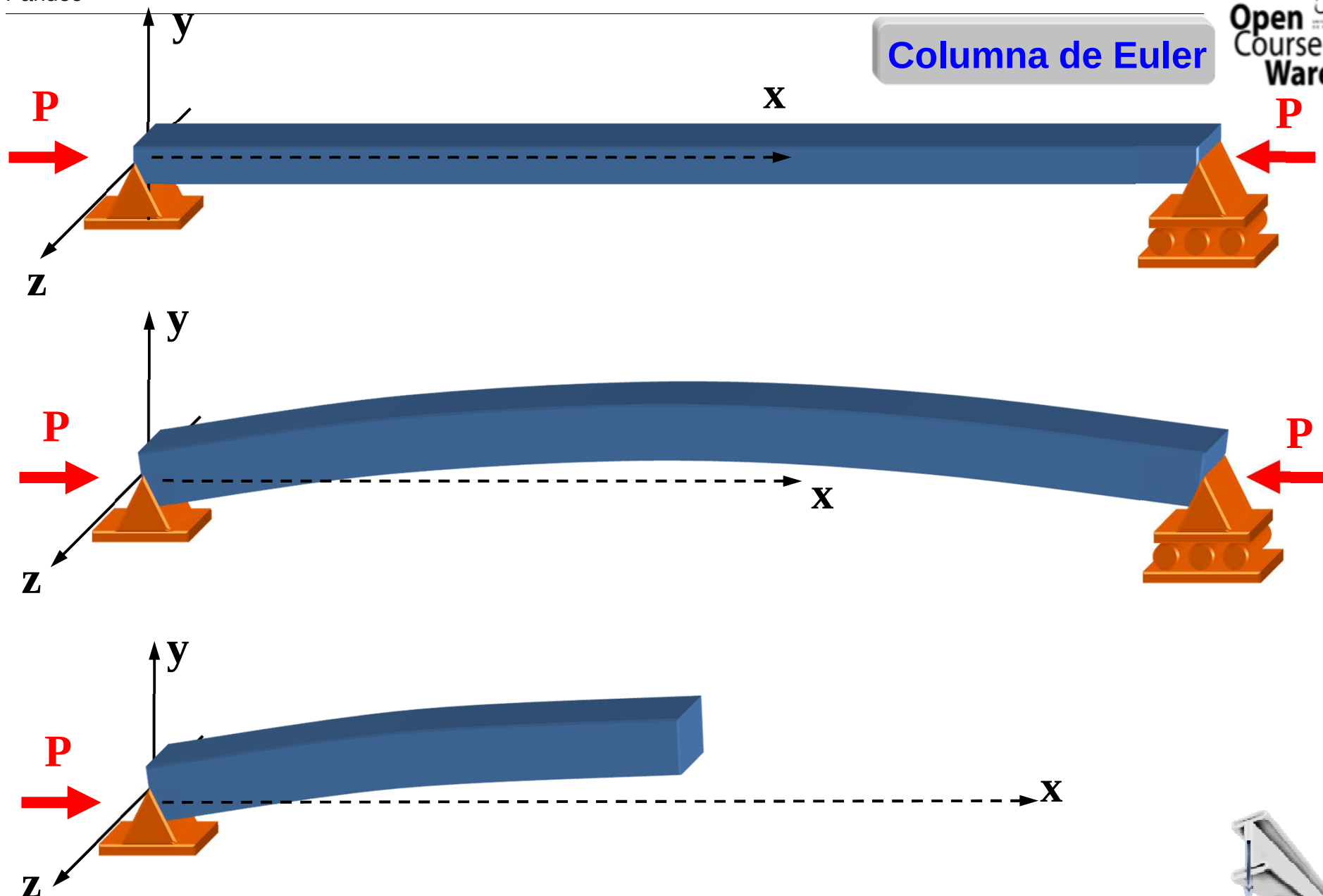
Columna de Euler

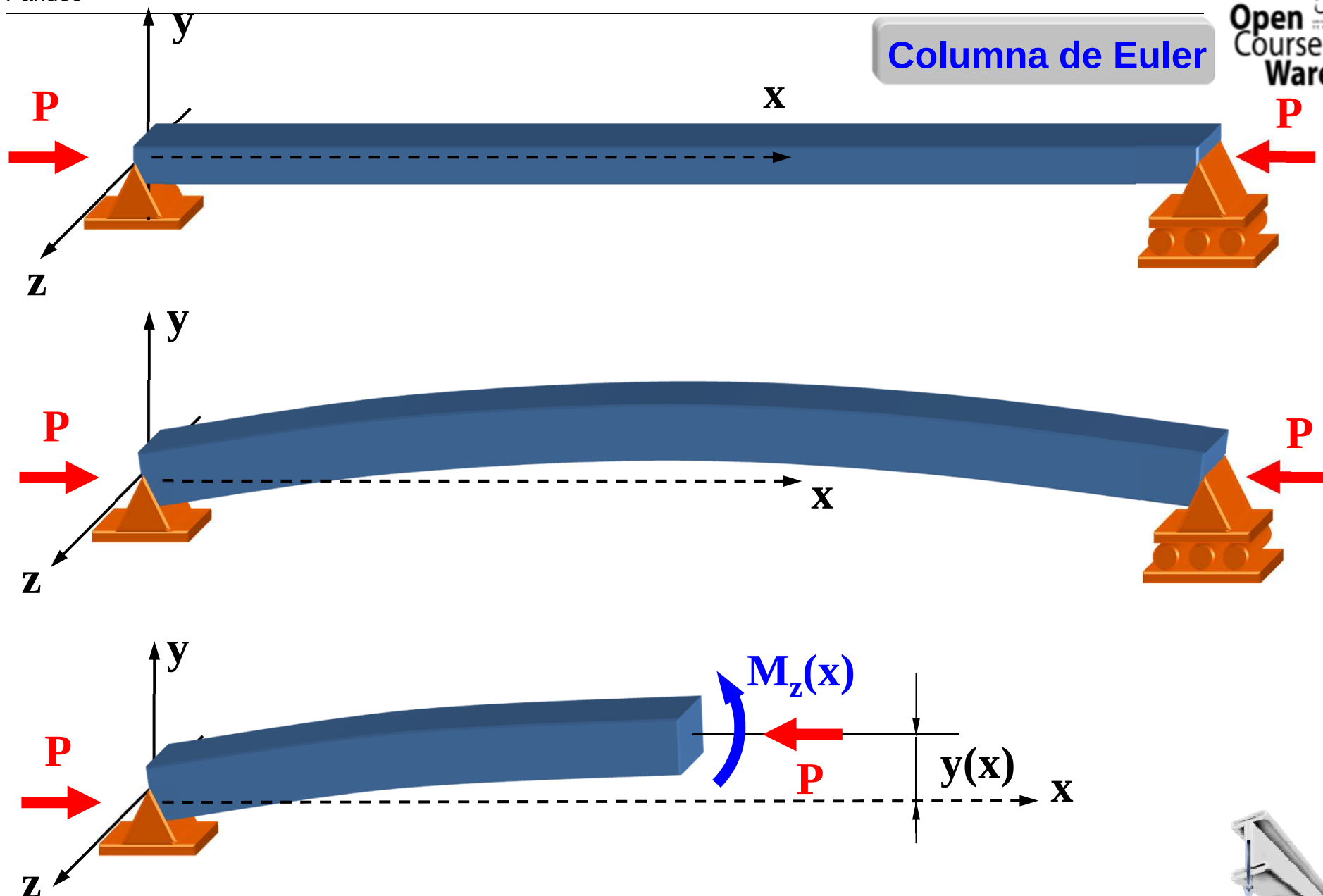


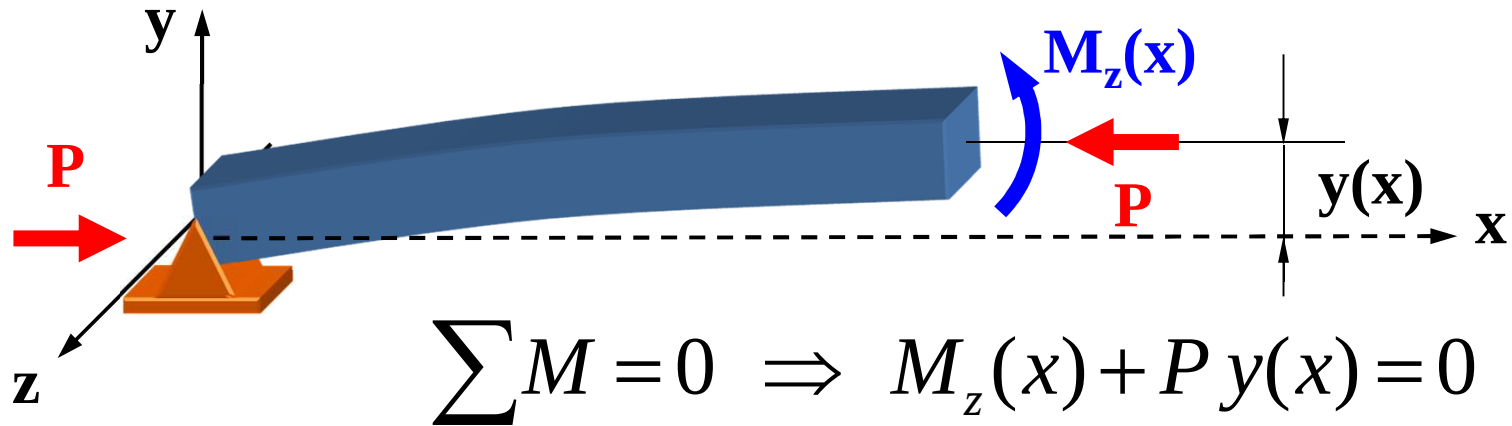
Columna de Euler



Columna de Euler







$$\sum M = 0 \Rightarrow M_z(x) + P y(x) = 0$$

$$y''(x) = \frac{M_z(x)}{EI_z} \quad \Rightarrow \quad EI_z y''(x) + P y(x) = 0$$

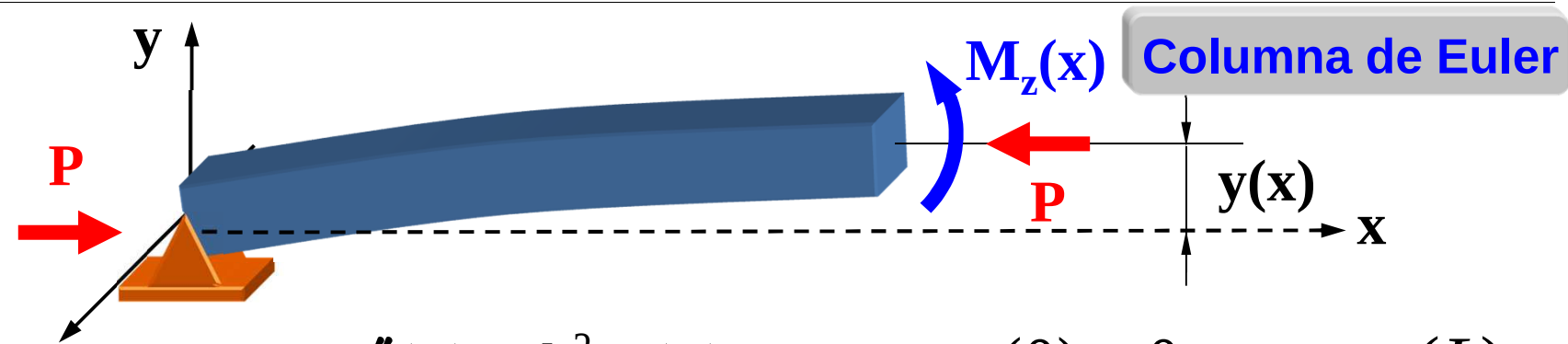
$$k = \sqrt{P/EI_z}$$

$$y''(x) + k^2 y(x) = 0$$

$$y(0) = 0$$

$$y(L) = 0$$





$$y''(x) + k^2 y(x) = 0$$

$$y(0) = 0$$

$$y(L) = 0$$

$$y(x) = a \operatorname{sen}(k x) + b \cos(k x)$$

$$b = 0$$

$$a \operatorname{sen}(k L) = 0$$

Solución sin pandeo

$$a = 0$$

Solución con pandeo

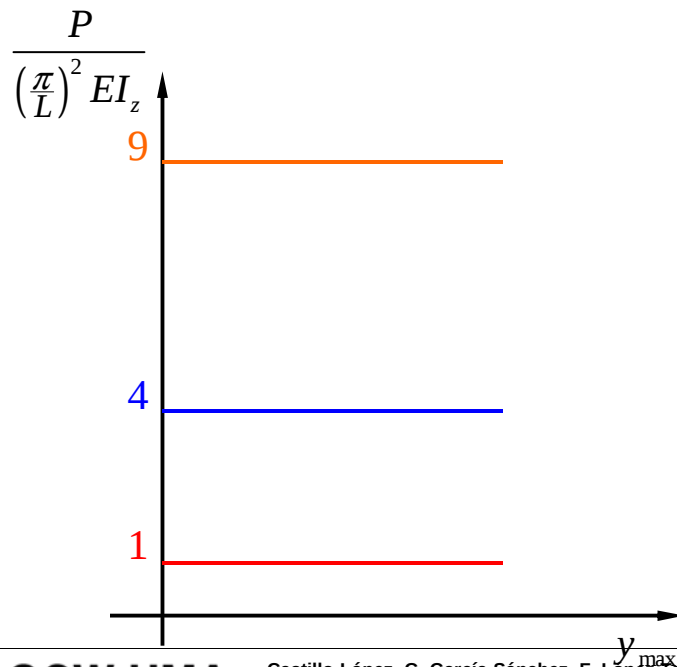
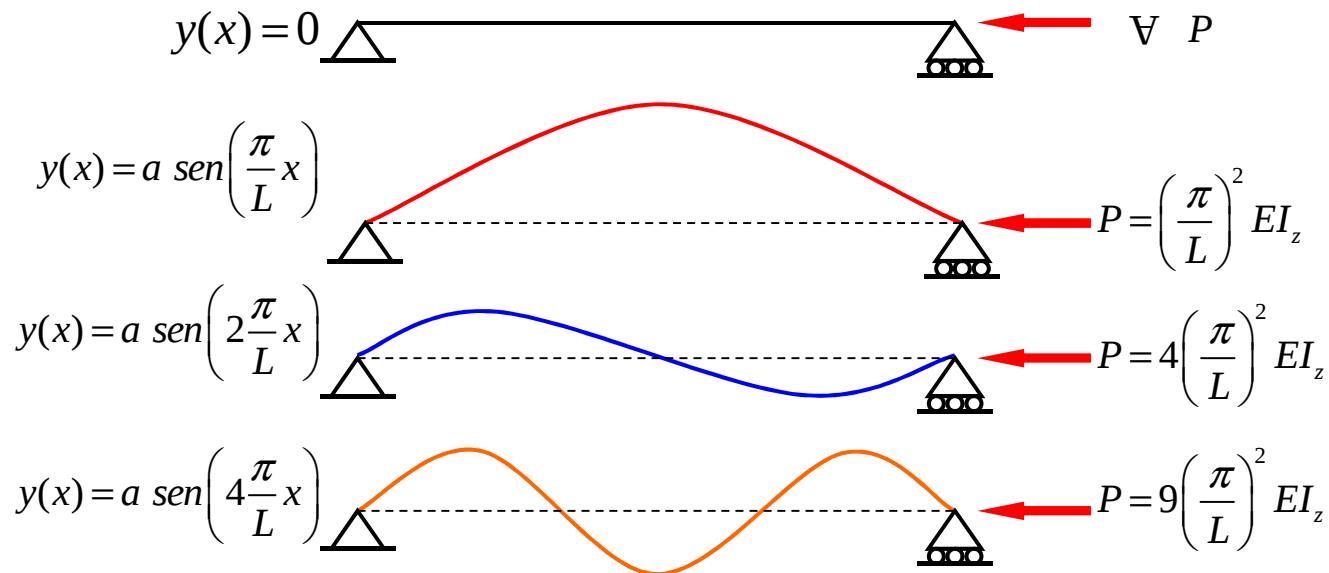
$$k L = n \pi, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$P = \left(\frac{n \pi}{L} \right)^2 EI_z, \quad n = 1, 2, \dots$$



Mecánica de
Medios Continuos y
Teoría de Estructuras



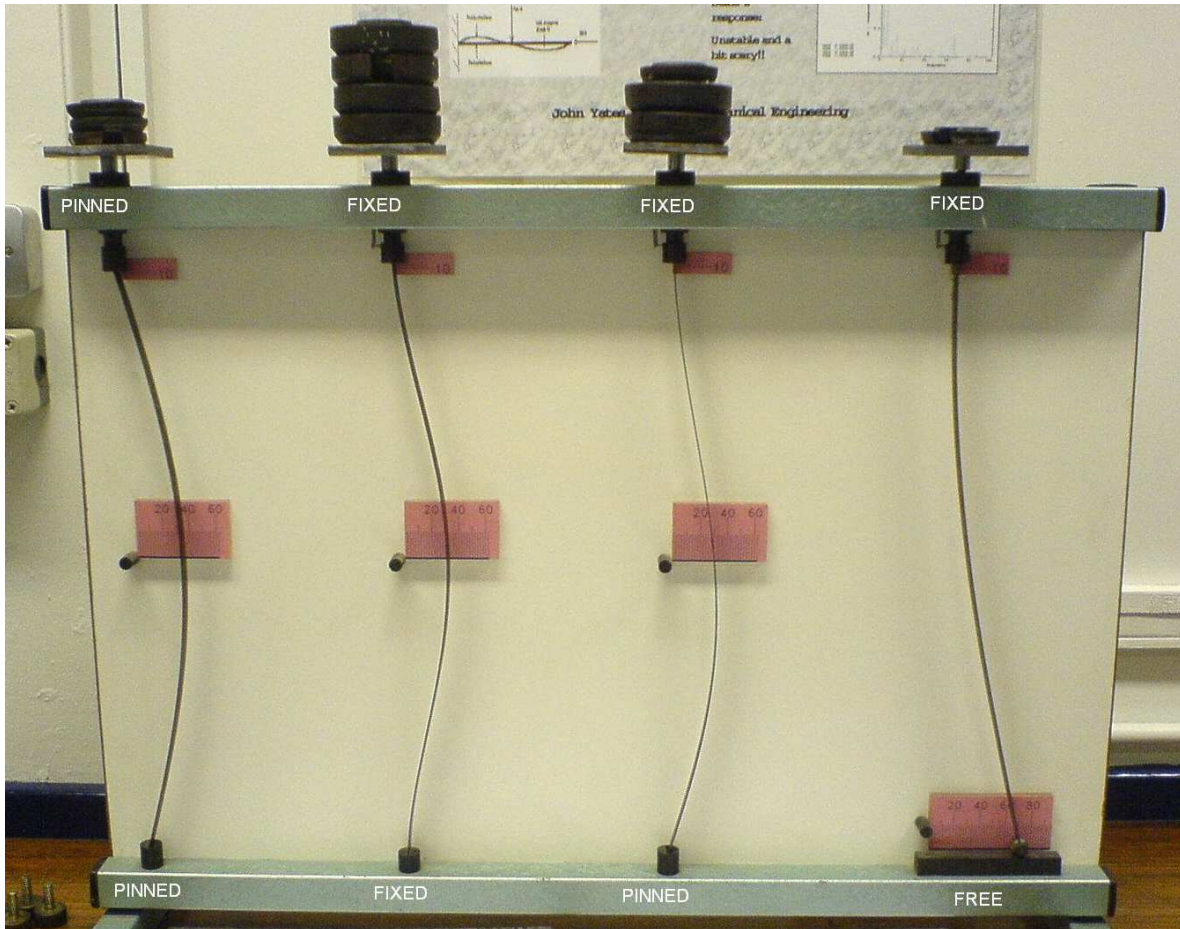


**Carga crítica
de Euler**

$$P_{cr} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 EI_z$$



Influencia de las condiciones de apoyo

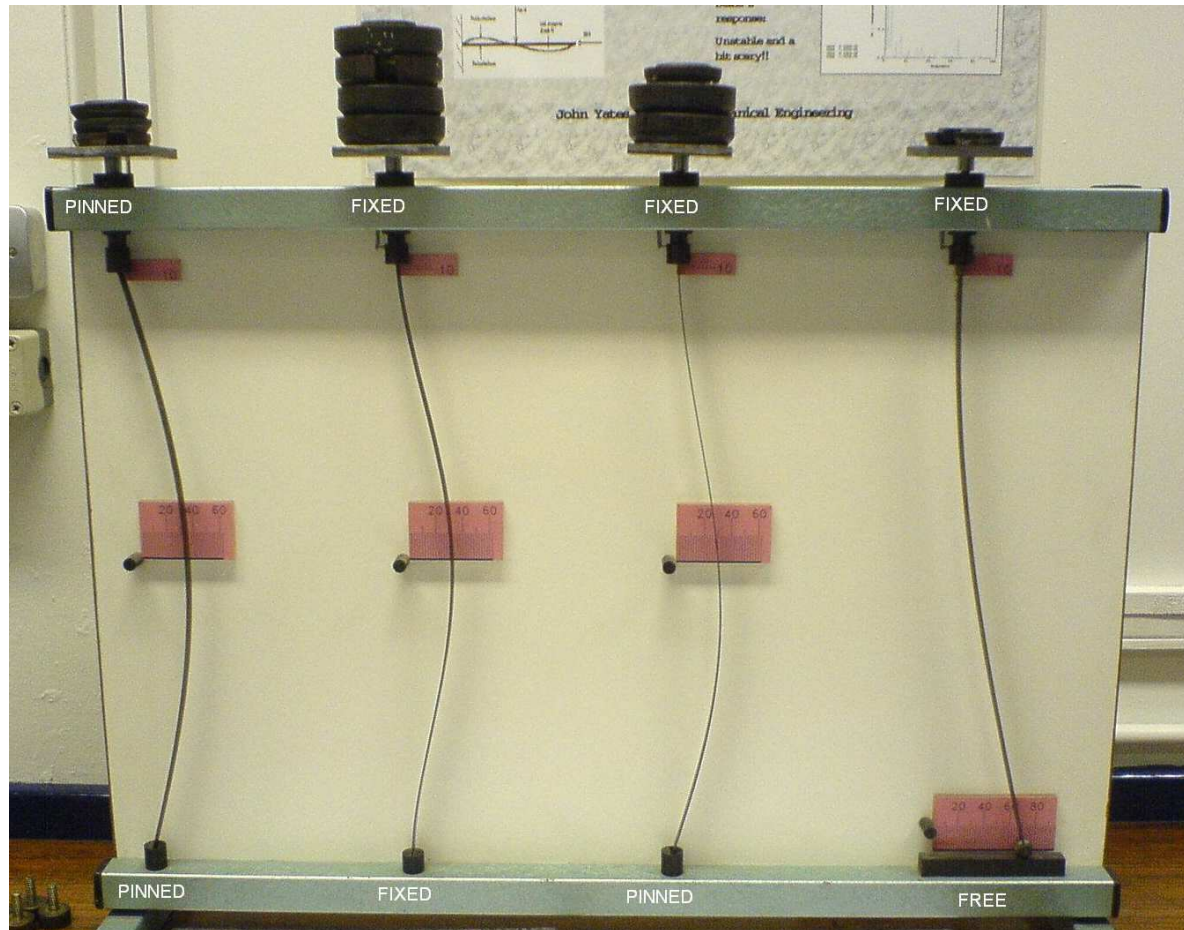


$$P_{cr} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 EI_z$$

*fuente: Wikipedia.org



Influencia de las condiciones de apoyo



$$P_{cr} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 EI_z$$

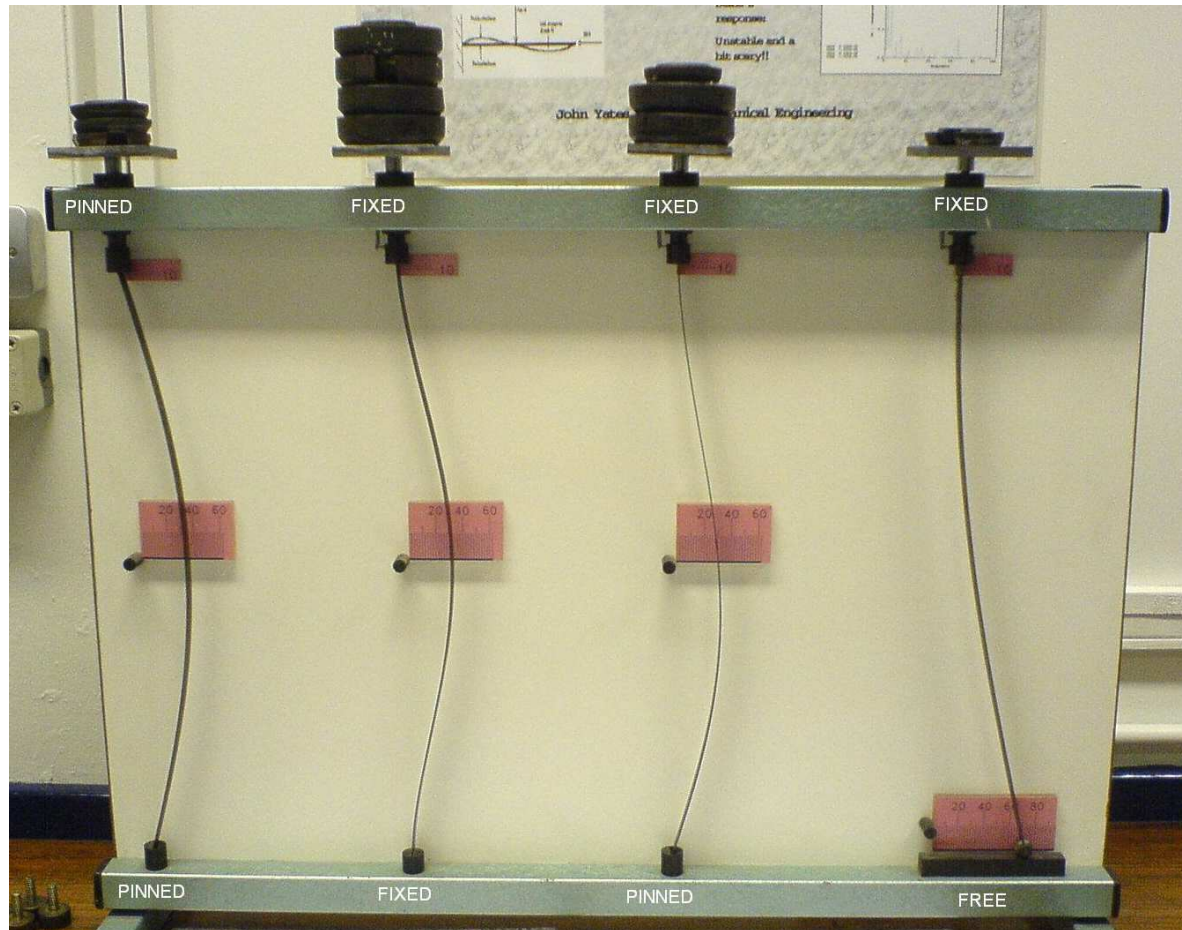
Longitud
de
pandeo

$$\beta L$$

*fuente: Wikipedia.org



Influencia de las condiciones de apoyo



$$P_{cr} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 EI_z$$

Longitud
de
pandeo

$$\beta L$$

*fuente: Wikipedia.org

$$\beta = 1$$

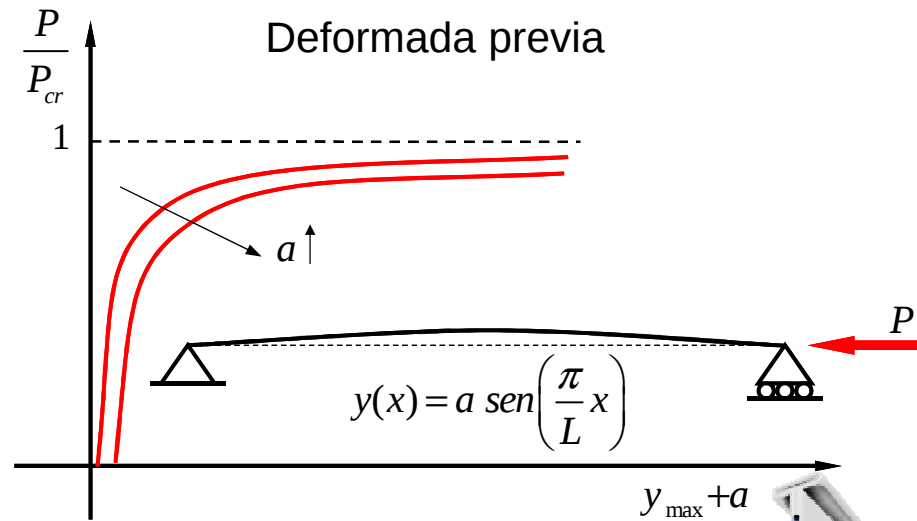
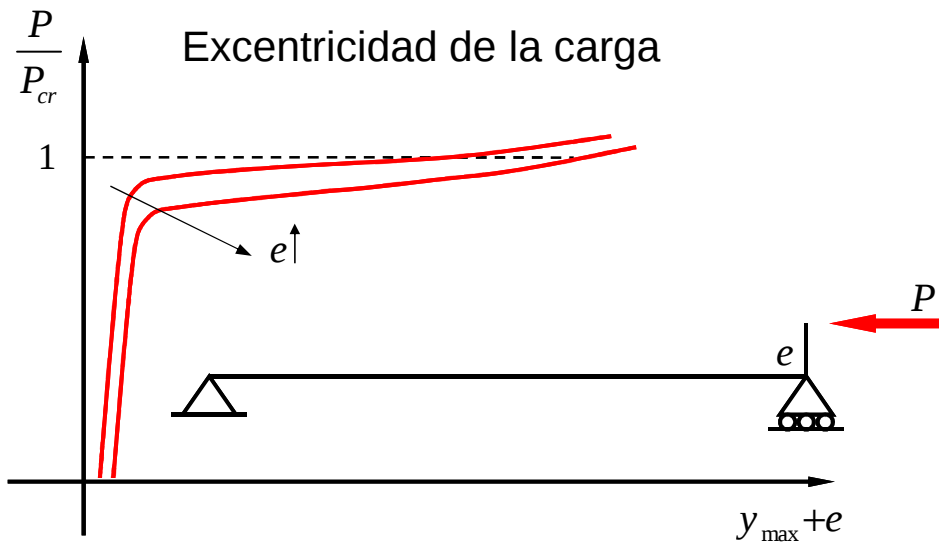
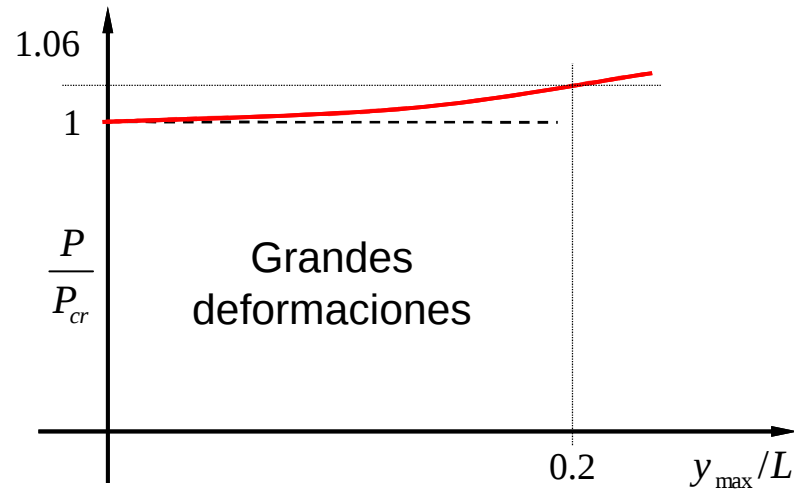
$$\beta = 0.5$$

$$\beta = 0.7$$

$$\beta = 2$$



Otros factores



Tensión crítica

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 \frac{EI_z}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L \frac{A}{I_z}} \right)^2 E$$

Tensión crítica

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 \frac{EI_z}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L \frac{A}{I_z}} \right)^2 E =$$

$$= \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 E = \left(\frac{\pi}{\lambda_z} \right)^2 E$$

$$i_k = \sqrt{\frac{I_k}{A}}$$

**Radio de
giro**

$$\lambda_k = \frac{\beta L}{i_k}$$

**Esbeltez
mecánica**



Mecánica de
Medios Continuos y
Teoría de Estructuras



Tensión crítica

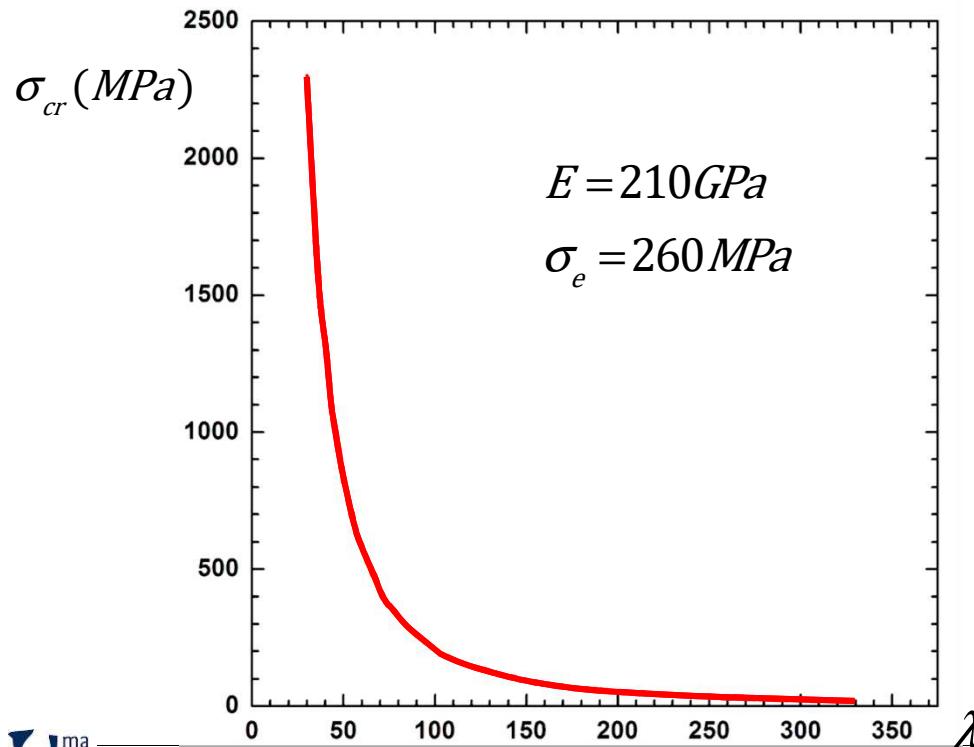
$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 E = \left(\frac{\pi}{\lambda_z} \right)^2 E$$

$$i_k = \sqrt{\frac{I_k}{A}}$$

Radio de
giro

$$\lambda_k = \frac{\beta L}{i_k}$$

Esbeltez
mecánica



Tensión crítica

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 E = \left(\frac{\pi}{\lambda_z} \right)^2 E$$

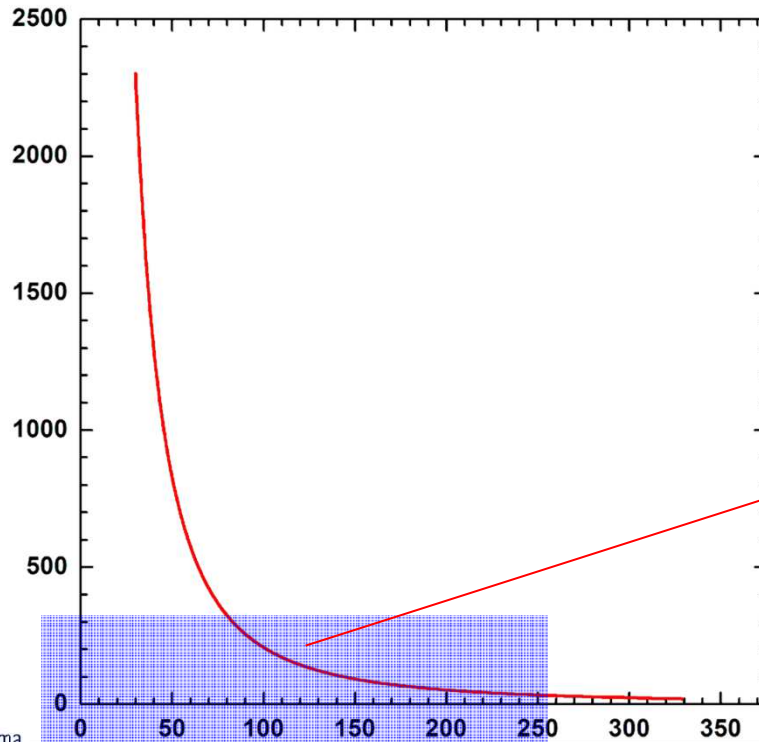
$$i_k = \sqrt{\frac{I_k}{A}}$$

Radio de
giro

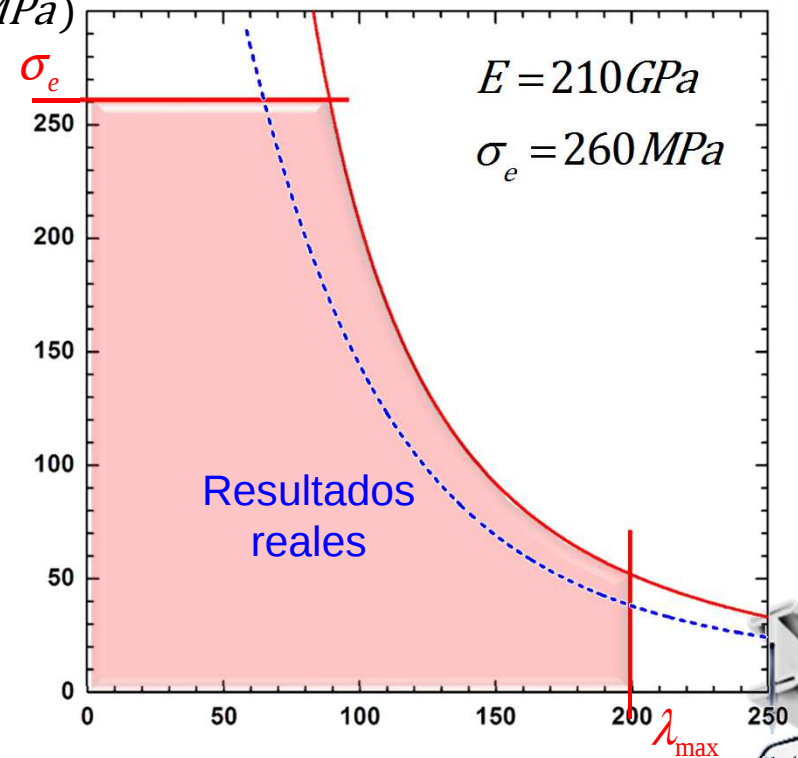
$$\lambda_k = \frac{\beta L}{i_k}$$

Esbeltez
mecánica

$\sigma_{cr} (MPa)$



$\sigma_{cr} (MPa)$



Tensión crítica

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \left(\frac{\pi}{\beta L} \right)^2 E = \left(\frac{\pi}{\lambda_z} \right)^2 E$$

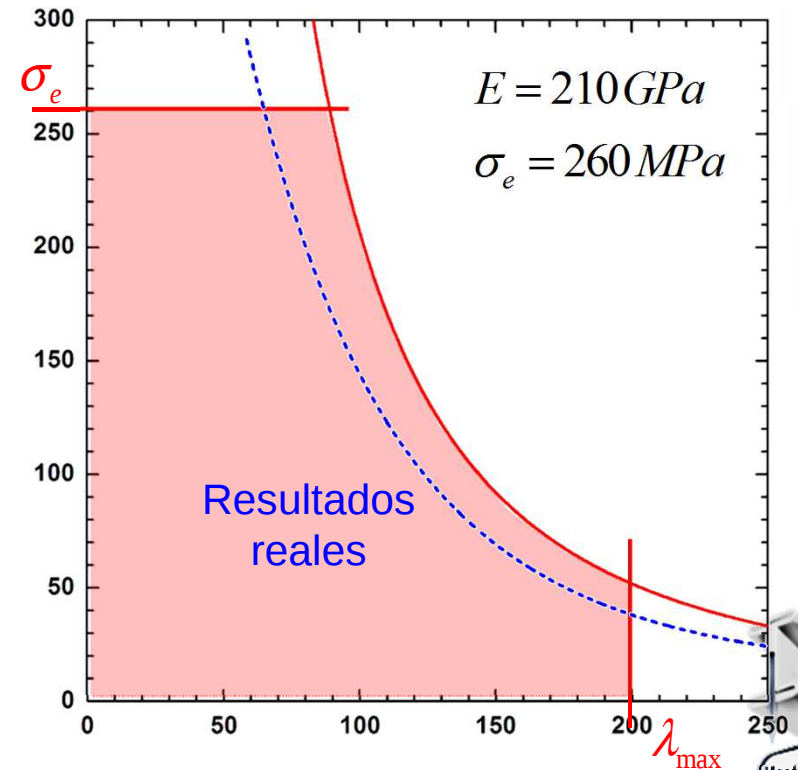
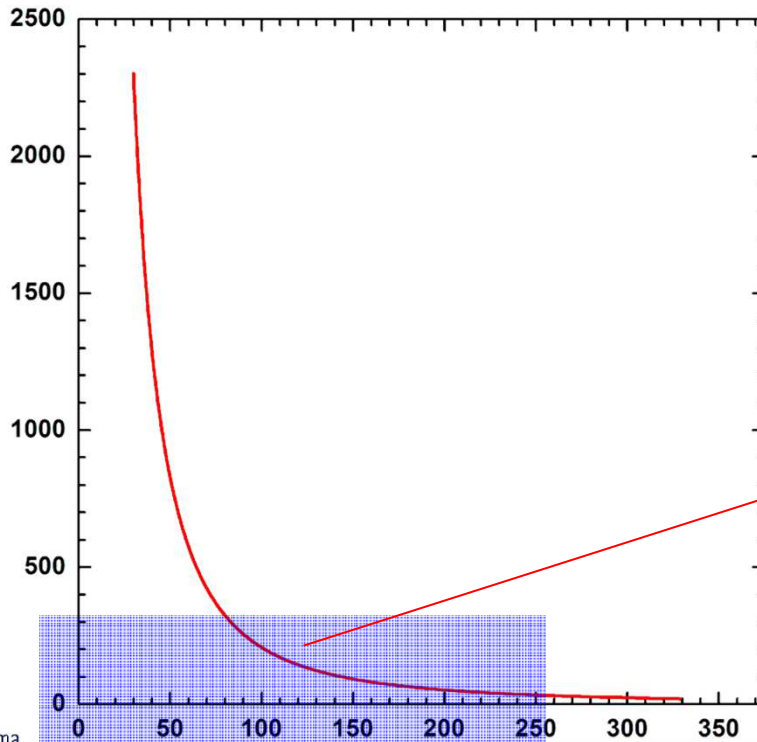
$$i_k = \sqrt{\frac{I_k}{A}}$$

Radio de
giro

$$\lambda_k = \frac{\beta L}{i_k}$$

Esbeltez
mecánica

$\sigma_{cr} (MPa)$



**Comprobación a pandeo
(para estructuras de acero)
según el código técnico**

CTE

Código Técnico de la Edificación

Marzo de 2006



Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

Las siguientes son características comunes a todos los aceros:

- módulo de Elasticidad: E 210.000 N/mm²
- módulo de Rigidez: G 81.000 N/mm²
- coeficiente de Poisson: ν 0,3
- coeficiente de dilatación térmica: α $1,2 \cdot 10^{-5}$ (°C)⁻¹
- densidad: ρ 7.850 kg/m³

5.2.4 Tipos de sección

- Según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección solicitada por un momento flector, esta se clasifica en una de las cuatro clases siguientes:

Tabla 5.1 Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores

Clase 1: Plástica	Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Semicompacta o Elástica	En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida.

- Para la verificación de la seguridad estructural se deberá emplear uno de los métodos de cálculo definidos en la tabla 5.2, en concordancia con la clase de las secciones transversales.

Tabla 5.2 Métodos de cálculo

Clase de sección	Método para la determinación de las solicitaciones	Método para la determinación de la resistencia de las secciones
Plástica	Plástico o Elástico	Plástico o Elástico
Compacta	Elástico	Plástico o Elástico
Semicompacta	Elástico	Elástico
Esbelta	Elástico con posible reducción de rigidez	Elástico con resistencia reducida



Mecánica de
Medios Continuos y
Teoría de Estructuras

6.3.2.1 Barras rectas de sección constante y axil constante

- 1 Se denomina **esbeltez reducida** $\bar{\lambda}$, a la relación entre la **resistencia plástica de la sección** de cálculo y la **compresión crítica por pandeo**, de valor

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I$$

**Comprobación a pandeo
según el código técnico
(acero)**

(6.18)

siendo

E módulo de elasticidad;

I momento de inercia del área de la sección para flexión **en el plano considerado;**

L_k longitud de pandeo de la pieza, equivalente a la distancia entre puntos de inflexión de la deformación de pandeo que la tenga mayor **Para los casos canónicos se define en la tabla 6.1 en función de la longitud de la pieza. Para condiciones diferentes para la carga axial o la sección se define en apartados posteriores.**

Tabla 6.1 Longitud de pandeo de barras canónicas

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L



- 2 El coeficiente χ de reducción por pandeo, para valores de la esbeltez reducida $\bar{\lambda}_k \geq 0,2$, se obtiene de:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \left(\bar{\lambda}_k\right)^2}} \leq 1 \quad (6.19)$$

donde

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \left(\bar{\lambda}_k\right)^2 \right] \quad (6.20)$$

α es el coeficiente de imperfección elástica, que adopta los valores de la tabla 6.3 en función de la curva de pandeo (véase tabla 6.2). Ésta representa la sensibilidad al fenómeno dependiendo del tipo de sección, plano de pandeo y tipo de acero, de acuerdo a la table 6.2.

- 3 Los valores del coeficiente χ se pueden obtener directamente de la figura 6.3 o de la tabla 6.3. en función del coeficiente de imperfección y de la esbeltez reducida.

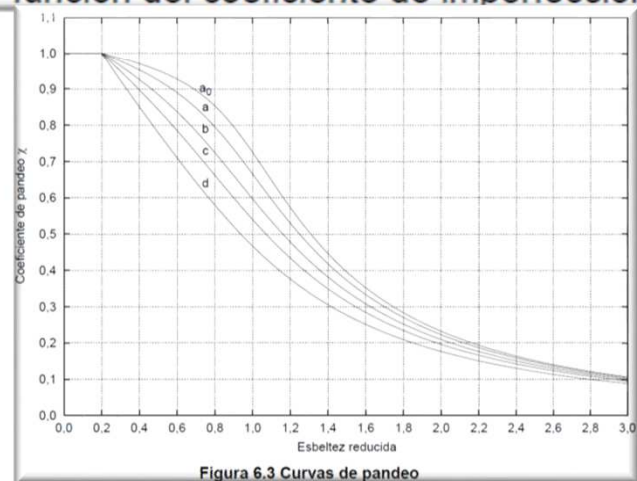


Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo (χ)

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a_0	a	b	c	d
Coeficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
$\leq 0,20$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 ⁽¹⁾	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 ⁽¹⁾	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 ⁽¹⁾	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 ⁽²⁾	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 ⁽²⁾	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

⁽¹⁾ esbeltez intolerable en los elementos principales
⁽²⁾ esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento

Comprobación a pandeo según el código técnico (acero)



Mecánica de
Medios Continuos y
Teoría de Estructuras

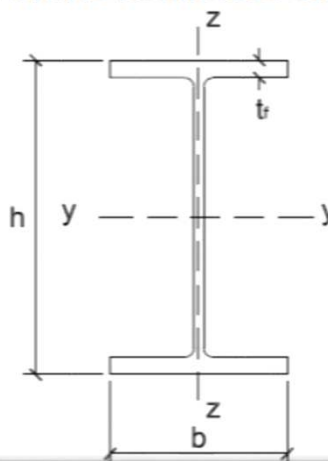


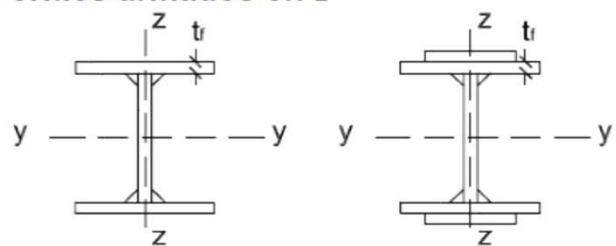
Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo (χ)

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a_0	a	b	c	d
Coeficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
$\leq 0,20$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 ⁽¹⁾	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 ⁽¹⁾	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 ⁽¹⁾	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 ⁽²⁾	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 ⁽²⁾	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09
⁽¹⁾ esbeltez intolerable en los elementos principales					
⁽²⁾ esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento					



Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

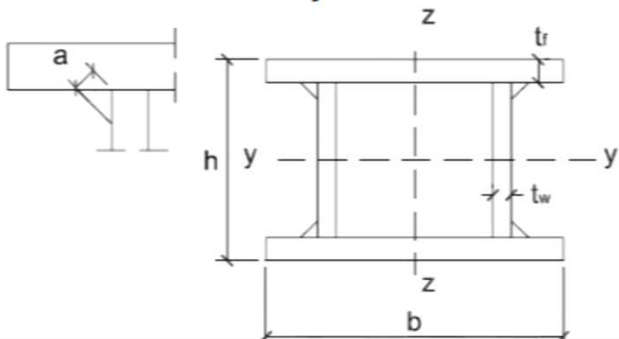
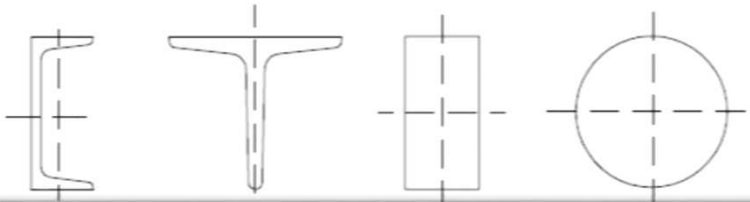
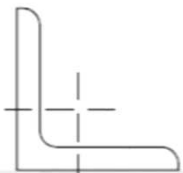
Tipo de sección	Tipo de acero		S235 a S355		S450	
	Eje de pandeo ⁽¹⁾		y	z	y	z
Perfiles laminados en I 	$h/b > 1,2$	$t \leq 40 \text{ mm}$	a	b	a_0	a_0
		$40 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	b	c	a	a
	$h/b \leq 1,2$	$t \leq 100 \text{ mm}$	b	c	a	a
		$t > 100 \text{ mm}$	d	d	c	c

Perfiles armados en I 	$t \leq 40 \text{ mm}$	b	c	b	c
	$t > 40 \text{ mm}$	c	d	c	d

Agrupación de perfiles laminados soldados 	c	c	c	c
--	---	---	---	---



Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Tipo de sección	Tipo de acero Eje de pandeo ⁽¹⁾	S235 a S355		S450	
		y	z	y	z
Tubos de chapa simples o agrupados 	laminados en caliente	a	a	a ₀	a ₀
	conformados en frío	c	c	c	c
Perfiles armados en cajón ⁽²⁾ 	soldadura gruesa: $a/t > 0,5$ $b/t < 30$ $h/t_w < 30$	c	c	c	c
	en otro caso	b	b	b	b
Perfiles simples U, T, chapa, redondo macizo 		c	c	c	c
Perfiles L 		b	b	b	b

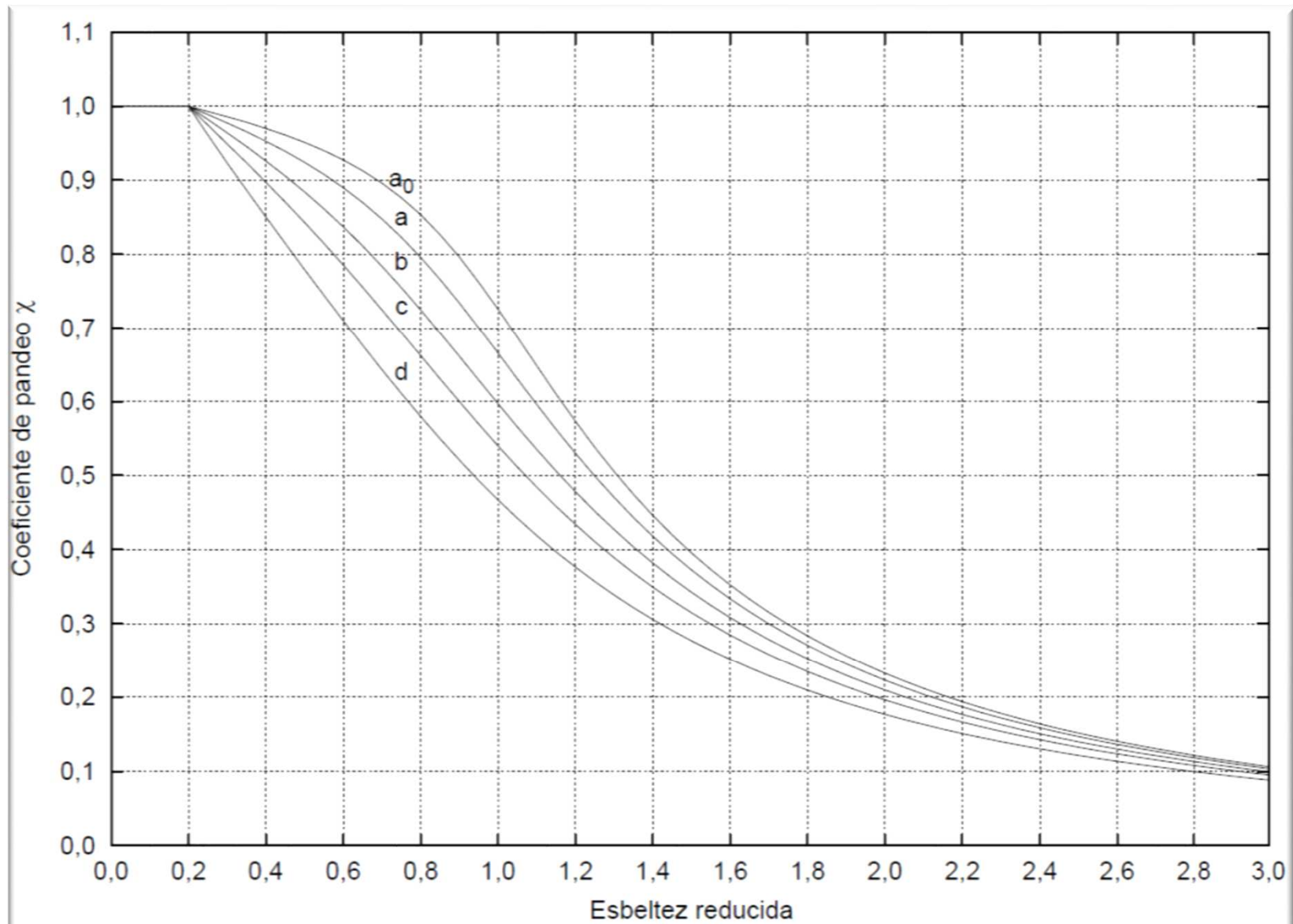


Figura 6.3 Curvas de pandeo



Mecánica de
Medios Continuos y
Teoría de Estructuras

6.3.2.2 Esfuerzos axiles variables

- 1 Las barras de sección constante solicitadas por esfuerzos axiles que varían de forma lineal o parabólica a lo largo del eje podrán calcularse como sometidas a un esfuerzo axil constante de valor igual al máximo axil actuante y con la longitud de pandeo igual a:

$$L_k = L \sqrt{\frac{1 + a \cdot N_{min} / N_{max}}{b}}$$

en la que los parámetros a y b tienen los valores:

- a) variación lineal, máximo en el centro: doblemente articulada: $a = 2,18$ $b = 3,18$
doblemente empotrada: $a = 0,93$ $b = 7,72$
b) variación parabólica, máximo en el centro: doblemente articulada: $a = 1,09$ $b = 2,09$
doblemente empotrada: $a = 0,35$ $b = 5,40$
c) ménsula con máximo en el empotramiento: variación lineal: $a = 2,18$ $b = 3,18$
variación parabólica: $a = 1,09$ $b = 2,09$
e) variación lineal, máximo en un extremo: doblemente articulada: $a = 0,88$ $b = 1,88$
doblemente empotrada: $a = 0,93$ $b = 7,72$
articulada en el mínimo y empotrada en el máximo: $a = 1,65$ $b = 5,42$
articulada en el máximo y empotrada en el mínimo: $a = 0,51$ $b = 3,09$

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.51)$$

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ son los valores de la fuerza axial y de los momentos de cálculo de mayor valor absoluto de la pieza,

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

los valores de A^* ; W_y ; W_z ; α_y ; α_z ; $e_{N,y}$; $e_{N,z}$ están indicados en la tabla 6.12;

χ_y y χ_z son los coeficientes de pandeo en cada dirección;

χ_{LT} es el coeficiente de pandeo lateral, según 6.3.3; se tomará igual a 1,00 en susceptibles de pandeo por torsión.

$e_{N,y}$ y $e_{N,z}$ desplazamientos del centro de gravedad de la sección transversal efectiva con respecto a la posición del centro de gravedad de la sección transversal bruta, en piezas con secciones de clase 4.

Los coeficientes k_y , k_z , k_{yLT} se indican en la tabla 6.13.

Los factores de momento flector uniforme equivalente $c_{m,y}$, $c_{m,z}$, c_{mLT} se obtienen de la tabla 6.14 en función de la forma del diagrama de momentos flectores entre puntos arriostrados tal como se indica en la tabla.

En las barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a la de las propias barras debe tomarse:

$$c_m = 0,9$$

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

- 1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.53)$$

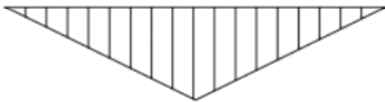
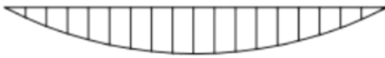
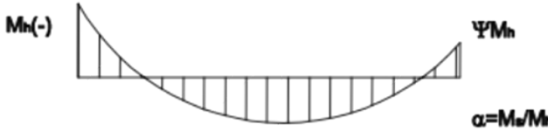
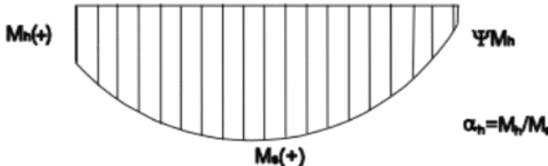
Tabla 6.12 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza

Clase	A^*	W_y	W_z	α_y	α_z	$e_{N,y}$	$e_{N,z}$
1	A	W_{ply}	W_{plz}	0,6	0,6	0	0
2	A	W_{ply}	W_{plz}	0,6	0,6	0	0
3	A	W_{ely}	W_{elz}	0,8	1	0	0
4	A_{eff}	$W_{eff,y}$	$W_{eff,z}$	0,8	1	Según pieza y tensiones	Según pieza y tensiones

Tabla 6.13 Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{CRd}}$	$1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{CRd}}$	el menor de $1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{CRd}}$ y $0,6 + \bar{\lambda}_z$
	Hueca delgada	$1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{CRd}}$	$1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{CRd}}$	
3 y 4	Todas	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{CRd}}$	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{CRd}}$	$1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{CRd}}$
siendo $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y y z - z, no mayores que 1,00.				
$N_{CRd} = A^* \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$				

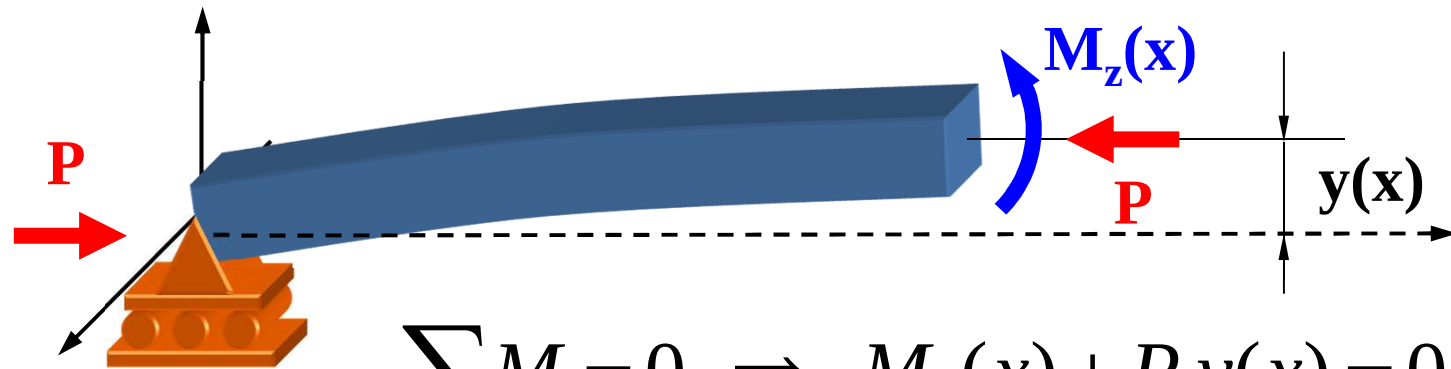
$$(6.53)$$

Tabla 6.14 Coeficientes del momento equivalente		
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z - z
$C_{m,z}$	z - z	y-y
$C_{m,LT}$	y - y	y-y
Diagrama de Flectores		Factor de momento uniforme equivalente
		$C_{m,y} = C_{m,i} \text{ (} i=y \text{)}$
		$C_{m,z} = C_{m,i} \text{ (} i=z \text{)}$
		$C_{m,LT} = C_{m,i} \text{ (} i=LT \text{)}$
Momentos de extremo $-1 \leq \Psi \leq 1$		
		$C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi \geq 0,4$
Momento debido a cargas laterales coplanarias		
		$C_{m,i} = 0,9$
		$C_{m,i} = 0,95$
Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos		
		$C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \text{ si } -1 \leq \alpha \leq 0$
		$C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \text{ si } 0 \leq \alpha \leq 1$
		$C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \text{ con } -1 \leq \alpha_h \leq 1$

Comprobación a pandeo

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y A} + \frac{M_{y,ED}}{W_y} + \frac{M_{z,ED}}{W_z} \leq f_{yd}$$





$$\sum M = 0 \Rightarrow M_z(x) + P y(x) = 0$$

$$y''(x) = \frac{M_z(x)}{EI_z}$$

$$\Rightarrow EI_z y''(x) + P y(x) = 0$$

$$k = \sqrt{P/EI_z}$$

$$y''(x) + k^2 y(x) = 0$$

$$y(x) = a \sin(kx) + b \cos(kx)$$

$$y(0) = 0 \quad b = 0$$

$$y(L) = 0 \quad a \sin(kL) = 0$$

