



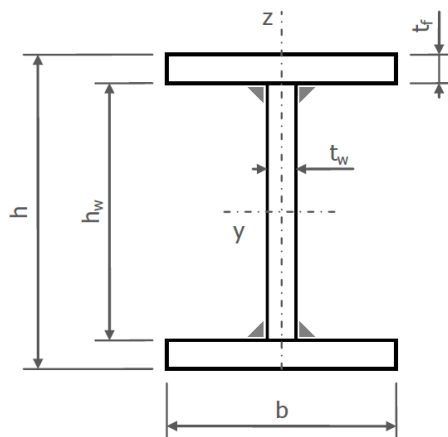
## CONSTRUCCIÓN METÁLICA Y MIXTA

MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

CURSO 2018-2019

### ANÁLISIS DE PANDEO LATERAL EN VIGAS FLECTADAS

Se trata de crear un modelo de elementos finitos para una viga bi-apoyada de 13 m de vano, sometida a una carga uniformemente repartida, para analizar el efecto de **pandeo lateral** de vigas flectadas y visualizar los efectos de la **abolladura local** de chapas. La viga se fabrica con acero S 355 J0 y su sección transversal armada en doble T es la indicada a continuación.



$$h = 780 \text{ mm}$$

$$b = 260 \text{ mm}$$

$$t_f = 25 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$I_y = 9,903 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 2,931 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 2,281 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 4,342 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

Los módulos de torsión  $I_t$  y alabeo  $I_w$  son conformes al art. 18.2.4 de la Instrucción EAE.

Sección	Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes	Módulo de torsión $I_t$	Módulo de alabeo $I_w$
<p>4</p> <p>Doble Te simétrica</p>	$y_o = 0$ $z_o = 0$	$\frac{2be_1^3 + b_3e_3^3}{3}$	$I_t \cdot \frac{h^2}{2} = I_z \cdot \frac{h^2}{4}$

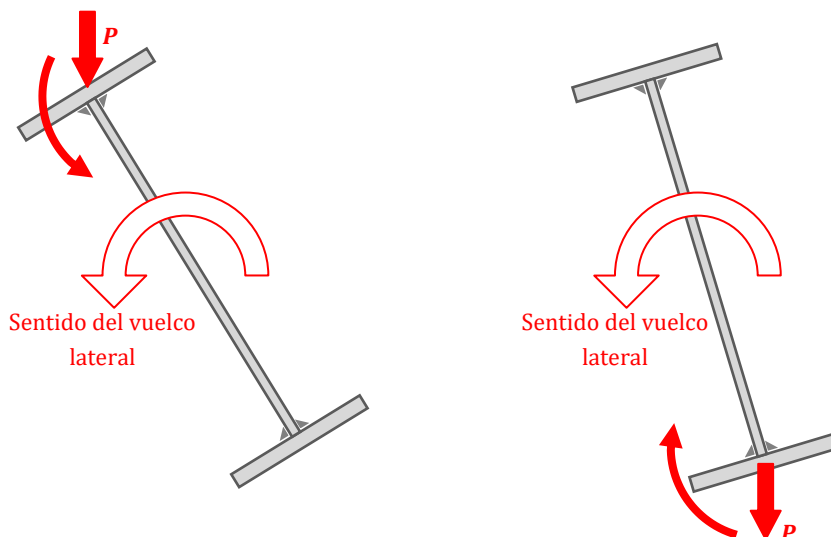
El momento crítico elástico de pandeo lateral se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{k_\phi L_c} \sqrt{GEI_z I_t} \left[ \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\kappa^2} (1 + C_2^2)} \pm C_2 \frac{\pi}{\kappa} \right] \quad \text{con } \kappa = k_\phi L_c \sqrt{\frac{GI_t}{EI_w}}$$

donde  $C_1$  y  $C_2$  son coeficientes que dependen de la forma de la ley de flectores entre puntos arriostrados lateralmente;  $k_\phi$  es un factor que depende de las condiciones de coacción de la rotación alrededor del eje débil en los puntos de arriostramiento ( $k_\phi = 1$  si el giro está liberado en ambos;  $k_\phi = 0,5$  si está impedido);  $L_c$  es la distancia entre dichos puntos;  $G$  y  $E$  son los módulos de elasticidad transversal y longitudinal, respectivamente.

El coeficiente  $C_2$  y el signo  $\pm$  dentro del corchete tiene en cuenta que la carga pueda no estar aplicada en el centro de esfuerzos cortantes:

- Si la carga es gravitatoria y se aplica por encima del eje de la viga, entonces tiende a incrementar el vuelco y se adopta signo menos (reduciendo  $M_{cr}$ ).
- Por el contrario, si la carga cuelga por debajo del eje de la viga, entonces puede oponerse al vuelco y se adopta signo más (incrementando  $M_{cr}$ ).
- Si la carga se aplica en el eje de la viga, se adopta  $C_2 = 0$ .



Los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$  para el caso de una viga simplemente apoyada, arriostrada lateralmente únicamente en sus apoyos y sometida a carga distribuida se indican en la siguiente tabla, extraída del anejo F de la primera versión del Eurocódigo 3.

Tabla F.1.2 Valores de los coeficientes $C_1$ , $C_2$ y $C_3$ correspondientes a valores del coeficiente $k$ : casos de sollicitaciones transversales					
Condiciones de carga y de apoyo	Diagrama de momentos flectores	Valor de $k$	Valores de coeficientes		
			$C_1$	$C_2$	$C_3$
		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,972	0,304	0,980

Para el análisis del pandeo lateral la viga se va a mallar en 100 elementos en sentido longitudinal. El tamaño de cada elemento será de 130×130 mm, tanto en las alas como en el alma (100×6 elementos).

En cada uno de los 101 nodos disponibles en sentido longitudinal se aplicará una carga de 0,1 kN. Esto equivale a una carga distribuida uniforme de  $0,1 \cdot 101 / 13 = 0,777$  kN/m.

Se van a crear tres casos de carga para estudiar la influencia de la posición de la carga. En los tres casos la carga es descendente (gravitatoria), pero está aplicada en el ala superior (caso '*SUP*'), en el eje de la viga (caso '*EJE*') y colgando del ala inferior (caso '*INF*').

La viga dispondrá de arriostramiento lateral únicamente en las secciones de apoyo ( $L_c = 13$  m) y las condiciones de apoyo corresponderán a horquilla ( $k_\phi = 1$ ).

## RESULTADOS

### Pandeo lateral

Las respuestas obtenidas con SAP2000 y el resultado teórico aplicando la ecuación del momento crítico elástico de pandeo lateral se indican en la siguiente tabla.

Caso de Carga	Cálculo teórico		SAP2000		Error relativo
	M <sub>cr</sub> (m·kN)	q <sub>cr</sub> (kN/m)	Φ	q <sub>cr</sub> (kN/m)	
Carga aplicada en ala superior	509,2	24,10	29,67	23,05	4,6%
Carga aplicada en eje	662,4	31,36	39,36	30,58	2,6%
Carga aplicada en ala inferior	861,7	40,79	51,87	40,30	1,2%

### Coefficiente de abolladura por cortante en el alma

La tensión crítica de abolladura por cortante  $\tau_{cr}$  en el alma se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_{cr} = 0,9 k_{\tau} E \left( \frac{t_w}{h_w} \right)^2 \rightarrow k_{\tau} = \frac{\tau_{cr}}{0,9 E} \left( \frac{h_w}{t_w} \right)^2 = \frac{V_{cr}}{0,9 E} \left( \frac{h_w}{t_w} \right)^2 = \frac{V_{cr} h_w}{0,9 E t_w^3}$$

donde  $k_{\tau}$  es el coeficiente de abolladura por cortante;  $V_{cr}$  sería el valor del esfuerzo cortante crítico asociado al fenómeno de abolladura;  $h_w$  y  $t_w$  son las dimensiones del alma. Para el caso de almas no rigidizadas, la Instrucción EAE da la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente  $k_{\tau}$  de abolladura por cortante:

$$k_{\tau} = 5,34 + 4 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 + k_{\tau sl} \approx 5,34 \text{ sin rigidización}$$

donde  $a$  es la separación entre rigidizadores transversales (que tendería a infinito por no existir) y  $k_{\tau sl}$  es un coeficiente asociado a los rigidizadores longitudinales (que sería nulo porque tampoco se dispone de ellos).

El SAP2000 permite apreciar este fallo en el modo de pandeo con factor  $\Phi = 33,36$ , que corresponde a un esfuerzo cortante máximo  $V_{cr} = 33,36 \cdot 0,777 \cdot 13/2 = 168,5$  kN. El coeficiente de abolladura resultante sería  $k_{\tau} = 5,56$  y es suficientemente aproximado al previsto en EAE.