

PROBLEMA N°8

Verificar si la pieza del problema anterior (pieza biarticulada de sección HEA160, fabricada con un acero S235, de 4m de longitud) es capaz de soportar un momento flector uniforme en este caso respecto de su eje fuerte de magnitud $M_{y.Sd}=15kNm$ que actúa junto con el esfuerzo axial de compresión $N_{Sd}=250kN$.

SOLUCIÓN:

Las características mecánicas y geométricas de la sección HEA160 son:

Propiedades de la sección

$$h = 152 \text{ mm}$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$A = 38,8 \text{ cm}^2$$

$$i_y = 6,57 \text{ cm}$$

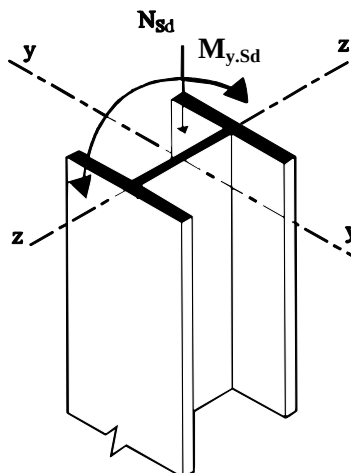
$$i_z = 3,98 \text{ cm}$$

$$W_y = 220 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 76,9 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 245 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 118 \text{ cm}^3$$



En esta ocasión deberemos de hacer una comprobación de pandeo global en el plano de flexión y adicionalmente asegurarnos de que la pieza no se agota por pandeo lateral. En esta situación, las expresiones de comprobación que se deben verificar son:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot (f_y / \gamma_{M1})} + \frac{k_y \cdot M_{y.Sd}}{W_{pl,y} \cdot (f_y / \gamma_{M1})} \leq 1$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot (f_y / \gamma_{M1})} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y.Sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl.y} \cdot (f_y / \gamma_{M1})} \leq 1$$

En la primera expresión precisamos calcular la esbeltez normalizada λ_y a partir de la cual obtendremos el coeficiente de reducción χ_y para el pandeo global de la pieza respecto del eje fuerte y-y.

$$\overline{\lambda}_y = \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_1} \right) \cdot [\beta_A]^{0,5}$$

siendo:

$$\lambda_1 = \pi [E / f_y]^{0,5} = 93,9 \text{ } \varepsilon = 93,9; \quad \beta_A = 1 \quad (\text{sección Clase 1})$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{400 \text{ cm}}{6,57 \text{ cm}} = 60,88$$

$$\overline{\lambda}_y = \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_1} \right) \cdot [\beta_A]^{0,5} = \left(\frac{60,88}{93,9} \right) \cdot 1^{0,5} = 0,631$$

En esta situación con flexión respecto del eje fuerte de la sección y relaciones geométricas

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 1,2; \quad t_f \leq 40 \text{ mm}$$

corresponde utilizar la curva de pandeo b. De ella obtenemos para la esbeltez $\lambda_y=0,631$

$$\chi_y = 0,8204$$

También precisamos calcular el coeficiente k_y que utilizaremos para mayorar el momento flector aplicado $M_{y.Sd}$ y depende de μ_y , que a su vez se obtiene a partir del coeficiente de momento equivalente $\beta_{M,\Psi}$. Este último está relacionado con la distribución de momentos.

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y}; \quad k_y \leq 1,5$$

$$\mu_y = \overline{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{M,\Psi} - 4) + \frac{W_{pl.y}}{W_{el.y}} - 1; \quad \mu_y \leq 0,9$$

Dado que el momento flector de cálculo $M_{y.Sd}$ es uniforme en toda la pieza ($\psi=1$) el coeficiente de momento equivalente $\beta_{M,\psi}$ valdrá:

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \cdot \Psi = 1,1$$

Así los coeficientes μ_y y k_y serán:

$$\begin{aligned}\mu_y &= 0,631(2 \times 1,1 - 4) + \left(\frac{245 - 220}{220} \right) = \\ &= -1,022 \leq 0,9\end{aligned}$$

$$\mu_y = 1,022$$

$$k_y = 1 - \frac{(-1,022 \times 250 \times 10^3)}{(0,8204 \times 38,8 \times 10^2 \times 235)} = 1,34$$

$$k_y = 1,34$$

Ahora ya estamos en condiciones de verificar el cumplimiento de la expresión de interacción

$$\begin{aligned}\frac{N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot (f_y / \gamma_{M1})} + \frac{k_y \cdot M_{y.Sd}}{W_{pl,y} \cdot (f_y / \gamma_{M1})} &\leq 1 \\ \frac{250 \times 10^3}{0,8204 \times 38,8 \times 10^2 \times \frac{235}{1}} + \frac{1,34 \times 15 \times 10^6}{245 \times 10^3 \times \frac{235}{1}} + 0 &\leq 1 \\ \text{(Nota } \gamma_{M1} = 1) \quad 0,334 + 0,349 &\leq 1\end{aligned}$$

podemos decir que efectivamente la sección soporta el pandeo global en el plano fuerte.

Comprobación de la pieza a pandeo lateral fuera del plano de flexión.

Se trata de verificar el cumplimiento de la expresión ya indicada anteriormente

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot (f_y / \gamma_{M1})} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y.Sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot (f_y / \gamma_{M1})} \leq 1$$

Como novedades tendremos que obtener el coeficiente reductor de pandeo lateral χ_{LT} en función de la esbeltez normalizada $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left(\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right) \cdot (\beta_w)^{1/2}$$

siendo $\beta_w = 1$ (Clases 1 y 2);
$$\begin{cases} \beta_w = \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}} & (\text{Clase 3}) \\ \beta_w = \frac{W_{eff.y}}{W_{pl.y}} & (\text{Clase 4}) \end{cases}; \quad \lambda_1 = \pi [E / f_y]^{0.5} = 93,9 \varepsilon = 93,9$$

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 L / i_z}{[C_1]^{1/2} \left[1 + \frac{1}{20} \left[\frac{L / i_z}{h / t_f} \right]^2 \right]^{1/4}}$$

teniendo en cuenta que $\psi=1$ (momento uniforme) y que $k=1$ (extremos articulados), el coeficiente $C_1=1$, de modo que la esbeltez λ_{LT} , la esbeltez normalizada $\bar{\lambda}_{LT}$ y el coeficiente de reducción de pandeo lateral χ_{LT} tomando la curva a (sección laminada) serán:

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times 4000 / 39,8}{1 \times \left[1 + \frac{1}{20} \times \left(\frac{4000 / 39,8}{152 / 9} \right)^2 \right]^{1/4}} = 70,109$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{LT} &= [\lambda_{LT} / \lambda_1] [\beta_w]^{1/2} \\ &= [70,109 / 93,9] [1]^{1/2} \\ &= 0,7466 \end{aligned}$$

Aplicar la curva (a) a la sección laminada

$$\chi_{LT} = 0,8234$$

La otra novedad de la comprobación de la pieza a pandeo lateral consiste en determinar el coeficiente mayorador k_{LT} del momento aplicado $M_{y.Sd}$. Dependiente de μ_{LT} , que a su vez se obtiene a partir de la esbeltez normalizada ($\bar{\lambda}_z = 1,0703$) y del coeficiente de momento equivalente ($\beta_{M.LT} = 1,1$) relacionado con la distribución de momentos flectores.

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}; \quad k_{LT} \leq 1,0$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M.LT} - 0,15; \quad \mu_{LT} \leq 0,9$$

$$= 0,15 \times 1,0703 \times 1,1 - 0,15$$

$$= 0,0266 \leq 0,9$$

$$\mu_{LT} = 0,0266$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Sd}}{\chi_z A f_y} =$$

$$= 1 - \frac{0,0266 \times 250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235} = 0,985$$

$$k_{LT} = 0,985$$

conocidas todas las variables estamos en condiciones de llevar a cabo la comprobación

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot (f_y / \gamma_{M1})} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y.Sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl.y} \cdot (f_y / \gamma_{M1})} \leq 1$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235 / 1} + \frac{0,985 \times 15 \times 10^6}{0,8234 \times 245 \times 10^3 \times 235 / 1} + 0 \leq 1$$

$$0,548 + 0,312 = 0,86 < 1$$

Esto nos confirma que la sección propuesta sería válida