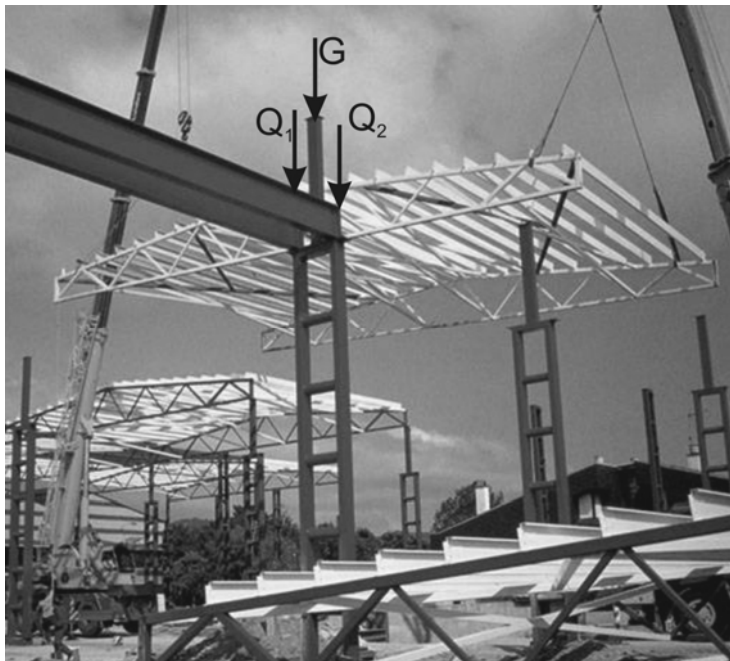


PROBLEMA N°8

La figura se representa un pilar de un edificio industrial constituido por dos tramos de sección constante. El tramo inferior de $8m$ está sometido a un par de cargas variables independientes $Q_{1d}=Q_{2d}=300kN$, además de la carga permanente de cubierta $G_d=330kN$, que corresponden a dos puentes grúa que pueden actuar o no de modo simultáneo. Este tramo está empotrado en su base y se puede considerar que su cabeza tiene impedidos los movimientos horizontales cuando los puentes grúa se encuentran sobre el pilar.

El tramo superior de $4m$ de longitud se puede considerar, para su análisis a pandeo, empotrado en el tramo inferior y articulado en su parte superior donde recibe la carga de cubierta G_d .



Teniendo en cuenta los procedimientos del CTE, se pide:

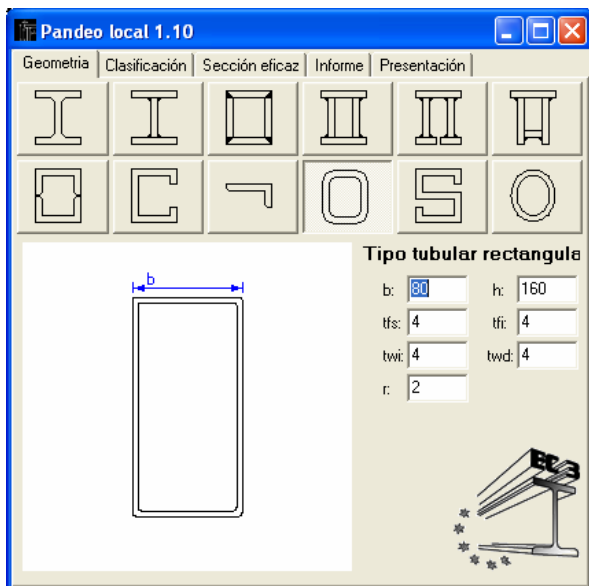
- 1º) Indicar si un perfil RHS 160.80.4 conformado en frío en acero S355 es indicado para el tramo superior. (Se recomienda tomar un coeficiente de pandeo para este tramo $\beta=1,0$ en ambos planos).
- 2º) Elegir una sección compuesta por dos perfiles simples IPE en acero S355 que resulte adecuada para soportar los esfuerzos del tramo inferior. No es preciso calcular los elementos de enlace.

SOLUCIÓN:

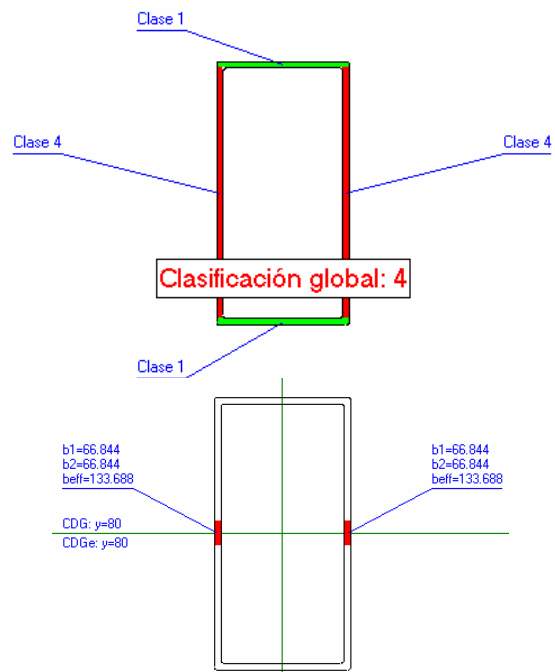
1º) Comprobación a compresión del tramo superior RHS 160.80.4

Se trata de comprobar si la sección dada es capaz de soportar la carga de compresión centrada debida a las acciones que transmite la cubierta y que vale $G_d=330kN$.

En primer lugar se deberá clasificar la sección transversal. Dadas las dimensiones particulares se tiene que la sección sería de Clase 2 en acero S235, de Clase 3 en acero S275 pero resulta ser de Clase 4 para un acero S355. (Ver figuras tomadas del software “Pandeo local”).



Tipología y dimensiones del RHS 160.80.4



Clasificación del RHS 160.80.4 a compresión

Una vez conocidas las zonas no eficaces de la sección se determina el área eficaz de la misma:

$$A_{eff} = A_{bruta} - 2 \cdot t_w \cdot l_{no\ eficaz} = 1810mm^2 - 2 \cdot 4mm \cdot 14mm = 1698mm^2$$

El procedimiento de comprobación de pilares implica verificar que $N_{sd} \leq G_d=330kN$ no supera el valor de agotamiento por pandeo $N_{b,Rd}$ que depende de la esbeltez del pilar en cada plano.

PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN

Teniendo en cuenta que la longitud de pilar es de 4m y que se sugiere tomar un coeficiente de pandeo para ambos planos de valor $\beta=1,0$ la longitud efectiva de pandeo a considerar será de 4m.

A partir de la longitud efectiva se obtiene la esbeltez mecánica para ambos planos de pandeo:

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} \begin{cases} l_{cr} : \text{longitud de pandeo} \\ i : \text{radio de giro} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{Plano fuerte } \lambda_y = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{4000mm}{57,4mm} = 69,7 \\ \text{Plano débil } \lambda_z = \frac{l_{cr}}{i_z} = \frac{4000mm}{33,5mm} = 119,4 \end{cases}$$

El siguiente paso es obtener la esbeltez de referencia $\bar{\lambda}$ que viene dada por la expresión:

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right) \cdot [\beta_A]^{0,5} \rightarrow \begin{cases} \text{Plano fuerte } \bar{\lambda}_y = 0,89 \\ \text{Plano débil } \bar{\lambda}_z = 1,52 \end{cases}$$

siendo

$$\lambda_1 = 76,4(S355)$$

$$\beta_A = \frac{A_{eff}}{A} = \frac{1698mm^2}{1801mm^2} = 0,94$$

Una vez obtenida la esbeltez de referencia $\bar{\lambda}$ se puede calcular el coeficiente de reducción χ teniendo en cuenta que se trata de un perfil tubular conformado en frío lo que implica considerar la curva de pandeo “c” y tomar un coeficiente de imperfección $\alpha=0,49$.

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \rightarrow \begin{cases} \text{Plano fuerte } \chi_y = 0,61 \\ \text{Plano débil } \chi_z = 0,31 \end{cases}$$

donde

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \rightarrow \begin{cases} \text{Plano fuerte } \phi_y = 1,06 \\ \text{Plano débil } \phi_z = 1,98 \end{cases}$$

Finalmente se obtiene la resistencia a pandeo $N_{b,Rd}$ de la pieza en cada plano con $\gamma_{M1}=1,05$.

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \begin{cases} \text{Plano fuerte } N_{b,Rdy} = 351,6kN > N_{sd} = 330kN \\ \text{Plano débil } N_{b,Rdz} = 178,3kN < N_{sd} = 330kN \end{cases}$$

PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN

Por tanto el perfil dado se agotaría por pandeo en el plano débil y es insuficiente.

En la tabla siguiente se presentan los valores de resistencia por pandeo $N_{b,Rd}$ de la pieza en el plano débil para algunas otras secciones de la serie RHS. Se puede observar que sería adecuado tomar por ejemplo un RHS 180.100.5 con $N_{b,Rd} = 360,67 \text{ kN} > 330 \text{ kN}$.

RHS plano z-z	A (cm ²)	i _z (mm)	f _y (Mpa)	γ _{M1}	β _A	α	$\bar{\lambda}$	φ	χ	N _{b,Rd} (kN)	Clase	A _{eff} (cm ²)
160.80.4	18,1	33,5	355	1,05	0,94	0,49	1,52	1,98	0,31	178,31	4	17,1
160.80.5	22,4	33	355	1,05	1,00	0,49	1,59	2,10	0,29	218,15	2	22,4
180.100.4	21,3	41,8	355	1,05	0,90	0,49	1,19	1,45	0,44	284,79	4	19,17
180.100.5	26,4	41,4	355	1,05	1,00	0,49	1,26	1,56	0,40	360,67	3	26,4

2º) Sección compuesta para tramo inferior

En este caso se trata de elegir una sección compuesta por dos piezas simples que sea capaz de soportar la carga de compresión total: $N_{sd} = Q_{1d} + Q_{2d} + G_d = 2 \times 300 \text{ kN} + 330 \text{ kN} = 930 \text{ kN}$.

El tramo tiene una longitud de 8m y dadas las condiciones de vinculación establecidas se podría considerar como una pieza empotrada-articulada por lo que el coeficiente de pandeo y la correspondiente longitud efectiva serán: $\beta = 0,7 \rightarrow L_{cri} = 0,7 \times 8 \text{ m} = 5,6 \text{ m}$.

Siguiendo las indicaciones del enunciado se propone disponer una sección compuesta a partir de 2IPE separados una distancia s entre los planos de sus almas.

Para el pandeo en el plano perpendicular al eje fuerte y-y el radio de giro de dos perfiles coincide con el de un solo perfil mientras que se dispone del doble de sección transversal. En estas condiciones y siguiendo el procedimiento de cálculo a pandeo sería necesario tomar un par de perfiles IPE180 que presentan una resistencia por pandeo $N_{b,Rd} = 1089 \text{ kN}$ resultando insuficiente los perfiles previos IPE160 como se puede observar en la tabla siguiente.

IPE	L _{cri} (m)	A (cm ²)	i _y i _z (mm)	γ _{M1}	λ ₁	β _A	Curva	α	$\bar{\lambda}$	φ	χ	N _{b,Rd} (kN)
2x160 (y-y)	5,6	40,2	65,8	1,05	76,4	1	a	0,21	1,11	1,22	0,59	797,1
2x180 (y-y)	5,6	47,8	74,2	1,05	76,4	1	a	0,21	0,99	1,07	0,67	1089,4
2x180 (z-z)	5,6	47,8	77,6	1,05	76,4	1	b	0,34	0,94	1,07	0,63	1022,2

PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN

Por su parte para el pandeo en el plano perpendicular al eje débil si se toma una separación entre perfiles $s=150mm$ se tiene una inercia y radio de giro del conjunto de la sección:

$$I_z = 2 \cdot \left(I_{z1} + A_1 \cdot \left(\frac{s}{2} \right)^2 \right) = 2 \cdot \left(100,9cm^4 + 23,95cm^2 \cdot \left(\frac{15cm}{2} \right)^2 \right) = 2896cm^4$$
$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{2 \cdot A_1}} = \sqrt{\frac{2896cm^4}{2 \cdot 23,95cm^2}} = 7,76cm$$

Si se lleva a cabo el procedimiento de cálculo a pandeo del pilar en su plano débil teniendo en cuenta este radio de giro y el resto de variables ya comentadas se obtiene una resistencia

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,63 \cdot 1 \cdot \frac{4790mm^2 \cdot 355N/mm^2}{1,05} = 1022kN > N_{sd} = 930kN$$

Por tanto la propuesta de 2IPE180 separados 150mm parece adecuada.