

PROBLEMA N°4

Comprobar si un perfil IPE300 en acero S275 sería una sección adecuada para la viga continua con dos vanos de 6m cargada y vinculada como se muestra en la figura.

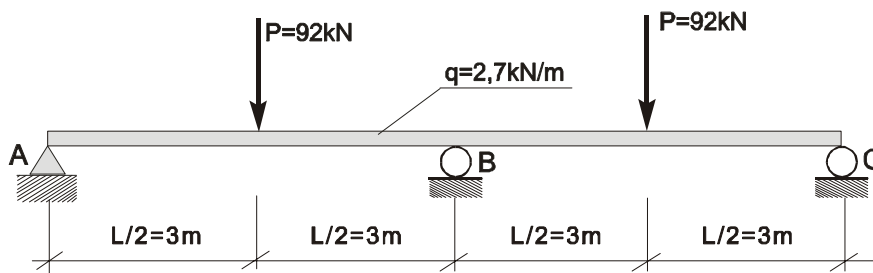
Supondremos que las cargas puntuales ($P=92\text{kN}$)= Q_k son acciones variables que pueden actuar de forma independiente y que la carga uniforme ($q=2,7\text{kN/m}$)= G_k representa las acciones permanentes presentes sobre la pieza.

Considerar dos situaciones distintas de posibles arriostramientos transversales:

Situación A: La viga se encuentra firmemente arriostrada.

Situación B: Sólo se arriostran las secciones centrales y de los apoyos, siendo ($P=61\text{kN}$).

Nota: No es preciso llevar a cabo a comprobación del ELS por flecha.



SOLUCIÓN:

Situación A) Viga arriostrada transversalmente

En esta primera situación se supone que la viga se encuentra firmemente arriostrada en sentido transversal de modo que no hay posibilidad de que se produzca un fallo por pandeo lateral.

En primer lugar vamos a obtener las combinaciones de hipótesis a analizar y los esfuerzos flectores y cortantes que se derivan de ellas para pasar a continuación a comprobar los ELU.

A-1º) Combinaciones de hipótesis de carga

Tenemos una acción permanente $G_k=q$ y un par de acciones variables $Q_{k1}=P$ y $Q_{k2}=P$.

Dada la tipología de la viga y las cargas que actúan deberemos considerar dos combinaciones:

PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

C1: Consistirá en combinar la carga permanente con toda la carga variable ($G_k+Q_{k1}+Q_{k2}$).

C2: Consiste en combinar la carga permanente con una única carga puntual (G_k+Q_{k1}).

Combinación C1:

$$\left. \begin{aligned} G_d &= \gamma_G \cdot G_k = 1,35 \cdot q = 1,35 \cdot 2,7 \text{ kN/m} = 3,64 \text{ kN/m} \\ Q_{d1} &= \gamma_Q \cdot Q_{k1} = 1,5 \cdot P = 1,5 \cdot 92 \text{ kN} = 138 \text{ kN} \\ Q_{d2} &= \gamma_Q \cdot Q_{k2} = 1,5 \cdot P = 1,5 \cdot 92 \text{ kN} = 138 \text{ kN} \end{aligned} \right\}$$

Combinación C2:

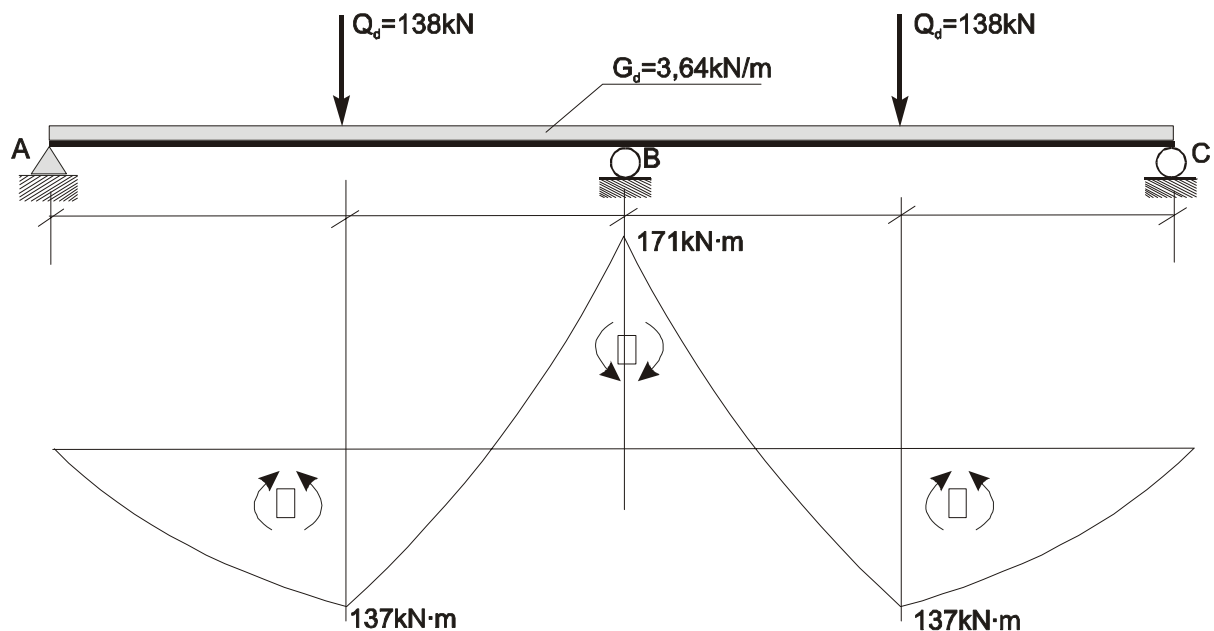
$$\left. \begin{aligned} G_d &= \gamma_G \cdot G_k = 1,35 \cdot q = 1,35 \cdot 2,7 \text{ kN/m} = 3,64 \text{ kN/m} \\ Q_{d1} &= \gamma_Q \cdot Q_{k1} = 1,5 \cdot P = 1,5 \cdot 92 \text{ kN} = 138 \text{ kN} \end{aligned} \right\}$$

G_k, Q_k : Acciones características permanentes y variables.

γ_G, γ_Q : Coeficientes parciales para acciones permanentes y variables.

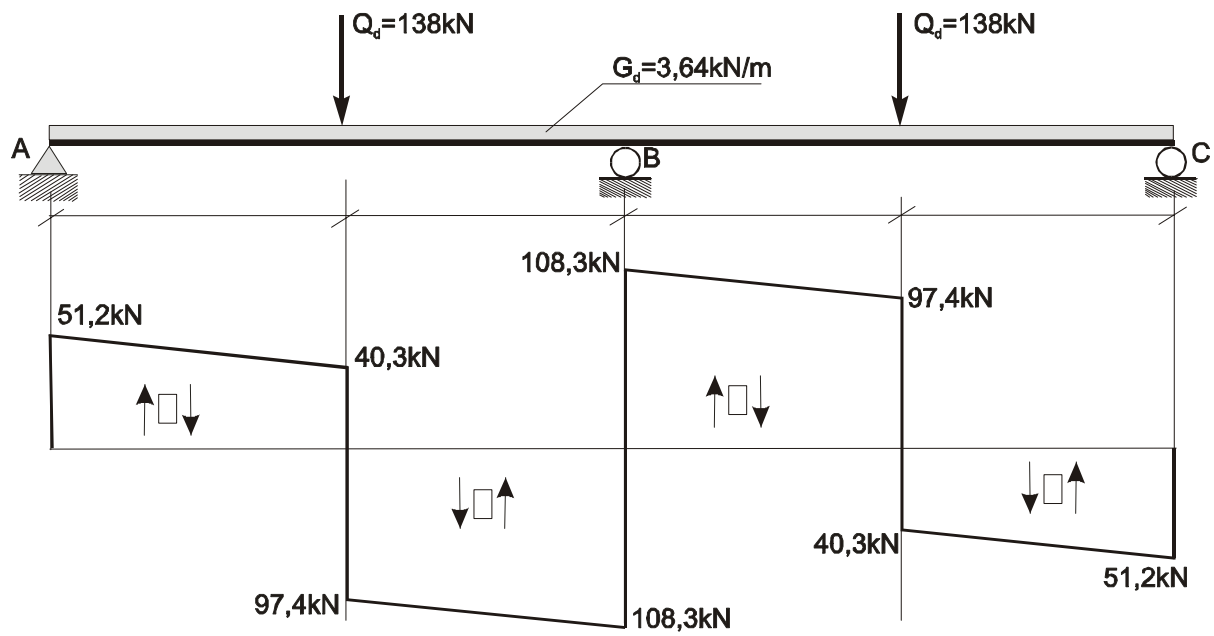
A-2º) Diagramas de esfuerzos con análisis elástico

-Diagrama de momentos flectores para la combinación C1:

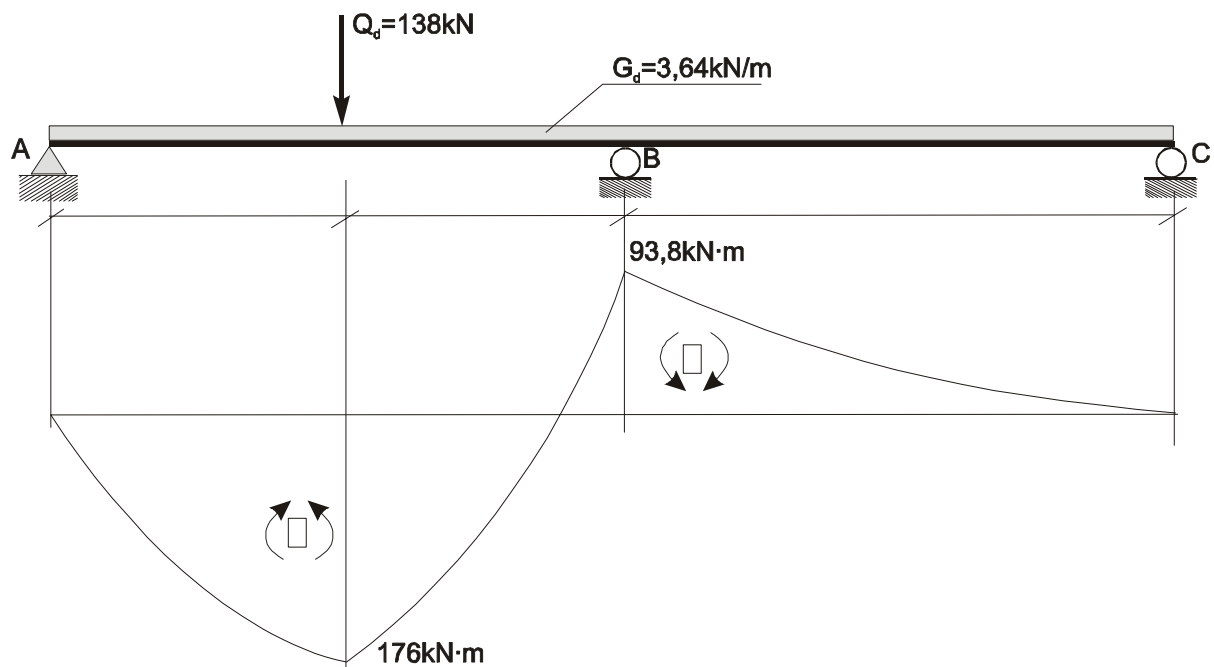


PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

-Diagrama de esfuerzos cortantes para la combinación C1:

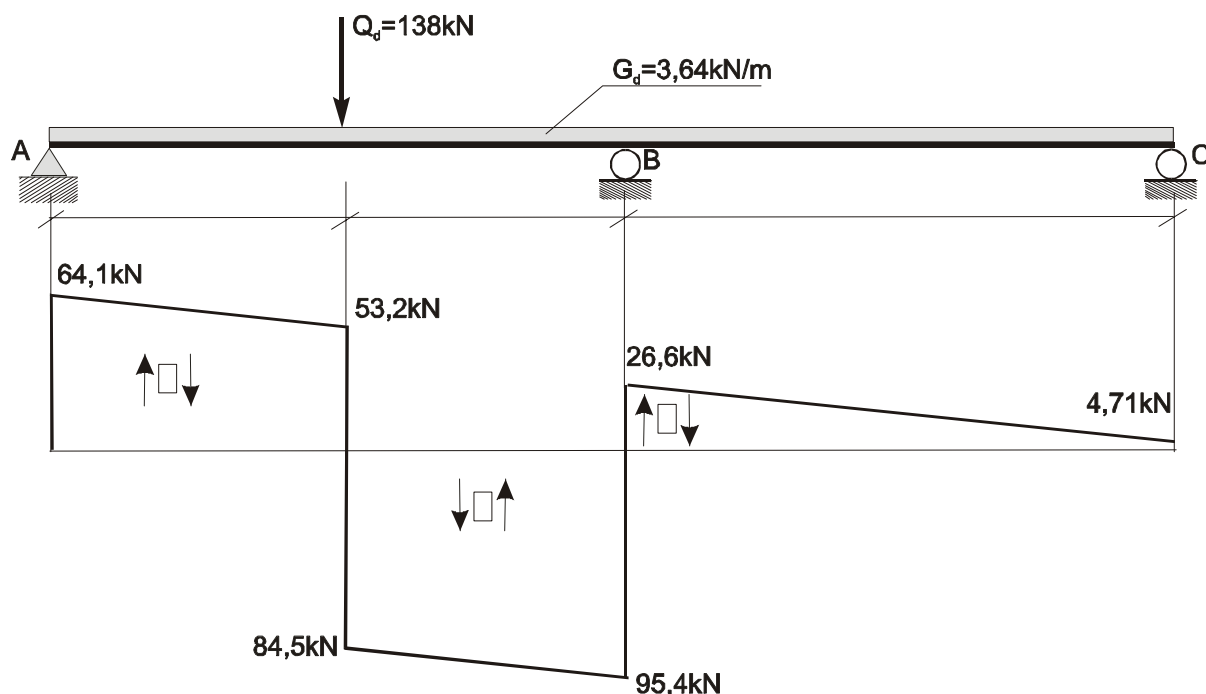


-Diagrama de momentos flectores para la combinación C2:



PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

-Diagrama de esfuerzos cortantes para la combinación C2:



Resumen de esfuerzos máximos:

COMBINACIÓN	Momento flector $M_{y,Sd}$	Esfuerzo cortante $V_{z,Sd}$
C1 ($G_k + Q_{k1} + Q_{k2}$)	171 kN·m Apoyo intermedio	108 kN Apoyo intermedio
C2 ($G_k + Q_{k1}$)	176 kN·m Sección de carga puntual	95,4 kN Apoyo intermedio

A-3º) Clasificación de la sección

La sección dada corresponde a la de un perfil **IPE300** cuyas características mecánicas son:

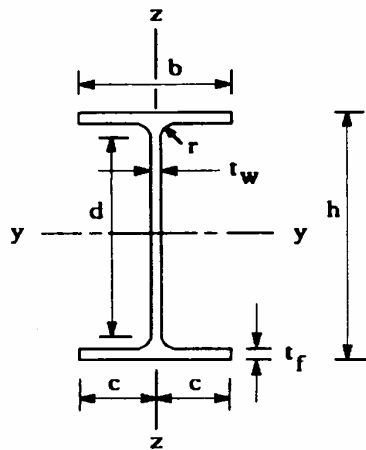
h :	Canto total =	300 mm	t_f :	Espesor del ala =	10,7 mm
b :	Anchura del ala =	150 mm	t_w :	Espesor del alma =	7,1 mm
c :	Anchura del semiala =	75 mm	r :	Radio de la raíz =	15 mm
d :	Altura entre cordones =	248 mm	A :	Área de la sección =	53,8 cm ²

I_y : Inercia respecto del eje fuerte $y = 8360 \text{ cm}^4$ I_z : Inercia respecto del eje débil $z = 604 \text{ cm}^4$
 $W_{el,y}$: Módulo elástico en $y = 557 \text{ cm}^3$ $W_{pl,y}$: Módulo plástico en $y = 628 \text{ cm}^3$
 I_t : Módulo de torsión = $15,6 \text{ cm}^4$ p : peso propio = $0,42 \text{ kN/m}$

Dado que para un IPE300 $t_f < 40 \text{ mm}$, la resistencia de cálculo del acero f_{yd} a tomar será:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{275 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 250 \text{ N/mm}^2$$

Clasificación de la sección IPE300 a flexión simple.



El alma del perfil es de clase 1 si se cumple:

$$CLASE 1 \Rightarrow \frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon \quad (S275 \rightarrow \varepsilon = 0,92);$$

$$\frac{248}{7,1} = 35 < 72 \cdot \varepsilon = 66 \Rightarrow CLASE 1$$

El ala comprimida por la flexión es de clase 1 si cumplimos:

$$CLASE 1 \Rightarrow \frac{c}{t_f} \leq 10 \cdot \varepsilon; \quad \frac{75}{10,7} = 7 < 10 \cdot \varepsilon = 9,2 \Rightarrow CLASE 1$$

A-4º) Comprobación del ELU de agotamiento por cortante

El máximo esfuerzo cortante se produce para la combinación de hipótesis C1 en el apoyo intermedio y su valor de cálculo es: $V_{z.Sd} = 108 \text{ kN}$. Para que no se alcance un agotamiento debido al cortante se precisa que la sección transversal disponga de una resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{pl.Rd}$ que verifique:

$$V_{pl.Rd} > V_{z.Sd} = 108 \text{ kN}$$

siendo

$$V_{pl.Rd} = A_v \cdot \frac{(f_y / \sqrt{3})}{\gamma_M}$$

A_v es el área resistente a cortante de la sección que para perfiles I viene dada por:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$53,8 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 15 \text{ cm} \cdot 1,07 \text{ cm} + (0,71 \text{ cm} + 2 \cdot 1,5 \text{ cm}) \cdot 1,07 \text{ cm} = 25,7 \text{ cm}^2$$

así tenemos que la resistencia plástica a cortante $V_{pl.Rd}$ será:

$$V_{pl.Rd} = A_v \cdot \frac{(f_y / \sqrt{3})}{\gamma_M} = 25,7 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \cdot \frac{\left(\frac{275 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1,1} = 371 \text{ kN} > V_{z.sd} = 108 \text{ kN}$$

Dado que el cortante máximo no supera el 50% de la resistencia plástica a cortante, no precisaremos llevar a cabo ninguna reducción en el momento resistente de la sección.

$$V_{z.sd} = 108 \text{ kN} < 50\% (V_{pl.Rd}) = 185,5 \text{ kN} \Rightarrow M_{c.Rd} = M_{pl.Rd}$$

A-5º) Comprobación del ELU de agotamiento por flexión

Tal y como hemos obtenido en los diagramas, el momento flector máximo se produce en la sección de aplicación de la carga puntual para la combinación C2 y su valor es $M_{sd} = 176 \text{ kN} \cdot \text{m}$. Teniendo en cuenta que la sección es de clase 1 podremos utilizar el criterio de resistencia plástica, de modo que el momento resistente de cálculo $M_{c.Rd}$ será:

$$M_{c.Rd} = M_{pl.Rd} = W_{pl.y} \cdot f_{yd} = 628 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 = 157 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

valor que resulta no obstante inferior al momento flector de cálculo y por tanto insuficiente.

$$M_{c.Rd} = M_{pl.Rd} = 157 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{sd} = 176 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Como es evidente, el momento de agotamiento con criterio de resistencia elástico (clase 3) está aún más lejos del momento flector de cálculo.

$$M_{el.Rd} = W_{el.y} \cdot f_{yd} = 557 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 = 139 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{sd} = 176 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ahora bien, si consideramos que se dan las condiciones que el EC3 impone para poder llevar a cabo un análisis global plástico, procederemos a un nuevo análisis de la viga en este sentido.

A-6º) Análisis global plástico

Las condiciones que impone el EC3 para realizar un análisis global plástico se cumplen:

- La sección es de Clase 1
- No hay riesgo de pandeo lateral

$$-\frac{f_u}{f_y} = \frac{430}{275} = 1,56 > 1,2$$

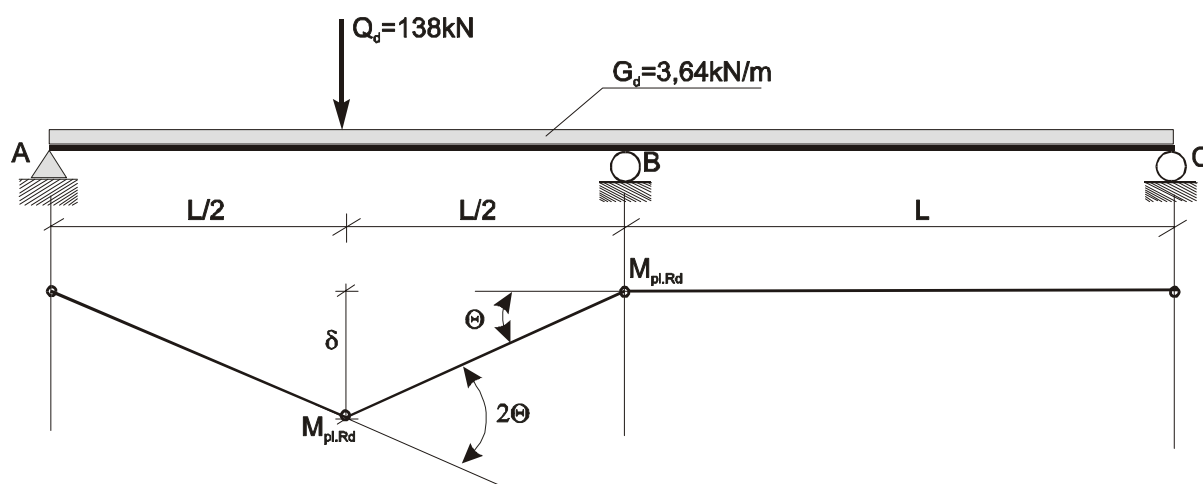
$$-\varepsilon_u > 15\%; \quad \varepsilon_u > 20 \cdot \varepsilon_y$$

El análisis plástico se llevará a cabo por vía cinemática y consistirá en determinar el factor de amplificación α para las cargas aplicadas que provoca la ruina de la viga por formación de dos rótulas plásticas. Consideramos que la viga se agota cuando lo hace uno de sus vanos.

Establecida la posición de las rótulas que transformarán la viga en un mecanismo, fijamos un desplazamiento δ bajo la carga puntual que origina unas rotaciones en las rótulas, quedando fijados el resto de movimientos mediante las leyes de la Cinemática. El teorema de los trabajos virtuales aplicado al mecanismo nos dice que el trabajo de las fuerzas externas sobre la viga producido al deformarse ligeramente el mecanismo de agotamiento debe equilibrar a la energía disipada durante dicha deformación.

$$\sum P_i \cdot \delta_i = \sum M_{pj} \cdot \theta_j$$

Para las condiciones de carga y vinculación de la viga el mecanismo de agotamiento será:



PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

Como se ha dicho, el factor de amplificación se obtiene al igualar la energía de deformación producida por los momentos plásticos en las rótulas al trabajo de las cargas aplicadas.

$$M_{pl.Rd} \cdot \Theta + M_{pl.Rd} \cdot 2\Theta = \alpha \cdot \left[Q_d \cdot \delta + G_d \cdot L \cdot \frac{\delta}{2} \right]$$

dado que el ángulo θ y el desplazamiento vertical δ están relacionados por $\Theta = \frac{\delta}{L/2}$ se deduce que

$$\alpha = \frac{6 \cdot M_{pl.Rd}}{\left(Q_d + G_d \cdot \frac{L}{2} \right) \cdot L} = \frac{6 \cdot 157 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\left(138 \cdot 10^3 \text{ N} + 3,64 \text{ N/mm} \cdot \frac{6000 \text{ mm}}{2} \right) \cdot 6000 \text{ mm}} = 1,054$$

Debemos tener en cuenta que para el mecanismo propuesto no habría diferencias en el análisis si considerásemos la combinación de hipótesis C1 ya que la segunda carga puntual y la carga repartida sobre el vano de la derecha no realizan ningún trabajo al no existir desplazamientos.

La tabla recoge los resultados obtenidos mediante los diferentes tipos de análisis llevados a cabo tanto a nivel global como a nivel de la resistencia considerada en la sección, indicando el factor de amplificación para las cargas aplicadas y el margen de seguridad que se dispondría en cada caso. Así deducimos que si bien la viga sería insegura (-21%) cuando se realiza un análisis elástico, nos encontramos con que aún mantendría un margen de seguridad del 5% si llevamos a cabo un análisis global plástico.

Tipo de análisis global	Resistencia en la sección	Factor de amplificación para las cargas aplicadas	Margen de seguridad
Elástico	Elástica	$\frac{M_{el.Rd}}{M_{Sd}} = \frac{139 \text{ kN} \cdot \text{m}}{176 \text{ kN} \cdot \text{m}} = 0,79$	-21%
Elástico	Plástica	$\frac{M_{pl.Rd}}{M_{Sd}} = \frac{157 \text{ kN} \cdot \text{m}}{176 \text{ kN} \cdot \text{m}} = 0,89$	-11%
Plástico	Plástica	Colapso para $\alpha_1=1,054$	+5%

Situación B) Viga no arriostrada

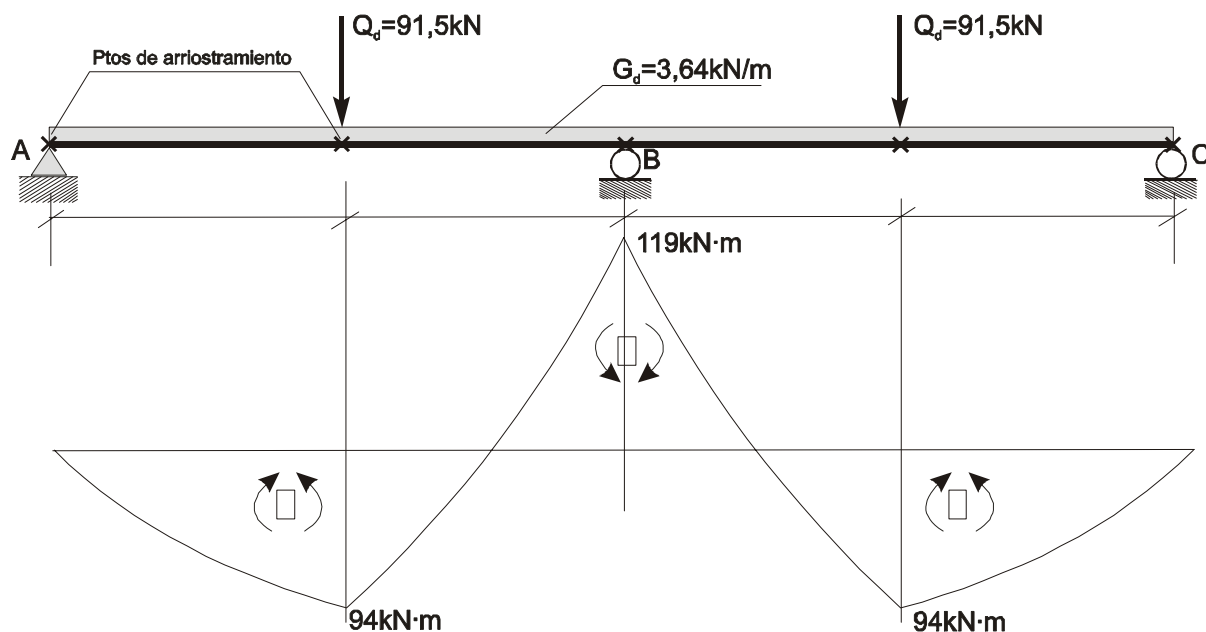
Solamente las secciones de apoyo y las centrales de ambos vanos en las que se aplican las cargas puntuales se encuentran arriostradas. Dado que las cargas variables ($P=61kN$) son inferiores a la situación precedente, no será preciso estudiar la resistencia a flexión de la viga. Sin embargo sí deberemos de estudiar la posibilidad de un agotamiento por pandeo lateral. Volveremos por tanto a obtener las combinaciones de hipótesis y los diagramas de momentos flectores con la nueva situación para pasar a continuación a comprobar el ELU mencionado.

B-1º) Combinaciones de cargas

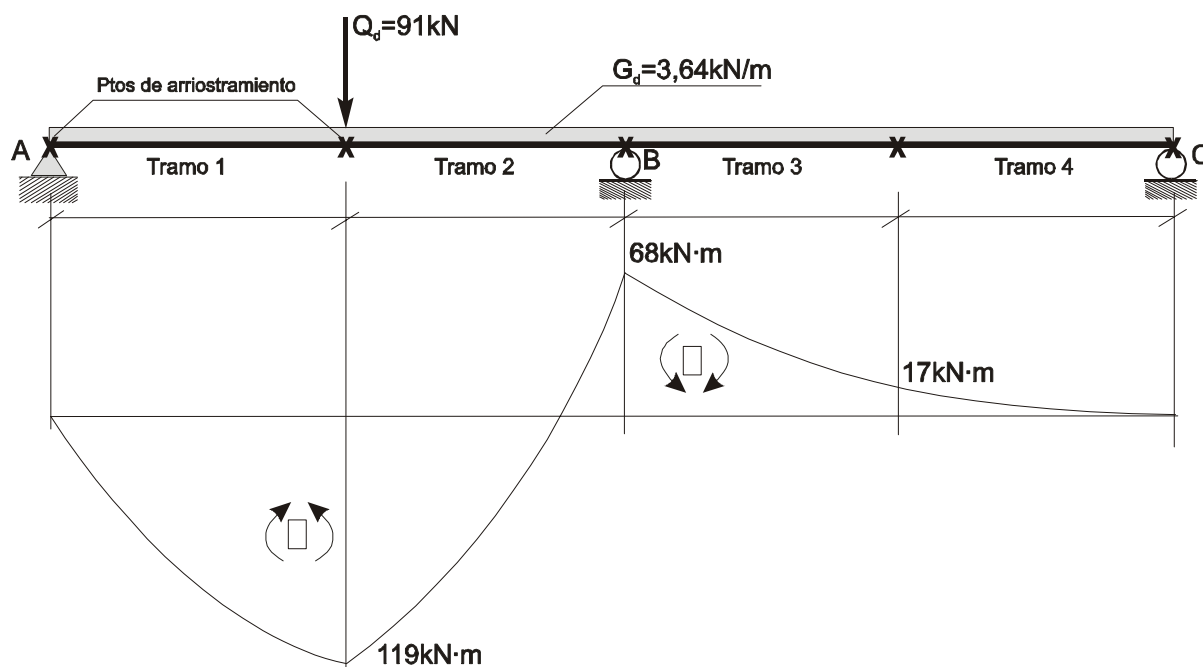
$$\begin{array}{l} \text{Combinación C1: } \left. \begin{array}{l} G_d = \gamma_G \cdot G_k = 1,35 \cdot 2,7kN/m = 3,64kN/m \\ Q_{d1} = \gamma_Q \cdot Q_{k1} = 1,5 \cdot 61kN = 91,5kN \\ Q_{d2} = \gamma_Q \cdot Q_{k2} = 1,5 \cdot 61kN = 91,5kN \end{array} \right\} \\ \text{Combinación C2: } \left. \begin{array}{l} G_d = \gamma_G \cdot G_k = 1,35 \cdot 2,7kN/m = 3,64kN/m \\ Q_{d1} = \gamma_Q \cdot Q_{k1} = 1,5 \cdot 61kN = 91,5kN \end{array} \right\} \end{array}$$

B-2º) Diagramas de momentos flectores

- Combinación de hipótesis C1 (Carga permanente + 2 cargas variables):



- Combinación de hipótesis C2 (Carga permanente + 1 carga variable):



De nuevo la combinación C2 resulta más desfavorable. Conocida la posición de los puntos de arriostramiento transversal y los valores de los momentos decidimos realizar la comprobación de pandeo lateral tan solo en los tramos 1 (sección de momento máximo) y 3, ya que en el tramo 2 nos encontramos con una inversión de momentos que hace que el ala comprimida cambie de arriba abajo en dicho tramo y los momentos en el tramo 4 son muy pequeños.

B-3º) Comprobación a pandeo lateral del tramo 1

El cálculo del momento elástico crítico se realizará siguiendo las indicaciones del anexo F del EC3. Se suponen unos coeficientes de longitud efectiva para el giro y el alabeo k_z y $k_w=1,0$ que implican que no se han tomado medidas especiales para evitar el alabeo ni el giro de los extremos. Supondremos asimismo que los extremos de cada tramo a analizar tienen impedido el movimiento lateral y que el plano de las cargas contiene al centro de esfuerzos cortantes de la sección lo que evitará que existan esfuerzos adicionales de torsión.

PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

La expresión que nos permite obtener el momento elástico crítico de pandeo lateral en el caso de una viga de sección constante con doble simetría cuando $k_z=k_w=1,0$ es:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} \right]}$$

donde:

L : Longitud del tramo considerado entre puntos de coacción lateral = $3m$.

G : Módulo de elasticidad transversal, $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 80769 N/mm^2$

I_w : Módulo de alabeo de la sección, que para una viga en I ó en H lisa vale:

$$I_w = \frac{I_z \cdot h_s^2}{4} = \frac{I_z \cdot (h - t_f)^2}{4} = \frac{604 cm^4 \cdot (30 cm - 1,07 cm)^2}{4} = 126379 cm^6$$

C_1 : Coeficiente que tiene en cuenta la distribución de momentos en el tramo considerado.

En la tabla F.1 vemos que no hay ningún caso que represente exactamente nuestra condición de carga, de modo que debemos seleccionar la situación que más se aproxime. Para el tramo 1 deducimos entonces que con $k_z=1,0$ tendremos un valor $C_1=1,77$.

Conocidas ya todas las variables podemos por fin evaluar el momento elástico crítico M_{cr} :

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot 604 cm^4}{(300 cm)^2} \cdot \sqrt{\left[\frac{126379 cm^6}{604 cm^4} + \frac{(300 cm)^2 \cdot 80769 N/mm^2 \cdot 15,6 cm^4}{\pi^2 \cdot E \cdot 604 cm^4} \right]} = 426,3 kN \cdot m$$

Una vez determinado el momento crítico vamos obtener la esbeltez reducida $\bar{\lambda}_{LT}$ que permite deducir el coeficiente de reducción χ_{LT} para calcular finalmente el momento resistente de pandeo lateral $M_{b,Rd}$ en el tramo que estamos considerando.

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}_{LT}$ viene dada por:

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

siendo:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot W_{pl,y}}{M_{cr}}}$$

$$\lambda_1 = \pi [E / f_y]^{0,5} = 93,9 \varepsilon \quad \text{con} \quad \varepsilon = [235 / f_y]^{0,5} \Rightarrow \begin{cases} \lambda_1 = 93,9 & (S275) \\ \lambda_1 = 76,4 & (S355) \end{cases}$$

$$\beta_w = 1 \quad (\text{secciones Clases 1 y 2}); \quad \begin{cases} \beta_w = \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} & (\text{secciones Clase 3}) \\ \beta_w = \frac{W_{eff,y}}{W_{pl,y}} & (\text{secciones Clase 4}) \end{cases}$$

Si sustituimos en la expresión inicial llegamos a:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot f_y \cdot W_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 275 \text{ N/mm}^2 \cdot 628 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{426,3 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}}} = 0,636$$

Considerando que la esbeltez reducida es $\bar{\lambda}_{LT} > 0,4$ sí que deberemos comprobar el pandeo lateral. La resistencia de cálculo a pandeo lateral de una viga o de un tramo viene dada por:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

donde el coeficiente de reducción χ_{LT} se obtiene de:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]^{1/2}}$$

siendo

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

y α_{LT} el coeficiente de imperfección que en el caso de perfiles laminados resulta: $\alpha_{LT}=0,21$ (valor que equivale a tomar la curva “a” de pandeo).

Tendremos por consiguiente

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0.5 \cdot \left[1 + 0.21 \cdot (0.636 - 0.2) + 0.636^2 \right] = 0.748$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]^{1/2}} = \frac{1}{0.748 + [0.748^2 - 0.636^2]^{1/2}} = 0.876$$

y por último el momento resistente de pandeo lateral

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.876 \cdot 1 \cdot \frac{628 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 275 \text{ N/mm}^2}{1.1} = 137.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

valor que supera al momento máximo en el tramo ($M_{max}=119 \text{ kN}\cdot\text{m}$) lo que nos indica que el tramo analizado verifica el estado límite comprobado.

B-4º) Comprobación a pandeo lateral del tramo 3

El motivo de analizar este tramo aunque no contiene la sección de momento máximo se debe a que presenta momentos del mismo signo en ambos extremos lo que hace que la condición de carga sea más desfavorable que en el caso anterior. El procedimiento será el mismo seguido antes con los coeficientes de longitud efectiva para el giro y el alabeo k_z y $k_w=1.0$. Sin embargo el coeficiente C_1 para considerar la distribución de momentos en el tramo es distinto.

En la tabla F.1.1 tomaremos el caso que corresponde a $\psi = \frac{17 \text{ kN}\cdot\text{m}}{68 \text{ kN}\cdot\text{m}} = +\frac{1}{4}$

Así deducimos que siendo $k_z=1.0$ corresponde un valor $C_1=1.52$

Como el resto de variables son conocidas pasamos a calcular el momento elástico crítico M_{cr} :

$$M_{cr} = 1.52 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot 604 \text{ cm}^4}{(300 \text{ cm})^2} \cdot \sqrt{\left[\frac{126379 \text{ cm}^6}{604 \text{ cm}^4} + \frac{(300 \text{ cm})^2 \cdot 80769 \text{ N/mm}^2 \cdot 15.6 \text{ cm}^4}{\pi^2 \cdot E \cdot 604 \text{ cm}^4} \right]} = 366 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

Una vez obtenido momento crítico, la esbeltez reducida $\bar{\lambda}_{LT}$ valdrá para este tramo:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot f_y \cdot W_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 275 \text{ N/mm}^2 \cdot 628 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{366 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}}} = 0,687$$

Dado que la esbeltez sigue siendo $\bar{\lambda}_{LT} > 0,4$ comprobamos de nuevo el pandeo lateral.

Los nuevos valores de ϕ_{LT} , del coeficiente de reducción χ_{LT} y de la resistencia $M_{b,Rd}$ son:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,687 - 0,2) + 0,687^2 \right] = 0,787$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \left[\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]^{1/2}} = \frac{1}{0,787 + \left[0,787^2 - 0,687^2 \right]^{1/2}} = 0,854$$

y el momento resistente de pandeo lateral

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,854 \cdot 1 \cdot \frac{628 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 275 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 134 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

que también es claramente superior al momento máximo en el tramo 3 ($M_{max}=68 \text{ kN}\cdot\text{m}$) lo que nos confirma que de igual modo el tramo 3 cumple el estado límite analizado.

Ficha de verificación con PowerFrame de la viga en el supuesto de la situación A.

Verificación de resistencia barra 1 (nudo 1 - nodo 2) :

sección : IPE-300 orientación : 0.00 ° $f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

esfuerzo normal de tracción	0.00 %
esfuerzo normal de compresión	0.00 %
► momento M_y'	112.33 %
momento M_z'	0.00 %
esfuerzo cortante V_z'	29.31 %
esfuerzo cortante V_y'	0.00 %
momento M_y' + esfuerzo cortante V_z'	0.00 %
momento M_z' + esfuerzo cortante V_y'	0.00 %
momento M_y' y M_z' + esfuerzo normal	112.33 %
momento M_y' y M_z' + esfuerzo cortante V_z' y V_y' + esfuerzo normal	0.00 %
torsión	0.00 %

detalle verificación : momento M_y'

distancia del nudo 1 : 300 cm
 combinación de cargas nº 1
 $M_y = 176.5 \text{ kNm}$
 clase de sección : 1
 $W_{ply} = 628355.9 \text{ mm}^3$
 $M_{ply,Rd} = 157.1 \text{ kNm}$

OK

Ficha de verificación con PowerFrame de la viga en el supuesto de la situación B.

Verificación de pandeo barra 1 (nudo 1 - nodo 4) :

sección : IPE-300 longitud : 300 cm orientación : 0.00 ° $f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

L pandeo alrededor eje y' : 300 cm Recalcular riesgo pandeo

L pandeo alrededor eje z' : 600 cm

refuerzos contra pandeo lateral : 0 pzs. ☒ extremos articulados ($k=1$)

☒ extremos articulados por torsión ($k_w=1$)

esfuerzo normal, pandeo en plano y'	0.00 %
esfuerzo normal, pandeo en plano z'	0.00 %
► pandeo lateral	86.45 %
esfuerzo normal y momento, pandeo	0.00 %
esfuerzo normal y momento, pandeo lateral	0.00 %

detalle verificación : pandeo lateral

máximo en el nudo 4
 combinación de cargas nº 1
 $M_y = 119.8 \text{ kNm}$
 clase de sección : 1
 $W_{ply} = 628355.9 \text{ mm}^3$
 $C_1 = 1.88$, $M_{cr} = 448.9 \text{ kNm}$
 $\lambda_{mbd,LT} = 0.62$, $\sigma_{rel,LT} = 0.21$, $\chi_{LT} = 0.88$
 $M_{b,Rd} = 138.6 \text{ kNm}$

OK Anular

En ambos casos se puede observar una plena y absoluta concordancia con los datos calculados con anterioridad en las respectivas circunstancias.