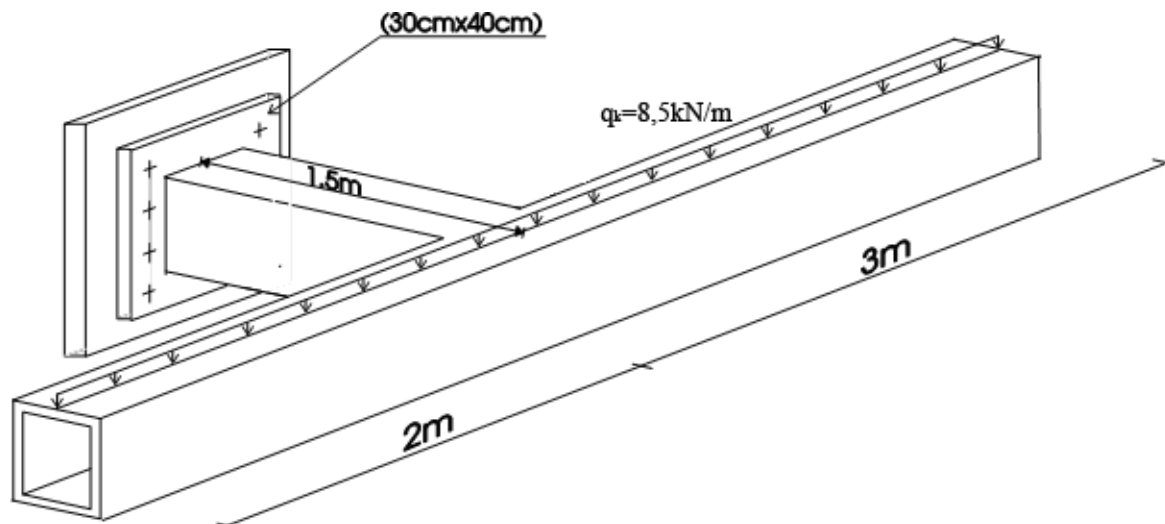


PROBLEMA N°4

Diseñar mediante tornillos resistentes al deslizamiento en ELU la unión múltiple de la pieza con sección en cajón y planta en T a la placa frontal, teniendo en cuenta las dimensiones y la sollicitación de servicio que se indican en la figura.



Supónganse conocidos los siguientes datos adicionales:

- Superficies preparadas de clase A ($\mu=0,5$)
- Trabajar con tornillos de grado 10.9
- El tipo de acero para las chapas es S275 J2
- Agujeros con holgura nominal ($k_s=1,0$)
- Coeficientes parciales $\gamma_{Ms,ult}=1,25$; $\gamma_{Mb}=1,25$

Se desea conocer el diámetro, disposición de los tornillos y el espesor de la placa.

SOLUCIÓN:

a) Esfuerzos sobre la unión

La carga repartida supuesta permanente ($q_d=1,35 \cdot q_k=1,35 \cdot 8,5 \text{ kN/m} = 11,475 \text{ kN/m}$) provoca en el plano de la unión: un cortante V_{Sd} , un momento flector M_{Sd} debido a la excentricidad de $1,5\text{m}$ entre el plano de la carga y el plano de la unión y un torsor T_{Sd} por la excentricidad paralela al plano de la unión de la resultante respecto del eje vertical de dicha unión.

UNIONES ATORNILLADAS

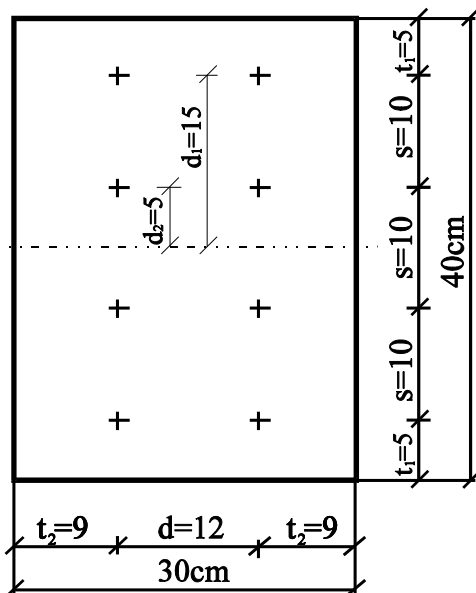
Esfuerzo cortante: $V_{Sd} = q_d \cdot (2m+3m) = 11,475 \text{ kN/m} \cdot 5m = 57,37 \text{ kN}$

Momento flector: $M_{Sd} = 5 q_d \cdot 1,5m = 5m \cdot 11,475 \text{ kN/m} \cdot 1,5m = 86,06 \text{ kNm}$

Momento torsor: $T_{Sd} = (3 q_d \cdot 1,5m) - (2 q_d \cdot 1m) = 2,5m^2 \cdot 11,475 \text{ kN/m} = 28,68 \text{ kNm}$

Como consecuencia de estos esfuerzos, los tornillos de la unión se encuentran sometidos simultáneamente a solicitaciones en la dirección de sus ejes como consecuencia del flector M_{Sd} y a solicitaciones transversales a sus ejes debidas al cortante V_{Sd} y al momento torsor T_{Sd} .

b) Propuesta de disposición constructiva



Se considera inicialmente la disposición de los tornillos en la unión que se indica en la figura (manteniendo las dimensiones exteriores requeridas en la chapa frontal), a partir de la cual obtendremos sus solicitaciones.

c) Solicitaciones debidas al Momento flector (M_{Sd})

Si se admite que los esfuerzos axiales sobre los tornillos son directamente proporcionales a sus distancias al eje de flexión y se ejecuta la unión con todos los tornillos del mismo diámetro, se tiene sobre los dos elementos más solicitados un esfuerzo de tracción $F_{t,Sdmax}$:

Dimensiones en centímetros.

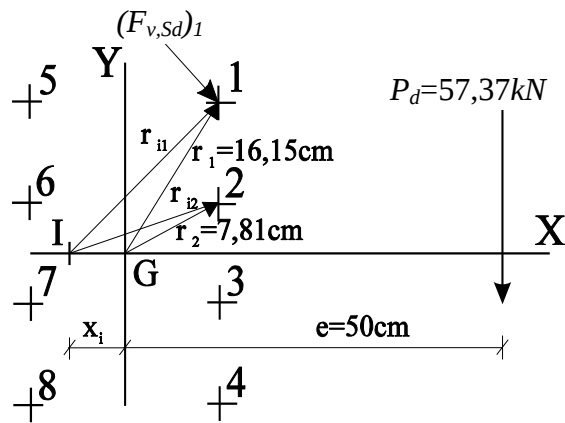
$$F_{t,Sd \max} = \frac{M_{Sd} \cdot d_{\max}}{I'} = \frac{M_{Sd} \cdot d_{\max}}{\sum_{m=1}^n d_m^2} = \frac{86,06 \text{ kNm} \cdot 150 \text{ mm}}{2(150^2 + 50^2 + 50^2 + 150^2) \text{ mm}^2} = 129,09 \text{ kN} \leq F_{p,Cd}$$

Se precisará por tanto un tornillo que permita un pretensado superior a los 129kN al que habrá que superponer el esfuerzo transversal provocado por la combinación cortante+torsor.

d) Solicitaciones debidas al Cortante (V_{sd}) y al momento torsor (T_{sd})

Se pueden reducir los dos esfuerzos a la acción de una única carga $P^* = V_{sd} = 57,37kN$ que solicita la unión con una excentricidad $e = T_{sd}/V_{sd} = 0,5m$ respecto del centro de gravedad G del conjunto de los 8 tornillos que constituyen la unión. Para llevar a cabo la distribución de esfuerzos sobre cada tornillo y determinar el más solicitado es preciso conocer la posición del centro instantáneo de rotación de la configuración completa. La abcisa del c.i.r. es (ver figura)

$$x_i = \frac{\sum A_m \cdot r_m^2}{e \cdot \sum A_m} = \frac{\sum r_m^2}{e \cdot n} = \frac{4 \cdot (16,15cm)^2 + 4 \cdot (7,81cm)^2}{50cm \cdot 8} = \frac{1288cm^2}{50cm \cdot 8} = 3,22cm$$



Así, el esfuerzo transversal $(F_{v,Sd})_1$ para el T1 es:

$$(F_{v,Sd})_1 = \frac{P_d \cdot e \cdot r_{i1} \cdot A_1}{\sum_{m=1}^n A_m \cdot r_m^2} = \frac{P_d \cdot e \cdot r_{i1}}{\sum_{m=1}^n r_m^2} = \frac{57,37kN \cdot 50cm \cdot \sqrt{(15^2 + 9,22^2)cm^2}}{1288cm^2} = 39,21kN$$

e) Elección del tornillo para la sollicitación combinada

Como se ha visto el tornillo más solicitado es el T1 que deberá soportar un esfuerzo de tracción $F_{t,Sd} = 129,09kN$ simultáneo con un esfuerzo perpendicular a su espiga $F_{v,Sd} = 39,21kN$. La resistencia al deslizamiento de un tornillo pretensado en estas condiciones debe verificar:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{Ms}} \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd}) \geq F_{v,Sd} = 39,21kN$$

Si probamos con un tornillo M22 de grado 10.9, el esfuerzo de pretensado $F_{p,Cd}$ vale:

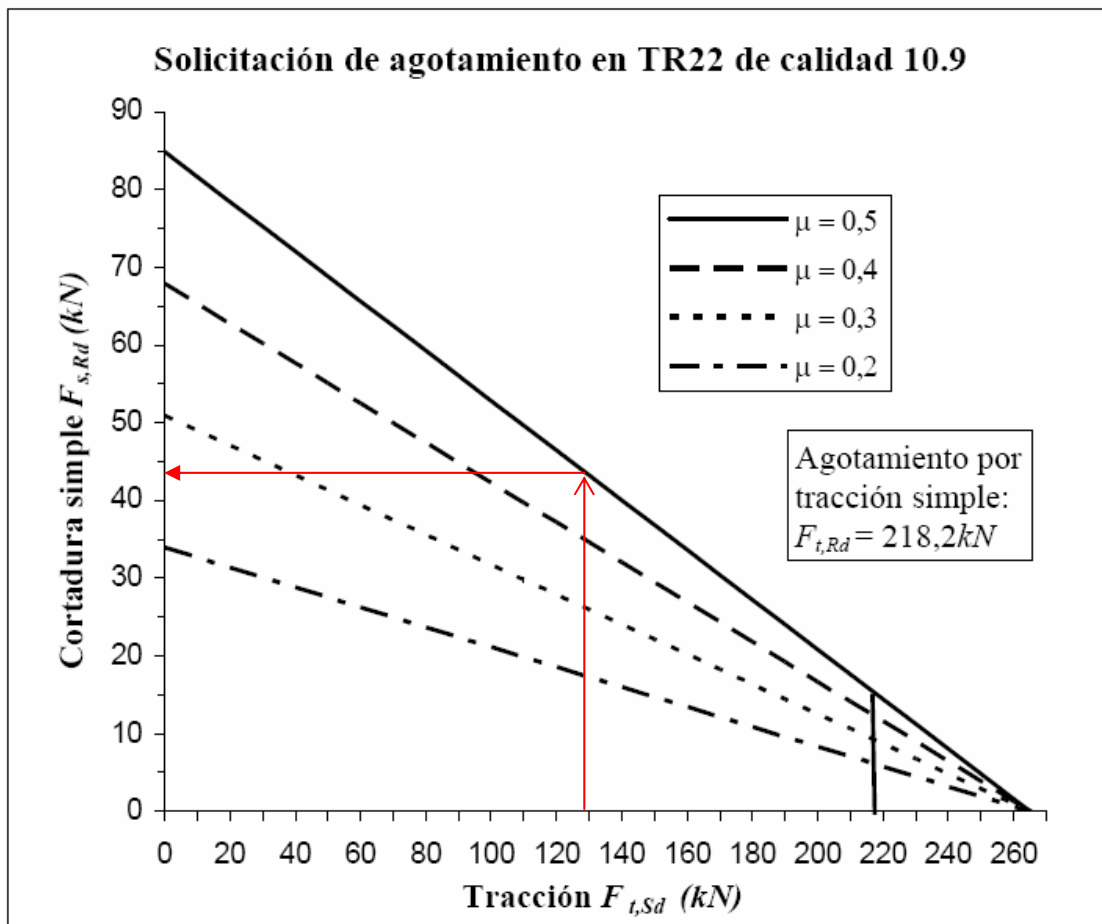
$$F_{p,Cd} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 1000N/mm^2 \cdot 303mm^2 = 212,1kN$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{Ms}} (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd}) = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,5}{1,25} (212,1kN - 0,8 \cdot 129,09kN) = 43,53kN > F_{v,Sd} = 39,21kN$$

UNIONES ATORNILLADAS

Al mismo resultado pero de forma más rápida podemos llegar utilizando el gráfico del prontuario de estructuras (Vol. 2 pagina 4.97) para la selección de tornillos pretensados sometidos a solicitaciones combinadas $F_{t,Sd} = 129,09kN + F_{v,Sd} = 39,21kN$.

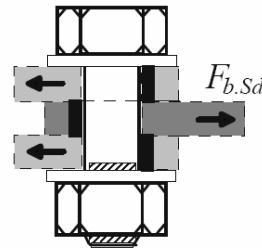
De dicho gráfico se deduce que para tornillos de grado 10.9 con coeficiente de rozamiento entre superficies $\mu=0,5$ y agujeros con holgura nominal ($k_s=1,0$), será suficiente contar con un tornillo M22 ($\varnothing_{\text{agujero}}=24mm$) ya que entrando en el eje de abcisas con el esfuerzo de tracción $F_{t,Sd}=129,09kN$ se ve que el esfuerzo de agotamiento transversal esta próximo a los $F_{s,Rd}=44kN$ lo que supera el valor $F_{v,Sd}=39,21kN$. Es fácil comprobar que un M20 sería insuficiente.



f) Resistencia al aplastamiento

Esta comprobación permitirá seleccionar el espesor necesario en la chapa frontal para evitar el agotamiento por aplastamiento de dicha chapa contra la espiga del tornillo más solicitado por el esfuerzo transversal $F_{b,Sd}=39,21kN$. Para determinar el valor de agotamiento correspondiente $F_{b,Rd}$ es preciso obtener previamente α como el menor valor de los coeficientes siguientes:

$$\alpha: \text{menor valor de } \begin{cases} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50mm}{3 \cdot 24mm} = 0,694 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{100mm}{3 \cdot 24mm} - \frac{1}{4} = 1,14 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{430} = 2,325 \\ 1,0 \end{cases}$$



De la condición de resistencia al aplastamiento de la chapa se deduce el espesor necesario:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 \cdot 0,694 \cdot 430 \cdot 22mm \cdot t}{1,25} \geq F_{b,Sd} = 39,21kN$$

$$t_{\min} \geq 2,98mm$$

No obstante se va tomar chapa de espesor $t=10mm$ que supera holgadamente esta condición.

g) Distancias a bordes y separación entre agujeros

Finalmente se comprueba que las distancias a bordes frontales y laterales, así como la separación entre agujeros cumplen las condiciones establecidas en el Código.

$$1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 24mm = 36mm < e_2 = 90mm$$

$$3,0 \cdot d_0 = 3,0 \cdot 24mm = 72mm < p_2 = 120mm$$

$$1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 24mm = 28,8mm < e_1 = 50mm$$

$$2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 24mm = 52,8mm < p_1 = 100mm$$