

## Ejercicio propuesto del tema 15: Uniones atornilladas

ENUNCIADO:

Calcular el par de apriete que hay que aplicar a los tornillos de la unión atornillada de la figura 1 para que no trabajen a cortante. Todos los tornillos son M36 y clase 10.9, y equidistantes. El coeficiente de fricción es  $\mu=0,3$ . Tómese como factor de tuerca  $K=0,2$ .

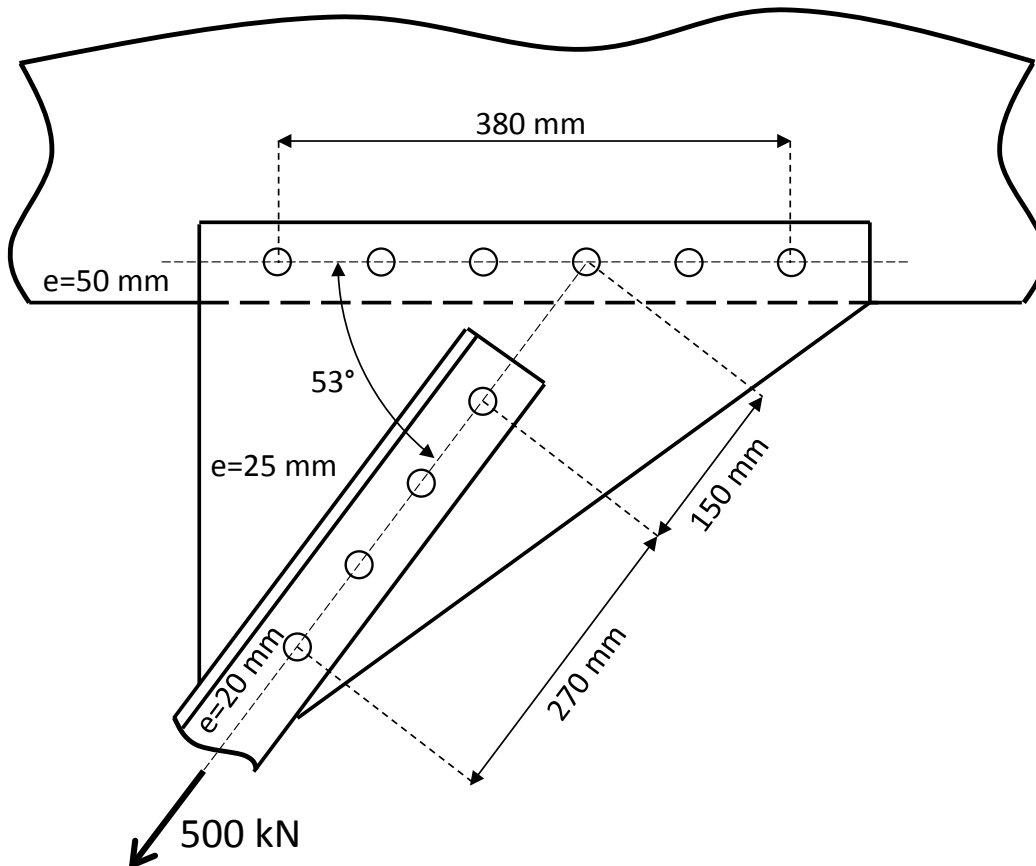
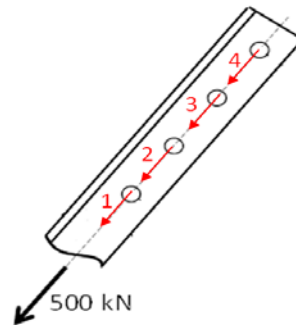


Figura 1. Esquema de la unión atornillada.

SOLUCIÓN:

Como se observa en la figura, se cuenta con dos uniones atornilladas que unen 3 elementos y ambas uniones se estudian independientemente.

Se comienza con el estudio de la unión inferior.



$$F_{prueba}(M36) = \sigma_{prueba} \cdot A = 830 \frac{N}{mm^2} \cdot 817 mm^2 = 678110 N = 678,1 kN$$

Como los 4 tornillos están alineados con el eje de aplicación de la fuerza de 500kN, la fuerza cortante a soportar por cada tornillo es:

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = \frac{500 \text{ kN}}{4} = 125 \text{ kN}$$

Para que los tornillos no trabajen, la fuerza cortante aplicada P no debe superar la fricción entre los elementos generada por la precarga  $\mu \cdot F_p$  (fuerza de precarga):

$$\mu \cdot F_p > F_1 \rightarrow F_p > \frac{F_1}{\mu} = \frac{125 \text{ kN}}{0,3} = 416,67 \text{ kN}$$

El par de apriete se calcula mediante:

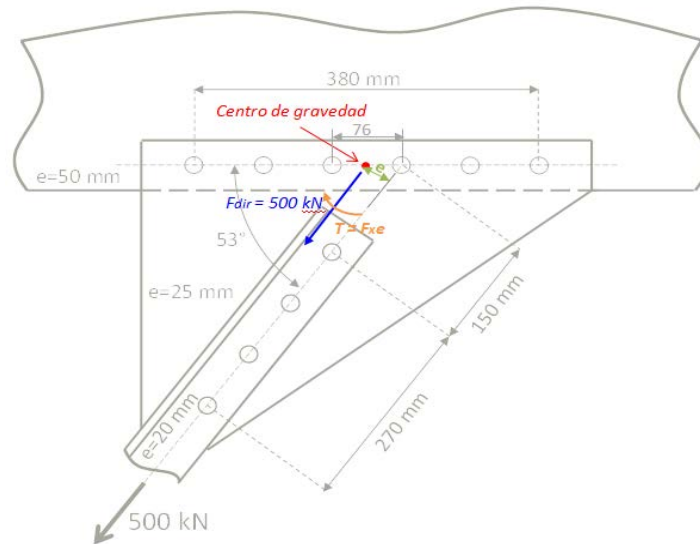
$$T = K \cdot F_p \cdot d$$

Donde:

- K es el denominado “factor de tuerca” y el valor típico de K que se puede encontrar en la literatura es de alrededor de 0,2
- $F_p$  es la fuerza de precarga
- d es el diámetro de la tuerca = 36 mm

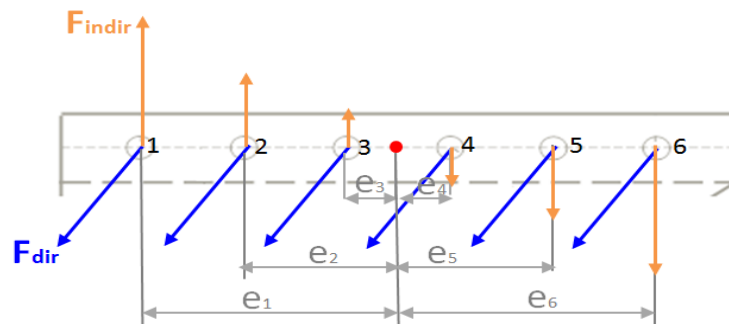
$$T = 0,2 \cdot 416,67 \text{ kN} \cdot 36 \text{ mm} = 3000 \text{ kNmm} = 3 \text{ Knm}$$

Una vez calculado el par de apriete a aplicar a los tornillos de la unión inferior, se procede a calcularlo para la unión superior. Los tornillos de esta segunda unión, deben soportar una fuerza directa y otra indirecta debido al momento generado.



$$e = \frac{76}{2} \sin 53^\circ = 30,35 \text{ mm}$$

$$T = F \cdot e = 500 \text{ kN} \cdot 30,35 \text{ mm} = 15175 \text{ kNmm} = 15,175 \text{ kNm}$$



$$e_1 = e_6 = 190 \text{ mm}$$

$$e_2 = e_5 = 114 \text{ mm}$$

$$e_3 = e_4 = 38 \text{ mm}$$

Se observa que el tornillo más solicitado es el número 6 debido a la suma de las componentes de ambas fuerzas.

La fuerza directa a soportar por el tornillo 6:

$$F_{dir6} = \frac{500 \text{ kN}}{6} = 83,33 \text{ kN}$$

La fuerza indirecta a soportar por el tornillo 6:



$$T = \frac{F_1}{e_1} = \frac{F_2}{e_2} = \frac{F_3}{e_3} = \frac{F_4}{e_4} = \frac{F_5}{e_5} = \frac{F_6}{e_6}$$

$$e_1 = e_6 \rightarrow F_1 = F_6$$

$$e_2 = e_5 \rightarrow F_2 = F_5$$

$$e_3 = e_4 \rightarrow F_3 = F_4$$

$$\frac{F_6}{190} = \frac{F_5}{114} = \frac{F_4}{38}$$

$$F_5 = 0,6F_6$$

$$F_4 = 0,2F_6$$

$$T = F_1 \cdot e_1 + F_2 \cdot e_2 + F_3 \cdot e_3 + F_4 \cdot e_4 + F_5 \cdot e_5 + F_6 \cdot e_6$$

$$= 2 \cdot F_6 \cdot e_6 + 2 \cdot F_5 \cdot e_5 + 2 \cdot F_4 \cdot e_4$$

$$T = 15475 \text{ kNmm} = 2 \cdot F_6 \cdot 190 + 2 \cdot (0,6 \cdot F_6) \cdot 114 + 2 \cdot (0,2 \cdot F_6) \cdot 38 = 532F_6$$

$$\rightarrow F_6 = F_{indir6} = 28,52 \text{ kN}$$

La carga total  $F_{TOT6}$  que llega a un tornillo 6 es la suma vectorial de ambas cargas:

$$\vec{F}_{TOT6} = \vec{F}_{dir6} + \vec{F}_{indir6}$$

$$F_{HTAL6} = F_{dir6} \cdot \cos 53^\circ = 50,15 \text{ kN}$$

$$F_{VTCAL6} = F_{indir6} + F_{dir6} \cdot \sin 53^\circ = 95,07 \text{ kN}$$

$$F_{TOT6} = \sqrt{50,15^2 + 95,07^2} = 107,49 \text{ kN}$$

$$\mu \cdot F_p > F_{TOT6} \rightarrow F_p > \frac{F_{TOT6}}{\mu} = \frac{107,48 \text{ kN}}{0,3} = 358,3 \text{ kN}$$

$$T = 0,2 \cdot 358,3 \text{ kN} \cdot 36 \text{ mm} = 2576,76 \text{ kNmm} = 2,57 \text{ kNm}$$