



# Ejemplo de aplicación práctica de dimensionado de un bulón

<b>Apellidos, nombre</b>	Guardiola VÍllora, Arianna (aguardio@mes.upv.es)
<b>Departamento</b>	Mecánica del Medio continuo y Teoría de Estructuras
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València

## 1 Resumen

Este documento muestra el proceso de diseño y dimensionado de un bulón o pasador siguiendo las prescripciones del artículo 8.5.4 del Documento Básico Seguridad Estructural, Acero, del Código Técnico de la Edificación (DB SE A del CTE)

## 2 Introducción

El Documento Básico Seguridad Estructural, Acero, del Código Técnico de la Edificación, define bulón, o pasador como articulaciones a las que se requiere libertad de giro, estando formadas por un pasador que atraviesa una serie de chapas agujereadas dispuestas en los elementos a unir.

En este documento, se aplican las condiciones geométricas y resistentes que establece la norma en el dimensionado de la unión articulada A de la figura 1 sabiendo que el soporte AB se ha dimensionado con un perfil HEB 120 y las barras y chapas son de acero S 275.

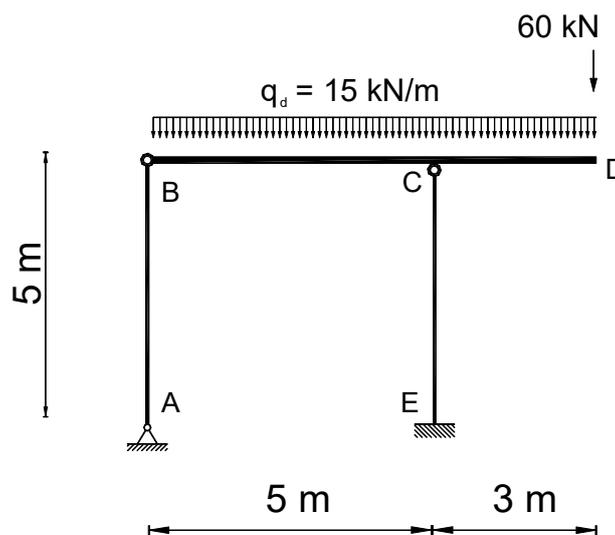


Figura 1. Geometría y esquema de cargas

## 3 Objetivos

Al final del documento, el estudiante será capaz de:

- Dimensionar el espesor de las chapas que forman el bulón
- Dimensionar el pasador teniendo en cuenta criterios resistentes
- Comprobar la resistencia de las chapas,

teniendo en cuenta los criterios establecidos en el DB SE A del CTE.

## 4 Ejemplo de aplicación

### 4.1 Diseño inicial del bulón

El bulón se diseña tal y como se indica en la figura 2.

Será necesario determinar el espesor de la chapa interior y las chapas exteriores, el diámetro del pasador y la posición del taladro.

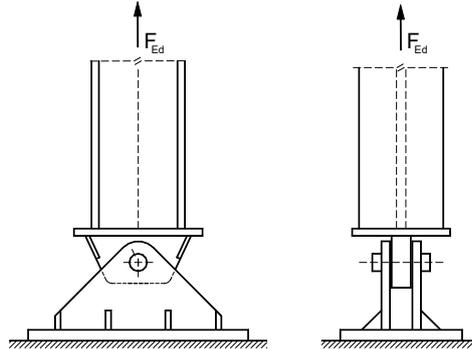


Figura 2. Diseño inicial del bulón

### 4.2 Obtención de las solicitaciones en la unión

La reacción vertical en el nudo A se obtiene teniendo en cuenta las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_v = 0 \rightarrow 15 \cdot (5 + 3) + 60 - R_{VA} - R_{VE} = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 15 \cdot (5 + 3) \cdot 4 + 60 \cdot 8 - R_{VE} \cdot 5 = 0 \rightarrow R_{VE} = 192 \text{ kN}$$

$$R_{VA} = -12 \text{ kN}$$

*Ecuación 1. Ecuaciones de Equilibrio*

Teniendo en cuenta el resultado obtenido en el sumatorio de fuerzas y momentos de la ecuación 1, la barra AB se encuentra solicitada a tracción, siendo el esfuerzo a transmitir por el bulón,  $F_{v,Ed} = 12 \text{ kN}$

### 4.3 Dimensionado del espesor de las chapas

El espesor de las chapas se dimensiona a partir del esfuerzo a transmitir y la resistencia del acero de las mismas.

Siendo la condición a tener en cuenta la de la ecuación 2.

$$t \geq 0,7 \cdot \left( \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M2}}{f_y} \right)^{1/2}$$

*Ecuación 2. Espesor mínimo de las chapas*

Siendo  $\gamma_{M2}$  coeficiente parcial para el cálculo de uniones, de valor 1,25 y  $f_y$  el límite elástico del acero de las chapas.

Considerando que las chapas son de acero S 275,  $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ .

$$\text{Sustituyendo y operando, } t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{12.000 \cdot 1,25}{275}} = 5,16 \text{ mm}$$

En principio, teniendo en cuenta el resultado obtenido, sería suficiente con disponer una chapa interior de 6 mm. Por otro lado, al tratarse de un caso de doble cortadura, es recomendable que la suma de los espesores de las chapas exteriores sea igual al espesor de la chapa interior. Esta condición implicaría que las chapas exteriores deberían ser de 3 mm de espesor.

Sin embargo, para poder aplicar las prescripciones sobre soldadura del epígrafe 8.6 del DB SE Acero, es necesario que los espesores de los elementos a soldar tengan al menos 4 mm de espesor, criterio que es necesario considerar, dado que las chapas taladradas que atraviesa el bulón deberán ir soldadas al extremo inferior del soporte en un caso y a la placa de anclaje de la cimentación en el otro.

Por tanto, se decide utilizar un espesor de 5 mm para las chapas laterales y 10 mm para la interior, dejando holguras de 2 mm tal y como se muestra en la figura 3.

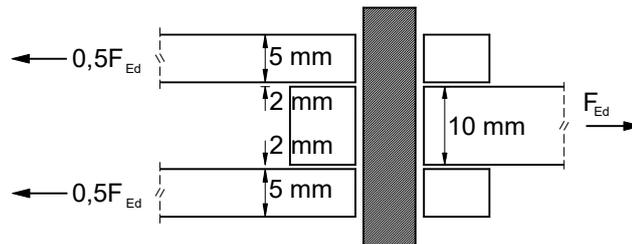


Figura 3. Espesores de las chapas

## 4.4 Dimensionado del pasador

### 4.4.1 Dimensionado del pasador a cortante

Dado que el esfuerzo a transmitir es bastante pequeño, el pasador se dimensionará con acero 4.6. El diámetro del pasador se determina a partir de la condición de resistencia a cortante de la ecuación 3

$$F_{v,Ed} < F_{v,Rd} \text{ donde } F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Ecuación 3. Resistencia a cortante del pasador

Siendo  $f_{ub}$  la resistencia última del acero del pasador.

Para acero 4.6  $f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Sustituyendo } 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{400}{1,25} \geq 12.000 \text{ N} \rightarrow d \geq 8,92 \text{ mm}^2$$

Se utilizará un pasador de diámetro  $\phi$  16 mm.

Sustituyendo y operando, la resistencia a cortante del pasador de 16 mm de

diámetro es igual a 
$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} \cdot \frac{400}{1,25} = 38.603 N$$

Dado que  $F_{v,Rd} = 38.603 N > 12.000 N$  el pasador cumple a cortante.

#### 4.4.2 Resistencia a flexión del pasador

La condición de resistencia a flexión del pasador es la de la ecuación 4

$$M_{Ed} < M_{Rd} = 0,8 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^3}{32} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M2}}$$

*Ecuación 4. Resistencia a flexión del pasador*

Siendo  $f_{yb}$  el límite elástico del acero del pasador.

Para acero 4.6  $f_{yb} = 240 \text{ N/mm}^2$

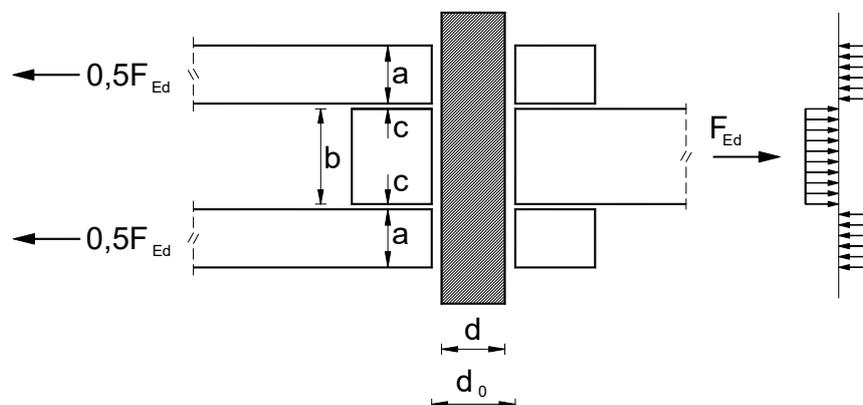
Sustituyendo 
$$M_{Rd} = 0,8 \cdot \frac{\pi \cdot 16^3}{32} \cdot \frac{240}{1,25} = 61.766 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Por otro lado, el momento flector en el pasador es igual al valor obtenido en la ecuación 5

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a)$$

*Ecuación 5. Solicitación de flexión en el pasador*

Los valores de a, b y c, se indican en la figura 4



*Figura 4. Momento flector en el pasador*

Sustituyendo y operando en la ecuación 5, se obtiene

$$M_{Ed} = \frac{12.000}{8} \cdot (10 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 5) = 42.000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Como  $M_{Ed} = 42.000 \text{ N} \cdot \text{mm} < M_{Rd} = 61.766 \text{ N} \cdot \text{mm}$  el bulón cumple a flexión

### 4.4.3 Interacción flector-cortante

Una vez comprobado que el bulón cumple a cortante y a flexión, hay que comprobar que tiene capacidad resistente suficiente para aguantar ambos esfuerzos simultáneamente.

La condición a tener en cuenta en ese caso es la de la ecuación 6.

$$\left( \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

*Ecuación 6. Interacción flector-cortante*

Sustituyendo los valores obtenidos en los apartados anteriores:

$$\left( \frac{42.000}{61.766} \right)^2 + \left( \frac{12.000}{38.603} \right)^2 = 0,462 + 0,096 = 0,558 < 1$$

El pasador cumple todas las condiciones, por los que se dimensionará con un  $\phi 16$  de acero 4.6

## 4.5 Comprobación de las chapas

### 4.5.1 Comprobación a aplastamiento de las chapas

Se debe comprobar que el esfuerzo de cortante a transmitir por el pasador entre las chapas no produce el aplastamiento de las mismas contra la caña del tornillo, siendo la condición a comprobar la de la ecuación 7.

$$F_{b,Ed} < F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M2}}$$

*Ecuación 7. Interacción flector-cortante*

Donde  $d$  es el diámetro del pasador y  $t$  el menor espesor a aplastamiento, es decir, el menor valor entre el espesor de la chapa interior, o la suma de los espesores de las chapas exteriores. En este caso ambos valores son igual a 10 mm.

Sustituyendo y operando, se obtiene que:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot 10 \cdot 16 \cdot 275}{1,25} = 52.800 \text{ N}$$

Como  $F_{b,Ed} = 12.000 < F_{b,Rd} = 52.800 \text{ N}$ , cumple sobradamente

#### 4.5.2. Condiciones geométricas

Las condiciones geométricas a tener en cuenta son las de las ecuaciones 8 y 9, teniendo en cuenta los valores de  $a$  y  $c$  indicados en la figura 5a y las condiciones geométricas de la figura 5b

$$a \geq \frac{F_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_{yd}} + \frac{2 \cdot d_0}{3}$$

Ecuación 8. Distancia a borde frontal

$$c \geq \frac{F_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_{yd}} + \frac{d_0}{3}$$

Ecuación 9. Distancia a borde lateral

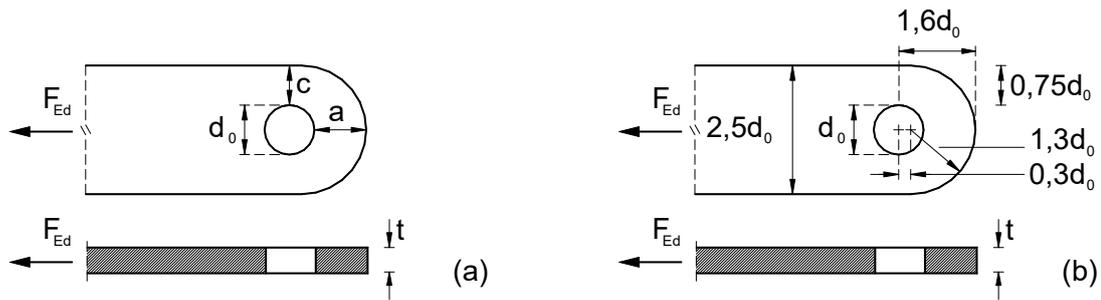


Figura 5. Condiciones geométricas en las chapas

Siendo  $d_0$  el diámetro del taladro, cuyo valor se obtiene como suma del diámetro del pasador más la holgura nominal. Para pasadores de 16 mm de diámetro la holgura nominal es de 2 mm. Por tanto,  $d_0 = 16 + 2 = 18$  mm

Sustituyendo: 
$$a \geq \frac{12.000}{2 \cdot 5 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{2 \cdot 18}{3} = 16,58 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{12.000}{2 \cdot 5 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{18}{3} = 10,58 \text{ mm}$$

Se adopta  $c = a = 30 \text{ mm}$

Además, hay que comprobar que el diámetro del taladro cumple la condición de la ecuación 10

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t \quad \text{Ecuación 10. Diámetro del taladro}$$

Siendo  $d_0 = 16 + 2 = 18 \text{ mm}$

y  $t = 5 + 5 = 10 \text{ mm}$  (espesor mínimo a aplastamiento)

Calculando  $d_0 = 18 \text{ mm} < 2,5 \cdot 10 = 25 \text{ mm}$ . Por tanto, también cumple.

Teniendo en cuenta la geometría prefijada de la figura 5b, los valores quedarían de la siguiente manera:

$$2,5 \cdot d_0 = 2,5 \cdot 18 = 45 < 2 \cdot a + d_0 = 78 \text{ mm}$$

$$1,6 \cdot d_0 = 1,6 \cdot 18 = 28,8 < c + \frac{d_0}{2} = 39 \text{ mm}$$

$$0,75 \cdot d_0 = 0,75 \cdot 18 = 13,5 < a = 30 \text{ mm}$$

Finalmente, considerado que el soporte es un HEB 120, en la figura 6 se dibuja el detalle de la chapa interior taladrada, así como el encuentro de ésta con el HEB 120.

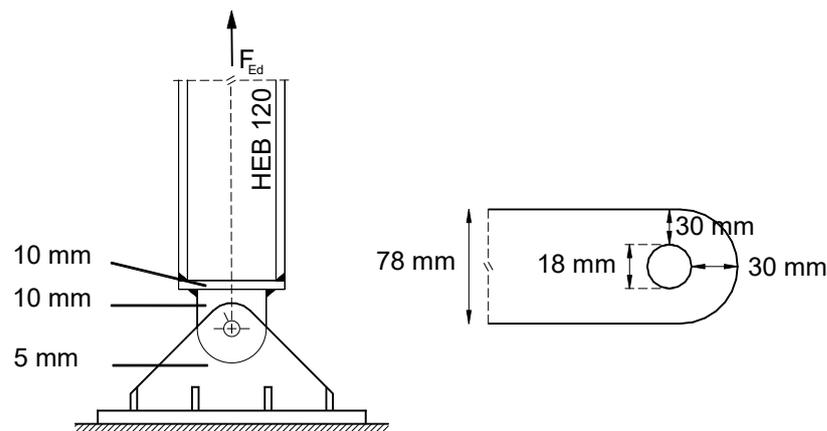


Figura 6. Detalle constructivo

### 4.5.3 Comprobación de la chapa taladrada solicitada a tracción

Hay que comprobar que las chapas resisten el axil de tracción, Para ello es necesario hacer dos comprobaciones:

- Resistencia plástica de cálculo de la sección bruta:  $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

Ecuación 11

- Resistencia última de cálculo de la sección neta:  $N_{u,Rd} = \frac{(0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u)}{\gamma_{M2}}$

Ecuación 12



Primero se comprueba la chapa de 10 mm de espesor.

Resistencia plástica de la sección bruta:

$$N_{Ed} = 12.000 \text{ N} \leq N_{pl,Rd} = \frac{78 \cdot 10 \cdot 275}{1.05} = 204.286 \text{ N} \text{ y por tanto cumple}$$

Resistencia última de la sección neta:

$$N_{Ed} = 12.000 \text{ N} < N_{u,Rd} = \frac{(0,9 \cdot (275 \cdot 10 - 18 \cdot 10) \cdot 410)}{1.25} = 758.664 \text{ N}$$

A continuación, se comprueba una de las chapas exteriores, considerando que sobre ella actúa la mitad del axil sollicitación:

Resistencia plástica de la sección bruta:

$$N_{Ed} = 6.000 \text{ N} \leq N_{pl,Rd} = \frac{78 \cdot 5 \cdot 275}{1,05} = 102.142 \text{ N}$$

Resistencia última de la sección neta:

$$N_{Ed} = 6.000 \text{ N} < N_{u,Rd} = \frac{(0,9 \cdot (275 \cdot 5 - 18 \cdot 5) \cdot 410)}{1.25} = 379.332 \text{ N}$$

Ambas chapas cumplen, por lo que el diseño de la figura 6 se adopta como definitivo

## 5 Conclusión

En este documento se han realizado las comprobaciones que establece el DB SE A para el diseño de pasadores o bulones. Para ello se han seguido los siguientes pasos:

1. Se han calculado las sollicitaciones en la unión
2. Se ha dimensionado el espesor de las chapas
3. Se ha comprobado el pasador a cortante y a flexión
4. Se ha tenido en cuenta la interacción de las dos sollicitaciones anteriores
5. Se han comprobado las chapas a aplastamiento
6. Se ha determinado la posición del taladro y las distancias a bordes a partir de las condiciones geométricas
7. Se han comprobado las chapas sollicitadas a tracción

## 6 Bibliografía

### 6.1 Normativa:

"Documento Básico Seguridad Estructural Acero" Ministerio de fomento 2006. Puede descargarse en <https://www.codigotecnico.org/>