

Diseño y cálculo de uniones con tornillos pretensados

Apellidos, nombre	Arianna Guardiola Villora (aguardio@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica del Medio Continuo y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presentan las condiciones, disposiciones constructivas y expresiones matemáticas que establece el Documento Básico Seguridad Estructural Acero del Código Técnico de la Edificación (DB-SE-A) para diseñar y calcular uniones atornilladas con tornillos pretensados.

2 Introducción y objetivos

El DB-SE-A indica las solicitaciones a considerar para el cálculo de las uniones rígidas y articuladas en estructuras de acero, las expresiones matemáticas a utilizar para dimensionar los tornillos y las disposiciones constructivas que se deben cumplir para poder aplicar dichas fórmulas y permitir la ejecución de las uniones.

En este artículo se presentan dichas expresiones y su aplicación a una serie de casos tipo, de modo que cuando el alumno finalice la lectura de este documento será capaz de diseñar y calcular una unión con tornillos pretensados.

3 Solicitaciones a considerar en el diseño y cálculo de una unión entre barras de acero.

En el diseño y cálculo de una unión entre barras de acero se consideran solicitaciones diferentes para la unión, los tornillos y las chapas.

3.1 Solicitaciones en la unión

El DB-SE Acero establece que los esfuerzos para los que se deben dimensionar las uniones son, en uniones articuladas el axil o cortante que las solicita y al menos el 33% del axil o cortante resistente plástico de la barra unida, mientras que las uniones rígidas deberán transmitir el momento y cortante que las solicita y al menos el 50% del cortante y momento resistente plástico de la barra unida.

3.2 Solicitaciones en los tornillos

Dependiendo del diseño de la unión, los tornillos estarán solicitados a cortante o a axil (tracción o compresión). Los tornillos solicitados a compresión no requieren cálculo. La solicitación de tracción sobre el tornillo se representa por $F_{t,Ed}$ mientras que la solicitación de cortante se representa por $F_{v,Ed}$.

3.3 Solicitaciones en las chapas taladradas

Para poder ejecutar las uniones con tornillos es necesario taladrar las chapas, lo que supone una merma de su sección resistente. Se deben comprobar las chapas taladradas solicitadas a tracción, flexión o cortante. Las chapas taladradas solicitadas a compresión no se comprueban, ya que se considera que el área del tornillo sustituye a la del taladro.

En este documento sólo se incluye la comprobación de las chapas taladradas solicitadas a tracción, al ser la única que es necesario realizar en los casos tipo presentados en el epígrafe 5

4 Comprobaciones de los tornillos pretensados

Las comprobaciones dependen del esfuerzo que solicita a los tornillos.

4.1 Tornillos solicitados a cortante

Se debe comprobar la resistencia a deslizamiento y aplastamiento de la unión.

4.1.1. Comprobación a deslizamiento

La condición que se debe cumplir es que la sollicitación $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ que es la resistencia a deslizamiento de un tornillo,

$$\text{siendo } F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,Cb}$$

donde:

k_s es un coeficiente de valor 1, para taladros con holguras normales.

n es el número de superficies en contacto entre las que se produce la fuerza de rozamiento. Adopta el valor 1 cuando sólo hay una superficie en contacto (superficie indicada en la figura 1) y 2 cuando hay dos superficies en contacto (figura 2)

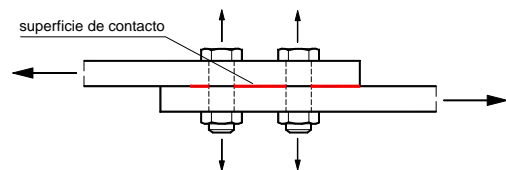


Figura 1. Una superficie en contacto

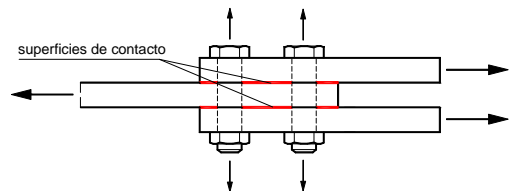


Figura 2. Dos superficies en contacto

μ es el coeficiente de rozamiento, cuyo valor depende del tratamiento superficial de las chapas en contacto:

- Superficie clase A: Tratadas con chorro de granalla o arena y superficies tratadas con chorro de granalla o arena y metalizadas con aluminio proyectado: $\mu = 0,5$
- Superficie clase B: Tratadas con chorro de granalla o arena y pintadas con un silicato alcalino de zinc que forme una capa de 50-80 micromilímetros de espesor: $\mu = 0,4$
- Superficie clase C: Limpiadas con cepillo de púas metálicas: $\mu = 0,3$
- Superficie clase D: superficies sin tratar: $\mu = 0,2$

$F_{p,Cd}$ es el axil de pretensado de los tornillos que se debe aplicar en el proceso de ejecución, de valor: $F_{p,Cd} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$

siendo f_{ub} la tensión última del acero de los tornillos, y A_s el área resistente del tornillo –corresponde a la parte roscada– siendo los valores mínimos del axil de pretensado los de la tabla 2 del Anejo 1.

γ_{M3} es el coeficiente de minoración del acero estructural para uniones, de valor igual a 1,25 para la resistencia a deslizamiento en ELU.

En el caso de los tornillos solicitados a cortante, ésta es la condición la que se utiliza para predimensionar el número de tornillos necesarios para transmitir el esfuerzo.

4.1.2. Comprobación a aplastamiento

La condición es que la sollicitación $F_{t,Ed} \leq F_{b,Rd}$ que es la resistencia a aplastamiento de la chapa contra la caña del tornillo (figura 3)

Siendo $F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$, donde

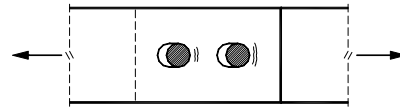


Figura 3. Aplastamiento de las chapas

d es el diámetro del tornillo

f_u es la tensión última del acero de las chapas (410 N/mm^2 para acero S 275)

$\gamma_{M2} = 1,25$ es el coeficiente de minoración del acero estructural para uniones.

t es el espesor mínimo a aplastamiento, el menor entre t_1 y t_2 (figura 4) ó el menor entre t_1+t_3 y t_2 (figura 5)

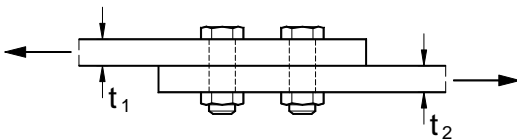


Figura 4. Espesor mínimo a aplastamiento (una superficie en contacto)

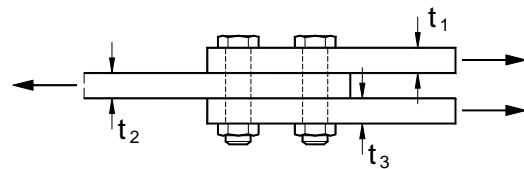


Figura 5. Espesor mínimo a aplastamiento (dos superficies en contacto)

Siendo α el menor de:

$$\left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$$

donde e_1 es la distancia a borde frontal y p_1 la distancia entre taladros en la dirección del esfuerzo, (figura 6)

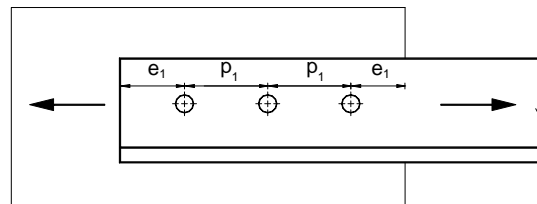


Figura 6. Distancias en la dirección del esfuerzo

d_0 es el diámetro del taladro, igual al del tornillo más la holgura nominal (tabla 1 del Anejo 1). Esta comprobación se suele cumplir sin problemas. De no ser así, se puede aumentar el valor del coeficiente α aumentando las distancias e_1 y p_1

4.2 Tornillos solicitados a tracción

Se deben comprobar a tracción y a punzonamiento

4.2.1. Comprobación a tracción

La condición que se debe cumplir es que la sollicitación $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ que es la resistencia a tracción de un tornillo pretensado igual al axil de pretensado en el tornillo: $F_{t,Ed} \leq F_{p,Cd}$ (condición que se utiliza para predimensionar los tornillos)

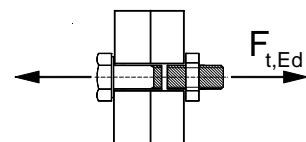


Figura 7. Tornillo solicitado a tracción

4.2.2. Comprobación a punzonamiento

La condición que se debe cumplir es que la sollicitación $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ que es la resistencia a punzonamiento de la cabeza o la tuerca del tornillo contra la chapa (figura 8), no siendo necesario hacer esta comprobación si el menor espesor de la chapa bajo la cabeza o la tuerca cumple la

$$t_{min} \geq \frac{d}{6} \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}$$

condición:

Con objeto de facilitar esta última comprobación, en la tabla 5 del Anejo 1 se calcula el espesor mínimo de las chapas a unir considerando que el acero estructural es S 275

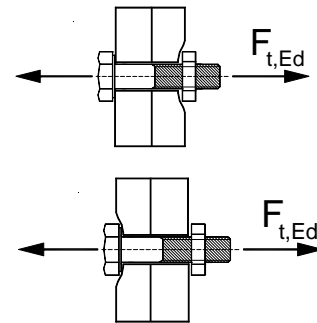


Figura 8. Punzonamiento

4.3 Tornillos solicitados a tracción y cortante simultáneamente

Cuando los tornillos pretensados se encuentran solicitados a tracción y cortante simultáneamente, la tracción tiende a separar las chapas unidas, reduciendo la resistencia a deslizamiento. En estos casos es necesario analizar el origen de la tracción sobre los tornillos: generados por un momento flector en el nudo o por una tracción en el nudo.

4.3.1. Tracción generada por un momento flector en la unión

En este caso, los tornillos superiores estarán solicitados a tracción (caso de que el momento sea negativo), tendiendo a separar las chapas, mientras los tornillos inferiores estarán solicitados a compresión, aumentando la resistencia a deslizamiento entre las chapas en esta parte de la unión.

En estos casos se considera que la reducción de la resistencia sufrida en la parte superior se compensa con el aumento de la resistencia en la inferior, y las comprobaciones a realizar serán:

- Resistencia a deslizamiento: $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ (epígrafe 4.1.1)
- Resistencia a aplastamiento: $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ (epígrafe 4.1.2)
- Resistencia a tracción: $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ (epígrafe 4.2.1)
- Resistencia a punzonamiento: $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ (epígrafe 4.2.2)

4.3.1. Tracción NO generada por un momento flector

Si la tracción en los tornillos se debe a un axil de tracción, todos los tornillos están traccionados (no se compensa el despegue entre las chapas con ningún esfuerzo de compresión) se reduce el apriete de pretensado de los tornillos, siendo la

resistencia a deslizamiento igual a: $F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3}}$

y $F_{t,Ed,ser}$ es el esfuerzo axil real que sollicita al tornillo (aunque la unión se calcule para el 33% del $V_{pl,Rd}$)

5 Aplicación práctica

En este apartado se incluyen los detalles constructivos y las comprobaciones a realizar correspondientes a tres tipos de uniones atornilladas.

5.1 Unión articulada con tornillos pretensados solicitados a cortante

El nudo de la figura 9 corresponde a una unión articulada entre la barra de una celosía formada por dos perfiles en L y una cartela. La condición de articulación de la unión queda garantizada por la poca rigidez a flexión de los angulares, y no depende del modo de disponer los tornillos.

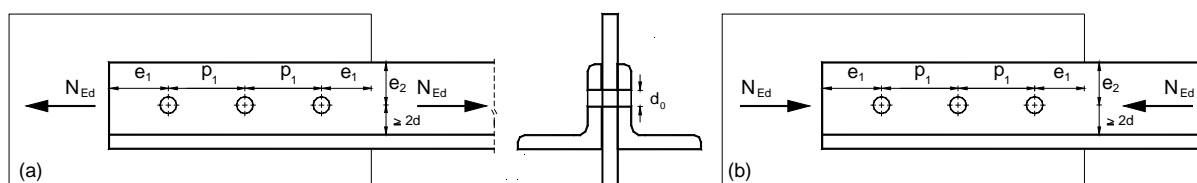


Figura 9. Unión entre 2 angulares y una cartela

Estando los perfiles en L de la figura 10(a) solicitados a tracción mientras que los de la figura 10(b) lo están a compresión. Las fases del proceso de dimensionado de la unión son las siguientes:

1. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de la unión: Al tratarse de una unión articulada, el esfuerzo a considerar será el mayor entre N_{Ed} y el 33% del $N_{pl,Rd}$ del conjunto de los dos angulares.

2. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de los tornillos: Los tornillos están solicitados a cortante. Se trata de una unión con dos superficies en contacto, y los tornillos se deben comprobar a deslizamiento y a aplastamiento.

3. Predimensionado del número de tornillos. A partir del esfuerzo a considerar en la unión, y utilizando la tabla 4 ó 6 del Anejo 1, se predimensionan los tornillos.

Si los perfiles son muy pequeños, es preferible utilizar tornillos de diámetros pequeños y aceros de buena calidad (por problemas de espacio)

4. Comprobación de los tornillos a resistencia: Se debe verificar la condición: $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ donde $F_{s,Rd}$ es la resistencia a deslizamiento, considerando dos superficies en contacto.

5. Comprobación de los tornillos a aplastamiento. Se disponen los taladros en la unión teniendo en cuenta las distancias a bordes (e_1 y e_2) y entre taladros (p_1) de la figura 10 deben cumplir: (d_0 el diámetro del taladro y t el menor espesor de las chapas)

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq \begin{cases} 40 + 4 \cdot t \\ 12 \cdot t \\ 150 \text{ mm} \end{cases} ; \quad 1,5 \cdot d_0 \leq e_2 \leq \begin{cases} 40 + 4 \cdot t \\ 12 \cdot t \\ 150 \text{ mm} \end{cases} ; \quad 2,2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \begin{cases} 14 \cdot t \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Además, para poder ejecutar la unión la distancia entre el taladro y el ala de la L perpendicular a la superficie taladrada debería ser mayor al doble del diámetro del tornillo utilizado, (figura 10). Calculando α como el menor de:

$$\left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} ; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1 \right\} \text{ siendo la resistencia: } F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

6. Comprobación de las chapas taladradas a tracción. sólo para la unión de la figura 10(a) dado que las chapas de la unión 10(b) están solicitadas a compresión.

La comprobación consiste en verificar que el axil sollicitación no supera la resistencia a

tracción de la sección bruta:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

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

siendo A_{net} el área neta indicada en la figura 10

7. Diseño del detalle constructivo: Finalizadas todas las comprobaciones se dibuja el detalle de la unión acotando las distancias a bordes y distancias entre taladros e indicando el número, diámetro y tipo de acero de los tornillos dispuestos, el axil de pretensado $F_{p,Cd}$ y el tratamiento de las chapas.

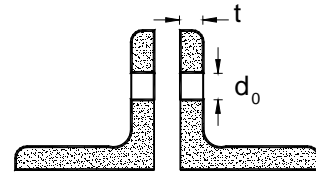


Figura 10. Área neta

5.2 Unión con tornillos solicitados a tracción

El diseño de la figura 11 corresponde a un nudo articulado entre una barra vertical sollicitada a tracción y una barra horizontal.

La condición de articulación queda garantizada por la disposición de los tornillos de modo que la distancia entre los tornillos extremos no supera los dos tercios del canto del soporte.

Todos los tornillos están sollicitados a tracción, siendo las fases del dimensionado de la unión las siguientes:

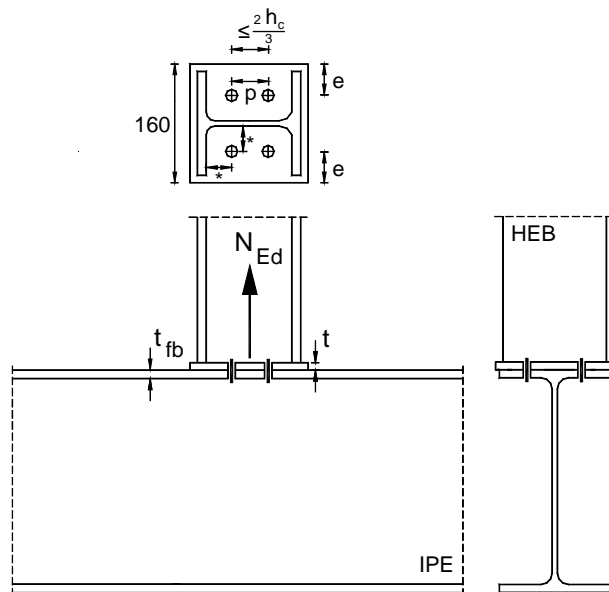


Figura 11. Unión articulada entre una viga colgada de un soporte

1. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de la unión: Al tratarse de una unión articulada, el esfuerzo a considerar será el mayor entre N_{Ed} y el 33% del $N_{pl,Rd}$ del soporte

2. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de los tornillos: Los tornillos están sollicitados a tracción y se deben comprobar a tracción y punzonamiento.

3. Predimensionado del número de tornillos: A partir del esfuerzo a considerar en la unión, y sabiendo la resistencia a tracción de los tornillos pretensados de diámetros y aceros habituales (tabla 7 Anejo 1) se hace un predimensionado del diámetro, tipo de acero y número de tornillos a utilizar. En este tipo de unión, es posible que el soporte, al

estar solicitado a tracción sea muy pequeño, por lo que puede haber problemas a la hora de disponer los tornillos, siendo posible que se deba resolver la unión con sólo dos tornillos.

4. Comprobación de los tornillos a resistencia: Se debe verificar la condición: $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ donde $F_{t,Rd}$ es la resistencia a tracción del tornillo pretensado elegido, igual al axil de pretensado del mismo, (tabla 7 Anejo 1) multiplicada por el número de tornillos dispuestos.

5. Comprobación de los tornillos a punzonamiento: Tal y como se vio en el apartado 4.2.2, no es necesario hacer esta comprobación si los espesores de las chapas bajo la cabeza o la tuerca del tornillo son mayores que: $t_{min} \geq \frac{d}{6} \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}$ (tabla 8 del Anejo 1)

6. Disposición de los tornillos: Al estar los tornillos están solicitados a tracción, el esfuerzo no es ni paralelo ni perpendicular a los bordes de las chapas, debiéndose cumplir todas las limitaciones de distancias a bordes (e) y distancias entre taladros (p):

$$\left. \begin{array}{l} 1,2 \cdot d_0 \\ 1,5 \cdot d_0 \end{array} \right\} \leq e \leq \begin{cases} 40 + 4 \cdot t \\ 12 \cdot t \\ 150 \text{ mm} \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} 2,2 \cdot d_0 \\ 3 \cdot d_0 \end{array} \right\} \leq p \leq \begin{cases} 14 \cdot t = 14 \cdot 10 = 140 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Siendo d_0 el diámetro del taladro y t el menor espesor de las chapas a unir (chapa frontal y ala de la viga)

Además, para poder atornillar es necesario que la distancia del eje del taladro a cualquier superficie perpendicular sea mayor o igual a dos diámetros (distancia acotada con un * en la figura 11)

7. Diseño del detalle constructivo: Finalizadas las comprobaciones se debe dibujar el detalle de la unión acotando las distancias a bordes y distancias entre taladros, indicando el número, diámetro y tipo de acero de los tornillos dispuestos y el axil de pretensado, además de las dimensiones de la chapa frontal dispuesta.

5.3 Unión rígida con tornillos solicitados a tracción (debida a un momento) y cortante

El nudo de la figura 12 corresponde a una prolongación rígida entre vigas resuelta con chapas frontales atornilladas.

La unión está solicitada a flexión y cortante. El esfuerzo cortante que solicita a la unión se reparte por igual entre todos los tornillos.

El momento flector que solicita a la unión tracciona las alas inferiores y comprime las superiores, de modo que los cuatro tornillos superiores están solicitados a compresión (no requiere cálculo) y los cuatro inferiores a tracción.

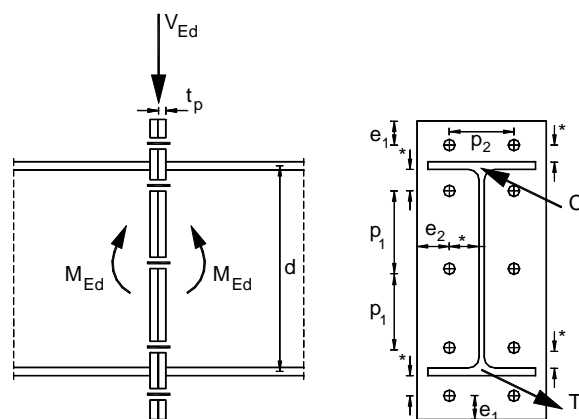


Figura 12. Prolongación rígida de dos vigas por medio de chapa frontal atornillada

Por tanto son los tornillos inferiores los que en este caso están solicitados a tracción y cortante simultáneamente, siendo las fases a seguir en el proceso de dimensionado de esta unión las siguientes:

1. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de la unión: Al ser una unión rígida, el esfuerzo a considerar será el mayor entre V_{Ed} y el 50% del $V_{pl,Rd}$ en el extremo de la viga, y entre M_{Ed} y el 50% del $M_{pl,Rd}$ de la viga a unir.

2. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de los tornillos: Según el diseño de la figura 12, los diez tornillos están solicitados a cortante (sólo una superficie en contacto) y los cuatro tornillos que unen las alas traccionadas (alas inferiores) están además solicitados a tracción.

Se comprobará uno de estos cuatro tornillos (los mas desfavorables) a deslizamiento, aplastamiento, tracción, y punzonamiento, sin considerar ninguna reducción de la resistencia a deslizamiento por la tracción en los tornillos (momento en la unión)

El esfuerzo cortante en cada uno de los tornillos será igual al de la unión dividido por el número de tornillos dispuestos (en este caso 10. Es decir: $F_{v,Ed} = V/10$)

El axil de tracción será igual a la fuerza de tracción T de la figura 12 repartida entre los cuatro tornillos. Dicha fuerza se obtiene dividiendo el momento flector a considerar en el cálculo de la unión por la distancia entre los centros de gravedad de las alas de la viga (cota d en la figura 12). Es decir: $F = M/d$ y $F_{t,Ed} = F/4$

3. Predimensionado del número de tornillos.

En este tipo de unión, el axil de tracción se reparte, generalmente, entre los cuatro tornillos dispuestos para unir el ala traccionada, de modo que, conocido el esfuerzo T , se puede conocer el axil de tracción de cada uno de los tornillos y utilizar este valor para predimensionar el tornillo.

4. Comprobación de los tornillos: Se deben verificar cuatro condiciones:

A tracción: $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ (con los valores de $F_{t,Rd}$ de la tabla 7)

A punzonamiento (comprobar el espesor de las chapas con la tabla 8)

A deslizamiento: $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ (con los valores de $F_{s,Rd}$ de la tabla 3 ó 5) considerando que hay una única superficie en contacto.

A aplastamiento: siendo necesario disponer los taladros en la unión, y al no ser el esfuerzo perpendicular ni paralelo a los bordes de las chapas, y deben cumplirse las mismas limitaciones de distancias a bordes (e) y distancias entre taladros (p) establecidas en el epígrafe 5.2, además de comprobar que se puede atornillar (distancia del eje del taladro a cualquier superficie perpendicular sea mayor o igual a dos diámetros (distancia acotada con un * en la figura 12))

Situados los taladros, el valor de α es el menor entre: $\left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$ y

la resistencia a aplastamiento por tornillo $F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$

5. Comprobación de la rigidez de la chapa frontal: Al ser un nudo rígido se debe garantizar que no se producen giros relativos entre las barras a unir, comprobando la rigidez de la chapa frontal, y caso de no ser suficiente aumentar su espesor. Es este documento no se incluye dicha comprobación al no ser objeto del mismo.

6. Diseño del detalle constructivo: Una vez finalizadas todas las comprobaciones se debe dibujar el detalle de la unión acotando las distancias a bordes y distancias entre taladros e indicando el numero, diámetro, tipo de acero de los tornillos dispuestos, axil de pretensado y tratamiento de las chapas en contacto.

5.4 Unión viga-soporte solicitada a tracción y cortante

El nudo de la figura 13 corresponde a una unión articulada viga-soporte solicitada a tracción y cortante. En este caso todos los tornillos de la unión están solicitados a tracción y cortante simultáneamente, siendo las fases a seguir en el proceso de dimensionado de esta unión las siguientes:

1. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de la unión: Al ser de una unión articulada, el esfuerzo cortante a considerar será el mayor entre V_{Ed} y el 33% del $V_{pl,Rd}$ del soporte, mientras que el axil a considerar será el mayor entre N_{Ed} y el 33% del $N_{pl,Rd}$ del soporte a unir.

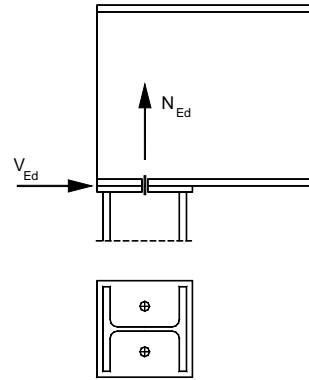


Figura 13. Unión viga-soporte solicitada a tracción y cortante

2. Determinación del esfuerzo a considerar en el dimensionado de los tornillos: Según el diseño de la figura 13, todos los tornillos están solicitados a tracción y cortante. Se comprobarán a deslizamiento (considerando una reducción de la resistencia a deslizamiento por la tracción en todos los tornillos), aplastamiento, tracción, y punzonamiento, siendo el esfuerzo axil y cortante en cada uno de los tornillos igual al esfuerzo de la unión dividido por el número de tornillos dispuestos.

3. Predimensionado del número de tornillos.

En este tipo de unión, el axil de tracción suele ser la sollicitación más desfavorable, por lo que se utiliza este valor para predimensionar los tornillos.

4. Comprobación de los tornillos: Se deben verificar cuatro condiciones:

1. A tracción: $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ (con los valores de $F_{t,Rd}$ de la tabla 7)
2. A punzonamiento (no es necesario si el espesor de las chapas frontales es mayor que el recogido en la tabla 8)
3. A deslizamiento: $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ siendo $F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3}}$

considerando que hay una única superficie en contacto y que los taladros tienen holgura nominal, la expresión anterior pasa a ser:

$$F_{s,Rd} = \frac{\mu \cdot \left(F_{p,Cd} - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{n^{\circ}_{\text{tornillos}}} \right)}{1,25}$$

4. A aplastamiento: Se disponen los taladros en la unión. Al ser no ser el esfuerzo en los tornillos perpendicular o paralelo a los bordes de las chapas, se deben cumplir todas las limitaciones de distancias a bordes (e) y entre taladros (p) establecidas en el epígrafe 5.2., además de comprobar que se puede atornillar (distancia del eje del taladro a cualquier superficie perpendicular mayor o igual a dos diámetros)

Situados los taladros, α es el menor entre: $\left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$ y la

resistencia a aplastamiento por tornillo igual a $F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$

5. Diseño del detalle constructivo: Se debe dibujar el detalle de la unión acotando las distancias a bordes y entre taladros, indicando el número, diámetro, tipo de acero de los tornillos dispuestos, axil de pretensado y tratamiento de las chapas en contacto.

6 Conclusiones

A lo largo de este documento se han presentado las comprobaciones a realizar en los tornillos pretensados en función del esfuerzo que los solicita.

Para facilitar la comprensión del proceso, éste se ha presentado paso a paso en cuatro ejemplos de aplicación práctica, cada uno de ellos con una sollicitación diferente en los tornillos.

7 Aplicación práctica propuesta

Dado el nudo A de la figura 14, se pide el diseño y cálculo del mismo con tornillos pretensados

El ejercicio propuesto tiene múltiples soluciones posibles. En el anejo 2 de este documento se proponen algunas.

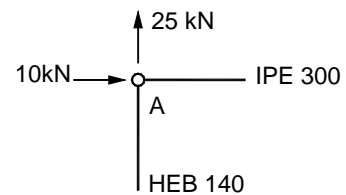


Figura 14

8 Bibliografía

8.1 Libros:

[1] MINISTERIO de la VIVIENDA: "Documento Básico SE-A Acero", Código Técnico de Edificación y "Documento Básico SE Seguridad Estructural", Disponible en: <http://www.codigotecnico.org>

[2] Monfort Leonart, J.: "Estructuras Metálicas en Edificación adaptado al CTE" Editorial Universidad Politécnica de Valencia ISBN 84-8363-021-4

[3] Ejemplos prácticos resueltos en "Problemas de estructuras metálicas adaptados al Código Técnico" capítulos 6 y 7. Autores: Monfort Leonart, J. Pardo Ros, J.L., Guardiola Villora, A. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-8363-322-9

8.2 Otras fuentes:

[1] Polimedia "Clasificación de las uniones atornilladas" Autora: Arianna Guardiola Villora. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/16429>

[2] Polimedia "Criterios de diseño de las uniones en estructuras de acero para edificación" Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/7820>
Autora: Arianna Guardiola Villora.

8.3 Tablas y figuras

El contenido de todas las tablas ha sido calculado por Guardiola Villora, A. con las expresiones indicadas.

Todos los dibujos incluidos en este documento han sido realizados por Guardiola Villora, A.

ANEJO 1

Tabla 1. Holgura nominal de los taladros

M 10	M 12	M 16	M 20	M 24
1 mm	1 mm	2 mm	2 mm	2 mm

Tabla 2. Esfuerzo de pretensado mínimo en kN

Acero del tornillo	diámetro del tornillo					
	12	16	20	24	27	30
8.8	47	88	137	198	257	314
10.9	59	110	172	247	321	393

RESISTENCIA a DESLIZAMIENTO

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,Cd}$$

Tabla 3. UNA SUPERFICIE DE CONTACTO: n = 1 taladros con holguras nominales

TORNILLOS			ACERO 8.8	Clase D	Clase C	Clase B	Clase A
	d mm	A _s mm ²	F _{p,Cd} N/mm ²	μ = 0,2	μ = 0,3	μ = 0,4	μ = 0,5
M 10	10	58	32 000 N	5 120 N	7 680 N	10 240 N	12 800 N
M 12	12	84,3	47 000 N	7 520 N	11 280 N	15 040 N	18 800 N
M 16	16	157	88 000 N	14 080 N	21 120 N	28 160 N	35 200 N
M 20	20	245	137 000 N	21 920 N	32 880 N	43 840 N	54 800 N
M 24	24	353	198 000 N	31 680 N	47 520 N	63 360 N	79 200 N

Tabla 4. DOS SUPERFICIES DE CONTACTO: n = 2 taladros con holguras nominales

TORNILLOS			ACERO 8.8	Clase D	Clase C	Clase B	Clase A
	d mm	A _s mm ²	F _{p,Cd} N/mm ²	μ = 0,2	μ = 0,3	μ = 0,4	μ = 0,5
M 10	10	58	32 000 N	10 240 N	15 360 N	20 480 N	25 600 N
M 12	12	84,3	47 000 N	15 040 N	22 560 N	30 080 N	37 600 N
M 16	16	157	88 000 N	28 160 N	42 240 N	56 320 N	70 400 N
M 20	20	245	137 000 N	43 840 N	65 760 N	87 680 N	109 600 N
M 24	24	353	198 000 N	63 360 N	95 040 N	126 720 N	158 400 N

RESISTENCIA a DESLIZAMIENTO

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,Cd}$$

Tabla 5. UNA SUPERFICIE DE CONTACTO: n = 1 taladros con holguras nominales

TORNILLOS			ACERO 10.9	Clase D	Clase C	Clase B	Clase A
	d mm	A _s mm ²	F _{p,Cd} N/mm ²	μ = 0,2	μ = 0,3	μ = 0,4	μ = 0,5
M 10	10	58	40 000 N	6 400 N	9 600 N	12 800 N	16 000 N
M 12	12	84,3	59 000 N	9 440 N	14 160 N	18 880 N	23 600 N
M 16	16	157	110 000 N	17 600 N	26 400 N	35 200 N	44 000 N
M 20	20	245	172 000 N	27 520 N	41 280 N	55 040 N	68 800 N
M 24	24	353	247 000 N	39 520 N	59 280 N	79 040 N	98 800 N

Tabla 6. DOS SUPERFICIES DE CONTACTO: n = 2 taladros con holguras nominales

TORNILLOS			ACERO 10.9	Clase D	Clase C	Clase B	Clase A
	d mm	A _s mm ²	F _{p,Cd} N/mm ²	μ = 0,2	μ = 0,3	μ = 0,4	μ = 0,5
M 10	10	58	40 000 N	12 800 N	19 200 N	25 600 N	32 000 N
M 12	12	84,3	59 000 N	18 880 N	28 320 N	37 760 N	47 200 N
M 16	16	157	110 000 N	35 200 N	52 800 N	70 400 N	88 000 N
M 20	20	245	172 000 N	55 040 N	82 560 N	110 080 N	137 600 N
M 24	24	353	247 000 N	79 040 N	118 560 N	158 080 N	197 600 N

Tabla 7 RESISTENCIA a TRACCION

$$F_{t,Rd} = F_{p,Cd}$$

TORNILLOS PRETENSADOS

TORNILLOS		M 12	M 16	M 20	M 24	M 27
ACERO						
8.8	$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$	47 000 N	88 000 N	137 000 N	198 000 N	257 000 N
10.9	$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$	59 000 N	110 000 N	172 000 N	247 000 N	321 000 N

Tabla 8 COMPROBACION A PUNZONAMIENTO

$$t_{min} \geq \frac{d}{6} \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}$$

PARA ACERO S 275 $\rightarrow f_u = 410$

TORNILLOS		ACERO	ACERO	ACERO	ACERO	ACERO
		4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
	d mm	$f_{ub} = 400$ N/mm ²	$f_{ub} = 500$ N/mm ²	$f_{ub} = 600$ N/mm ²	$f_{ub} = 800$ N/mm ²	$f_{ub} = 1000$ N/mm ²
	$t_{min} >$					
M 10	10	1,6 mm	2,0 mm	2,4 mm	3,2 mm	4,0 mm
M 12	12	1,9 mm	2,4 mm	2,9 mm	3,9 mm	4,8 mm
M 16	16	2,6 mm	3,2 mm	3,9 mm	5,2 mm	6,5 mm
M 20	20	3,2 mm	4,0 mm	4,8 mm	6,5 mm	8,1 mm
M 24	24	3,9 mm	4,8 mm	5,8 mm	7,8 mm	9,7 mm

ANEJO 2

La figura 15 muestra dos posibles diseños de la unión propuesta. Ambas soluciones pueden realizarse con un número de tornillos mayor o menor dependiendo del diámetro utilizado y la calidad del acero de los tornillos.

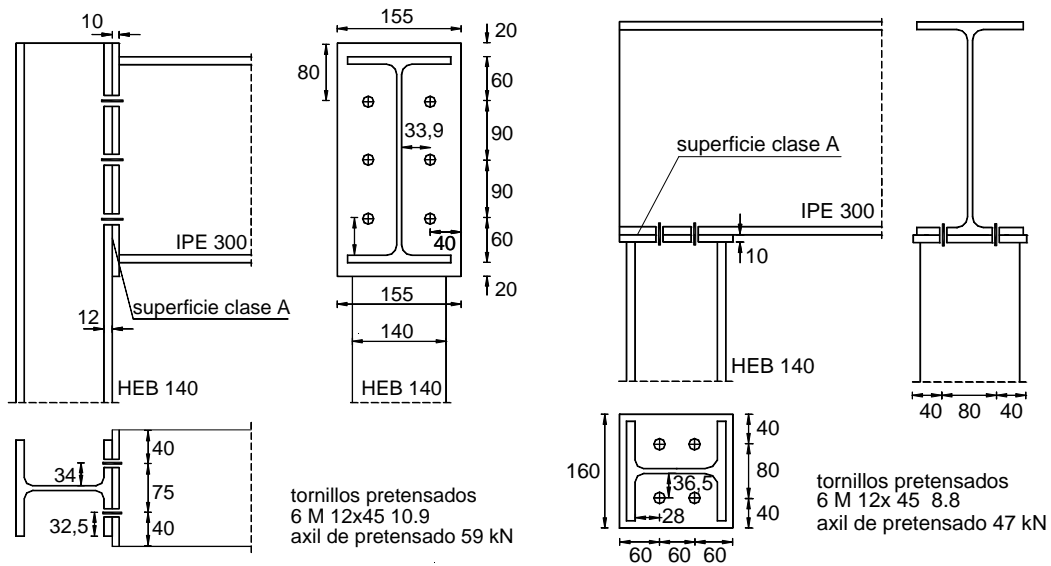


Figura 15. Posibles soluciones de la unión propuesta