

Diseño y cálculo de uniones con tornillos no pretensados

Apellidos, nombre	Arianna Guardiola Víllora (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 no 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 tres casos tipo, de modo que cuando el alumno finalice la lectura de este documento será capaz de diseñar y calcular una unión atornillada considerando las disposiciones de la norma.

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. En este apartado se analizan los posibles esfuerzos que pueden solicitar a la unión y los elementos que la conforman.

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. Esto es:

Solicitaciones a considerar en las uniones articuladas:	V_{Ed} ó 33% $V_{pl,Rd}$
	N_{Ed} ó 33% $N_{pl,Rd}$
Solicitaciones a considerar en las uniones rígidas:	M_{Ed} ó 50% $M_{pl,Rd}$
	V_{Ed} ó 50% $V_{pl,Rd}$

3.2 Solicitaciones en los tornillos

Dependiendo del diseño de la unión, los tornillos estarán solicitados a cortante ó a axil (tracción o compresión). Los tornillos solicitados a compresión no requieren cálculo. La sollicitación de tracción sobre el tornillo se representa por $F_{t,Ed}$ mientras que la sollicitación 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 hay que realizar para los casos tipo presentados en el epígrafe 5

4 Comprobaciones de los tornillos no pretensados

Las comprobaciones a realizar en los tornillos no pretensados dependen del esfuerzo que los solicita. De este modo distinguimos entre tornillos solicitados a cortante, tornillos solicitados a tracción y tornillos solicitados simultáneamente a tracción y cortante.

4.1 Tornillos solicitados a cortante

4.1.1. Comprobación a corte

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

$$\text{Siendo } F_{v,Rd} = n \cdot 0,5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

n número de planos de corte, de valor 1 para simple cortadura (figura 1) y 2 para doble cortadura (figura 2)

f_{ub} es la tensión última del acero de los tornillos

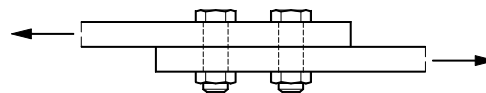


Figura 1. Simple cortadura

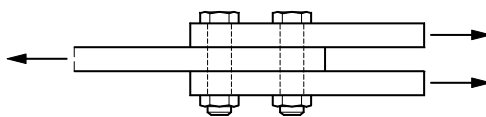


Figura 2. Doble cortadura

A es el área del tornillo. Se toma A_d si el plano de corte está en el vástago del tornillo o A_s si el plano de corte está en la parte roscada del tornillo

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

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.

Con objeto de facilitar este predimensionado así como la comprobación a cortante, en las tablas 2 y 3 del Anejo A se ha calculado la resistencia de los tornillos no pretensados de distintos diámetros y calidades de acero trabajando a simple y doble cortadura.

4.1.2. Comprobación a aplastamiento

La condición que se debe cumplir es que la sollicitación $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ que es la resistencia a aplastamiento de la chapa contra la caña del tornillo o del tornillo contra la chapa, tal y como se muestra en la figura 3.

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

donde d es el diámetro del tornillo

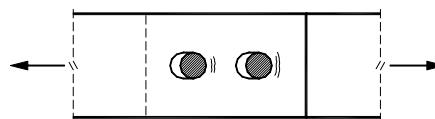


Figura 3. Aplastamiento de las chapas

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 en simple cortadura (figura 4) ó t_1+t_3 y t_2 en doble cortadura (figura 5)

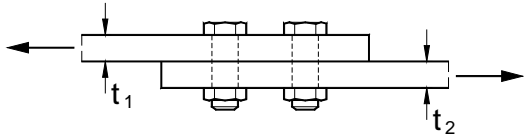


Figura 5. Espesor mínimo a aplastamiento en simple cortadura

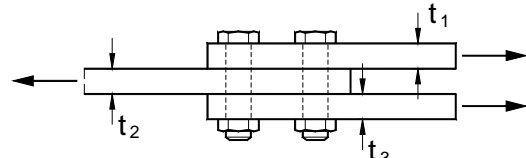


Figura 6. Espesor mínimo a aplastamiento en doble cortadura

α el menor de

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

Donde e_1 es la distancia a borde frontal y p_1 la distancia entre taladros en la dirección del esfuerzo, tal y como se indica en la figura 7.

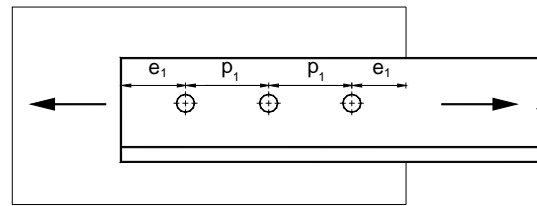


Figura 7. Distancias en la dirección del esfuerzo

d_0 es el diámetro del taladro, igual al del tornillo mas la holgura nominal. Los valores de la holgura nominal para los diámetros habituales se recogen en la tabla 1 del Anejo A.

Esta comprobación se suele cumplir, generalmente, 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

4.2.1. Comprobación a tracción

La condición que se debe cumplir es que la sollicitación $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$, resistencia a tracción de un tornillo de valor:

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

A_s es la sección resistente de la parte roscada

f_{ub} es la tensión ultima del acero de los tornillos

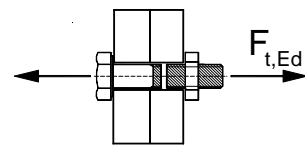


Figura 8. Tornillo solicitado a tracción

En las uniones con tornillos solicitados a tracción esta es la condición que se utiliza para predimensionar el número de tornillos necesarios para transmitir el esfuerzo.

Con objeto de facilitar el predimensionado y dimensionado de los tornillos se ha incluido en el Anejo A la tabla 4 en las que se ha calculado la resistencia de los tornillos no pretensados de distintos diámetros y calidades de acero trabajando a tracción.

4.2.2. Comprobación a punzonamiento

La condición que se debe cumplir es que la sollicitación $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$, resistencia a punzonamiento de la cabeza o la tuerca del tornillo contra la chapa (figura 9).

No es necesario hacer esta comprobación si el menor espesor de la chapa bajo la cabeza o la tuerca cumple la condición:

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

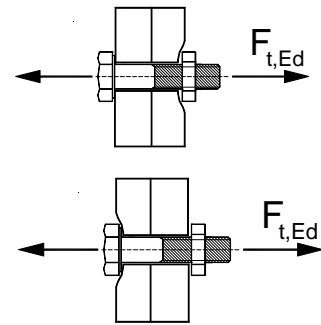


Figura 9. Punzonamiento

En la tabla 5 del Anejo A se tabulan los espesores mínimos de las chapas a unir.

4.3 Tornillos sollicitados a tracción y cortante simultáneamente

Los tornillos sollicitados a tracción y cortante simultáneamente deben cumplir, además de las condiciones de los epígrafes 4.1 y 4.2 la siguiente condición

adicional: $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$ Siendo $F_{v,Ed}$ y $F_{t,Ed}$ los esfuerzos que sollicitan al

tornillo, y $F_{v,Rd}$ y $F_{t,Rd}$ las resistencias a cortante y tracción respectivamente (expresiones de los epígrafes 4.1.1 y 4.2.1 y tablas del Anejo A)

5 Aplicación práctica

En este apartado se incluyen los detalles constructivos y las comprobaciones a realizar correspondientes a tres tipos de uniones atornilladas: la primera en la que los tornillos trabajan a cortante, la segunda en la que los tornillos trabajan a tracción y la última en la que los tornillos trabajan simultáneamente a tracción y cortante.

5.1 Unión articulada con tornillos sollicitados a cortante

El nudo de la figura 10 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.

Los perfiles en L de la figura 10(a) están sollicitados 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:

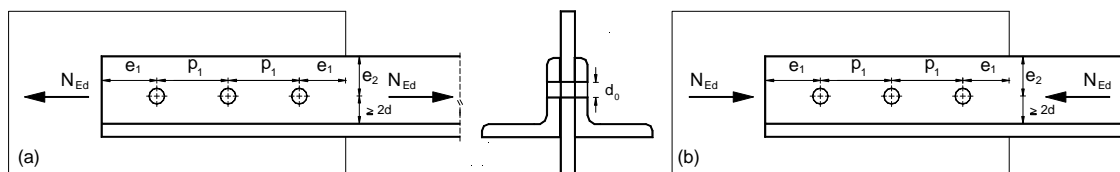


Figura 10. Unión entre 2 angulares y una cartela

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 a doble cortadura, y los tornillos se deben comprobar a corte y a aplastamiento.

3. Predimensionado del número de tornillos. A partir del esfuerzo a considerar en la unión, y utilizando la tabla 3 del Anejo A, se hace un predimensionado del número de tornillos a utilizar. En este tipo de unión, si los perfiles son muy pequeños, puede haber problemas a la hora de disponer los taladros, por lo que es preferible utilizar tornillos de diámetros pequeños y aceros de buena calidad.

4. Comprobación de los tornillos a resistencia:

Se debe verificar la condición: $F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$ donde $F_{V,Rd}$ es la resistencia a doble cortadura del tornillo elegido (tabla 3 Anejo A) multiplicada por el número de tornillos dispuestos.

5. Comprobación de los tornillos a aplastamiento. Para poder realizar la comprobación a aplastamiento, primero es necesario disponer los taladros en la unión. Las distancias a bordes (e_1 y e_2) y entre taladros (p_1) acotadas en la figura 10 deben cumplir las siguientes condiciones:

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

Siendo d_0 el diámetro del taladro y t el menor espesor de las chapas a unir.

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, tal y como se indica en la figura 10. No obstante, en el caso de los perfiles en L, si la altura del ala no es excesiva, se podría aceptar una disposición que no cumpla esta última condición.

Una vez situados los taladros, se puede calcular el valor de α como 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 a continuación obtener la resistencia a aplastamiento por tornillo

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

6. Comprobación de las chapas taladradas a tracción. Esta comprobación se debe hacer sólo para la unión de la figura 10(a) ya 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: $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

Y que el axil sollicitación no supera la resistencia última de la sección neta:

$$N_{u,Rd} = \frac{(0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u)}{\gamma_{M2}}$$

Siendo el área neta el área de los dos angulares menos los dos taladros tal y como se muestra en la figura 11.

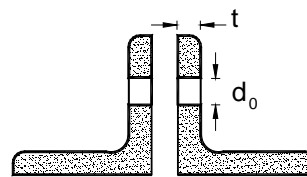


Figura 11. Area neta

7. 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 y tipo de acero de los tornillos dispuestos.

5.2 Unión con tornillos sollicitados 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:

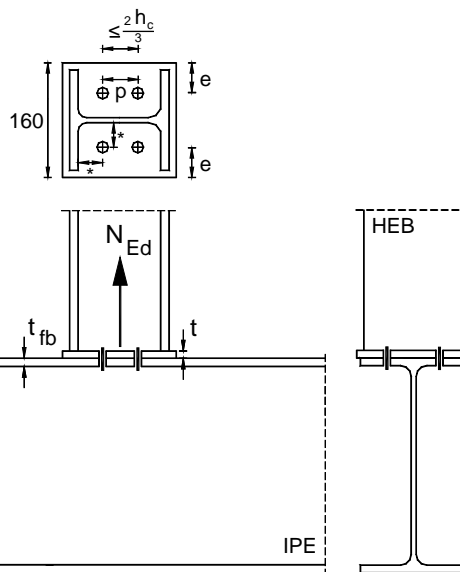


Figura 11. Unión articulada viga-soporte

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 utilizando la tabla 4 del Anejo A, 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 sollicitado a tracción sea muy pequeño, por lo que puede haber problemas a la hora de disponer los tornillos. Siendo necesario 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 elegido (tabla 4 Anejo A) multiplicada por el número de tornillos dispuestos.

5. Comprobación de los tornillos a punzonamiento. No es necesario hacer esta comprobación si los espesores de las chapas bajo la cabeza o la tuerca del tornillo son

mayores que: $d \cdot f_{ub} / 6 \cdot f_u$. En la tabla 5 del Anejo A se recogen los mínimos espesores admisibles para las chapas a unir (t y t_{fb} en la figura 11)

6. Comprobación de las chapas taladradas. En este tipo de detalle no tiene sentido esta comprobación.

7. Disposición de los tornillos: Debido a que los tornillos están solicitados a tracción, el esfuerzo no es ni paralelo ni perpendicular a los bordes de las chapas, no siendo posible determinar cual es el borde frontal y cual el lateral. En estos casos se deben cumplir todas las limitaciones de distancias a bordes (e) y distancias entre taladros (p) establecidas por la norma:

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

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)

8. 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, indicando el número, diámetro y tipo de acero de los tornillos dispuestos, así como las dimensiones de la chapa frontal dispuesta.

5.3 Unión rígida con tornillos a tracción 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.

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:

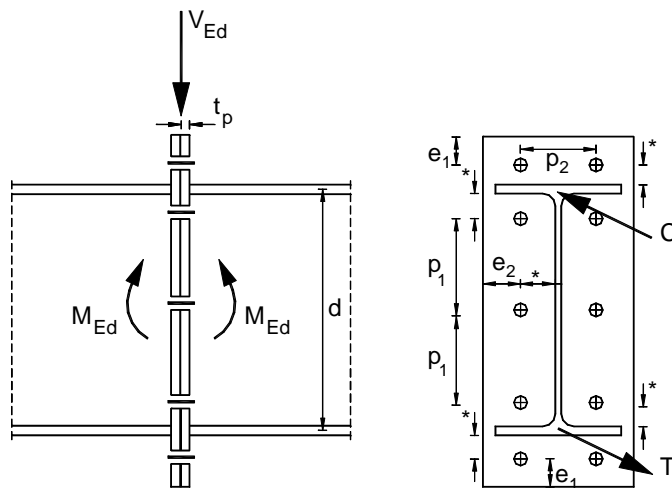


Figura 12. Prolongación rígida con chapa frontal atornillada

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 tratarse de 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 dispuestos están solicitados a cortante (unión a simple cortadura) 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 cortante, aplastamiento, tracción, punzonamiento y tracción y cortante actuando simultáneamente.

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 que solicita a los tornillos que unen el ala inferior será igual a la fuerza de tracción T de la figura 12 repartida entre los cuatro tornillos.

La fuerza de tracción T 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. No conviene ajustar mucho este predimensionado, ya que el tornillo también estará solicitado a cortante.

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

1. A tracción: $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ (con los valores de $F_{t,Rd}$ de la tabla 4)
2. A punzonamiento (tabla 5)
3. A cortante: $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ (con los valores de $F_{v,Rd}$ de la tabla 2)
4. A aplastamiento: Igual que en el epígrafe 5.2. el esfuerzo en los tornillos no es ni perpendicular ni paralelo a los bordes de las chapas, por lo que deben cumplirse todas las limitaciones constructivas. La condición es: $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$
5. Comprobación combinada de tracción y cortante:

Se debe hacer la comprobación adicional:
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Siendo $F_{v,Ed}$ y $F_{t,Ed}$ los esfuerzos que solicitan al tornillo, y $F_{v,Rd}$ y $F_{t,Rd}$ las resistencias a cortante y tracción respectivamente (valores calculados en las tablas del Anejo A)

6. Comprobación de las chapas taladradas a tracción. En esta unión no tiene sentido hacer esta comprobación

7. 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. Sería necesario comprobar la rigidez de la chapa frontal, y caso de no ser suficiente aumentar su espesor. En este documento no se incluye dicha comprobación al no ser objeto del mismo.

8. 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 número, diámetro y tipo de acero de los tornillos dispuestos.

6 Conclusión

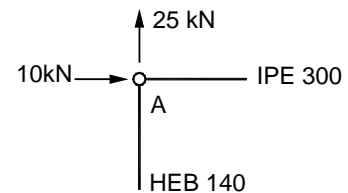
A lo largo de este documento se han presentado las comprobaciones a realizar en los tornillos no pretensados en función del esfuerzo que los solicita.

Para facilitar la comprensión del proceso, éste se ha presentado paso a paso en tres 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 13, se pide el diseño y cálculo del mismo con tornillos.

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



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 Vllora, 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 Vllora. 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 Vllora.

8.3 Tablas y figuras

El contenido de todas las tablas ha sido calculado por Guardiola Vllora, A. con las expresiones indicadas. Todos los dibujos incluidos en este documento han sido realizados por Guardiola Vllora, 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

RESISTENCIA a CORTANTE TORNILLOS NO PRETENSADOS

Cuando el plano de corte está en el vástago $A = A_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Tabla 2. SIMPLE CORTADURA: n = 1

TORNILLOS		ACERO		ACERO 4.6	ACERO 5.6	ACERO 6.8	ACERO 8.8	ACERO 10.9
		d(mm)		$f_{ub} = 400N/mm^2$	$f_{ub} = 500N/mm^2$	$f_{ub} = 600N/mm^2$	$f_{ub} = 800N/mm^2$	$f_{ub} = 1000N/mm^2$
M 10	10	78		12 480 N	15 600 N	18 720 N	24 960 N	31 200 N
M 12	12	113		18 080 N	22 600 N	27 120 N	36 160 N	45 200 N
M 16	16	201		32 160 N	40 200 N	48 240 N	64 320 N	80 400 N
M 20	20	314		50 240 N	62 800 N	75 360 N	100 480 N	125 600 N
M 24	24	452		72 320 N	90 400 N	108 480 N	144 640 N	180 800 N

Tabla 3. DOBLE CORTADURA: n = 2

TORNILLOS		ACERO		ACERO 4.6	ACERO 5.6	ACERO 6.8	ACERO 8.8	ACERO 10.9
		d(mm)		$f_{ub} = 400N/mm^2$	$f_{ub} = 500N/mm^2$	$f_{ub} = 600N/mm^2$	$f_{ub} = 800N/mm^2$	$f_{ub} = 1000N/mm^2$
M 10	10	78		24 960 N	31 200 N	37 440 N	49 920 N	62 400 N
M 12	12	113		36 160 N	45 200 N	54 240 N	72 320 N	90 400 N
M 16	16	201		64 320 N	80 400 N	96 480 N	128 640 N	160 800 N
M 20	20	314		100 480 N	125 600 N	150 720 N	200 960 N	251 200 N
M 24	24	452		144 640 N	180 800 N	216 960 N	289 280 N	361 600 N

RESISTENCIA a TRACCION TORNILLOS NO PRETENSADOS

Tabla 4

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

TORNILLOS		ACERO		ACERO 4.6	ACERO 5.6	ACERO 6.8	ACERO 8.8	ACERO 10.9
		d(mm)		$f_{ub} = 400N/mm^2$	$f_{ub} = 500N/mm^2$	$f_{ub} = 600N/mm^2$	$f_{ub} = 800N/mm^2$	$f_{ub} = 1000N/mm^2$
M 10	10	58		16 704 N	20 880 N	25 056 N	33 408 N	41 760 N
M 12	12	84,3		24 278 N	30 348 N	36 417 N	48 556 N	60 696 N
M 16	16	157		45 216 N	56 520 N	67 824 N	90 432 N	113 040 N
M 20	20	245		70 560 N	88 200 N	105 840 N	141 120 N	176 400 N
M 24	24	353		101 664 N	127 080 N	152 496 N	203 328 N	254 160 N

COMPROBACION A PUNZONAMIENTO* PARA ACERO S 275 $\rightarrow f_u = 410$

Tabla 5

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

TORNILLOS		ACERO 4.6	ACERO 5.6	ACERO 6.8	ACERO 8.8	ACERO 10.9
-----------	--	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

* No es necesario realizar la comprobación si el espesor de la chapa bajo la cabeza o tuerca del tornillo es mayor que t_{min}

	d(mm)		$f_{ub} = 400N/mm^2$	$f_{ub} = 500N/mm^2$	$f_{ub} = 600N/mm^2$	$f_{ub} = 800N/mm^2$	$f_{ub} = 1000N/mm^2$
M 10	10	$t_{min} >$	1,6 mm	2,0 mm	2,4 mm	3,2 mm	4,0 mm
M 12	12	$t_{min} >$	1,9 mm	2,4 mm	2,9 mm	3,9 mm	4,8 mm
M 16	16	$t_{min} >$	2,6 mm	3,2 mm	3,9 mm	5,2 mm	6,5 mm
M 20	20	$t_{min} >$	3,2 mm	4,0 mm	4,8 mm	6,5 mm	8,1 mm
M 24	24	$t_{min} >$	3,9 mm	4,8 mm	5,8 mm	7,8 mm	9,7 mm

ANEJO 2

La figura 14 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.

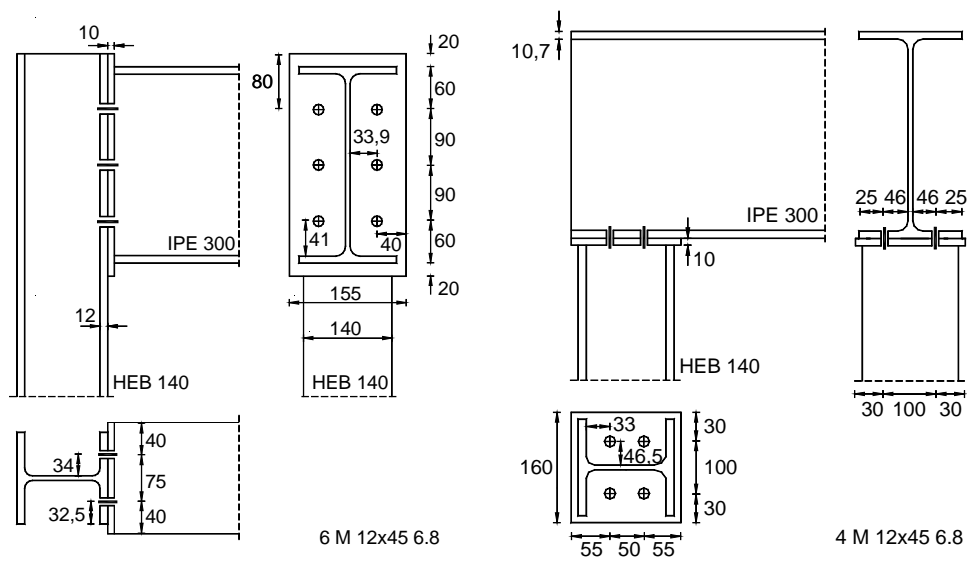


Figura 14. Posibles soluciones de la unión propuesta