



recomendaciones europeas para el empleo de tornillos de alta resistencia en las estructuras de acero

documento C.E.A.C.M. - X-62-12 - abril 1962

Traducción de J. BATANERO y R. HEREDIA

845-10

Advertencia previa

La Convención Europea de Asociaciones de la Construcción Metálica se ha propuesto, entre otros fines, el de unificar las reglamentaciones europeas de construcción metálica, aclarando de paso, mediante los necesarios ensayos realizados en un plano internacional, los numerosos puntos oscuros o discutidos de esta técnica. Con este objeto mantiene en su seno una serie de Comisiones Técnicas, formadas por expertos de los países miembros, cada una de las cuales se ocupa en trabajar sobre un problema concreto.

Una de estas Comisiones, la número X, presidida por el profesor holandés A. A. van Dowen, es la encargada de estudiar el tema de las uniones ejecutadas con tornillos de alta resistencia. Esta Comisión ha terminado una primera fase de trabajo con la publicación, en el mes de abril pasado, de unas «Recomendaciones» para el empleo de estas uniones.

Ha parecido al Instituto de un gran interés la divulgación de las mismas y, previo conocimiento del Sindicato del Metal, que ostenta la Presidencia del Grupo Español de la Convención, ofrece hoy esta traducción, que se ha procurado refleje lo más fielmente posible los principios sentados por la repetida Comisión X; a cuyo objeto se han tenido presentes la edición alemana y la edición inglesa del documento original, que apareció simultáneamente en ambas lenguas.

Para comprender el alcance del mismo, conviene tener presente que la Convención no se propone el promulgar documentos que puedan ser de aplicación inmediata directa en cualquier país; sino documentos que puedan servir de base a la redacción de las distintas normas o reglamentaciones nacionales, en cada una de las cuales se introducirán las modificaciones o retoques que las propias circunstancias del país aconsejen. La unificación pretendida por la Convención se encuentra así en la raíz y no en la forma.

Ello explica el carácter conciso de las Recomendaciones que se presentan en esta traducción. Algunos de sus principios han sido recogidos en la Instrucción de Estructuras Metálicas que el Instituto tiene en prensa.

articulado

1 Introducción

Con el enlace de los perfiles de acero por medio de tornillos de alta resistencia, pretensados, se ha introducido en la construcción metálica un nuevo tipo de uniones, que resisten por rozamiento. Los tornillos de alta resistencia (exceptuados los calibrados) deberán quedar en el agujero con una cierta holgura; y, mediante apretadura de la tuerca o de la cabeza, tensarse en forma que las superficies de contacto de las piezas unidas quedan fuertemente presionadas, una contra otra, muy especialmente en las proximidades del agujero. Con ello el esfuerzo que actúa perpendicularmente al eje del tornillo es resistido por el rozamiento estático entre las superficies unidas; en tanto que, como consecuencia, la espiga del tornillo queda sometida a una tracción axial y a una torsión.

1.2. La base fundamental de una unión con tornillos de alta resistencia está en conseguir, para su capacidad resistente, el mayor aprovechamiento posible de la adherencia debida al rozamiento; con el fin de reducir al mínimo el número de tornillos necesarios en la unión.

2 Fundamentos del cálculo

2.1. Esfuerzo de pretensado, P_p .

Es el esfuerzo axial originado en el tornillo por la aplicación, en la cabeza o en la tuerca, de un momento torsor de apretadura. Su valor puede tomarse, en general, igual a:

$$P_p = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A$$

siendo

$\sigma_{0,2}$ = límite elástico aparente 0,2 por 100 del material del tornillo.

A = área de la sección de cálculo del tornillo.

2.2. Coeficiente de rozamiento, μ .

El coeficiente de rozamiento entre las superficies en contacto es un factor sin dimensiones, por el que se multiplica la fuerza total de compresión normal, para así obtener la resistencia al deslizamiento, T.

Cuando no se disponga de resultados específicos obtenidos a partir de ensayos, se utilizarán los valores de μ dados a continuación; bien entendido que sólo deben emplearse para los cálculos cuando las superficies que han de entrar en contacto se hayan tratado con chorro de arena o de granalla de acero, o decapado por llama, siguiendo técnicas correctas (véase 3.2).

Los valores de μ son:

Acero extrasuave, tipo 37 y semejantes	= 0,45
Acero suave, tipo 42	= 0,52
Acero, tipo 52	= 0,60

Cuando no se efectúe tratamiento de las superficies que han de quedar en contacto, se utilizará $\mu = 0,3$ para todas las calidades de acero de tipo estructural.

2.3. Esfuerzo resistente admisible, T_{adm} .

Es el que se puede considerar soportado por un tornillo de alta resistencia, supuesto un solo plano de contacto entre las piezas unidas; se obtiene multiplicando el esfuerzo de preten-

sado, P_p , por el coeficiente de rozamiento, μ , y dividiéndolo por un coeficiente de seguridad al deslizamiento, ν :

$$T_{adm} = \frac{\mu \cdot P_p}{\nu} = \frac{\mu \cdot 0,8\sigma_{0,2} \cdot A}{\nu}$$

(expresión válida para un solo tornillo y un solo plano de rozamiento).

Para la hipótesis de combinación de cargas más desfavorable que se imponga en la Instrucción de cálculo que se utilice para el de la estructura, el coeficiente de seguridad tendrá el valor $\mu = 1,25$ cualesquiera que sean la calidad del acero y el tipo de la estructura (incluso en los puentes).

2.4. Cálculo de las uniones solicitadas a tracción.

Cuando se trate de esfuerzos de tracción, se considerará como área de cálculo de la pieza la de su sección neta. Pero el esfuerzo en dicha sección neta se tomará igual a:

$$T_N \left(1 - 0,40 \frac{m}{n} \right)$$

siendo:

- T_N = el esfuerzo total que solicita a la junta, menos la parte que haya sido absorbida por los tornillos que preceden a la sección que se investiga
- m = número de tornillos en la sección más crítica
- n = número total de tornillos de la junta.

Se supone que la carga total se reparte por igual entre todos los tornillos de la junta.

2.5. Combinación de tornillos de alta resistencia y de soldaduras en una misma unión.

No existe ningún inconveniente en considerar en el cálculo la acción conjunta de tornillos de alta resistencia y cordones de soldadura. Puede suponerse que cada uno de dichos medios de unión puede desarrollar su plena capacidad de carga, como si el otro no existiese. Como regla general, se recomienda la ejecución de las soldaduras antes de poner en tensión los tornillos de alta resistencia.

2.6. Presión máxima admisible entre espiga del tornillo y pieza.

Para la comprobación de la presión de cálculo entre espiga del tornillo y pieza, se considerará como valor admisible máximo de aquélla el triple de la tensión admisible utilizada en el cálculo de la pieza.

Ejecución

3.1. Tensado de los tornillos.

Para el tensado de los tornillos pueden emplearse llaves taradas que midan bien el momento de torsión o bien el ángulo de giro de la tuerca.

El valor del momento de torsión, a aplicar mediante la llave, debe calcularse en función del esfuerzo de tensado necesario en el tornillo, utilizando la siguiente expresión:

$$M_{TE} = K \cdot D \cdot P_p$$

siendo:

M_{TE} = momento torsor aplicado
 K = coeficiente
 D = diámetro nominal del tornillo
 P_p = esfuerzo de pretensado

Para asegurarse de que este momento torsor subsiste en el tornillo después de terminar la apretadura, se debe aplicar un momento que exceda en el 10 por 100 al teórico calculado.

$K = 0,18$ para tornillos en su estado de recepción (ligeramente engrasados).

Otro método de tensado se basa en predeterminar el ángulo de giro de la tuerca. Se puede efectuar de tres maneras:

a) la tuerca se aprieta inicialmente con una fuerza pequeña (mediante llave de mano) y después se completa la apretadura haciéndola girar un determinado ángulo adicional;

b) la mitad del momento necesario se aplica mediante una llave tarada y se termina la apretadura del tornillo haciendo girar la tuerca un determinado ángulo adicional;

c) se aprieta primeramente el tornillo con una llave percutora, hasta que las superficies en contacto próximas al agujero estén suficientemente ajustadas y después se gira la tuerca un determinado ángulo adicional:

$$\alpha = 90^\circ + e + D$$

en cuya expresión son:

α = ángulo de giro en grados
 e = espesor total de las piezas en mm
 D = diámetro del tornillo en mm

3.2. Preparación de las superficies de contacto.

Las superficies de las piezas a unir estarán exentas de suciedad, grasa, pintura, etc. Las manchas de grasa no se quitarán mediante llama y sí, únicamente, por medio de productos químicos. La preparación de superficies a unir se ejecutará mediante métodos adecuados (ver 2.2).

3.3. Ejecución de los agujeros.

Como regla general, los agujeros se ejecutarán con taladro y con un diámetro 2 mm mayor que el nominal del tornillo; de esta forma se evi a la necesidad de escariar en obra los agujeros.

3.4. Paso de los tornillos.

En la dirección del esfuerzo el paso de los tornillos se tomará, en general, igual a tres veces su diámetro nominal.

En determinados casos, este paso se puede reducir a una distancia igual al diámetro exterior de la arandela, siempre que no se dificulten las operaciones de apretadura y que no se prevean perturbaciones en la transmisión de las cargas.

La distancia al borde no debe ser menor de:

- vez y media el diámetro del agujero en la dirección normal al esfuerzo;
- dos veces el diámetro del agujero en la dirección paralela al esfuerzo.

3.5. Arandelas.

Con tornillos comprendidos entre M14 y M24 inclusive ($\frac{1}{2}$ " a 1") las arandelas que se empleen serán de 4 mm de espesor como mínimo, con un chaflán de 45° en uno de los bordes interiores; asimismo, en el borde exterior correspondiente se dispondrá otro chaflán para indicar la posición del chaflán interior.

3.6. Ajuste de las superficies de contacto.

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de tensiones, las piezas a unir deberán prepararse de forma que, cuando se monten una sobre otra, las superficies sean lo suficientemente planas para que ajusten lo más exactamente posible en todos los puntos.

3.7. Protección contra la corrosión.

Las superficies en contacto de las piezas unidas con tornillos de alta resistencia deberán protegerse contra la humedad, así como también los agujeros, para evitar su corrosión. Esta protección puede también ser necesaria, como medida temporal, en uniones con tornillos de alta resistencia que queden sin terminar durante alguna fase de la construcción. Sin embargo, las zonas que hayan de quedar en contacto no deberán cubrirse con ningún revestimiento protector, ya que éste disminuiría el coeficiente de rozamiento.

4 Inspección

4.1. Esfuerzo de pretensado.

La comprobación de los tornillos pretensados para verificar que se ha aplicado el momento torsor mínimo especificado, puede realizarse por uno de los dos métodos siguientes:

- 1) al girar la tuerca, apretándola, unos 10°, se debe registrar en la llave, por lo menos, el momento torsor previsto en los cálculos;
- 2) después de marcar debidamente la posición de la tuerca, se procede a aflojarla girándola como mínimo un sexto de vuelta (manteniendo inmóvil la cabeza del tornillo). Al apretar la tuerca de nuevo, debe ser necesario aplicar el momento torsor previsto en el cálculo para volver a llevar la tuerca a su posición original.

4.2. Coeficiente de rozamiento.

Es aconsejable efectuar una comprobación al azar del coeficiente de rozamiento obtenido al preparar las superficies; esta comprobación debe realizarse con un equipo especial de medida.

5 Observación final

Estas recomendaciones reflejan el estado actual de los conocimientos sobre la teoría y práctica referente al empleo de tornillos de alta resistencia en uniones por rozamiento. En ellas se han expuesto las experiencias sobre las que han informado los delegados de los países miembros durante las reuniones de la Comisión X de la Convención Europea de Constructores de Estructuras Metálicas, celebrada en Karlsruhe el 16 de febrero de 1962. Este grupo de trabajo ha programado una serie de ensayos y se anticipa que, de los resultados que se obtengan estas recomendaciones se corregirán o alterarán, publicándose una nueva edición si fuese necesario.

comentarios

1.1. Si en una unión se aumenta suficientemente el esfuerzo que la solicita, se llegará a sobrepasar la resistencia al deslizamiento y, como consecuencia, se originará un desplazamiento relativo de las piezas unidas que pondrá en contacto la espiga del tornillo con los bordes de los agujeros; a partir de este momento el esfuerzo queda resistido en parte por dicha espiga, trabajando a esfuerzo cortante, y en parte por el rozamiento, todavía presente en gran proporción.

Si se incrementa aún más el esfuerzo, se inicia la fluencia de la unión; y, si el esfuerzo es de tracción, se pierde una parte del esfuerzo de pretensado como consecuencia de la contracción transversal. Cuando las deformaciones no sobrepasan el dominio elástico, la pérdida de tensión en el tornillo es despreciable.

La rotura de la unión se alcanza, finalmente, por llegada a la carga de rotura en la sección neta de la pieza, o en la bruta después de fuertes deformaciones previas en las zonas próximas a los agujeros; o por arranque de las zonas de borde en la primera o en la última fila de tornillos.

Es rara la rotura de los tornillos por esfuerzo cortante, dada la calidad del acero utilizado en su construcción y el amplio dimensionamiento de los mismos.

1.2. La sustitución de roblones por un número igual de tornillos de alta resistencia del mismo diámetro sólo debe tomarse en consideración en el caso de refuerzo de estructuras existentes, en las que no sea posible la preparación de las superficies de contacto.

2.1. Puesto que la capacidad resistente de una unión con tornillos de alta resistencia depende del esfuerzo total de pretensado de aquéllos, es fundamental, para que el número de tornillos de la junta sea mínimo, que éstos se construyan con un material de alta calidad.

Las tuercas se construyen siempre con un material de límite elástico algo inferior al de los tornillos.

Como área, A , de la sección de cálculo se tomará la de la sección recta de un cilindro hipotético cuya seguridad a la rotura por torsión o por tracción fuese igual que la de la parte fileteada del tornillo. Se calculará suponiendo que el diámetro de dicho cilindro hipotético es la media aritmética de los diámetros de las hélices exterior e interior del filete.

Después de la aplicación del momento torsor de apretadura queda, en la espiga del tornillo, un momento de torsión residual.

Si se considera éste para calcular el estado de tensión de la espiga, la tensión de cálculo, σ_c , puede expresarse por:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} = C \cdot \sigma$$

siendo σ_1 y τ valores obtenidos mediante ensayos.

El coeficiente de resistencia, C , se obtiene también experimentalmente. Los factores que determinan su magnitud son los siguientes: el paso de la rosca; la resistencia de rozamiento de la parte roscada; y las resistencias de rozamiento de tuerca y cabeza. Experiencias efectuadas por Steinhardt y Möhler han conducido al valor $C = 1,15$ para tornillos de rosca métrica y, por tanto:

$$\sigma_c = 1,15 \times 0,8\sigma_{0,2} = 0,92\sigma_{0,2}$$

Para roscas Whitworth y U.N.C., el coeficiente es $C = 1,18$ y, como consecuencia:

$$\sigma_c = 1,18 \times 0,8\sigma_{0,2} = 0,94\sigma_{0,2}$$

2.2. La resistencia al deslizamiento, T , es aquel valor de la carga que origina un deslizamiento en toda la longitud de la junta al haberse sobrepasado el valor del rozamiento estático. Esto no implica que, en adelante, la junta no pueda seguir resistiendo; por el contrario, una parte considerable de la fuerza de rozamiento seguirá actuando, aún después de haber comenzado el deslizamiento.

El coeficiente de rozamiento es de primordial importancia en relación con la capacidad de carga de una unión de esta clase. Depende de la calidad del acero, así como de las condiciones y preparación de las superficies a unir.

El valor a utilizar en los cálculos debe obtenerse de un gran número de ensayos y debe ser inferior al obtenido en el 90 por 100 de los mismos, como mínimo.

Para uniones entre materiales idénticos, el coeficiente de rozamiento depende únicamente del tratamiento de las superficies de contacto. Por consiguiente, es aconsejable que dichas superficies se preparen mediante un método apropiado, tal como chorro de arena o de granalla de acero, o decapado por llama, con objeto de conseguir un valor lo más alto y constante posible del coeficiente de rozamiento.

2.3. Se llama «plano de contacto», m , al número de planos en los que las superficies de las piezas que componen la junta están en contacto; en el caso de un doble solape, $m = 2$.

El concepto de seguridad está ligado evidentemente a la probabilidad de que el valor supuesto para el coeficiente de rozamiento, μ , no sea alcanzado en la práctica. La introducción de los dos factores que se indican en el artículo 2.3 tiene únicamente por objeto el acomodar estas recomendaciones a las normas vigentes en los distintos países.

Los comentarios al artículo 1.1 han puesto de relieve que, aún después de iniciado el deslizamiento, subsiste la eficacia de una parte importante de la resistencia originada por el rozamiento, y que, en general, no se llegará a producir la rotura de la espiga del tornillo por esfuerzo cortante; lo que claramente indica que el sobrepasar el valor límite de la resistencia al rozamiento no implica que la unión que ha deslizado esté en peligro inminente de rotura.

2.6. Se están realizando ensayos especiales en construcciones ligeras de acero; de los resultados que se obtengan se deducirá si se puede aumentar para estos casos la presión máxima admisible.

3.1. Para tensar los tornillos se pueden utilizar llaves provistas de un dispositivo que limite automáticamente el momento aplicado. Estas llaves pueden ser de funcionamiento manual, neumático o eléctrico.

Puesto que, al medir el momento con las llaves taradas, pueden esperarse errores de ± 5 por 100 la aplicación de un momento superior en un 10 por 100 al teórico asegura la presencia de una reserva en la tensión del tornillo.

Cuando la primera fase de la apretadura se efectúe con llaves de mano, es necesario que las chapas estén perfectamente en contacto antes de comenzar la operación.

La utilización de llaves percutoras permite comprobar cuando es suficiente el ajuste de las partes unidas para dar por terminada la primera fase de apretadura; la llave pasa de girar suavemente a percutir la tuerca.

3.2. En la limpieza por chorro de arena debe á tenerse en cuenta que de la granulometría de la arena depende la obtención de un valor máximo del coeficiente de rozamiento. Para la limpieza con granalla de acero se utilizará alambre cuidadosamente troceado, y la aplicación de la gran experiencia acumulada en esta técnica conducirá a obtener un coeficiente de rozamiento óptimo.

En la limpieza por llama es importante tener también en cuenta la experiencia acumulada en cuanto a sopletes a utilizar, mezcla de gas combustible y oxígeno, y ángulo del soplete con la superficie metálica.

Según los ensayos realizados en los países miembros, la presencia de cascarilla de laminación sobre las superficies de contacto produce una reducción considerable en el coeficiente de rozamiento. Por consiguiente, se prestará especial atención a que esta cascarilla se elimine lo más completamente posible, empleando preferentemente decapado con chorro de arena o granalla de acero. Con la llama es más difícil quitar la cascarilla y, en general, no se obtiene un buen rendimiento con este procedimiento.

Esta última técnica de preparación se facilita exponiendo las superficies a decapar a la acción de la intemperie, con lo que se forma una capa de óxido que provoca el esponjamiento de la cascarilla favoreciendo su eliminación.

3.3. Para realizar los agujeros podrá también emplearse el punzonado; pero deberán eliminarse las rebabas de sus bordes para poder cumplir así con las prescripciones del artículo 3.6.

3.5. También podrán emplearse tuercas especiales que lleven incorporado un disco inferior más ancho que puede utilizarse como arandela.

4.1. Para aflojar una tuerca se necesita sólo del 70 por 100 al 75 por 100 del valor del momento tursor de apretadura.