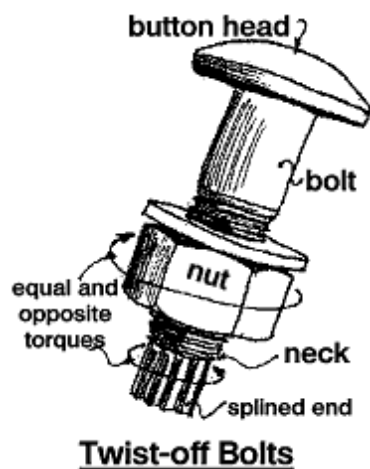


Tornillos TWIST-OFF / Tornillos TC



Como ocurre con todos los métodos, la especificación RCSC/AISC exige realizar en obra la Verificación Previa a la Instalación utilizando los elementos de fijación entregados en la obra. Los resultados de ensayos realizados por el distribuidor o el fabricante NO satisfacen los requisitos de la especificación. No obstante, los resultados incluidos en los Informes de Ensayo de Materiales (MTR) del proveedor DEBEN representar todos los detalles de los tornillos ensayados. Es especialmente importante que los MTR reflejen el recubrimiento cuando los tornillos están recubiertos. Este método utiliza normalmente tornillos "twist-off", también denominados tornillos de "control de tensión" o tornillos TC. Estos conjuntos funcionan calibrando el par necesario para desprender por torsión una prolongación estriada fabricada en el vástago del tornillo. Si se fabrican correctamente, el desprendimiento se producirá con una pretensión del tornillo superior a la mínima requerida. La principal ventaja de los tornillos "twist-off" es que una sola persona puede apretarlos desde un solo lado, aunque actualmente los instaladores saben que los tornillos hexagonales convencionales y los DTI también pueden instalarse desde un solo lado por una sola persona.

El sistema "twist-off" presenta varias desventajas:

1. Se requieren llaves especiales.
2. Los tornillos TC están disponibles en una gama limitada de longitudes y diámetros.
3. Si se solicitan ensayos de Capacidad Rotacional de tornillos ASTM F3125/F1852/F2280, lo más probable es que los tornillos TC no los superen.
4. Deben preverse holguras especiales en la unión para permitir el acceso de la llave.
5. Con frecuencia son más caros que los tornillos hexagonales y los DTI.
6. La disponibilidad de conjuntos twist-off galvanizados es MUY limitada.
7. La relubricación en obra está prohibida por la normativa.
8. Las capas deben compactarse antes del desprendimiento del extremo estriado.
9. Cualquier deterioro del estado de la rosca modificará la relación par-tensión; Kulak demostró en un artículo de ASCE que, tras tan solo tres días fuera de un almacenamiento protegido, un tercio de los tornillos twist-off ensayados no desarrolló la pretensión requerida al desprenderse.
10. Otros estudios de la Universidad de Toronto muestran que el comportamiento de los tornillos TC se ve afectado negativamente por los cambios de temperatura y humedad.

Verificación Previa a la Instalación

Según la sección 7 de AISC/RCSC, las pruebas de los conjuntos de elementos de fijación deben realizarse en obra, por el equipo de instalación y utilizando las herramientas reales de instalación. Contrariamente a lo que suele pensarse, la Verificación Previa a la Instalación NO determina si los conjuntos son aptos o no aptos. La prueba tiene por objeto detectar posibles problemas entre los elementos de fijación, las herramientas y los instaladores antes de comenzar las operaciones de atornillado en la estructura.

Las siguientes secciones describen problemas que pueden ponerse de manifiesto mediante los resultados de la Verificación Previa a

Elementos de fijación:

¿Son capaces los conjuntos de elementos de fijación de alcanzar el 105 % o más de la pretensión mínima requerida del tornillo?

La herramienta de instalación debe aplicarse al conjunto hasta que el calibrador de tensión indique una pretensión adecuada o hasta que falle el tornillo, lo que ocurra primero. El fallo se produce si el extremo estriado se desprende antes de alcanzar la pretensión mínima o si la carga de tracción aumenta y posteriormente disminuye, según indique el calibrador, sin haber alcanzado nunca la pretensión mínima. En los tornillos TC no existe ningún procedimiento permitido para reacondicionar el elemento de fijación y volver a ensayarlo. Los lotes de producción no conformes deben rechazarse y sustituirse, o ser reacondicionados por el fabricante del tornillo TC.

Herramientas:

Toda unión atornillada debe llevarse a la condición de apriete ajustado antes de aplicar un método de pretensado. El apriete ajustado se define como el esfuerzo necesario para poner las capas de acero en contacto firme. AISC/RCSC describe este esfuerzo como el esfuerzo máximo de un montador de estructuras metálicas o unos pocos impactos de una llave de impacto (sección 8.1), hasta que la tuerca no pueda retirarse a mano. Intentar retirar manualmente la tuerca es el único requisito de inspección (sección 9.1). **No existe** ningún requisito de pretensión para una unión con apriete ajustado. Según AISC 360, sección J3:

«No existen requisitos específicos de tensión mínima o máxima para los tornillos con apriete ajustado».

Dado que el único criterio de inspección es que la tuerca no pueda retirarse a mano, el apriete ajustado puede comenzar con una pretensión insignificante o nula. Un apriete ajustado agresivo puede producir una pretensión próxima o superior a la mínima requerida según la Tabla 7.1 de AISC/RCSC y romper los tornillos. Esto es especialmente cierto en tornillos de 3/4" de diámetro o menores.

Equipos de instalación:

¿Comprenden los instaladores cómo aplicar el método seleccionado?

Los instaladores deben comprender que debe alcanzarse la condición de apriete ajustado y que el extremo estriado debe permanecer intacto antes de aplicar una llave de cizallamiento a cualquier tornillo TC. Todo tornillo TC cuyo extremo se haya desprendido durante el apriete ajustado debe retirarse y sustituirse.

Uniones con Apriete Ajustado:

Toda unión atornillada debe llevarse a la condición de apriete ajustado antes de aplicar un método de pretensado. El apriete ajustado se define como el esfuerzo necesario para poner las capas de acero en contacto firme. AISC/RCSC describe este esfuerzo como el esfuerzo máximo de un montador de estructuras metálicas o unos pocos impactos de una llave de impacto (sección 8.1), hasta que la tuerca no pueda retirarse a mano.

Intentar retirar manualmente la tuerca es el único requisito de inspección (sección 9.1). **No existe** ningún requisito de pretensión para una unión con apriete ajustado. Según AISC 360, sección J3:

«No existen requisitos específicos de tensión mínima o máxima para los tornillos con apriete ajustado».

Dado que el único criterio de inspección es que la tuerca no pueda retirarse a mano, el apriete ajustado puede comenzar con una pretensión insignificante o nula. Un apriete ajustado agresivo puede producir una pretensión próxima o superior a la mínima requerida según la Tabla 7.1 de AISC/RCSC y romper los tornillos. Esto es especialmente cierto en tornillos de 3/4" de diámetro o menores.

Principios Básicos de la Verificación

El contenido siguiente se aplica únicamente a las pruebas previas a la instalación de AISC/RCSC. Los requisitos de proyectos individuales y las especificaciones de los departamentos estatales de transporte y de organismos federales de carreteras pueden diferir considerablemente y no se tratan aquí. Lo siguiente representa la interpretación de Applied Bolting Technology de las pruebas AISC/RCSC, basada en la Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts (AISC 348-20) y la Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-16). La prueba de verificación puede resumirse en llevar al menos tres conjuntos de muestra a la condición de apriete ajustado, dentro de un calibrador de tensión o utilizando uno; aplicar el método de pretensado seleccionado; y confirmar que se ha alcanzado al menos el 105 % de la pretensión mínima requerida. Aunque cada método utiliza herramientas, componentes o técnicas diferentes, los cuatro métodos de pretensado siguen los mismos principios básicos: realizar el apriete ajustado, aplicar el método y verificar el cumplimiento de la especificación. Por último, se espera que todos los métodos aceptables deformen permanentemente el elemento de fijación en su región inelástica.¹

Muestreo:

La Verificación Previa a la Instalación comienza con el muestreo. Según AISC/RCSC, sección 7.2:

«Una muestra representativa de no menos de tres conjuntos completos de elementos de fijación de cada combinación de diámetro, longitud, grado y lote que vaya a utilizarse en la obra deberá comprobarse en el lugar de instalación mediante un calibrador de tensión, para verificar que el método de pretensado desarrolla una pretensión igual o superior a la especificada en la Tabla 7.1».

Independientemente del método, es fundamental que las muestras sean VERDADERAMENTE REPRESENTATIVAS, es decir, que se encuentren en condiciones similares a las de los elementos de fijación que se estén pretensando. Probar un elemento de fijación «nuevo», extraído directamente de un embalaje sellado, no constituye una muestra representativa salvo que en la obra solo se estén pretensando elementos nuevos. Los elementos que hayan recibido apriete ajustado y hayan estado expuestos a la intemperie durante cualquier periodo deben verificarse en ese mismo estado si representa fielmente los elementos que se están apretando en la estructura. Las muestras VERDADERAMENTE REPRESENTATIVAS son especialmente importantes para los tornillos TC y para el método de Llave Calibrada, ya que estos métodos se ven afectados negativamente por la exposición a la intemperie y la degradación de la lubricación.

¹ AISC/RCSC 16.2-47: cabe esperar que una parte del conjunto del tornillo alcance la región de comportamiento inelástico; esta deformación permanente no tiene efectos perjudiciales sobre su comportamiento posterior.

Pasos con el Calibrador de Tensión

1. Debe realizarse con cada herramienta de instalación y repetirse después de cualquier cambio en el estado original de lubricación de los tornillos TC.
2. Colocar cada configuración única del conjunto de muestra en un calibrador de tensión, con las arandelas colocadas conforme a la Tabla 6.1, si es necesario, y la sección 6.2.
3. Realizar el apriete ajustado conforme a AISC/RCSC, sección 8.1, e inspeccionar según la sección 9.1.
4. Aplicar la herramienta de cizallamiento TC al elemento de fijación y accionarla hasta que el extremo estriado se desprenda por torsión.
5. Verificar que la pretensión resultante sea igual o superior a la pretensión requerida del tornillo indicada en la Tabla 7.1 de AISC/RCSC.
6. Si la pretensión resultante no alcanza el valor de la Tabla 7.1 de AISC/RCSC, los elementos de fijación deberán devolverse al fabricante para su reacondicionamiento y el lote no conforme de tornillos TC no deberá incorporarse a la estructura. Los tornillos TC no pueden ser modificados ni reacondicionados por nadie distinto del fabricante. No está permitido corregir conjuntos TC no conformes.²

Metodología de Atornillado

1. Extraer del almacenamiento protegido únicamente la cantidad de tornillos que vaya a recibir apriete ajustado y apriete definitivo durante un solo turno, para evitar la degradación de la lubricación.
2. Reducir al mínimo la exposición de los elementos de fijación a la intemperie y no desmontar los conjuntos en componentes individuales. Los tornillos TC deben permanecer montados y en estado nuevo hasta el momento de la instalación.
3. Llevar las capas de acero a contacto firme mediante tantas etapas como sean necesarias, conforme a AISC/RCSC 8.1, sin desprender por torsión el extremo estriado. Si el extremo se desprende durante el apriete ajustado, el tornillo debe desecharse y sustituirse.
4. Inmediatamente, o lo antes posible después del apriete ajustado, aplicar la llave de cizallamiento a cada tornillo hasta que la herramienta desprenda el extremo estriado y libere la llave.
5. Si la unión permanece con apriete ajustado durante más de un día, o incluso un turno, pueden ser necesarias pruebas adicionales con el calibrador de tensión para garantizar que se han ensayado muestras representativas. Si ha transcurrido demasiado tiempo o ha habido exposición ambiental antes del pretensado final, retirar muestras representativas y volver a ensayarlas en un calibrador de tensión.

Inspección:

El inspector DEBE:

1. Verificar que se haya realizado la Verificación Previa a la Instalación.
2. Verificar que la unión se haya llevado a la condición de apriete ajustado.
3. Verificar que los extremos estriados no se hayan desprendido durante las operaciones de apriete ajustado.
4. Verificar que los conjuntos instalados en la estructura se encuentren en condiciones equivalentes a las de los tornillos ensayados durante la Verificación Previa a la Instalación; de lo contrario, retirar tornillos no equivalentes para realizar pruebas adicionales con el calibrador de tensión.
5. Verificar que los extremos estriados se hayan desprendido correctamente durante la instalación mediante la herramienta de instalación.

² AISC/RCSC 348-14, sección 2.10.4: los conjuntos de atornillado combinados [tornillos TC] no deberán ser relubricados por nadie distinto del fabricante.

El inspector NO DEBE:

1. Aceptar resultados de Verificación Previa a la Instalación obtenidos con elementos de fijación nuevos como representativos de conjuntos que no se encuentren en condiciones similares debido a la exposición a la intemperie.
2. Aceptar tornillos TC desmontados ni permitir la sustitución de componentes individuales.
3. Permitir la relubricación por nadie distinto del fabricante.
4. Aceptar los resultados de ensayos MTR del fabricante de tornillos TC en sustitución de la verificación Previa a la Instalación realizada realmente en obra.

Una pretensión superior al valor [requerido] no será motivo de rechazo.³

Pretensión Mínima del Tornillo según la Tabla 5.2 de AISC/RCSC

Diámetro del tornillo, pulg.	Tornillos A325	Tornillos A490
1/2	12	15
5/8	19	24
3/4	28	35
7/8	39	49
1	51	64
1 1/8	64	80
1 1/4	81	102
1 3/8	97	121
1 1/2	118	148

Equivalente a 0,70 veces la resistencia mínima a tracción de los tornillos, según ASTM F3125/F3125M para los grados A325 y A490, con roscas UNC, redondeada al kip más próximo.

Advertencias sobre los Tornillos TC

Las herramientas manuales no motorizadas para tornillos TC NO permiten alcanzar la pretensión mínima. El manual de la herramienta indicará este hecho y no se conoce ninguna forma de corregir esta limitación. Las herramientas manuales solo son útiles para uniones que únicamente requieran apriete ajustado.

³ RCSC 9.2.3: una pretensión superior al valor especificado en la Tabla 5.2 no será motivo de rechazo.

Los estudios realizados por la Universidad de Toronto en 2004⁴ y 2007⁵ demostraron:

1. Los tornillos TC se comportan de forma diferente en los calibradores hidráulicos de tensión (Skidmore) que cuando se instalan en la estructura. Por tanto, las pruebas de tornillos TC con celdas de carga hidráulicas mostrarán resultados aproximadamente un 10 % superiores a los que se obtendrán en la estructura.
2. Mojar un tornillo TC, por lluvia o por cualquier otra causa, reduce la pretensión efectiva en un 10 %.
3. Los cambios de temperatura afectan negativamente a la pretensión en un 10 %.
4. Estos efectos son acumulativos. Por ejemplo, un lote de producción de tornillos TC A325 de 3/4" ensayado en un Skidmore cuya esfera indique 29 kips proporcionará solo unos 26 kips al instalarse en la estructura. Si la lluvia moja los tornillos TC instalados del mismo lote, la pretensión efectiva instalada será de unos 23,5 kips. Una bajada de la temperatura ambiente puede producir una reducción adicional de la pretensión efectiva hasta aproximadamente 21 kips.

Dado que el estudio de 2005 fue financiado por RCSC, la información anterior fue presentada en la Reunión Anual de RCSC de 2007, celebrada en Cleveland, Ohio, por Peter Birkemoe, profesor emérito de la Universidad de Toronto. El profesor Birkemoe formuló las siguientes recomendaciones, que no se incorporaron a la Especificación RCSC:

- Revisar la Especificación para que los tornillos se retiren de la estructura para su verificación.
- Revisar la Especificación para exigir que los tornillos TC alcancen aproximadamente 1,1 veces la pretensión mínima requerida en el estado recibido y modificar los requisitos actuales de Verificación Previa a la Instalación.
- Añadir notas de precaución en los comentarios sobre los requisitos de verificación e instalación en condiciones de frío.
- Incluir la condición «mojada» como parte de los requisitos de verificación.

Los puntos anteriores se reproducen de la presentación del profesor Birkemoe a RCSC.

<http://boltcouncil.org/files/FinalReportonTCBoltsPhase1.pdf>

El informe completo de 2007 y las actas de la reunión pueden consultarse en el sitio web de RCSC.

<http://boltcouncil.org/files/2009RCSCMainMinutesPackage.pdf>

Asimismo, ASTM F3125, la norma que regula la fabricación y los ensayos de los tornillos TC (anteriormente F1852 y F2280), exige ensayar los conjuntos en un «dispositivo de medición de tensión». La mayoría de fabricantes utiliza una celda de carga hidráulica, como un Skidmore Wilhelm. Por ello, los valores de pretensión indicados en un Informe de Ensayo de Materiales (MTR) para un lote de tornillos TC deben interpretarse teniendo en cuenta los resultados de la Universidad de Toronto descritos anteriormente. Los resultados alcanzados en la estructura pueden ser un 10 % inferiores a los indicados en el MTR.

DTI y Tornillos TC/Twist-Off

Aunque no es habitual utilizar DTI con tornillos TC, está permitido hacerlo. El DTI se añade al conjunto, se aplica la llave de cizallamiento TC al elemento de fijación y el DTI confirma si el tornillo TC se ha apretado adecuadamente. Además, la combinación de Squirter® DTI con tornillos TC satisface los requisitos de las pruebas de Verificación Previa a la Instalación (PIV) de AISC/RCSC siempre que los tres primeros conjuntos incluyan el Squirter® DTI en el lado de la cabeza del conjunto y que las protuberancias del DTI queden comprimidas por debajo de la holgura calibrada. Después de apretar los tres primeros tornillos, los conjuntos posteriores pueden llevar los Squirter® DTI tanto en el lado de la tuerca como en el lado de la cabeza.

⁴W. Tan, University of Toronto, 2005, Installation behaviour of ASTM F1852 twist-off type tension control bolts.

⁵V. Maleev, University of Toronto, 2007, Installation Characteristics of F1852 Twist-Off Type Tension Control Structural Bolt/Nut/Washer Assemblies..