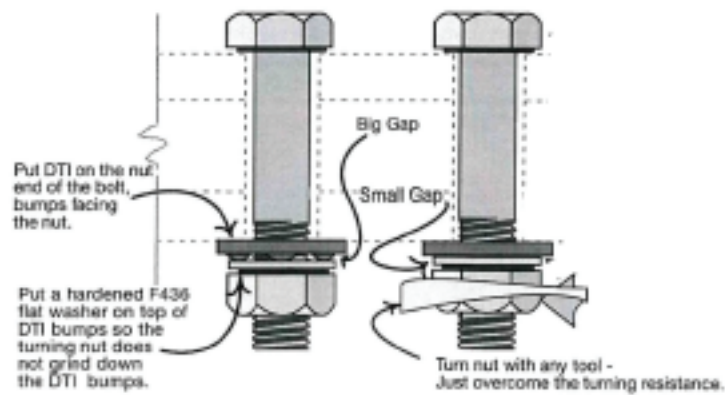


Indicadores Directos de Tensión/DTIs



Los DTIs son células de carga individuales para tornillos que miden la pretensión desarrollada durante el apriete, independientemente de la resistencia al par de apriete del tornillo. Siendo con diferencia el método más sencillo, se coloca un DTI en uno de los extremos del tornillo y se aprieta hasta que los resaltes se comprimen lo suficiente como para que no pueda introducirse una galga de espesores alrededor de todo el DTI, o hasta que el Squirter® DTI haya expulsado correctamente la silicona. Los DTIs son completamente independientes de la resistencia al par de apriete del conjunto del tornillo y, dado que la compresión de

los resaltes del DTI puede observarse visualmente, los instaladores tienden a NO dejar tornillos con los DTIs insuficientemente comprimidos.

Al Utilizar Squirter® DTIs, los Instaladores no dejan ningún tornillo sin apretar. La inspección mediante una galga de espesores (únicamente en una muestra de los tornillos) puede realizarla cualquier persona en cualquier momento. Si el DTI se coloca en el extremo de la tuerca del tornillo, el apriete puede realizarlo una sola persona, ya que no es necesario sujetar el tornillo para evitar que gire.

Verificación Previa a la Instalación

Según la sección 7 de AISC/RCSC sobre la Verificación Previa a la Instalación, los ensayos de los conjuntos de elementos de fijación deben realizarse en la obra, por el equipo de instalación y utilizando las herramientas de instalación reales. Contrariamente a la creencia popular, los ensayos de Verificación Previa a la Instalación NO aprueban ni rechazan los conjuntos de elementos de fijación. Los ensayos tienen como objetivo detectar posibles problemas entre los elementos de fijación, las herramientas y los instaladores antes de que comiencen las operaciones de atornillado en obra.

Las siguientes secciones describen problemas que pueden ponerse de manifiesto a partir de los resultados de los ensayos de Preinstalación.

Elementos de Fijación:

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

Torque must be applied to the fastener assembly until the tension calibrator indicates adequate pretension or the bolt fails, whichever occurs first. Failure occurs by either the bolt breaking before minimum pretension, or tensile load climbs and then falls, as indicated by the tension calibrator, without ever achieving minimum pretension. Except for TC bolts¹, applying additional lubricant may

¹ The Research Council on Structural Connections, Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts: Sección 2.10.4: «los conjuntos de elementos de fijación emparejados [tornillos TC] no deberán ser relubricados por nadie que no sea el Fabricante».

Sin embargo, si la aplicación de lubricante adicional soluciona el fallo del tornillo, todos los elementos de fijación representados por las muestras de ensayo lubricadas deberán lubricarse de la misma manera.

Herramientas:

¿Tienen las herramientas de instalación suficiente par de salida para apretar conjuntos de elementos de fijación adecuadamente lubricados hasta alcanzar, como mínimo, el 105 % de la pretensión mínima requerida?

Si al aplicar toda la capacidad de una herramienta de instalación a un conjunto de elementos de fijación no se alcanza al menos el 105 % de la pretensión mínima requerida, la herramienta deberá sustituirse tanto para los ensayos como para la instalación. Aunque no siempre es así, una herramienta de instalación adecuada debería tener un cuadradillo de accionamiento de un tamaño al menos igual al de los elementos de fijación que se están apretando. Por ejemplo, al apretar tornillos de $\frac{3}{4}$ ", la herramienta de instalación debería tener un cuadradillo de accionamiento de $\frac{3}{4}$ " o mayor. Asimismo, el manual de una herramienta puede indicar un par de salida superior al que realmente puede proporcionar. Estas afirmaciones suelen expresarse de forma imprecisa, por ejemplo, indicando que el motor de la herramienta puede producir un determinado valor elevado de par. Esta indicación puede referirse al par de salida sin carga, pero una vez aplicada la carga, no se alcanzará el elevado valor de par indicado.

Equipos de Instalación:

¿Entienden los instaladores cómo aplicar el método seleccionado?

Los instaladores deben comprender que debe alcanzarse una condición de Ajuste Firme antes de aplicar el método de pretensado. Una vez alcanzada esta condición, los instaladores deben comprender perfectamente el método que están utilizando y no confundir ni combinar los principios fundamentales de los distintos métodos. Por ejemplo, aplicar un valor de par de apriete para comprimir un DTI o utilizar un valor de par de apriete como técnica de inspección. Hacerlo combina elementos de la Llave Calibrada y los DTIs.

Uniones con Ajuste Firme:

Toda unión atornillada debe quedar con Ajuste Firme antes de poder aplicar un método de pretensado. El Ajuste Firme se define como el esfuerzo aplicado para poner las placas 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. El intento de retirar manualmente la tuerca es el único requisito de inspección (sección 9.1). No existe ningún requisito de pretensión para una unión con «Ajuste Firme». Según la Especificación para Edificios de Acero Estructural de AISC (AISC 360), Sección J3:

«No existen requisitos específicos de tensión mínima o máxima para los tornillos con Ajuste Firme»

Dado que el único criterio de inspección es que la tuerca esté apretada a mano, el Ajuste Firme puede comenzar con una pretensión insignificante o nula.

Por el contrario, el Ajuste Firme puede producir una pretensión cercana o superior a la mínima requerida y puede dañar la rosca o romper el tornillo. Esto es especialmente cierto en tornillos con diámetros de $\frac{3}{4}$ " o inferiores. Además, si el tornillo no se rompe, un DTI se aplanará prematuramente y deberá sustituirse antes de comenzar el pretensado.

Fundamentos de la Verificación

El siguiente contenido se aplica únicamente a los ensayos de Preinstalación de AISC/RCSC. Los proyectos individuales y las especificaciones de los DOT Estatales y de Carreteras Federales pueden diferir considerablemente y no se tratarán aquí. Lo siguiente representa la interpretación de Applied Bolting Technology de los ensayos de Preinstalación de AISC/RCSC, basada en la Especificación para Uniones Estructurales con Tornillos de Alta Resistencia del Research Council on Structural Connections (AISC 348) y en la Especificación para Edificios de Acero Estructural del American Institute of Steel Construction (AISC 360). Cualquier persona interesada en una interpretación diferente puede consultar directamente dichos documentos.

Los ensayos de Verificación pueden resumirse de la siguiente manera: realizar el Ajuste Firme, utilizar al menos tres conjuntos de elementos de fijación de muestra, colocarlos en un calibrador de tensión o utilizarlos con este, aplicar el método de pretensado seleccionado y confirmar que se ha alcanzado al menos el 105 % de la pretensión mínima requerida. Aunque cada método consigue este objetivo utilizando diferentes herramientas, componentes de los elementos de fijación o técnicas de apriete, los 4 métodos de pretensado siguen estos principios básicos: realizar el Ajuste Firme del elemento de fijación, aplicar el método y verificar la conformidad con la especificación. Por último, se espera que todos los métodos aceptables deformen permanentemente el elemento de fijación hasta alcanzar su región inelástica².

Muestras: Verificación Previa a la Instalación

Los ensayos comienzan con el muestreo. Según la sección 7.1 de AISC/RCSC:

«En una muestra de no menos de tres conjuntos completos de atornillado de cada combinación de diámetro, longitud, grado y lote que se vaya a utilizar en la obra, y utilizando conjuntos de atornillado que sean representativos del estado de aquellos que se pretensarán en la obra» (AISC/RCSC 16.2-52).

Independientemente del método, es fundamental que las muestras de los conjuntos sean VERDADERAMENTE REPRESENTATIVAS, es decir, que se encuentren en condiciones similares a las de los elementos de fijación que se están pretensando activamente. El ensayo de un elemento de fijación «nuevo», extraído directamente de recipientes de transporte sellados, no constituye una muestra representativa, salvo que únicamente se estén pretensando elementos de fijación en estado nuevo.

Los elementos de fijación que hayan sido sometidos a Ajuste Firme y expuestos a la intemperie durante cualquier periodo de tiempo deben verificarse en ese mismo estado, si dicha condición representa fielmente la de los elementos de fijación que se están apretando en la estructura de acero. Las muestras VERDADERAMENTE REPRESENTATIVAS son especialmente importantes para los tornillos TC y para la instalación y los ensayos mediante Llave Calibrada, ya que estos métodos se ven afectados negativamente por la exposición a la intemperie y la degradación de la lubricación.

² AISC/RCSC 16.2-47: «En cualquiera de los métodos de instalación anteriores, cabe esperar que una parte del conjunto del tornillo (la parte roscada del tornillo dentro de la longitud de agarre y/o las roscas engranadas de la tuerca y el tornillo) alcance la región de comportamiento inelástico. Esta deformación permanente no tiene ningún efecto adverso sobre el comportamiento posterior del tornillo».

Pasos con el Calibrador de Tensión

A continuación se indican los pasos tanto para los DTIs ASTM F959 Estándar (sin expulsión) como para los de tipo Squirter®.

A continuación se indican los pasos tanto para los DTIs ASTM F959 Estándar (sin expulsión) como para los de tipo Squirter®.

1. Coloque cada configuración única de muestra del conjunto de elementos de fijación, que contenga un DTI, en un calibrador de tensión, con las arandelas colocadas de acuerdo con la sección 6.1, si fuera necesario, y una arandela contra los resaltes del DTI.
2. Realice el Ajuste Firme del elemento de fijación de acuerdo con la sección 8.1 de AISC/RCSC e inspeccione según la sección 9.1.
3. Apriete el conjunto de elementos de fijación hasta que el calibrador de tensión indique el 105 % de la pretensión mínima requerida del tornillo, según se indica en la Tabla 5.2 de AISC/RCSC o en la tabla J3.1M de AISC 360, según corresponda.
4. Introduzca la galga de espesores adecuada en cada espacio disponible entre los resaltes del DTI hasta que la galga toque físicamente el vástago del tornillo. Cada vez que la galga de espesores pueda introducirse entre los resaltes del DTI y toque el vástago del tornillo se considerará una entrada. Cada vez que la galga de espesores no toque el vástago del tornillo se considerará un rechazo.
5. El número de entradas no puede ser cero. Del mismo modo, el número de rechazos no puede ser del 100 %. En otras palabras, un DTI no debe quedar completamente aplanado al 105 % del valor mínimo indicado en la tabla 5.2 de AISC/RCSC o en la tabla J3.1M de AISC 360.
6. El número de entradas/rechazos define la separación de ensayo³ específica del conjunto y la Separación de Inspección en Obra.
7. Registre el número de rechazos como valor de referencia para la inspección en obra. El número de rechazos permitido en la estructura de acero debe ser superior al correspondiente a la separación de ensayo del conjunto determinada durante la verificación. Por ejemplo, si la separación de ensayo se define como 0 rechazos de un total posible de 5, la Separación de Inspección en Obra deberá corresponder, como mínimo, a un rechazo adicional en la estructura de acero.
8. Si el número de entradas es igual a cero y el número de rechazos es del 100 % al 105 % del valor indicado en la tabla 5.2 de AISC/RCSC o en la tabla J3.1M de AISC 360, consulte la sección de avisos⁴ del sitio web de Applied Bolting Technology y aplique la recomendación allí descrita.

Metodología de Atornillado, DTI sin Expulsión

1. Realice el Ajuste Firme de las placas de acero, en tantos pasos como sea necesario, para poner el acero en contacto firme según lo exigido por la sección 8.1 de AISC/RCSC, sin comprimir el DTI por debajo de la Separación de Inspección en Obra. Si durante la operación de Ajuste Firme el DTI se comprime por debajo de la Separación de Inspección en Obra, retire y sustituya el DTI.
2. Después del Ajuste Firme, aplique suficiente par de apriete para comprimir el DTI hasta que la separación residual sea inferior a la Separación de Inspección en Obra.

³ ASTM F959 Apéndice X1: «La separación de inspección en obra deberá ser una separación inferior a la separación de ensayo del DTI medida a 1,05× la tensión mínima requerida del tornillo». AISC/RCSC 16.2-xi: Separación de Inspección en Obra. Una separación entre un indicador directo de tensión y la superficie endurecida sobre la que se apoya que sea inferior a la separación medida en un dispositivo de medición de la tensión del tornillo cuando se aplica al conjunto de atornillado una tensión igual a 1,05 veces la pretensión mínima requerida.

⁴ Avisos de Applied Bolting Technology. Puede obtener asistencia adicional contactando directamente con Applied Bolting Technology por correo electrónico en info@appliedbolting.com o llamando al 800 552-1999 o al 802 460-3100.

Metodología de Atornillado, Squirter® DTI

1. Realice el Ajuste Firme de las placas de acero, en tantos pasos como sea necesario, para poner el acero en contacto firme según lo exigido por la sección 8.1 de AISC/RCSC, sin comprimir el DTI por debajo de la Separación de Inspección en Obra. Si durante la operación de Ajuste Firme el DTI se comprime por debajo de la Separación de Inspección en Obra, retire y sustituya el DTI.
2. Después del Ajuste Firme, aplique suficiente par de apriete para comprimir el DTI hasta que el indicador naranja Squirt™ sea expulsado por todos los puntos disponibles y la separación residual sea inferior a la Separación de Inspección en Obra.

Al inspeccionar DTIs sin expulsión y Squirter® DTIs, el inspector DEBE:

1. Verificar que se haya realizado la Verificación Previa a la Instalación.
2. Verificar que se haya realizado el Ajuste Firme de la unión.
3. Verificar que los resaltes del DTI no se hayan comprimido más allá de la Separación de Inspección en Obra durante la operación de Ajuste Firme.
4. Verificar que los resaltes del DTI se hayan comprimido por debajo de la Separación de Inspección en Obra después del pretensado.
5. Aceptar cualquier elemento de fijación cuya pretensión sea superior a la mínima requerida.⁵

Al inspeccionar DTIs sin expulsión y Squirter® DTIs, el inspector NO DEBE:

1. Inspeccionar conjuntos con DTI utilizando una llave dinamométrica.
2. Comparar la cantidad de giro entre la tuerca y el tornillo con la tabla 8.1 de Giro de Tuerca.
3. Rechazar DTIs que hayan quedado completamente aplanados durante el pretensado.

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

Diámetro del tornillo, in.	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

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

⁵ AISC/RCSC 9.2.4: "Una pretensión superior a la especificada en la Tabla 5.2, o la imposibilidad de introducir la galga de espesores en todas las ubicaciones, no será motivo de rechazo."

Pretensión Mínima del Tornillo Según AISC 360, Tabla J3.1M

Diámetro del tornillo, mm	Tornillos A325M	Tornillos A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

Igual a 0,70 veces la resistencia mínima a la tracción de los tornillos, según lo especificado en ASTM F3125/F3125M para tornillos de grados A325M y A490M, con roscas MC, redondeada al kN más cercano.

Informe de Ensayo de Verificación
Previa a la Instalación utilizando
Indicadores Directos de Tensión

Fecha: _____

Modelo de la llave: _____

N.º de Skidmore: _____ Fecha de calibración del Skidmore: _____

Grado del tornillo: ☐ ASTM A325 ☐ ASTM A490

Tamaño del tornillo: _____ ☐ NEGRO ☐ GALVANIZADO ☐ DACROMET

N.º de lote: _____

Lote y configuración del DTI: _____ ☐ DTI DEL LADO DE LA TUERCA ☐ DTI DEL LADO DE LA CABEZA

Número de lote de la tuerca: _____

Arandela F436: _____

Arandela Ancha F436: _____

Tensión Requerida: _____
(5 % por encima de la tensión mínima)
(Mínimo de 7/8" = 39 kips, 5 % por encima = 41 kips)

Muestra n.º 1
Tensión del Tornillo _____

☐ .005"
☐ .015"

Conjunto
Aceptable

Rechazos	Si	No

Muestra n.º 2
Tensión del Tornillo _____

Conjunto
Aceptable

Rechazos	Si	No

Muestra n.º 3
Tensión del Tornillo _____

Conjunto
Aceptable

Rechazos	Si	No

Inspector: _____

Fecha: _____