

VERIFICACIÓN PREVIA A LA INSTALACIÓN

De acuerdo con la sección 7 de AISC/RCSC sobre Verificación Previa a la Instalación, las pruebas de los conjuntos de elementos de fijación deben realizarse en la 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 de elementos de fijación son aptos o no aptos. Su finalidad es 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 algunos de los problemas que pueden ponerse de manifiesto mediante los resultados de las pruebas previas a la instalación.

Elementos de fijación

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

Debe aplicarse par de apriete al conjunto hasta que el calibrador de tensión indique una pretensión adecuada o hasta que falle el tornillo, lo que ocurra primero. Se produce un fallo si el tornillo se rompe 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. Excepto en el caso de los tornillos TC¹, la aplicación de lubricante adicional puede evitar el fallo. Si la lubricación adicional resuelve el problema, todos los elementos de fijación representados por las muestras lubricadas deberán lubricarse de la misma manera.

Herramientas

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

Si aplicando toda la capacidad de una herramienta de instalación a un conjunto no se alcanza al menos el 105 % de la pretensión mínima requerida, la herramienta deberá sustituirse tanto para las pruebas como para la instalación. Aunque no siempre es así, una herramienta adecuada debería disponer de un cuadradillo de accionamiento de un tamaño, como mínimo, igual al de los tornillos que se aprieten. Por ejemplo, para tornillos de 3/4", debería utilizarse un cuadradillo de 3/4" o mayor. El manual de una herramienta también puede indicar un par de salida superior al que realmente puede proporcionar. Estas afirmaciones suelen ser imprecisas y pueden referirse al par sin carga, que no se alcanza una vez aplicada la carga.

Equipos de instalación

¿Comprenden los instaladores cómo aplicar el método seleccionado?

Los instaladores deben comprender que debe alcanzarse primero la condición de apriete ajustado antes de aplicar el método de pretensado. Una vez alcanzada, deben conocer perfectamente el método utilizado y no confundir ni combinar los principios de métodos distintos. Por ejemplo, aplicar un valor de par para girar la tuerca hasta el ángulo indicado para el método de Giro de Tuerca o utilizar una llave dinamométrica como técnica de inspección después de completar el giro combina elementos de los métodos de Llave Calibrada y Giro de Tuerca. Del mismo modo, inspeccionar una instalación DTI con una llave dinamométrica combina los métodos DTI y Llave Calibrada.

¹ Research Council on Structural Connections, *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*, sección 2.10.4: los conjuntos de atornillado combinados no deberán ser relubricados por nadie distinto del fabricante.

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. AISI/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 AISI 360, sección J3:

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

La condición de apriete ajustado es fundamental para el método de Giro de Tuerca, ya que utiliza esta posición como punto de partida. 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. En ese caso, el giro indicado en la Tabla 8.1 puede producir una pretensión inferior a la mínima requerida por la Tabla 5.2 de AISI/RCSC.

Por el contrario, el apriete ajustado puede generar una pretensión próxima o superior a la mínima requerida, y el giro posterior puede dañar la rosca o romper el tornillo. Esto es especialmente relevante en tornillos de 3/4" de diámetro o menores.

El apriete ajustado no afecta al éxito de los demás métodos. La Llave Calibrada, los DTI y los tornillos TC no utilizan una posición de apriete ajustado como punto de partida. Si se produce un apriete ajustado excesivo, estos métodos lo pondrán de manifiesto: un DTI se aplanará, un tornillo TC se cizallará o una llave calibrada no hará avanzar la tuerca/tornillo durante el pretensado. Si el apriete ajustado es bajo, los tres métodos funcionarán según lo previsto.

Principios Básicos de la Verificación

El contenido siguiente se aplica exclusivamente 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) y la *Specification for Structural Steel Buildings* (AISC 360).

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 de apriete diferentes, los cuatro métodos siguen los mismos principios básicos: realizar el apriete ajustado, aplicar el método y verificar el cumplimiento de la especificación. Todos los métodos aceptables pueden producir una deformación permanente del elemento de fijación en su región inelástica.²

Muestreo

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

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

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.

² 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.

Giro de Tuerca

1. 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.
2. Realizar el apriete ajustado conforme a AISC/RCSC, sección 8.1, e inspeccionar según la sección 9.1.
3. Aplicar el ángulo de giro correspondiente según la relación entre el diámetro y la longitud del tornillo (Tabla 8.1).
4. Verificar que la pretensión resultante sea igual o superior al valor de la Tabla 7.1.
5. Si el ángulo de giro no produce una pretensión adecuada según la Tabla 7.1, continuar girando hasta alcanzar o superar la pretensión mínima requerida. Como la Tabla 8.1 permite una tolerancia superior para cada ángulo/giro, puede girarse la tuerca más allá del valor indicado. Si se requiere un giro adicional, deberá utilizarse en obra el ángulo/giro REAL determinado y no el valor de la Tabla 8.1.

Tornillo TC

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.
5. Verificar que la pretensión resultante sea igual o superior a la pretensión mínima requerida indicada en la Tabla 7.1.
6. Si la pretensión resultante no alcanza el valor de la Tabla 7.1, 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 de acero. Los tornillos TC no pueden ser modificados ni reacondicionados por nadie distinto del fabricante.

Llave Calibrada

1. Debe realizarse diariamente con cada herramienta de instalación y repetirse cuando se produzca cualquier cambio en el suministro de la herramienta (por ejemplo, añadir líneas de aire adicionales).
2. Colocar cada configuración única del conjunto de muestra en un calibrador de tensión, con las arandelas colocadas conforme a 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.
4. Aplicar al conjunto el valor de par previsto
5. Verificar que la pretensión resultante sea igual o superior a la pretensión mínima requerida indicada en la Tabla 7.
6. Si la pretensión resultante no alcanza el valor de la Tabla 7.1, aumentar el par aplicado o limpiar y lubricar muestras adicionales repetir todos los pasos.

DuraSquirt® DTI conforme a AISC/RCSC 2.12 (sin galga de espesores)

1. Colocar cada configuración única del conjunto de tornillo con DuraSquirt® DTI en un calibrador de tensión, con las arandelas colocadas conforme a la Tabla 6.1, si es necesario, y una arandela contra las protuberancias del DTI.
2. Realizar el apriete ajustado conforme a AISC/RCSC, sección 8.1, e inspeccionar según la sección 9.
3. Apretar el conjunto hasta que aparezca material indicador Squirt™ en todos los puntos Squirt™ disponibles; por ejemplo, un DTI con 5 protuberancias dispone de 5 puntos Squirt™.
4. Verificar que la pretensión resultante sea igual o superior a la pretensión mínima requerida indicada en la Tabla 7.
5. Si la pretensión resultante no alcanza el valor de la Tabla 7.1, consultar la sección de recomendaciones del sitio web de Applied Bolting Technology y aplicar la recomendación correspondiente.

³ Research Council on Structural Connections, sección 2.10.4: los conjuntos de atornillado combinados [tornillos TC] no deberán ser relubricados por nadie distinto del fabricante.

■ Asistencia adicional: info@appliedbolting.com; 800 552-1999 o 802 460-3100.

DTI Estándar (sin Autoindicación) y Squirter® DTI

Los siguientes pasos se aplican tanto a los DTI ASTM F959 estándar (sin autoindicación) como a los Squirter® DTI:

1. Colocar cada configuración única del conjunto de muestra, que contenga un DTI, en un calibrador de tensión, con las arandelas colocadas conforme a la sección 6.1, si es necesario, y una arandela contra las protuberancias del DTI.
2. Realizar el apriete ajustado conforme a AISC/RCSC, sección 8.1, e inspeccionar según la sección 9.
3. Apretar el conjunto hasta que el calibrador de tensión indique la pretensión mínima requerida del tornillo indicada en la Tabla 7.
4. Introducir la galga de espesores adecuada en cada espacio disponible entre las protuberancias del DTI hasta que toque físicamente el vástago del tornillo. Cada vez que la galga entre y toque el vástago se considera una entrada; cuando no llegue a tocarlo se considera un rechazo.
5. El número de entradas no puede ser cero y el número de rechazos no puede ser del 100 %. Es decir, el DTI no debe quedar completamente aplanado cuando el calibrador alcance el valor mínimo de la Tabla 7.1.
6. El número de entradas/rechazos define la holgura de ensayo específica del conjunto ■ y la Holgura de Inspección en Obra.
7. Registrar el número de rechazos como referencia para la inspección en obra. El número de rechazos permitido en la estructura debe ser superior al correspondiente a la holgura de ensayo determinada durante la verificación.
8. Si las entradas son cero y los rechazos alcanzan el 100 % cuando el calibrador llega a la pretensión mínima de la Tabla 7, consultar la sección de recomendaciones de Applied Bolting Technology.

■ ASTM F959, Apéndice X1: la Holgura de Inspección en Obra debe ser inferior a la holgura de ensayo del DTI medida a 1,05 veces la tensión mínima requerida. AISC/RCSC define esta holgura de forma equivalente.

Tablas para Tornillos en Pulgadas

Pretensión para la Prueba de Verificación Previa a la Instalación según la Tabla 7.1 de AISC/RCSC, serie en pulgadas

Diámetro, pulg.	Tornillos A325/120	Tornillos A490/150/144
1/2	13	16
5/8	20	25
3/4	29	37
7/8	41	51
1	54	67
1 1/8	67	84
1 1/4	85	107
1 3/8	102	127
1 1/2	124	155

Equivalente al 105 % de la pretensión mínima requerida del tornillo, redondeado al kip más próximo.

Pretensión Mínima del Tornillo según la Tabla 5.2 de AISC/RCSC, serie en pulgadas

Diámetro, pulg.	Tornillos A325/120	Tornillos A490/150/144
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.

Tablas para Tornillos Métricos

Pretensión Mínima del Tornillo para la Prueba de Verificación Previa a la Instalación, serie métrica

Diámetro, mm	Tornillos A325M/8.8	Tornillos A490M/10.9
M12	51	76
M16	96	120
M20	149	188
M22	185	232
M24	215	270
M27	280	351
M30	342	428

Diámetro, mm	Tornillos A325M/8.8	Tornillos A490M/10.9
M36	499	625

Equivalente al 105 % de la pretensión mínima requerida del tornillo, redondeado al kN más próximo.

Pretensión Mínima del Tornillo, serie métrica

Diámetro, mm	Tornillos A325M/8.8	Tornillos A490M/10.9
M12	49	72
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

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

Informe de Prueba de Verificación Previa a la Instalación

utilizando Indicadores Directos de Tensión

Fecha:	
Modelo de llave:	
N.º Skidmore:	Fecha de calibración del Skidmore:
Grado del tornillo:	
Tamaño del tornillo:	
N.º de lote:	
Lote y configuración del DTI:	
N.º de lote de la tuerca:	
Arandela plana F436:	
Arandela plana ancha F436:	
Tensión requerida:	(5 % por encima de la tensión mínima)
	(Mínimo para 7/8" = 39 kips; 5 % por encima = 41 kips)
Muestra n.º 1 - Rechazos: Sí / No	Tensión del tornillo:
Muestra n.º 2 - Rechazos: Sí / No	Tensión del tornillo:
Muestra n.º 3 - Rechazos: Sí / No	Tensión del tornillo:
Inspector:	Fecha:

CONJUNTO ACEPTABLE CONJUNTO ACEPTABLE CONJUNTO ACEPTABLE

ASTM A325 ASTM A490

NEGRO GALVANIZADO DACROMET

0,005" 0,015"

DTI EN EL LADO DE LA TUERCA DTI EN EL LADO DE LA CABEZA