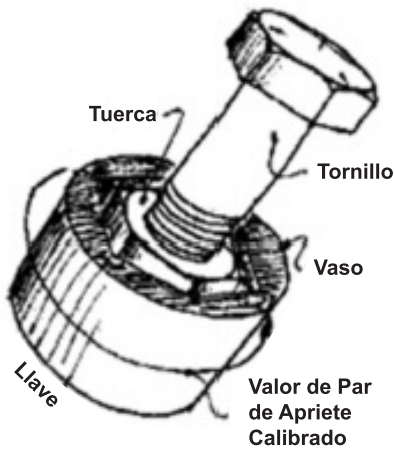


Método de Llave Calibrada/Par de Apriete



Llave Calibrada

Al igual que con cualquier método de pretensado de tornillos, el método de Llave Calibrada solo puede realizarse después de que todas las placas de acero de una unión hayan quedado firmemente en contacto, es decir, apretadas hasta la condición de ajuste firme. No hacerlo dará lugar a una pretensión inadecuada de los tornillos y a uniones flojas.

El método de pretensado de Llave Calibrada se realiza aplicando a los elementos de fijación un valor medio calculado de par de apriete, basado en ensayos diarios de muestras representativas de conjuntos de elementos de fijación, utilizando exactamente la misma configuración de herramientas de instalación y fuentes de alimentación, en condiciones lo más idénticas posible a las condiciones reales de instalación, y dentro de un plazo máximo de un día. Las muestras representativas de conjuntos de elementos de fijación se definen principalmente por la combinación de lotes de producción de cada conjunto y se subdividen además según el estado de los elementos de fijación, el estado de cada componente, las condiciones ambientales de la obra, el tiempo transcurrido desde que se

retiraron del almacenamiento protegido y cada una de sus posibles configuraciones. No está permitido utilizar fórmulas ni tablas con valores específicos. Contar segundos, escuchar sonidos determinados, percibir vibraciones o la ausencia de estas durante el apriete no son sustitutos aceptables de los ensayos diarios reales.

Excepto en proyectos con muy pocas combinaciones de tornillos que deban tensarse durante un número mínimo de días, la Llave Calibrada es el método más caro para tensar tornillos. Los ensayos de par de apriete serán prácticamente constantes, ya que todos los resultados de los ensayos son aplicables únicamente a una herramienta específica, a un único conjunto de tornillos y al tensado completo realizado el mismo día del ensayo. Las tablas y ecuaciones de par de apriete están expresamente prohibidas por la especificación RCSC/AISC: «No se utilizarán valores de par de apriete determinados a partir de tablas o ecuaciones que pretendan relacionar el par de apriete con la pretensión sin verificación». (AISC/RCSC 8.2.2)

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 situaciones que pueden ponerse de manifiesto a partir de los resultados de los ensayos previos a la instalación.



Elementos de Fijación

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

Debe aplicarse par de apriete al conjunto de elementos de fijación hasta que el calibrador de tensión indique una tensión adecuada o hasta que falle el tornillo, lo que ocurra primero. El fallo se produce cuando el tornillo se rompe antes de alcanzar la tensión mínima, o cuando la carga de tracción aumenta y posteriormente disminuye, según indica el calibrador de tensión, sin llegar nunca a alcanzar la tensión mínima. La aplicación de lubricante adicional puede evitar el fallo. 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 tensión 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 tensión 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 tensado. 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 girar la tuerca hasta el ángulo de giro especificado para el método de Giro de Tuerca, o utilizar una llave dinamométrica como técnica de inspección una vez completado el giro. Hacerlo combina elementos de los métodos de Llave Calibrada y Giro de Tuerca.

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, Sección J3:

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

El Ajuste Firme puede producir una pretensión cercana o superior a la mínima requerida según la tabla 7.1 de AISC/RCSC, y el giro requerido puede dañar la rosca o romper el tornillo al aplicarse. Esto es especialmente cierto en tornillos con diámetros de $\frac{3}{4}$ " o inferiores.

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.

¹ 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 para calibrar la tensión

Debe realizarse diariamente con cada herramienta de instalación y repetirse ante cualquier cambio en el suministro de la herramienta (adición de líneas de aire adicionales, etc.).

Coloque cada configuración única de muestra del conjunto de elementos de fijación en, o con, un dispositivo de medición de la tensión del tornillo, con las arandelas colocadas de acuerdo con la sección 6.2.2 y la tabla 6.1, si fuera necesario.

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.

Aplique el par de apriete supuesto únicamente a la tuerca, manteniendo inmovilizada la cabeza del tornillo. No está permitido girar la cabeza del tornillo.

Verifique que la pretensión resultante alcance o supere la pretensión mínima requerida del tornillo indicada en la tabla 7.1.

Si la pretensión resultante no alcanza o supera el valor indicado en la tabla 7.1, aumente el par de apriete aplicado o limpie y lubrique muestras adicionales y repita todos los pasos descritos anteriormente.

Complete 3 ensayos satisfactorios e indique a los equipos de apriete de tornillos que utilicen el valor de par de apriete más alto observado durante los ensayos.

Metodología de Atornillado

RCSC/AISC 8.2.2. Pretensado mediante Llave Calibrada: Los procedimientos de Verificación Previa a la Instalación especificados en la Sección 7 deberán realizarse diariamente para la calibración de la llave de instalación. No se utilizarán valores de par de apriete determinados a partir de tablas o ecuaciones que pretendan relacionar el par de apriete con la pretensión sin verificación.

La expresión «sin verificación» significa que debe utilizarse un calibrador de tensión para verificar que se ha aplicado suficiente par de apriete. Dado que los DuraSquirt DTIs son calibradores de tensión², existe una alternativa a los ensayos continuos si los DuraSquirt DTIs se utilizan conjuntamente con el método de Llave Calibrada.



Los DuraSquirt DTIs proporcionan la verificación necesaria independientemente de la herramienta, el par de apriete aplicado o el estado del tornillo. Si un DuraSquirt DTI expulsa completamente el indicador, se ha aplicado suficiente par de apriete. No es necesario determinar un valor real de par de apriete. Si el DTI expulsa completamente el indicador, el tornillo está correctamente tensado.

Para obtener una descripción completa de este procedimiento, consulte el siguiente enlace: [DuraSquirt-RCSC 2.12.pdf](#)

² RCSC/AISC 16.2-59, sección 7.1: «Los indicadores directos de tensión (DTIs) pueden utilizarse como dispositivos de medición de la tensión del tornillo».

Muestreo de Elementos de Fijación del Día 1:

Recoja 3 muestras de todos los conjuntos completos de elementos de fijación para cada combinación de diámetro, grado, longitud y LOTE de producción, y recoja muestras adicionales de conjuntos completos cuando:

1. Cambie el lote de cualquier componente del conjunto de elementos de fijación;
2. Cambien el acabado y la tolerancia de las roscas del tornillo y de la tuerca;
3. Cambien la uniformidad, el grado y el estado de la lubricación;
4. Cambien las condiciones del taller o de la obra que contribuyan a la presencia de polvo y suciedad o a la corrosión de las roscas;
5. Cambie la fricción, que existe en distintos grados, entre el elemento que se gira (la cara de la tuerca o la superficie de apoyo de la cabeza del tornillo) y la superficie de apoyo;
6. Se vuelva a lubricar el lote de cualquier componente del conjunto de elementos de fijación;
7. Se observen diferencias significativas en el estado de la superficie de las roscas de los tornillos, las tuercas o las arandelas.

Recoja diariamente muestras para cada permutación de los elementos 1 a 7, añadiendo 3 conjuntos completos de muestra y ensayos adicionales cuando se presenten los siguientes factores:

8. La variabilidad de los parámetros del suministro de aire de las llaves de impacto como consecuencia de la longitud de las líneas de aire o del número de llaves que funcionan desde la misma fuente;
9. El estado, la lubricación y el suministro de energía de la llave dinamométrica, que pueden cambiar durante un turno de trabajo;
10. La repetibilidad del funcionamiento de cualquier llave que detecte o responda al nivel del par de apriete aplicado;
11. Cuando se modifique cualquier componente principal de la llave, incluida la lubricación, la manguera y el suministro de aire;
12. Cada herramienta y suministro y/o combinación de herramientas y suministro;
13. Para cada permutación de los elementos 8 a 12.

Día 2 y Todos los Días Posteriores:

1. Descarte todos los valores de par de apriete calculados durante el Día anterior de Muestreo de Elementos de Fijación descrito aquí, si corresponde.
2. Repita el procedimiento del Día 1 de Muestreo de Elementos de Fijación descrito aquí.
3. Repita el procedimiento del Día 1 de Ensayos y Operaciones de Atornillado descrito aquí.
4. Repita el Paso 1 anterior de esta serie de instrucciones (es decir, Día 2 y Todos los Días Posteriores).

Inspección:

Compruebe que se hayan realizado todos los muestreos y ensayos descritos aquí. Confirme periódicamente que los resultados específicos de par de apriete correspondientes a combinaciones concretas de elementos de fijación se apliquen únicamente utilizando exactamente el mismo equipo empleado durante los ensayos.

La inspección de los tornillos instalados debe realizarse observando al personal de instalación mientras aplica a los tornillos de la estructura de acero el par de apriete previamente determinado. No está permitido utilizar ningún tipo de llave dinamométrica para la inspección:

AISC/RCSC 16.2-9.2.2: «...mediante observación periódica, deberá garantizarse que el equipo de atornillado aplique correctamente la llave calibrada al elemento que se gira».

El tiempo transcurrido entre el desembalaje, el muestreo, los ensayos, el Ajuste Firme y el pretensado deberá reducirse al mínimo; de lo contrario, todos los elementos de fijación afectados deberán volver a someterse a ensayo. Los elementos de fijación instalados, pero que no hayan sido completamente pretensados dentro de un plazo razonable³, deberán retirarse de la obra, separarse de acuerdo con el procedimiento del Día 1 de Muestreo descrito anteriormente y someterse a todos los ensayos indicados en el procedimiento del Día 1 de Ensayos y Operaciones de Atornillado descrito aquí.

Advertencia: La instalación mediante Llave Calibrada, o mediante par de apriete, solo es adecuada para proyectos pequeños que tengan pocos LOTES de producción, longitudes y diámetros de componentes, y que se instalen utilizando el menor número posible de llaves dinamométricas eléctricas (o herramientas de fiabilidad similar) capaces de completar todas las operaciones de atornillado (desembalaje, ensayos, colocación, Ajuste Firme, pretensado e inspección) en un solo día o menos. Además, la instalación mediante Llave Calibrada o par de apriete está expresamente prohibida en cualquier proyecto que haga referencia al Handbook of Steel Construction del Canadian Institute of Steel Construction (CISC).

³ Un plazo razonable no deberá exceder un solo día, pero podrá ser inferior a un turno de trabajo dependiendo de las condiciones específicas del proyecto descritas aquí.

Tablas de Pretensión de Tornillos

Pretensión para las pruebas de verificación previas a la instalación según la Tabla 7.1 de AISC/RCSC, serie en pulgadas.		
Diámetro del tornillo in.	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

Los valores de Verificación Previa a la Instalación equivalen al 105 % de la pretensión mínima del tornillo, redondeados al kip más cercano.

Pretensión mínima del tornillo según la Tabla 5.2 de AISC/RCSC, serie en pulgadas.		
Diámetro del tornillo IN.	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

Los valores mínimos equivalen a 0,70 veces la resistencia mínima a la tracción de los tornillos, redondeados al kip más cercano.

Pretensión mínima del tornillo para las pruebas de verificación previas a la instalación, serie métrica.		
Diámetro del tornillo (mm)	A325M/8.8 bolts	A490M/10.9 bolts
M12	51	76
M16	96	120
M20	149	188
M22	185	232
M24	215	270
M27	280	351
M30	342	428
M36	499	625

Los valores métricos de Verificación Previa a la Instalación equivalen al 105 % de la pretensión mínima del tornillo, redondeados al kN más cercano.

Pretensión mínima del tornillo, serie métrica. Según la Tabla J3.1M de AISC.		
Diámetro del tornillo (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

Los valores mínimos equivalen a 0,70 veces la resistencia mínima a la tracción de los tornillos, redondeados al kN más cercano.



DTIs y Llave Calibrada/Par de Apriete

Los rigurosos ensayos de Verificación Previa a la Instalación (PIV), requeridos por el método de Llave Calibrada, pueden evitarse añadiendo un DTI al conjunto. De hecho, los ensayos PIV independientes, ya sea con un dispositivo hidráulico de medición de tensión o de otro tipo, pueden sustituirse por el apriete mediante lotes de verificación de DTIs utilizando par de apriete y con una separación de calibración determinada.

Aunque el método de Llave Calibrada es complicado según la especificación AISC/RCSC, no tiene por qué serlo. Según 8.2.2:

«No se utilizarán valores de par de apriete determinados a partir de tablas o ecuaciones que pretendan relacionar el par de apriete con la pretensión sin verificación».

La expresión «sin verificación» significa que podría utilizarse un valor de par de apriete si este puede verificarse. La sección de Verificación Previa a la Instalación de AISC/RCSC describe los DTIs como dispositivos de medición de la tensión del tornillo que pueden utilizarse para verificar el método de Llave Calibrada. Según la primera frase de la página 16.2-59:

«Los indicadores directos de tensión (DTIs) pueden utilizarse como dispositivos de medición de la tensión del tornillo, excepto en el caso del método de Giro de Tuerca y del método combinado».

Más adelante se describe cómo convertir cualquier tipo de DTI en un «DTI de lote de verificación» con una «separación calibrada» predeterminada. Dado que nosotros (Applied Bolting) determinamos la separación calibrada utilizando nuestro equipo de ensayo ASTM F606, dicha separación aparece en el informe de ensayo de materiales (MTR) de cada Squirter® DTI. Asimismo, dado que diseñamos nuestro Squirter® DTI para expulsar el indicador naranja entre un 15 % y un 20 % por encima del mínimo requerido para los ensayos de Verificación Previa a la Instalación, lo único que debe hacerse es aplicar suficiente par de apriete para que se expulse el indicador, y el tornillo se considera ensayado de acuerdo con la sección 7. En esencia, se instala un dispositivo de medición de la tensión del tornillo en cada tornillo, realizando así los ensayos de Preinstalación de cada tornillo a medida que se instala. La aplicación de este método es tan sencilla como:

1. Realice el Ajuste Firme de la unión.
2. Aplique suficiente par de apriete para expulsar el indicador naranja, es decir, reduzca la separación del DTI de lote de verificación por debajo de la separación calibrada.
3. Una vez apretados 3 tornillos, se habrá cumplido la Verificación Previa a la Instalación conforme a la sección 7 de AISC/RCSC.

Técnicamente, los tres primeros tornillos deberían tener el DTI en el lado de la cabeza, pero si se pretende representar el conjunto que se está instalando, puede demostrarse que funciona en el lado de la tuerca. El método de utilización de un DTI como dispositivo de medición de la tensión del tornillo figura en la especificación RCSC desde 2009, pero no se ha aplicado tanto como debería. La mayoría de las personas no se dan cuenta de que es perfectamente aceptable aplicar la sección 7 utilizando acero macizo. Además de lo descrito para los DTIs, siempre ha estado permitido realizar la Preinstalación para el método de Giro de Tuerca sin un dispositivo de medición de la tensión del tornillo. Según 16.2-59, aproximadamente a mitad de la página:



«Para la Verificación Previa a la Instalación mediante el método de Giro de Tuerca de tornillos demasiado cortos para colocarse en un dispositivo de medición de la tensión del tornillo, es suficiente instalar el conjunto de atornillado en una placa de acero con un orificio del tamaño adecuado y aplicar los giros requeridos».

Sigue siendo recomendable disponer de un dispositivo hidráulico, o similar, de medición de la tensión del tornillo para diagnosticar los problemas a medida que surjan, pero los proyectos deberían aprovechar con mayor frecuencia la disposición que permite utilizar «el DTI como dispositivo de medición de la tensión del tornillo».