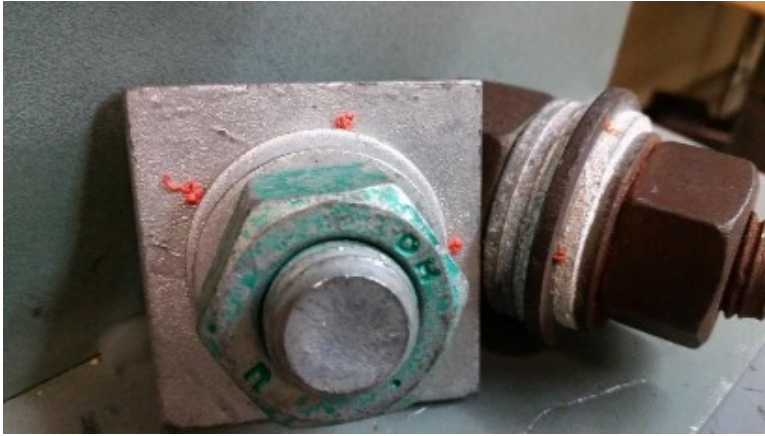


DuraSquirt® DTIs



Esta imagen ilustra el carácter permanente de la indicación. Cada conjunto se ha tensado completamente utilizando un DuraSquirt® DTI. El tornillo galvanizado de la izquierda corresponde a un conjunto recién apretado. El tornillo sin recubrimiento de la derecha se apretó en noviembre de 2014. Está oxidado porque, durante un año, se lavó todos los días laborables en el lavavajillas del comedor de Applied Bolting Technology. Posteriormente, permaneció suelto en una

caja de herramientas durante otros dos años, sin protección alguna, mientras nuestro personal técnico recorría Estados Unidos impartiendo seminarios sobre atornillado estructural. A pesar del considerable maltrato y la falta de protección a los que fue sometido el elemento de fijación, el DuraSquirt® DTI todavía puede inspeccionarse visualmente.

Al igual que todos los DTI, los DuraSquirt® DTI son celdas de carga mecánicas de un solo uso que funcionan independientemente del par de apriete o del giro. Aunque el DuraSquirt® DTI es un dispositivo inteligente, no determina cuánto esfuerzo será necesario para apretar un tornillo. Si el tornillo se ha apretado lo suficiente, el DTI lo indicará; si no es así, también lo indicará. Aunque las especificaciones actuales consideran los DTI como un método de instalación, en realidad son una herramienta de inspección. Permiten comprobar si se ha alcanzado correctamente la pretensión requerida o si, por el contrario, no se ha alcanzado.

Los DuraSquirt® DTI son los únicos DTI que pueden utilizarse como Dispositivos de Medición de la Tensión de Tornillos, conforme a la sección 7' de AISC/RCSC, ya que son los únicos DTI disponibles que constituyen un «lote de verificación». Según AISC/RCSC:

Un Dispositivo de Medición de la Tensión de Tornillos es un dispositivo calibrado que se utiliza para verificar que el conjunto de atornillado, el método de pretensado y las herramientas empleadas son capaces de alcanzar las tensiones requeridas cuando se especifica una unión pretensada o una unión crítica al deslizamiento. (AISC/RCSC 16.2-x)

La Prueba de Verificación Previa a la Instalación es fundamental para:

1. Evaluar la idoneidad del conjunto de atornillado, incluida la lubricación aplicada por el fabricante o aplicada específicamente, para desarrollar la pretensión mínima especificada.
2. Verificar la idoneidad y el uso correcto del método de pretensado especificado que se vaya a utilizar.
3. Determinar el par de apriete de instalación para el método de pretensado mediante llave calibrada.

4. Verificar que el par inicial aplicado alcance, como mínimo, la tensión inicial requerida cuando se utilice el método combinado de pretensado.
5. Demostrar la idoneidad del equipo de apriete de tornillos que se utilizará durante la instalación.

¹ AISC/RCSC 16.2-59: «Los indicadores directos de tensión (DTI) pueden utilizarse como dispositivos de medición de la tensión de tornillos».



(AISC/RCSC 16.2-52)

Lectura adicional

La sección 7 de AISC/RCSC describe cómo deben utilizarse los DTI de lote de verificación con

Holguras Calibradas:

Los indicadores directos de tensión (DTI) pueden utilizarse como dispositivos de medición de la tensión de tornillos, excepto en el caso del método de giro de tuerca y del método combinado. Este método resulta especialmente útil, aunque no exclusivamente, para tornillos demasiado cortos para poder utilizarse en un dispositivo hidráulico de medición de la tensión de tornillos. (AISC/RCSC 16.2-59)

El uso de un DTI de lote de verificación como dispositivo de medición de la tensión de tornillos está incluido en la especificación AISC/RCSC desde 2009, aunque la Federal Highway Administration del Departamento de Transporte de Estados Unidos permite este procedimiento al menos desde 1991.² Una vez calibrados los DTI, se utilizan en tornillos cortos para ajustar las llaves de instalación a la tensión requerida del tornillo. (FHWA 10-6)

Del mismo modo, AISC/RCSC establece:

A continuación, el conjunto de elementos de fijación puede instalarse en un orificio de tamaño estándar con el DTI de verificación adicional. Se sigue el procedimiento de pretensado establecido y se verifica [el conjunto del tornillo]...³

Hasta la fecha, los DuraSquirt® DTI son los únicos DTI fabricados como DTI de verificación conforme



a AISC/RCSC.⁴ AISC/RCSC explica que apretar suficientemente un conjunto utilizando un DTI de lote de verificación puede sustituir la Prueba de Verificación Previa a la Instalación realizada con un calibrador hidráulico de tensión. En otras palabras, apretar tornillos con DTI de lote de verificación satisface los requisitos de la sección 7 relativos a las pruebas de verificación de tornillos.

La prueba previa a la instalación se realiza así sobre la marcha, a medida que comienza el atornillado. Cada vez que se instala un DuraSquirt® DTI de verificación y se aplica el par de apriete suficiente para que todos los puntos Squirt™ del DTI expulsen completamente el material indicador naranja, el elemento de fijación cumple los requisitos de las pruebas de campo.

Este grado de fiabilidad no es posible con otros tipos de DTI, ya que dependen de galgas de espesores para confirmar la pretensión, y este método puede producir falsos positivos. Las galgas de espesores pueden indicar erróneamente que se ha alcanzado la tensión cuando el orificio supera las dimensiones de un orificio estándar —por ejemplo, por ser sobredimensionado o haber sido escariado—, cuando existen problemas con la arandela plana o cuando el DTI está orientado incorrectamente, por ejemplo, colocado al revés (sí, ocurre).

Cuando se utilizan arandelas planas de mala calidad, las protuberancias del DTI no se comprimen, pero las galgas de espesores pueden indicar erróneamente que se han aplanado. Las arandelas de mala calidad dejan su propia marca impresa en el DTI. Las dos imágenes siguientes ilustran este problema. Evidentemente, la combinación de DTI y arandela mostrada no está «apretada», ya que ni siquiera hay un tornillo; aun así, la galga de espesores no puede introducirse.

La imagen de la izquierda muestra la misma combinación de arandela/DTI, pero con ambos componentes separados. Obsérvense las cavidades marcadas en la arandela plana. Los DTI están endurecidos y las arandelas planas estructurales también deben estarlo. Esta arandela no ha recibido tratamiento térmico, por lo que se formaron cavidades en los puntos donde entró en contacto con las protuberancias del DTI.

Cuando los orificios quedan fuera de las dimensiones y tolerancias establecidas para un orificio estándar, la arandela plana empuja las protuberancias del DTI —en lugar de comprimirlas— y fuerza el DTI hacia el interior del orificio sobredimensionado. Asimismo, cuando el DTI se coloca al revés, es decir, con las protuberancias contra la estructura de acero, el DTI puede «parecer» plano respecto a la arandela adyacente, ya que las protuberancias endurecidas dejan su marca en el acero, que es más blando. En ambos casos, las protuberancias del DTI permanecen intactas y, aun así, superarán una inspección con galga de espesores.

Los DuraSquirt® DTI solucionan estos y otros problemas, ya que la compresión de las protuberancias se verifica mediante la expulsión del material indicador DuraSquirt®. Si el DTI no expulsa material naranja en todos los puntos Squirt™ disponibles, el instalador o inspector debe considerar que algún elemento no cumple las especificaciones, determinar la causa y corregirla de inmediato. Las arandelas planas de mala calidad pueden sustituirse o, en el caso de un orificio sobredimensionado, puede añadirse al conjunto una arandela plana adicional, tal como exige la normativa.



En pocas palabras, un DuraSquirt® DTI completamente activado —es decir, con color naranja visible en todas las protuberancias— indica que el tornillo ha alcanzado una tensión adecuada y confirma que los orificios y las arandelas cumplen las normas actuales de construcción.

Verificación Previa a la Instalación

De acuerdo con la sección 7 de AISC/RCSC sobre la 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 que se emplearán realmente durante el montaje. Contrariamente a lo que suele pensarse, la Prueba de Verificación Previa a la Instalación NO determina si los conjuntos de elementos de fijación son aptos o no aptos. El objetivo de estas pruebas es detectar posibles problemas de compatibilidad 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, como mínimo, el 105 % de la pretensión mínima requerida del tornillo?

Debe aplicarse par de apriete al conjunto hasta que el calibrador de tensión indique que se ha alcanzado una pretensión adecuada o hasta que falle el tornillo, lo que ocurra primero. Se considera que se produce un fallo cuando el tornillo se rompe antes de alcanzar la pretensión mínima o cuando la carga de tracción aumenta y posteriormente disminuye, según indique el calibrador de tensión, sin haber alcanzado en ningún momento la pretensión mínima.

Excepto en el caso de los tornillos TC⁵, la aplicación de lubricante adicional puede evitar este tipo de fallo. Sin embargo, si la aplicación de lubricante adicional soluciona el problema, todos los elementos de fijación representados por las muestras lubricadas durante la prueba deberán lubricarse de la misma manera.

Herramientas

¿Tienen las herramientas de instalación suficiente capacidad de par 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 de elementos de fijación no se alcanza al menos el 105 % de la pretensión mínima requerida, deberá sustituirse la herramienta tanto para las pruebas como para la instalación.

⁵ AISC 348-20, 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 ninguna persona distinta del fabricante».

Aunque no siempre es así, una herramienta de instalación adecuada debería disponer de un cuadradillo de accionamiento de un tamaño, como mínimo, igual al diámetro de los tornillos que se van a apretar. Por ejemplo, para apretar tornillos de $\frac{3}{4}$ ", la herramienta 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 la herramienta es realmente capaz de proporcionar. Este tipo de afirmaciones suele expresarse de forma poco precisa, por ejemplo, indicando que el motor puede generar un determinado valor elevado de par. Ese valor puede corresponder al par de salida sin carga; una vez que se aplica carga a la herramienta, es posible que no llegue a alcanzarse el elevado valor de par indicado.

Equipos de instalación

¿Comprenden los instaladores cómo aplicar correctamente el método seleccionado?

Los instaladores deben comprender que es necesario alcanzar primero la condición de apriete ajustado (snug-tightened condition) antes de aplicar el método de pretensado. Una vez alcanzada esta condición, deben conocer perfectamente el método que van a utilizar y evitar confundir o combinar los principios de distintos métodos.

Por ejemplo, aplicar un valor de par para hacer girar la tuerca hasta el ángulo especificado para el método de Giro de Tuerca, o utilizar una llave dinamométrica como método de inspección una vez completado el giro, supone combinar elementos de los métodos de Llave Calibrada y Giro de Tuerca. Del mismo modo, inspeccionar una instalación con DTI utilizando una llave dinamométrica supone combinar los métodos DTI y Llave Calibrada.

Uniones con Apriete Ajustado

Todas las uniones atornilladas deben llevarse a la condición de apriete ajustado antes de aplicar cualquier método de pretensado. El apriete ajustado se define como el esfuerzo necesario para poner las superficies de acero de la unión 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 (5.2), hasta que la tuerca ya no pueda retirarse a mano. Intentar retirar manualmente la tuerca es el único requisito de inspección (9.1). No existe ningún requisito de pretensión para una unión en condición de apriete ajustado.

Según la sección J3 de la Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360):

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

Por otro lado, el apriete ajustado puede generar una pretensión próxima o incluso superior a la mínima requerida, en cuyo caso aplicar posteriormente el giro especificado puede dañar la rosca o romper el



tornillo. Esto es especialmente relevante en tornillos de $\frac{3}{4}$ " de diámetro o menores.

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 específicos y las especificaciones de los departamentos estatales de transporte (DOT) o de organismos federales de carreteras pueden diferir considerablemente y no se abordan aquí.

Lo que sigue representa la interpretación de Applied Bolting Technology de las pruebas previas a la instalación de AISC/RCSC, basada en la Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts (AISC 348), del Research Council on Structural Connections, y en la Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360), del American Institute of Steel Construction. Quienes estén interesados en otras interpretaciones pueden consultar directamente dichos documentos.

En términos generales, la prueba de verificación consiste en llevar al menos tres conjuntos de elementos de fijación de muestra a la condición de apriete ajustado, dentro de un dispositivo de medición de la tensión del tornillo o utilizando dicho dispositivo; aplicar después el método de pretensado seleccionado y confirmar que se ha alcanzado, como mínimo, el 105 % de la pretensión mínima requerida.

Aunque cada método utiliza herramientas, componentes o técnicas de apriete diferentes, los cuatro métodos de pretensado siguen los mismos principios básicos: realizar el apriete ajustado del conjunto, aplicar el método correspondiente y verificar el cumplimiento de la especificación. Por último, se espera que todos los métodos aceptables produzcan una deformación permanente del elemento de fijación, llevándolo a su región inelástica.⁶

Muestreo

La Verificación Previa a la Instalación comienza con la selección de las muestras. Según la sección 7.2 de AISC/RCSC:

«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 de atornillado representativos del estado de aquellos que se pretensarán en la obra». (AISC/RCSC 16.2-52)

Independientemente del método utilizado, 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 estén pretensando realmente. Probar un elemento de fijación «nuevo», extraído directamente de un embalaje de transporte sellado, no constituye una muestra representativa, salvo que los elementos que se estén pretensando en la obra también se encuentren en ese mismo estado nuevo.

Los elementos de fijación que hayan recibido un apriete ajustado y hayan estado expuestos a la intemperie durante cualquier periodo de tiempo deberán verificarse en ese mismo estado, si esas condiciones representan fielmente las de los elementos de fijación que se están apretando en la estructura de acero.



El uso de muestras VERDADERAMENTE REPRESENTATIVAS es especialmente importante para los tornillos TC y para la instalación y las pruebas mediante el método de Llave Calibrada, ya que ambos métodos pueden verse afectados negativamente por la exposición a la intemperie y por la degradación de la lubricación.

Especificación para la utilización de DuraSquirt® DTI conforme a AISC/RCSC 2.12:
Componentes y Conjuntos de Atornillado de Diseño Alternativo

Métodos

Los DuraSquirt® DTI son DTI conformes con ASTM F959⁷ que hacen innecesario el uso de galgas de espesores. Los DuraSquirt® DTI son DTI de lote de verificación, conforme a la sección 7 de AISC/RCSC, cuya holgura calibrada se ha determinado mediante ensayos según ASTM F606. Los DuraSquirt® DTI están diseñados para expulsar el material indicador cuando el par de apriete reduce la holgura de inspección en obra por debajo de la holgura calibrada. Los DuraSquirt® DTI deben instalarse e inspeccionarse de acuerdo con la sección 2.12 de la edición 2020 de la Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts.

Dado que la especificación no incluye información sobre medidas métricas, se proporcionan tablas adicionales para trabajar con elementos de fijación métricos.

Prueba de Verificación Previa a la Instalación

El equipo de atornillado y el inspector deberán verificar que tres conjuntos de atornillado con DuraSquirt® DTI alcancen, como mínimo, la tensión mínima de diseño, siguiendo el procedimiento de Verificación Previa a la Instalación establecido en la sección 7 de AISC/RCSC:

⁶ AISC/RCSC 16.2-47: «Con cualquiera de los métodos de instalación anteriores, cabe esperar que una parte del conjunto del tornillo (la parte roscada del tornillo situada 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 produce ningún efecto perjudicial en el comportamiento posterior del tornillo».

⁷ ASTM F959 3.1.1: indicador directo de tensión tipo arandela compresible, elemento tipo arandela colocado bajo la cabeza del tornillo o bajo una arandela endurecida, capaz de indicar que se ha alcanzado la tensión mínima requerida del tornillo mediante el grado de deformación plástica del indicador directo de tensión. En adelante, denominado indicador directo de tensión.

1. Introducir cada conjunto de atornillado en un dispositivo de medición de la tensión del tornillo y llevarlo a la condición de apriete ajustado, colocando el DuraSquirt® DTI según la Figura C-8.1 (b) y la sección 6.2.5 de AISC/RCSC.
2. Apretar cada conjunto hasta que el DuraSquirt® DTI muestre material indicador más



allá de su diámetro exterior en todas las protuberancias, condición denominada indicación completa.

3. Registrar las tensiones alcanzadas y compararlas con los valores de la Tabla 7.1 de AISC/RCSC.
4. Una tensión superior al valor indicado en la Tabla 7.1 no será motivo de rechazo.

...cabe esperar que una parte del conjunto del tornillo (la parte roscada del tornillo situada 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 produce ningún efecto perjudicial en el comportamiento posterior del tornillo.⁸ La resistencia última a cortante de un tornillo no se ve afectada por su pretensión. Los ensayos realizados en uniones atornilladas indicaron que la fuerza inicial de apriete no tenía un efecto significativo sobre la resistencia última a cortante.⁹

Instalación

Los conjuntos deberán instalarse, para cada unión, mediante el siguiente procedimiento y conforme a las secciones de AISC/RCSC indicadas:

Introducir los conjuntos de atornillado y llevarlos a la condición de apriete ajustado conforme a los requisitos de la sección 8.1, colocando la arandela DuraSquirt® DTI según la Figura C-8.1 (b) y la sección 6.2.5 de AISC/RCSC. Si durante el apriete ajustado se alcanza la indicación completa de algún DuraSquirt® DTI, deberán sustituirse los conjuntos afectados.

A continuación, los conjuntos de atornillado deberán tensarse completamente, comenzando por la parte más rígida de la unión y avanzando hacia el exterior, hasta alcanzar la indicación completa.

Inspección

Inspeccionar periódicamente los conjuntos de atornillado con DuraSquirt® DTI mediante el siguiente procedimiento:

1. Observar la prueba de verificación y comprobar que se cumple la etapa de apriete ajustado durante la instalación.
2. Después del tensado, confirmar que los conjuntos inspeccionados presentan una indicación completa. En estos casos no se requieren comprobaciones ni investigaciones adicionales.
3. Cuando los métodos de instalación utilizados produzcan la compresión completa de las protuberancias sin alcanzar una indicación completa, la obra podrá aceptar criterios de inspección con un porcentaje de indicación completa inferior al 100 %.

[Error en el documento original: marcador no definido.]

Arbitraje

En caso de discrepancia, el equipo de atornillado y el inspector podrán establecer los criterios de instalación e inspección mediante el siguiente procedimiento:

1. Apretar tres conjuntos en un dispositivo de medición de la tensión del tornillo hasta que el dispositivo indique el valor mínimo especificado en la Tabla 5.2 de AISC/RCSC.



2. Registrar el número de puntos en los que el material indicador aparece más allá del diámetro exterior del DuraSquirt® DTI. El número de indicaciones obtenido establecerá el mínimo que deberá utilizarse como criterio de instalación e inspección acordado.ⁱ

⁸ RCSC (2020), Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts, Research Council on Structural Connections, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 16.2-47.

⁹ Kulak, G. L., Fisher, J. W. y Struik, J. H. A. (1987), Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, 2.^a ed., John Wiley & Sons, Nueva York, pág. 47.

El inspector DEBE:

1. Verificar que la unión se haya llevado a la condición de apriete ajustado.
2. Verificar que las protuberancias del DuraSquirt® DTI no se hayan comprimido hasta alcanzar la indicación completa durante la operación de apriete ajustado.
3. Verificar que el DuraSquirt® DTI presente una indicación completa.
4. Aceptar cualquier elemento de fijación cuya pretensión sea superior a la mínima requerida.ⁱⁱ

El inspector NO DEBE:

1. Inspeccionar conjuntos con DTI utilizando una llave dinamométrica.
2. Comparar el giro relativo entre la tuerca y el tornillo con los valores de la Tabla 8.2 del método de Giro de Tuerca.
3. Rechazar los DTI que hayan quedado completamente aplanados durante el pretensado.

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.

Diametro 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

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.

Diametro 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

Equivalente a 0,70 veces la resistencia mínima a tracción de los tornillos ASTM F3125, redondeada al kip más próximo.

Tablas para Tornillos Métricos

Pretensión mínima del tornillo para la Prueba de Verificación Previa a la Instalación, serie métrica.

Diametro del tornillo 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
M36	499	625

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

Pretensión mínima del tornillo según la Tabla J3.1M de AISC 360, serie métrica.

Diametro 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



Equivalente a 0,70 veces la resistencia mínima a tracción de los tornillos F3125M, redondeada al kN más próximo.

Una tensión superior al 105 % del valor indicado en las Tablas 5.2 o J3.1M no será motivo de rechazo cuando se utilicen elementos de fijación ASTM u otros similares. La resistencia última a cortante de un tornillo no se ve afectada por su pretensión (Kulak et al., 1987, pág. 47).

ⁱ La ausencia de indicación puede deberse a orificios sobredimensionados, elementos de fijación de mala calidad, recubrimientos del acero sin curar o excesivamente gruesos, entre otras causas. Para obtener asistencia, póngase en contacto con Applied Bolting Technology en el (802) 460-3100 o en info@appliedbolting.com.

ⁱⁱ 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 todos los puntos no será motivo de rechazo».