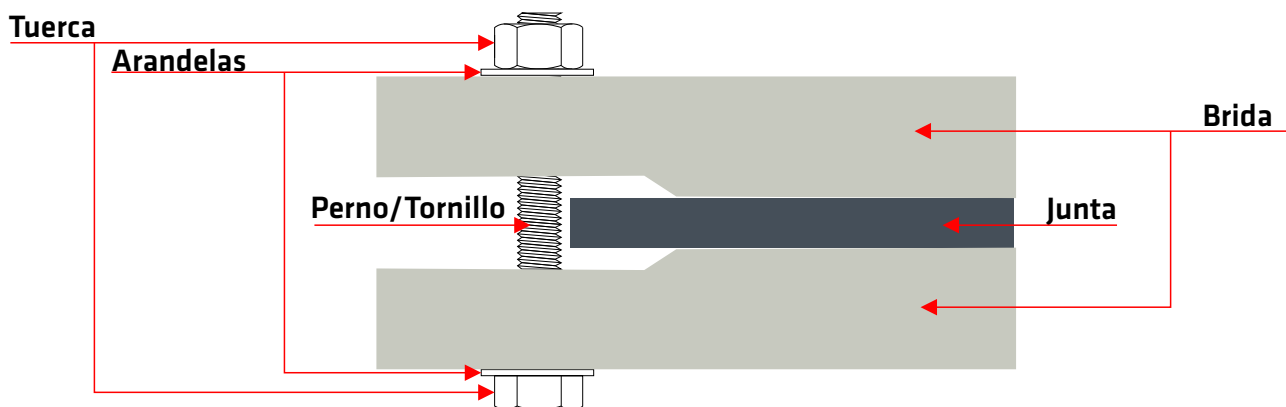


El objetivo primordial de un cierre es contener el fluido para proteger así el entorno inmediato de la contaminación (y vice versa), que puede variar significativamente desde la pérdida de un fluido inocuo (como el vapor, el agua, etc) hasta la pérdida de un fluido tóxico o peligroso. En el primer caso, la pérdida de dicho fluido inocuo conducirá principalmente a una falta de eficacia de la instalación para el operador, aunque dichas fugas pueden aún así presentar riesgos (tales como fugas de agua o vapor a alta presión). Evidentemente, en el segundo caso no es sólo económicamente ineficaz sino que supone un peligro medioambiental

Es importante destacar que para todos estos sistemas, el comportamiento del cierre depende de la interacción de los distintos elementos del sistema:



Sólo cabe esperar que el cierre ofrezca un buen comportamiento durante un plazo de tiempo razonable cuando todos los componentes del sistema están funcionando de forma armónica. La integridad de un cierre seguro depende de:

- una correcta selección de componentes adecuados para la aplicación
- una atenta preparación, limpieza, instalación y montaje
- un correcto apriete y carga de los tornillos



Procedimientos de montaje

Para que el cierre funcione según lo proyectado, es esencial un adecuado montaje de la unión. Este proceso está sujeto a un gran número de variables, incluyendo el estado de todos los componentes, la uniformidad, la dureza, la lubricidad de las superficies, el calibrado de las herramientas, la accesibilidad de los tornillos, el entorno en el que los técnicos deben operar...

Herramientas necesarias

Necesitará herramientas tanto para limpiar la brida como para tensar los tornillos. Los tensores requerirán un calibrado periódico y pueden incluir una llave dinamométrica, una llave de aire comprimido, tensores hidráulicos o de otro tipo.

Limpieza

Para garantizar un buen rendimiento de estanqueidad, deben limpiarse todas las superficies que soporten cargas:

Tornillos / tuercas / arandelas limpiarlas con un cepillo metálico (mejor de latón) para eliminar la suciedad de la rosca

Montaje de brida limpiar las superficies de asentamiento de la junta con los instrumentos apropiados



Inspección visual

Todas las superficies que soportan cargas no deben tener ningún defecto importante. Incluso una junta perfecta será incapaz de sellar una brida seriamente dañada o deformada:

- | | |
|--|--|
| Tornillos / tuercas / arandelas | examinar después de limpiarlos para asegurarse de que no tienen defectos como salientes o grietas |
| Montaje de brida | inspeccionar las superficies de la brida en busca de defectos, como muescas radiales o deformación

asegurarse de que las superficies de la brida están suficientemente horizontales y paralelas |
| Junta | comprobar que disponemos de la junta correcta (adecuada para el servicio, tamaño, espesor)

examinar la junta antes de su instalación para asegurarse de que no tiene defectos |

Si se observa algún defecto, no corra riesgos.

Sustituya los componentes defectuosos con una buena alternativa.



Lubricación

Se estima que, en ausencia de un lubricante adecuado, hasta el 50% del esfuerzo de par de apriete puede emplearse simplemente en vencer la fricción. Efectivamente, esto significaría que el mismo par de apriete aplicado a tornillos no lubricados sobre una unión puede proporcionar cargas notablemente diferentes en cada uno de ellos.

Por lo tanto, la lubricación es esencial cuando el par de apriete se utiliza como control para ajustar la tensión en la junta.

Al elegir un lubricante, deben considerarse los siguientes factores:

- lubricidad*** - cuanto mejor sea el lubricante, menor será el efecto de la fricción.
- compatibilidad*** - el lubricante debe ser compatible con los materiales del tornillo (incluyendo las tuercas y arandelas), y lo ideal es que lo sea también con el fluido procesado. Por ejemplo, lubricantes basados en cobre pueden contaminar el fluido procesado, mientras que los cloruros, fluoruros y sulfuros pueden contribuir a la corrosión de los materiales del tornillo (incluyendo las tuercas y arandelas).
- temperatura*** - asegúrese de que las temperaturas de servicio recomendadas del lubricante están dentro de los límites de temperaturas de servicio del proceso.

Se recomiendan los siguientes procedimientos:

- lubricar las roscas del tornillo y todas las superficies de soporte (cara inferior de las cabezas de tornillos, tuercas, arandelas)
- utilizar sólo lubricantes especificados o aprobados
- aplicar el lubricante de forma consistente como una capa fina y uniforme (evitar los “grumos” de lubricante ya que pueden reducir la eficacia)
- asegúrese de que el lubricante no contamina ni la brida ni las caras de la junta
- evite la contaminación del lubricante almacenándolo en un contenedor cerrado (del mismo modo, evite contaminar la junta con el lubricante). Tras su uso, almacénelo en una zona “limpia”



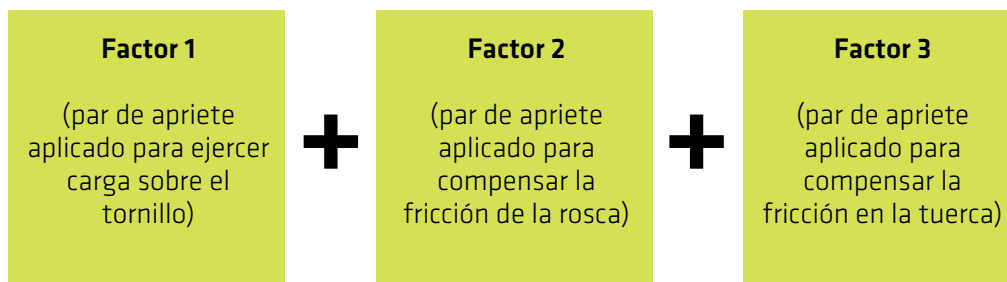
Instalación y centrado de la junta

Previamente a la instalación, asegúrese de que los componentes de la brida están correctamente montados y que las superficies de acoplamiento de la brida están paralelas.

- inserte cuidadosamente la nueva junta entre las bridas para evitar daños en las superficies de la junta.
- para juntas espirometálicas de gran diámetro, asiente la junta en su soporte sobre la brida, quite las correas de sujeción, deslice la junta de su soporte sobre la brida utilizando el número de personas necesario para evitar dañar la junta.
- asegúrese de que la junta está centrada en la brida,
- no utilice cinta adhesiva para sujetar la junta a la brida. Si es necesario sujetar la junta a la brida, utilice una ligera pulverización de spray adhesivo.
- reúna los componentes de la unión (incluyendo las bridas y la junta) y examínelos para asegurarse de que se han ajustado aceptablemente.
- tenga cuidado, al juntar las bridas, de asegurarse de que la junta no quede pillada o dañada de cualquier otra forma.

Cálculo del par de apriete

A pesar de los avances para mejorar la reproducibilidad de la fijación de uniones embridadas (tales como tornillos de control de tensión, dispositivos de tensionamiento hidráulicos, análisis ultrasónico de tornillos y métodos simultáneos par de apriete/giro), el par de apriete continúa siendo el método más popular para controlar el apriete de las uniones. Al utilizar métodos de apriete del par de apriete, hay 3 factores que deben tenerse en cuenta a fin de garantizar que se producen las fuerzas necesarias:



Estos factores incluyen la precarga sobre la cara de contacto del tornillo. Los factores 1 y 2 incluyen las dimensiones de la rosca y el factor 3 incluye las dimensiones de la tuerca. Los factores 2 y 3 incluyen el coeficiente de fricción entre estas superficies, que depende del tipo de lubricante utilizado.

Se debe insistir en que la fricción contribuye de forma significativa al par de apriete que debe aplicarse, y por lo tanto el uso de lubricantes especificados es crucial para un buen control del par de apriete.

De forma simplificada, para tornillos, arandelas, tuercas, etc lubricadas, la relación entre par de apriete y carga de tornillo puede representarse como:

$$T = L \times 0,2 \times db$$

donde:

T= par de apriete por tornillo en N.m (in-lbf)
L= carga por tornillo en kN (lbf)
db= diámetro del tornillo en mm
0,2= factor de pérdida debida a la fricción

Téngase en cuenta que el factor 0,2 puede variar considerablemente. Puede incrementarse hasta 0,3 para sistemas sin lubricar, o reducirse a 0,15 para lubricantes con un bajo coeficiente de fricción.

Otros puntos que hay que considerar:

- la resistencia a la compresión del material de junta
- el empuje hidrostático axial aumentará la tensión del tornillo bajo la presión interna de servicio
- utilizar un esfuerzo de tornillo que represente menos del 50% del límite elástico puede causar problemas
- la mayoría de las bridas se aprietan mediante métodos ordinarios de apriete, y supone una ventaja tener esfuerzos de proyecto que puedan lograrse así (lo que resulta frecuentemente imposible para tornillos de grandes diámetros).

Patrón de apriete de tornillos / clavos

Una de las tareas más difíciles es producir la presión de montaje correcta sobre la junta, lo suficientemente baja para evitar dañar la junta, pero lo suficientemente alta como para prevenir una fuga en el cierre. Consecuentemente, al apretar los tornillos en una brida con cualquier tipo de junta (como una junta de plancha) que no incorpore un tope metálico, no usar nunca una herramienta de impacto o una barra hueca. Es de vital importancia controlar con precisión la cantidad de fuerza aplicada a cualquier disposición de brida en particular, y por lo tanto:

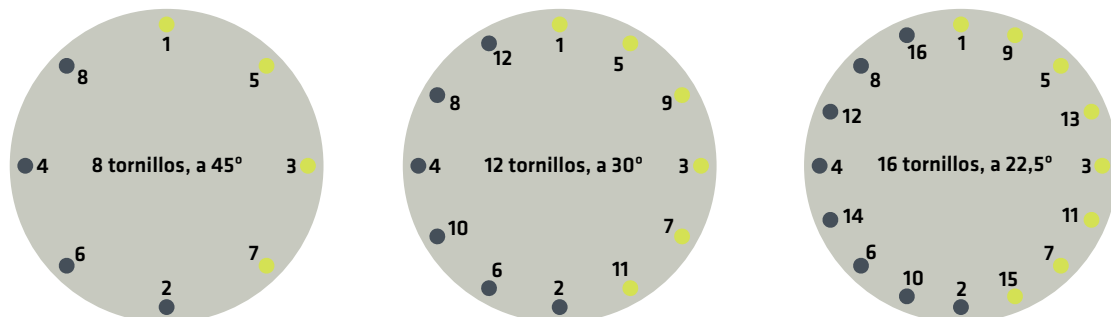
utilizar siempre una llave dinamométrica o cualquier otro dispositivo de tensionamiento controlado (calibrado recientemente)

La secuencia en que se aprietan los tornillos tiene una influencia sustancial sobre la distribución de la presión de montaje sobre la junta. Un atornillamiento inadecuado puede hacer que la brida pierda su paralelismo. Una junta será normalmente capaz de compensar una pequeña cantidad de distorsión de este tipo, pero pueden surgir dificultades graves si las bridas pierden substancialmente su paralelismo. En consecuencia:

apretar siempre las tuercas según un patrón de apriete cruzado

Apretar siempre las tuercas y tornillos manualmente. Esto constituye una indicación de que las roscas están en buen estado (si las tuercas no se pueden apretar manualmente, es probable que exista algún defecto en la rosca; compruébelo de nuevo y, si es necesario, sustituya las partes defectuosas).

A continuación apriete la unión utilizando un mínimo de 5 pasos, empleando una secuencia de apriete cruzado para cada vuelta, tal y como se muestra. Se recomienda el procedimiento siguiente:



Patrón de apriete cruzado

Paso 1- Apretar primero las tuercas manualmente dejando holgura, según el patrón de apriete cruzado, a continuación apretar manualmente de manera uniforme.

Paso 2- Utilizando una llave dinamométrica, girar hasta un máximo del 30% del total del par de apriete todos los tornillos, según el patrón de apriete cruzado. Comprobar que la brida se soporta uniformemente sobre la junta.

Paso 3- Girar hasta un máximo del 60% del total del par de apriete, según el patrón de apriete cruzado.

Paso 4- Girar hasta el total del par de apriete, según el patrón de apriete cruzado.

Paso 5- Vuelta final hasta el par de apriete, en dirección de las agujas del reloj en los tornillos adyacentes.

Tras completar las cinco vueltas básicas de apriete, puede ser beneficioso repetir la vuelta 5 hasta que no se observe ninguna rotación de la tuerca. El apriete final debe ser uniforme, de forma que cada tornillo soporte la misma carga.



Reapriete

En la mayoría de los materiales del sistema de brida (incluyendo las juntas, tornillos, tuercas, arandelas), la relajación comienza tras un período de tiempo bastante breve. En los materiales de juntas blandas, uno de los principales factores es normalmente la relajación por fluencia de la junta. Estos efectos se acentúan a altas temperaturas, con el resultado neto de que la compresión sobre la junta se reduce, aumentando así la posibilidad de una fuga.

Ciertamente, debe ponerse mucho cuidado al repetir los ajustes del par de apriete con el fin de evitar dañar la junta. Esto es especialmente importante en el caso de juntas con áreas de estanqueidad relativamente estrechas, ya que el esfuerzo sobre la junta tiende a ser alto y, por lo tanto, más cercano al límite que la junta puede soportar.

Los materiales de junta basados en elastómeros continúan reticulando en servicio, especialmente en la puesta en marcha hasta alcanzar la temperatura de servicio. Una vez que han reticulado totalmente, los materiales de junta pueden tornarse frágiles y tendentes a casarse bajo una carga excesiva, y este es el caso especialmente de los materiales sin amianto basados en elastómeros.

No reajustar el par de apriete de una junta sin amianto basada en elastómeros después de que haya sido expuesta a temperaturas elevadas



Principales recomendaciones

Visión global del sistema de brida /tornillo /junta. La integridad del cierre depende de:

- una correcta selección de componentes adecuados para la aplicación
- una atenta preparación, limpieza, instalación y montaje
- un correcto apriete y carga de los tornillos

Disposiciones de brida/junta:

- la elección de un material de junta apropiado es importante en lo que respecta al acabado y aplicación de la brida
- no usar nunca menos tornillos que el número determinado para la brida

Al seleccionar los tornillos (tornillos o espárragos):

- seleccionar tornillos con la suficiente resistencia a la tracción como para garantizar que están dentro de su límite elástico bajo la carga requerida
- seleccionar tornillos/espárragos con el mismo módulo de elasticidad
- asegurarse de que no hay corrosión en los tornillos
- no reutilice los tornillos

Al seleccionar las tuercas:

- seleccionar tuercas con una carga de prueba especificada un 20% superior a la resistencialímite a la tracción de los tornillos

Arandelas:

- utilizar siempre arandelas
- utilizar el mismo material para las arandelas y las tuercas

Selección de juntas:

- es importante utilizar siempre una junta de buena calidad de un suministrador de confianza, ya que el coste de una junta es insignificante si se compara con el coste de los tiempos de inactividad y las consideraciones de seguridad.

Selección del espesor:

- asegúrese de que la junta es lo mas fina posible

Corte de las juntas:

- utilizar un buen cortante
- no tratar nunca de cortar una junta martillando el material contra la brida
- asegúrese de que la junta es del tamaño correcto
- corte los agujeros de los tornillos ligeramente mas grandes que el diámetro del eje del tornillo
- asegúrese de que el diámetro interior de la junta no es menor que el diámetro interior de la línea de proceso



Almacenamiento de juntas y materiales de junta:

- Almacénelas en un lugar seco y fresco, lejos de la luz directa del sol, del agua, el aceite y otras sustancias químicas
- almacene las planchas para juntas en horizontal
- evite que las juntas queden colgando. Almacene las juntas en horizontal. Las juntas espirometálicas de gran diámetro deben conservarse en posición horizontal
- las juntas deben conservarse limpias y exentas de daños mecánicos (a poder ser almacénelas en bolsas selladas)

Manipulación de juntas y materiales de juntas:

- transporte las juntas con cuidado, lo ideal es hacerlo dentro de alguna funda protectora
- no las doble o las combe
- no dañe la superficie
- para juntas metálicas y semimetálicas de gran diámetro, transporte siempre la junta en su soporte hasta el lugar de instalación

Reutilización de juntas/tornillos:

- no reutilice las juntas o tornillos

Procedimientos de montaje, inspección visual:

- sustituya los componentes defectuosos con una buena alternativa. Si tiene dudas, asesórese

Lubricación:

- lubricar las roscas del tornillo y todas las superficies de soporte (cara de contacto de las cabezas de tornillos, tuercas, arandelas)
- utilizar sólo lubricantes especificados o aprobados
- aplicar el lubricante de forma consistente como una capa fina y uniforme
- asegúrese de que el lubricante no contamina ni la brida ni las caras de la junta
- evite la contaminación del lubricante almacenándolo en un contenedor cerrado. Tras su uso, almacénelo en una zona "limpia"



Instalación y centrado de juntas:

- inserte cuidadosamente la nueva junta entre las bridas para evitar daños en las superficies de la junta
- para juntas espirometálicas de gran diámetro, asiente la junta en su soporte sobre la brida, quite las correas de sujeción, deslice la junta de su soporte sobre la brida utilizando el número de personas necesario para evitar dañar la junta
- asegúrese de que la junta está centrada en la brida
- no utilice cinta adhesiva para sujetar la junta a la brida. Si es necesario, utilice una ligera pulverización de spray adhesivo
- no utilice compuestos de unión o agentes de aflojamiento
- reúna los componentes de la unión (incluyendo las bridas y la junta) y examínelos para asegurarse de que se han ajustado aceptablemente
- tenga cuidado, al juntar las bridas, de asegurarse de que la junta no quede pillada o dañada de cualquier otra forma

Patrón de apriete de tornillos:

- utilizar siempre una llave dinamométrica o cualquier otro dispositivo de tensionamiento controlado (calibrado recientemente)
- apretar siempre los tornillos o las tuercas según un patrón de apriete cruzado

Apretar utilizando un mínimo de 5 pasos:

- Paso 1**- Apretar primero las tuercas manualmente dejando holgura, según el patrón de apriete cruzado, a continuación apretar manualmente de manera uniforme.
- Paso 2**- Utilizando una llave dinamométrica, girar hasta un máximo del 30% del total del par de apriete todos los tornillos, según el patrón de apriete cruzado. Comprobar que la brida se soporta uniformemente sobre la junta.
- Paso 3**: Girar hasta un máximo del 60% del total del par de apriete, según el patrón de apriete cruzado
- Paso 4**: Girar hasta el total del par de apriete, según el patrón de apriete cruzado
- Paso 5**: Vuelta final hasta el par de apriete, en dirección de las agujas del reloj en los tornillos adyacentes

Reajuste del par de apriete:

- no reajustar el par de apriete de una junta sin amianto basada en elastómeros después de que haya sido expuesta a temperaturas elevadas



Guía para minimizar los fallos en las uniones

Se puede producir un fallo del cierre cuando cualquier componente del sistema de brida/tornillo/junta no funciona correctamente. El resultado normal es una fuga en la unión, que puede ser prácticamente indetectable al principio y acumularse a lo largo del tiempo, o puede ser un fallo drástico y repentino. Se observa principalmente cuando los tornillos dejan de cumplir su función de sujeción, normalmente cuando proporcionan una fuerza demasiado pequeña, pero en ocasiones cuando ejercen demasiada fuerza.

Aunque esta lista no es en absoluto exhaustiva (hay mas información disponible en otras publicaciones⁵), a continuación se enumeran algunos fallos comunes:

Fallos debidos al tornillo

Los tornillos que están insuficientemente apretados son la causa mas común de fallos en las uniones, que pueden ser resultado de:

- un montaje incorrecto
- un fallo del tornillo
- el auto-aflojamiento
- la fatiga o relajación a lo largo del tiempo

Por otra parte, cuando un tornillo está demasiado prieto (normalmente como resultado de la labor de un técnico demasiado entusiasta en el montaje), la unión puede fallar debido a que la carga excesiva ha:

- aplastado la junta
- estimulado la corrosión bajo tensión
- incrementado la fatiga

El fallo del tornillo se produce cuando la carga aplicada supera la resistencia límite del tornillo o las roscas, y por diversas razones, normalmente:

- los tornillos no cumplen las especificaciones de diseño (se rompen durante el montaje o a temperaturas elevadas)
- apriete excesivo durante el montaje
- corrosión
- corrosión bajo tensión
- fatiga



Fallos debidos a la junta

Pueden ser resultado de diversas causas, como:

- elección de una junta incorrecta para las condiciones de aplicación
- elección de un espesor de junta incorrecto, especialmente en juntas blandas
- excursiones fuera de las condiciones normales de operación o momentos de flexión en las tuberías
- juntas dañadas en el almacenamiento, manipulación o instalación
- juntas aplastadas por una carga excesiva durante el montaje
- deterioro a lo largo del tiempo
- juntas reutilizadas
- reajuste del apriete tras exposición a temperaturas de servicio (elevadas)

Fallos debidos a la brida

Es bastante inusual, pero pueden darse como resultado de:

- superficies de la brida dañadas
- bridas deformadas
- bridas no paralelas
- corrosión
- bridas que no están limpias al montarlas

Minimización de los riesgos de fallo en la unión

De la lista anterior de principales causas de fallo en las uniones, resulta obvio que la selección de los materiales correctos para la aplicación es fundamental. Asegúrese de que todos los componentes de la unión son compatibles entre sí y con las condiciones a las que tienen que hacer frente durante el servicio. Permita un margen adicional de seguridad, por si acaso las condiciones de aplicación se alejan de las condiciones operativas previstas (conocidas como “desviaciones”).

Siga las principales recomendaciones sobre almacenamiento y manipulación de juntas (y las recomendaciones de corte cuando proceda) formuladas a lo largo de esta publicación.


Siga las principales recomendaciones sobre limpieza e inspección visual, para asegurarse de que los componentes de la unión no tienen defectos y son aptas para el uso subsiguiente.

La lista anterior también destaca la necesidad de unas prácticas de montaje adecuadas. No se puede esperar que una unión proporcione un cierre seguro si no se une con el suficiente cuidado. Asegúrese de que los técnicos implicados tengan una formación minuciosa en procedimientos de montaje y se les haya instruido sobre los retos que tienen que afrontar in situ. Siga las principales recomendaciones sobre instalación, montaje y apriete de tornillos.

La corrosión es uno de los retos más comunes sobre el terreno. Puede afectar a la integridad de la fuerza de sujeción y reducirá la vida de los componentes de la unión. Requiere la concurrencia de estas cuatro condiciones:

- un ánodo
- un cátodo
- un electrolito
- una conexión eléctrica entre ánodo y cátodo

Si puede eliminarse alguna de las condiciones, no se producirá la corrosión. Una solución es mantener seca la zona realizando agujeros de drenaje (no siempre es factible) o, más comúnmente, seleccionar tornillos fabricados con un material resistente a la corrosión. Y el método más popular de todos, aplicar algún tipo de revestimiento protector sobre el tornillo y/o la brida.



Corrosión bajo tensión (CBT) es el resultado de una combinación de esfuerzo y ataque electroquímico. Simplemente el aire húmedo o una huella dactilar sucia son suficientes para iniciar la CBT. Es una forma específica de corrosión y requiere:

- un material susceptible
- un electrolito
- un defecto inicial
- niveles de esfuerzo por encima de un límite

Todos los tornillos metálicos son susceptibles de CBT bajo ciertas condiciones, pero la mayor parte del problema puede minimizarse con un tratamiento térmico adecuado. Al igual que con la corrosión, la aplicación de un revestimiento adecuado (aluminio, cerámica, grafito) sobre los tornillos puede minimizar el contacto con el electrolito. Sin embargo, el control del esfuerzo es la forma más común de reducir la CBT, manteniendo el nivel de esfuerzo en los tornillos por debajo de un límite dado (específico para el material).

La **fatiga** depende del tiempo y requiere:

- un material susceptible
- niveles de esfuerzo elevados por encima de un límite de resistencia
- un esfuerzo cíclico de tensión
- un defecto inicial

En general, cuanto mayores sean las cargas, más rápidamente se afianzará la fatiga. El aspecto que normalmente tiene un mayor efecto sobre la reducción de la fatiga de la unión es la reducción de las desviaciones de carga. Por tanto, identifique y obtenga la precarga correcta en los tornillos. Fíjese en las diferencias de precarga máxima entre tornillos con roscas laminadas o mecanizadas. Sustituya también periódicamente los tornillos antes de que fallen (es aconsejable llevar registros de cuánto han durado entre fallos, y reducir un poco el marco de tiempo para lograr un margen de seguridad razonable). Lo ideal por supuesto es sustituir siempre los tornillos al volver a montar la unión.

El **autoaflojamiento** se produce normalmente en presencia de vibraciones y requiere:

- un movimiento relativo entre el tornillo, la tuerca y los componentes de la unión
- cargas cíclicas perpendiculares al eje del tornillo

Se combate frecuentemente evitando el deslizamiento entre el tornillo, la tuerca y/o los componentes de la unión mediante tuercas o arandelas de tope mecánico, o mediante el uso de adhesivos.

Resumen esquemático

