MACOGA
ENGINEERED EXPANSION JOINTS

Inspección periódica en servicio de compensadores de dilatación metálicos

v1-12/2025

Inspección periódica en servicio de compensadores de dilatación metálicos

Introducción 3

Frecuencia de inspección 3

Causas para la inspección 4

Procedimientos de examen visual 4

Inspección no destructiva (NDE) 5

Criterios de aceptación y rechazo 6

Consideraciones para diferentes condiciones de servicio 8

Resumen de buenas prácticas 9

Aviso legal – Limitación de responsabilidad

Este documento se proporciona únicamente a título informativo y constituye una guía técnica general sobre la inspección periódica en servicio de los compensadores de dilatación metálicos. Aunque refleja buenas prácticas de ingeniería y se basa en normas reconocidas, no sustituye la responsabilidad del propietario de la planta, del operador o del contratista de mantenimiento de llevar a cabo las evaluaciones de riesgos, inspecciones y análisis de ingeniería adecuados según su aplicación y condiciones de operación específicas.

MACOGA S.A. no se hace responsable de ningún daño, lesión, pérdida o fallo operacional resultante de una aplicación inadecuada de la información contenida en este documento.

Cada sistema presenta características y limitaciones de operación únicas; por lo tanto, todas las acciones de inspección y mantenimiento deben ser evaluadas y aprobadas por personal técnico competente y, cuando corresponda, por el Equipo Técnico de MACOGA.

En aplicaciones críticas o en caso de duda, consulte siempre con el Servicio Técnico de MACOGA antes de proceder.

MACOGA, S.A.
Leira s/n - 15680 Ordes - A Coruña - Spain
Tel: +34 981 68 00 00
macoga@macoga.com www.macoga.com

Introducción

Las inspecciones periódicas en servicio de los compensadores de dilatación metálicos deben ser realizadas únicamente por personal competente y experimentado, con conocimientos específicos en tecnología de fuelles, mecanismos de fallo y riesgos operativos.

MACOGA cuenta con especialistas altamente cualificados, con décadas de experiencia en diseño, fabricación, ensayo e inspección de compensadores de dilatación metálicos para servicios críticos, incluyendo generación de energía, refinerías, plantas petroquímicas, unidades FCC/RFCC y aplicaciones criogénicas.

Nuestros equipos técnicos ofrecen servicios de inspección in situ en todo el mundo, apoyando al personal de planta durante la operación, paradas y análisis de causa raíz tras incidentes.

Dada la función crítica de seguridad de los compensadores de dilatación, se recomienda encarecidamente a los usuarios consultar con especialistas de MACOGA antes de cualquier actividad de inspección, reparación o servicio cuando exista incertidumbre sobre el estado del compensador o su aptitud para el servicio.

⚠ Advertencia de seguridad – Inspección de compensadores de dilatación en sistemas en operación

Las inspecciones de compensadores de dilatación en sistemas presurizados o en operación entrañan riesgos inherentes, incluyendo roturas súbitas, liberación de fluidos calientes, gases tóxicos o chorros de alta energía.

Antes de realizar cualquier actividad de inspección:

- Asegúrese de que el sistema esté despresurizado, aislado y enfriado siempre que sea posible.
- Aplique procedimientos adecuados de bloqueo y etiquetado según las normas de seguridad de la planta.
- Utilice el equipo de protección individual (EPI) apropiado.
- Mantenga distancias seguras respecto a fuelles y tuberías presurizados.
- Nunca se sitúe en línea con el compensador ni con su posible trayectoria de ruptura.

Si, por limitaciones del proceso, la inspección debe realizarse con el sistema en operación, solo deberá efectuarla personal formado, siguiendo los procedimientos de seguridad y evaluaciones de riesgo específicas del emplazamiento.

MACOGA desaconseja firmemente realizar inspecciones visuales de proximidad en compensadores de dilatación presurizados o a alta temperatura sin medidas de protección adecuadas.

Los compensadores de dilatación metálicos son componentes críticos en tuberías y equipos industriales, diseñados para absorber dilatación térmica, vibración y otros movimientos. Con el tiempo y los ciclos de operación, estos compensadores basados en fuelles pueden degradarse debido a fatiga mecánica, corrosión u otros esfuerzos.

La inspección periódica en servicio es, por tanto, esencial para garantizar una operación segura continuada y prevenir fallos. Este documento reúne orientaciones clave sobre intervalos de inspección, métodos (visuales y no destructivos), criterios de aceptación, documentación y consideraciones especiales para diversas condiciones de servicio.

Frecuencia de inspección

Establecer un programa estructurado de inspección es el primer paso para gestionar la integridad de los compensadores de dilatación. Los usuarios deben implantar un sistema de registro de compensadores de dilatación para documentar la identidad de cada unidad y sus parámetros de servicio.

Ninguna norma establece intervalos fijos para las inspecciones en servicio de los compensadores de dilatación metálicos. La frecuencia de inspección deberá ser definida por el propietario en función de la severidad del servicio, las condiciones de operación y la criticidad de la instalación.

Como guía general:

- Se debe realizar una inspección inicial después de la puesta en marcha, seguida de inspecciones periódicas basadas en las condiciones reales de servicio.
- Los compensadores de dilatación que operan con medios peligrosos o letales, bajo condiciones severas de ciclos, o en sistemas críticos para la disponibilidad de la planta, deberán inspeccionarse con mayor frecuencia (por ejemplo, en cada parada programada o al menos una vez al año).
- Para servicios no críticos y no peligrosos, pueden aceptarse intervalos de inspección más largos, siempre que las condiciones de operación permanezcan estables.
- Cualquier cambio significativo en la presión de operación, temperatura, fluido de proceso, nivel de vibración o movimiento impuesto deberá desencadenar una revisión de ingeniería inmediata y, cuando proceda, una inspección adicional no programada.

Causas para la inspección

Además de los intervalos basados en tiempo, ciertos eventos o indicios deben motivar una inspección independientemente del calendario previsto. Entre ellos:

- **Pruebas posteriores a la instalación:** Inmediatamente después de la instalación y de cualquier prueba inicial de presión, debe realizarse una revisión visual detallada para detectar fugas, problemas de anclaje o movimientos inesperados. Señales como fugas o pérdida de presión, deformación de anclajes o herrajes, inestabilidad del fuelle (squirm), bloqueo de las guías o cualquier anomalía observada durante la prueba de presión deben investigarse antes de poner el compensador en plena operación.

- **Inspecciones programadas:** Las inspecciones en servicio de los compensadores de dilatación deben realizarse conforme al programa de inspección y mantenimiento periódico de la planta. Estas inspecciones incluyen comprobaciones rutinarias durante la operación normal, así como inspecciones más detalladas llevadas a cabo durante paradas programadas y mantenimientos mayores.

- **Eventos de operación anómalos:** Si el sistema sufre un evento de sobrepresión por encima de la capacidad nominal del compensador de dilatación o un golpe de ariete/ondas de choque, es prudente realizar una inspección para comprobar si existe alguna deformación o daño. Asimismo, cualquier incidente de movimiento inesperado de la tubería o desplazamiento de anclajes debe dar lugar a una inspección inmediata del compensador y de sus elementos de soporte.

- **Alcance de la vida útil o de ciclos de diseño:** Los compensadores de dilatación tienen una vida de fatiga finita basada en el número de ciclos de movimiento. A medida que el compensador se acerca a su vida de ciclos de diseño (registrada en los datos de diseño), debe planificarse una intensificación de la inspección o medidas preventivas, especialmente en servicios críticos.

- **Sistemas de monitorización:** Algunos compensadores están equipados con sistemas de monitorización del estado, como fuelles de doble pared testables con manómetro o indicador emergente entre paredes. Los compensadores equipados con estos dispositivos de aviso deben inspeccionarse con mayor frecuencia, ya que suelen emplearse en aplicaciones más críticas.

En resumen, los intervalos de inspección deben establecerse según el nivel de riesgo: por ejemplo, revisiones trimestrales o semestrales para compensadores de dilatación altamente críticos (para detectar signos tempranos de deterioro), y tal vez intervalos de varios años para aquellos menos críticos, siempre alineados con los requisitos normativos de cada sector industrial.

Procedimientos de examen visual

La base de toda inspección en servicio es un examen visual exhaustivo del compensador de dilatación y de su herraje asociado.

La inspección visual puede realizarse externamente mientras el compensador está en servicio (si es accesible y existen condiciones seguras) y de manera más completa durante paradas programadas, cuando el sistema está despresurizado y el compensador es accesible.

Preparación y seguridad: Siga procedimientos estrictos de seguridad. No inspeccione compensadores de dilatación presurizados sin las precauciones adecuadas. Siempre que sea posible, asegure que el sistema esté despresurizado y frío, utilice el EPI adecuado y retire cualquier aislamiento o cubierta que impida la visibilidad. Si el acceso está limitado por cubiertas o camisas internas fijas, utilice métodos alternativos como inspección con boroscopio.

Aspectos a revisar:

- **Fugas o goteos:** Compruebe cualquier indicio de fuga en las ondas del fuelle o en las soldaduras (como manchas características, goteos, rociados o silbidos en el caso de gas). Incluso una fuga microscópica es motivo de preocupación. Si se ha instalado un fuelle de doble pared testable, verifique el dispositivo de monitorización (manómetro) para detectar cualquier incremento de presión que indique una fuga en la pared interior.

- **Deformación del fuelle:** Examine la forma de las ondas. Deben ser simétricas y uniformes. El squirm, un fenómeno de inestabilidad, se manifiesta como deformaciones o pandeos pronunciados del fuelle bajo presión y constituye una señal de alarma grave. Si el fuelle parece deformado, excesivamente aplanado o abultado en ciertas zonas, puede haber sufrido squirm o sobrecompresión/sobreextensión. La sobreextensión o sobrecompresión puede observarse cuando el fuelle parece estirado o arrugado más allá de lo normal y suele deberse a movimientos imprevistos o a una instalación incorrecta. Cualquier deformación excesiva o desigual requiere una evaluación de ingeniería.

- **Daños mecánicos:** Busque abolladuras, golpes o arañazos en la superficie del fuelle. Las abolladuras pueden reducir notablemente la vida del fuelle, especialmente las de radio pequeño que actúan como concentradores de tensiones. Una abolladura amplia y superficial es menos dañina que un pliegue marcado. Si existen abolladuras, anote su profundidad y nitidez; cualquier abolladura grave (especialmente en la cresta o valle de una onda) debe evaluarse para posible sustitución.

- **Irregularidades de la superficie del fuelle:** Inspeccione la presencia de arrugas o torsiones en las ondas. Arrugas circunferenciales en el fuelle indican torsión, lo que significa que el compensador ha sido sometido a un esfuerzo para el que no está diseñado. La presencia de tales arrugas

implica la sustitución del compensador y la modificación del sistema para eliminar torsiones en la nueva unidad. Asimismo, busque abultamientos o ondas hinchadas, que pueden indicar sobrepresión interna o grietas en desarrollo bajo la superficie.

— **Corrosión y adelgazamiento:** Inspeccione el fuelle para detectar corrosión, picaduras, óxido o adelgazamiento de pared. Una decoloración inusual o descamación puede indicar daño por corrosión. En caso de picaduras significativas, mida el espesor remanente de pared mediante ultrasonidos para verificar que cumple el mínimo requerido. Entre los problemas típicos se encuentran corrosión generalizada en acero al carbono y picaduras o agrietamiento por corrosión bajo tensión inducida por cloruros en acero inoxidable, a menudo causados por humedad atrapada en el aislamiento. Por ello, los compensadores aislados deben inspeccionarse periódicamente bajo el aislamiento para detectar corrosión oculta.

— **Grietas:** Las grietas visibles en el fuelle o en las soldaduras son hallazgos críticos. A veces pueden observarse grietas pequeñas que irradian desde la raíz de las ondas o en las soldaduras de unión del fuelle a la brida o tubería. Cualquier grieta, por pequeña que sea, es inaceptable para continuar en servicio. Si se sospecha la presencia de una grieta, confirme mediante ensayo por líquidos penetrantes. Las grietas en las soldaduras de unión (fuelle-extremo) son especialmente peligrosas y suelen requerir reparación inmediata o sustitución.

— **Herrajes de fijación:** Inspeccione todos los elementos externos unidos al compensador. Esto incluye tirantes, placas de bisagra, anillos cardán, pletinas, etc. Busque distorsión, doblado o rotura. En servicios severos, cualquier orejeta o accesorio soldado al fuelle puede ser un punto potencial de inicio de grietas. Si es posible, retire o levante las cubiertas protectoras para ver debajo. Verifique también que los anclajes y guías de tubería alrededor del compensador estén intactos y no cedidos; un anclaje deformado, aunque no forme parte del conjunto del compensador, puede permitir movimientos imprevistos de la tubería y sobrecargar el fuelle.

— **Limpieza y objetos extraños:** Con frecuencia, durante la construcción o el mantenimiento, pueden entrar residuos en las ondas del fuelle (piedras, tuercas, varillas de soldadura, etc.). Compruebe visualmente que las ondas estén libres de cualquier material extraño que pueda restringir el movimiento. Retire cualquier residuo encontrado. Del mismo modo, asegúrese de que los orificios de drenaje (si existen en la cubierta del fuelle) no estén obstruidos y de que no haya acumulación de suciedad en las partes móviles.

— **Componentes del compensador de dilatación:** Compruebe el estado de las bridas, camisas internas, cubiertas exteriores y tubería próxima al fuelle. En compensadores con bridas, revise deformaciones de brida o fugas en juntas. Las camisas internas (si existen) no deben mostrar erosión visible ni desprendimiento. Si el compensador dispone de una cubierta exterior, inspecciónela para detectar daños o fijación defectuosa.

Iluminación y acceso: Utilice una linterna potente y espejos según sea necesario para observar todas las superficies del fuelle. Si es accesible, observe la pieza desde múltiples ángulos. En compensadores de gran tamaño, rodear la unidad y mirar cada onda desde el lateral puede revelar desalineaciones sutiles o problemas. En casos donde el acceso visual directo esté limitado, considere el uso de un boroscopio para inspeccionar áreas ocultas. Un boroscopio introducido por una abertura disponible puede mostrar el estado de la superficie interior o la parte posterior de las ondas del fuelle.

Después de la inspección visual, documente todos los hallazgos, incluyendo ubicación y gravedad, y adjunte fotografías cuando sea posible para su trazabilidad o para consulta con ingeniería o el Departamento Técnico de MACOGA. Registre la inspección en el libro de mantenimiento con los resultados. Si no se identifican problemas, el compensador puede permanecer en servicio hasta la siguiente inspección programada. Si se observan condiciones anómalas, proceda con ensayos no destructivos adicionales o inicie acciones correctivas.

Inspección no destructiva (NDE)

La inspección visual, aunque esencial, tiene sus límites y pequeñas grietas o fallos internos pueden no ser evidentes a simple vista. Para lograr una evaluación completa, especialmente cuando las indicaciones visuales sugieren posibles daños, deben emplearse técnicas de inspección no destructiva (NDE).

— **Ensayo por líquidos penetrantes (PT):** El examen con penetrantes líquidos es un método excelente para revelar grietas abiertas en superficie en los fuelles metálicos y en las soldaduras. Puede aplicarse un kit de penetrante (tinte rojo visible o fluorescente) en zonas sospechosas como raíces de ondas, soldaduras circunferenciales y soldaduras de unión. Si PT confirma la existencia de una grieta, el compensador de dilatación debe retirarse del servicio para reparación o sustitución.

— **Ensayo por partículas magnéticas (MT):** Para compensadores fabricados en acero ferrítico (acero al carbono o inoxidable ferrítico), el examen por partículas magnéticas puede utilizarse para detectar grietas superficiales o ligeramente subsuperficiales. Es útil en herrajes o soldaduras de componentes de acero al carbono del conjunto del compensador (como bridas, bisagras, etc.). MT se emplea menos en los fuelles, ya que muchos están fabricados en acero inoxidable austenítico no magnético; no obstante, si el material del fuelle es magnético y de suficiente espesor, podría aplicarse.

— **Medición de espesor por ultrasonidos:** La medición de espesor por ultrasonidos es un método práctico de NDE para evaluar el adelgazamiento de la pared del

fuelle. Se mide el espesor en zonas accesibles de las ondas y se compara con los datos de diseño originales. Una pérdida de pared superior al 10–20% indica corrosión activa. Si el espesor remanente está por debajo de los límites de seguridad, debe planificarse la sustitución del compensador. El ultrasonido también puede ayudar a identificar delaminaciones internas en fuelles multicapa, aunque requiere interpretación especializada.

— **Pruebas de fugas:** Si se sospecha una fuga pero no se confirma visualmente (por ejemplo, un poro muy pequeño o un servicio con gas donde las evidencias visuales son difíciles de apreciar), pueden utilizarse pruebas de fugas como el ensayo con solución jabonosa. Un método habitual consiste en presurizar el sistema (o, si está en servicio y es seguro, mantenerlo a presión de operación) y aplicar una solución jabonosa alrededor del fuelle y las soldaduras; la formación de burbujas indicará la fuga. Para sistemas muy críticos puede emplearse un gas trazador (helio) con un detector o ensayos de decaimiento de presión, aunque requieren equipos especializados. Cualquier fuga confirmada significa que el compensador no es estanco y debe retirarse del servicio lo antes posible.

— **Radiografía u otros métodos avanzados de NDE:** En la mayoría de las situaciones en servicio, el examen radiográfico (RT) de un compensador instalado no es práctico debido a la geometría del fuelle y a la necesidad de acceso para la fuente y el detector. Puede emplearse RT si se inspecciona una reparación de soldadura o si se sospecha la existencia de defectos internos en una soldadura de unión que PT no pueda revelar (como una grieta interna en un filete grueso de brida). En casos especiales se ha utilizado emisión acústica durante la presurización para detectar sonidos de crecimiento activo de grietas en el fuelle, aunque se trata de una técnica especializada.

— **Inspección de herrajes mediante NDE:** En entornos de servicio severo, las uniones soldadas pueden ser puntos potenciales de iniciación de grietas. Este paso es prudente en cualquier compensador que haya estado durante largo tiempo en servicio sometido a altos esfuerzos o cuando la inspección visual muestre decoloraciones o pequeñas muescas alrededor de una soldadura de unión. Asimismo, si existen bisagras o tirantes, deben inspeccionarse sus pasadores, tuercas y soldaduras mediante MT o PT para detectar grietas.

Documentación de los ensayos NDE: Tras realizar los ensayos NDE, deben documentarse todos los resultados. Si los resultados son aceptables (sin indicaciones o con indicaciones dentro de límites seguros), el compensador puede continuar en servicio. El personal de NDT debe estar cualificado y deben emitirse informes apropiados. El informe de inspección debe incluir el método NDE utilizado, las áreas examinadas, las cualificaciones del personal y los hallazgos.

Criterios de aceptación y rechazo

Un resultado fundamental del proceso de inspección es determinar si el compensador de dilatación es apto para continuar en servicio o si requiere una acción correctiva (reparación o sustitución). Los criterios de aceptación o rechazo deben basarse en las directrices de las normas aplicables.

— **Sin fugas, sin grietas, sin daños significativos:** Si un compensador no presenta indicios de fugas, no muestra grietas visibles ni detectadas mediante NDE, presenta corrosión mínima y no muestra deformaciones anómalas, puede considerarse apto para seguir en operación. Si las condiciones de servicio actuales se mantienen dentro de los límites de diseño del compensador y el fuelle no muestra corrosión, daños ni deformación permanente, no se requiere un análisis adicional. La monitorización regular debe continuar según lo programado.

— **Problemas menores dentro de tolerancia:** Algunos hallazgos pueden no requerir sustitución inmediata, pero sí monitorización. Una corrosión superficial leve o picaduras poco profundas pueden ser aceptables si el espesor de pared no está significativamente afectado, aunque las tasas de corrosión deben vigilarse y mitigarse si es necesario. Abolladuras amplias pero poco profundas pueden tolerarse si no presentan bordes afilados, aunque debe evaluarse su origen y su efecto en el movimiento del fuelle. Arañazos menores, especialmente los longitudinales, suelen ser aceptables; los arañazos circunferenciales son más críticos. En caso de duda, consulte con especialistas de MACOGA proporcionando todos los detalles.

— **Condiciones inaceptables (requieren reparación o sustitución):** Las siguientes condiciones se consideran, por lo general, criterios de rechazo, lo que significa que el compensador debe retirarse del servicio.

- **Cualquier fuga a través de la pared o exudación:** Si se detecta una fuga (incluso un poro microscópico), el compensador ya no es hermético; debe sustituirse o repararse. Operar un compensador con fugas es inseguro y, por lo general, no está permitido por la normativa de equipos a presión.
- **Grietas en los fuelles o en las soldaduras:** Cualquier indicación de grieta es inaceptable. Incluso si la grieta es pequeña, las tensiones cíclicas sobre el fuelle harán que crezca. El compensador debe sustituirse o, si es viable, repararse la zona agrietada (por ejemplo, una soldadura de unión) mediante procedimientos de soldadura cualificados y posterior recualificación. Las normas no contemplan longitudes de grieta tolerables en fuelles en servicio; el criterio es de tolerancia cero.
- **Deformación grave o squirm:** Si el fuelle ha sufrido squirm o presenta deformación plástica severa (ondas colapsadas o deformadas), ha perdido su margen de estabilidad. Un compensador en ese estado podría fallar de forma catastrófica ante transitorios de presión. Debe sustituirse por una unidad nueva y corregirse la causa que originó el squirm.

- **Arrugas por torsión:** Como se indicó, las arrugas señalan que el fuelle ha sido sometido a torsión. Este daño no puede revertirse y el deterioro por tensiones puede ser grave. Debe sustituirse el compensador y añadirse el herraje adecuado (como bisagras o juntas universales) para evitar recurrencias.
- **Adelgazamiento severo por corrosión:** Si la inspección o las mediciones muestran que el espesor de la pared del fuelle ha quedado por debajo de los límites seguros (por ejemplo, por debajo del mínimo exigido por el código para soportar la presión), el compensador debe sustituirse. Asimismo, si las picaduras son profundas o están muy extendidas, probablemente constituyan un riesgo de iniciación de grietas.
- **Rotura de herrajes o fallo de anclajes:** Si algún elemento crítico del herraje o un anclaje de la tubería falla, el compensador deja de estar correctamente contenido y puede sobrecargarse. El sistema debe detenerse si no es posible la reparación inmediata y el problema debe corregirse antes de reanudar la operación. Es posible que el fuelle haya sufrido daños y deberá ser reinspeccionado minuciosamente una vez restablecidos los soportes adecuados.
- **Defectos de soldadura:** Cualquier defecto significativo, como una grieta o una falta grave de fusión detectada mediante NDE en una soldadura estructural (por ejemplo, la soldadura fuelle-extremo), implica que el compensador no es estructuralmente fiable. En algunos casos puede realizarse una reparación localizada de la soldadura (mediante procedimientos cualificados) y devolver el compensador al servicio tras una nueva prueba, pero debe evaluarse cuidadosamente cada situación.

La siguiente tabla resume algunos hallazgos de inspección y la acción recomendada:

Hallazgo de inspección	Evaluación y acción recomendada
Sin anomalías (sin fugas, grietas ni deformación)	**Aceptable:** El compensador es apto para el servicio. Continuar con la monitorización rutinaria.
Corrosión superficial leve o picaduras poco profundas	**Aceptable (Monitorizar):** Dentro de tolerancia por ahora, pero registrar la profundidad de picadura y monitorizar el espesor con el tiempo. Mitigar la corrosión si es posible.
Abolladura pequeña y amplia sin pliegue afilado	**Aceptable (Precaución):** Probablemente impacto menor si es poco profunda. Monitorizar posibles cambios. Si hay dudas, consultar con el fabricante.
Arañazo en el fuelle (longitudinal o radial)	**Aceptable:** Arañazos menores no suelen ser críticos, pero anotar su orientación. Los arañazos circunferenciales son más graves; considerar un alisado ligero si es superficial.
Cualquier fuga visible (escape de fluido o gas)	**Rechazar:** No es estanco a presión. Retirar del servicio y sustituir o reparar el compensador.
Grieta verificada en el fuelle o en una soldadura	**Rechazar:** Retirar del servicio. Se requiere reparación (normalmente sustitución del fuelle).
Deformación significativa del fuelle o inestabilidad (squirm)	**Rechazar:** El fuelle ha perdido estabilidad. Sustituir el compensador. Investigar y corregir la causa (anclajes, sobrepresión).
Arrugas en la onda (daño por torsión)	**Rechazar:** Indica carga torsional indebida. Sustituir el compensador y añadir soportes anti-torsión (por ejemplo, bisagras).
Abolladura afilada o profunda en la onda	**Rechazar/Consultar:** Probable concentrador de tensiones grave. Se recomienda sustituir el fuelle si la abolladura es afilada.
Proyecciones de soldadura adheridas al fuelle	**Acción:** Retirar las proyecciones si es posible. Pueden iniciar corrosión o grietas. Contactar con MACOGA para evaluación; considerar sustituir el fuelle si hay daño.
Objeto extraño alojado en el fuelle	**Acción:** Retirar el objeto e inspeccionar si ha causado daños. Asegurar que el movimiento queda totalmente restablecido.
Deformación o rotura de tirantes, bisagras o herrajes	**Rechazar (hasta reparación):** El compensador no está correctamente sostenido. Reparar o sustituir el herraje y luego reinspeccionar el fuelle por sobreesfuerzos.
Fluencia o deformación de anclajes o soportes	**Ejecución insegura:** No operar hasta reparar los soportes. El compensador probablemente sufrió sobrecarga; inspeccionarlo minuciosamente después.
Adelgazamiento del fuelle por debajo del mínimo de diseño	**Rechazar:** Espesor insuficiente. Sustituir el fuelle. Prevenir futura corrosión (mejora de material o recubrimiento).
Condiciones de operación que superan ahora el diseño (presión, temperatura o movimientos)	**Inseguro:** Realizar revisión de ingeniería. Probable necesidad de sustituir el compensador por uno adecuado a las nuevas condiciones.
Compensador en o más allá de su vida de ciclos de diseño	**Planificar sustitución:** Aunque no haya daños visibles, la vida por fatiga está consumida. Programar el reemplazo de forma proactiva.

Los criterios anteriores garantizan que cualquier compensador de dilatación en servicio mantenga los márgenes de seguridad

previstos en el diseño. Siempre que se cumpla un criterio de rechazo, no debe aplazarse la acción correctiva; un fallo en un compensador puede provocar una liberación súbita de presión, lo cual es extremadamente peligroso. Asimismo, cada vez que un compensador se sustituya o repare, debe tratarse el sistema como si fuera nuevo: verificar la instalación y realizar una prueba de presión si es necesario antes de reanudar la operación.

Listas de verificación e informes de inspección: Es útil emplear una lista de verificación estandarizada en cada inspección periódica. Una lista de este tipo puede enumerar todos los elementos a examinar y los criterios de aceptación. Esto garantiza coherencia entre distintos inspectores y a lo largo del tiempo. Cada lista completada o informe detallado debe archivarse (en formato digital o físico). En el caso de compensadores críticos, algunos operadores mantienen incluso un historial fotográfico (imágenes de cada inspección para comparar la evolución de cualquier desgaste observado).

Consideraciones para diferentes condiciones de servicio

Los compensadores de dilatación operan en una amplia variedad de condiciones de servicio, y estas condiciones influyen de manera decisiva en cómo se priorizan las inspecciones y qué aspectos específicos deben vigilarse. Las normas y la experiencia general en ingeniería destacan consideraciones especiales para diversos entornos.

— **Servicio a alta temperatura:** Las temperaturas elevadas pueden provocar fluencia del material, relajación de tensiones en los pernos y corrosión u oxidación aceleradas. En compensadores que operan a alta temperatura, comprobar si existen signos de deformación por fluencia. Inspeccionar también la posible fragilización por calor o la formación de cascarilla en el material del fuelle. Temperaturas de servicio superiores al límite de diseño pueden causar fallos. Asegurar que el aislamiento esté correctamente instalado; un aislamiento inadecuado puede generar puntos calientes o corrosión externa por cloruros, como se mencionó.

— **Monitorización de temperatura en sistemas con control térmico:** En sistemas donde los compensadores metálicos operan bajo condiciones térmicas controladas, la monitorización periódica de la temperatura constituye un elemento clave de la inspección en servicio. Esto se aplica a compensadores equipados con sistemas de aislamiento interno y externo, sistemas con fuelles sellados, revestimientos refractarios, recubrimientos térmicos para servicios criogénicos o de alta temperatura, etc.

  El objetivo de estos sistemas es mantener los fuelles dentro de un intervalo de temperatura definido para evitar la corrosión bajo tensión en servicios de alta temperatura (como unidades FCC y RFCC), asegurar la estabilidad del proceso y evitar la fragilización del material en aplicaciones criogénicas, donde el fluido debe mantenerse a temperatura controlada baja.

  La monitorización de la temperatura superficial mediante termografía infrarroja o sensores de temperatura sin contacto permite verificar indirectamente el correcto funcionamiento del aislamiento y los sistemas refractarios.

  Patrones anómalos de temperatura superficial pueden indicar:

  - Degradación o desplazamiento del aislamiento interno
  - Daños o fisuras en el refractario
  - Fallo del aislamiento o revestimiento externo
  - Fallo del sistema de estanqueidad del fuelle
  - Puentes térmicos localizados o bypass de gas
  - Desviación respecto al rango térmico previsto

  Cualquier desviación significativa respecto a los perfiles de temperatura superficiales de referencia debe activar una evaluación técnica detallada, incluyendo inspección interna de los sistemas de aislamiento/refractario y reevaluación de la integridad estructural y frente a la corrosión del compensador.

— **Servicio a alta presión o presión cíclica:** Una presión interna elevada incrementa las tensiones en el fuelle y reduce la tolerancia a defectos. Estos compensadores requieren inspecciones más frecuentes, incluso estando nuevos. Cualquier evento de sobrepresión, incluida una prueba de presión excesiva, debe dar lugar a una inspección inmediata y exhaustiva debido al riesgo de rotura súbita o deformación plástica.

— **Servicio con vibración o pulsaciones:** Los compensadores sometidos a vibración (mecánica o inducida por el flujo) o a pulsaciones de presión pueden desarrollar grietas por fatiga mucho más rápido que en condiciones estáticas. Si el sistema presenta vibración significativa de bombas o compresores, o turbulencias que hacen vibrar el fuelle, aumentar la frecuencia de inspección.

— **Medios corrosivos o erosivos:** En servicios corrosivos, la selección adecuada del material es fundamental y se requieren inspecciones periódicas de corrosión. La corrosión puede ser interna o externa, y los flujos de alta velocidad o con partículas pueden causar erosión, especialmente en fuelles sin camisa interna. Si se sospecha erosión o corrosión, aumentar la frecuencia de inspección y considerar el uso de camisas internas o materiales más resistentes para evitar adelgazamiento progresivo y fallos.

— **Servicio a temperaturas extremadamente bajas (criogénico):** A temperaturas muy bajas, algunos materiales de fuelles se vuelven frágiles. Como práctica útil, comprobar si existen fracturas o rigidez inusual en el fuelle cuando se expone a temperaturas criogénicas. Además, el movimiento del compensador puede ser menor en frío (por contracción térmica), por lo que, si es posible, conviene inspeccionarlo durante el calentamiento.

— **Servicio en vacío:** Los compensadores sometidos a vacío (presión interna subatmosférica) pueden presentar inestabilidad por presión externa. Verificar que los anillos de vacío o refuerzos (si están previstos en el diseño) estén instalados. Buscar signos de hundimiento hacia el interior, lo cual podría ocurrir si se ha superado la capacidad de vacío del compensador.

— **Frecuencia de ciclos térmicos:** Si un compensador experimenta ciclos térmicos amplios y frecuentes (por ejemplo, calentamientos y enfriamientos diarios), su vida de fatiga se consumirá más rápidamente. En compensadores de alta ciclicidad, conviene realizar inspecciones a intervalos más cortos (por ejemplo, cada pocos meses), ya que pueden iniciarse y crecer grietas entre inspecciones anuales separadas.

— **Entorno externo:** Además del fluido que circula por el interior, debe considerarse el entorno exterior. Los compensadores instalados al aire libre en zonas costeras o ambientes corrosivos pueden sufrir corrosión externa; los ubicados en entornos de alta humedad o cerca de agua salada requieren recubrimientos protectores o inspecciones frecuentes para detectar óxido externo.

— **Servicio crítico frente a no crítico:** Si el fallo de un compensador supone un riesgo significativo para la seguridad (por ejemplo, liberación de un fluido tóxico o inflamable en un área poblada) o un elevado coste por parada, ese compensador debe considerarse de máxima criticidad. Los compensadores en servicio peligroso deben inspeccionarse regularmente. En algunos casos se recomienda incluso disponer de un compensador de repuesto para estas unidades críticas, a fin de minimizar el tiempo de parada si fuera necesaria su sustitución.

Resumen de buenas prácticas

Para referencia rápida, se presenta a continuación un resumen de las mejores prácticas para la inspección periódica en servicio de compensadores de dilatación metálicos.

— **Establecer trazabilidad y registros:** Mantener un registro detallado de cada compensador de dilatación, incluyendo sus parámetros de diseño (presión, temperatura, movimientos, materiales, vida de ciclos) y su historial de servicio. Utilizar el identificador o número de serie para registrar todas las inspecciones, cambios de servicio y acciones de mantenimiento, garantizando la trazabilidad completa.

— **Programar inspecciones según la severidad del servicio:** Definir intervalos de inspección en función del servicio del compensador. Los compensadores críticos en servicios de alto esfuerzo o peligrosos deben inspeccionarse con mayor frecuencia, mientras que los menos críticos pueden tener intervalos más prolongados. Tras eventos inusuales (por ejemplo, sobrepresión, impactos externos) debe inspeccionarse siempre, independientemente del calendario.

— **Realizar inspecciones visuales exhaustivas:** Examinar regularmente los fuelles y el herraje para detectar fugas, grietas, deformaciones, corrosión o daños. Buscar indicios característicos como goteos de fluido, ondas distorsionadas (inestabilidad o squirm) o marcas que evidencien movimiento. Verificar anclajes, guías y soportes para asegurarse de que el compensador no está siendo sometido a sobreesfuerzos por problemas del sistema.

— **Utilizar NDE ante indicios de problemas:** Complementar las revisiones visuales con ensayos por líquidos penetrantes o partículas magnéticas para detectar grietas finas en los fuelles o en soldaduras. Medir el espesor del fuelle mediante ultrasonidos si existe riesgo de corrosión. Si el compensador dispone de fuelle de doble pared testable, utilizar el puerto de verificación para comprobar posibles fugas entre paredes durante las paradas.

— **Criterios estrictos de aceptación:** No tolerar ningún defecto que atraviese la pared. Cualquier fuga o grieta requiere actuación inmediata (reparación o sustitución). Las abolladuras, corrosión u otros defectos deben evaluarse conforme a normas; abolladuras afiladas, adelgazamiento significativo o arrugas por torsión implican sustitución. En caso de duda, consultar con especialistas de MACOGA para una evaluación de aptitud para el servicio.

— **Documentar hallazgos y acciones:** En cada inspección, registrar lo que se ha revisado y las observaciones realizadas. Si se necesitan reparaciones, documentar el defecto y la intervención. Conservar fotografías e informes de NDT.

— **Considerar los efectos de las condiciones de servicio:** Ajustar la atención de la inspección en función de las condiciones de servicio. Por ejemplo, en un servicio corrosivo, revisar con frecuencia la presencia de picaduras y planificar intervalos de sustitución más cortos. En servicios de alta ciclicidad o con vibración, recurrir más a NDE para detectar grietas de fatiga tempranas. En unidades de alta temperatura, monitorizar posibles problemas de fluencia o relajación de tensiones. Adaptar los planes de mantenimiento al entorno operativo para prevenir modos de fallo conocidos.

— **Seguir protocolos adecuados de reparación:** Si un compensador requiere reparación, implicar al fabricante y utilizar procedimientos cualificados. Tras cualquier reparación o sustitución, reinspeccionar y probar el compensador antes de devolverlo al servicio para garantizar su integridad. Tratar una unidad reparada como si fuera una instalación nueva.

— **Planificar la sustitución:** Los compensadores de dilatación no duran indefinidamente. Hacer un seguimiento de la vida acumulada de servicio y del número de ciclos. Si un compensador se acerca a su vida de fatiga de diseño

o muestra problemas menores recurrentes, planificar una sustitución proactiva durante una parada conveniente. Esto evita interrupciones no planificadas y garantiza la seguridad.

Cumpliendo estas prácticas, los ingenieros de mantenimiento y los operadores pueden asegurar que los compensadores de dilatación metálicos mantengan la fiabilidad durante toda su vida útil. Las inspecciones periódicas permiten detectar problemas a tiempo, evitar fallos catastróficos y prolongar la vida de estos componentes flexibles pero críticos.

MACOGA, S.A.
Leira s/n - 15680 Ordes - A Coruña - Spain
Tel: +34 981 68 00 00
macoga@macoga.com www.macoga.com