

## INTEGRIDAD DE LOS ACTIVOS

# Índice

	Página
<b>1.0 ALCANCE</b> .....	3
1.1 Riesgos .....	3
1.2 Cambios .....	3
<b>2.0 RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS</b> .....	3
2.1 Introducción .....	3
2.2 Equipos y procesos .....	3
2.3 Factor humano .....	4
2.3.1 Integridad de los activos .....	4
2.3.2 Plan de contingencia .....	10
2.3.3 Exclusión de materiales extraños .....	12
<b>3.0 FUNDAMENTO DE LAS RECOMENDACIONES</b> .....	12
3.1 Historial de siniestros .....	12
3.1.1 Estadística de siniestros .....	12
3.1.2 Ejemplos de siniestros .....	13
3.2 Equipos y procesos .....	15
3.2.1 Influencias del programa de integridad de los activos .....	15
3.3 Operación y mantenimiento .....	15
3.3.1 Integridad de los activos .....	15
3.3.2 Plan de contingencia .....	32
<b>4.0 REFERENCIAS</b> .....	33
4.1 FM .....	33
4.2 Otras referencias .....	33
<b>ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	33
<b>ANEXO B: HISTORIAL DE REVISIONES DEL DOCUMENTO</b> .....	35
<b>ANEXO C PLAN DE CONTINGENCIA PARA LOS EQUIPOS</b> .....	36
C.1 Proceso del plan de contingencia para equipos .....	36
C.2 Estrategias de redundancia y alquiler de equipos .....	37
C.2.1 Redundancia .....	37
C.2.2 Equipos de alquiler .....	38
<b>ANEXO D, PROCEDIMIENTO DE EXCLUSIÓN DE MATERIALES EXTRAÑOS</b> .....	39
D.1 Finalidad .....	39
D.2 Definiciones .....	39
D.3 Aplicabilidad .....	40
D.4 Responsabilidad .....	40
D.5 Exclusión de materiales extraños: Nivel 1 .....	41
D.6 Exclusión de materiales extraños: Nivel 2 .....	42
D.7 Exclusión de materiales extraños: Nivel 3 .....	44
<b>ANEXO E: PROVEEDORES DE SERVICIOS ALTERNATIVOS</b> .....	51
E.1 Directrices para crear un programa de auditoría e inspección para componentes y servicios de proveedores alternativos .....	51
E.2 Servicios de inspección en talleres y en campo .....	51
E.3 Servicios de campo .....	51
E.4 Servicios en talleres .....	52
E.5 Componentes que no son del fabricante original (ingeniería inversa y rediseño) .....	53



E.5.1 Componentes diseñados mediante ingeniería inversa.....	53
E.5.2 Componentes rediseñados.....	54
E.5.3 Proceso de diseño.....	54
E.5.4 Proceso de pruebas y validación.....	54
E.5.5 Proceso de fabricación.....	54
E.6 Mejoras y sustituciones del sistema de control industrial.....	55
E.7 Contrato de servicios del proveedor de servicios alternativo.....	55

## Lista de figuras

Figura 3.3.1.1-1. Diagrama de flujo del proceso de integridad de los activos.....	17
Figura 3.3.1.2.4. Ventana de integridad operativa.....	23
Figura 3.3.1.2.7. Factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos.....	26
Fig. 3.3.1.3. Estado de los equipos que afectan a la realización de un estudio de vida útil restante.....	29

## 1.0 ALCANCE

El objetivo de esta ficha técnica es ofrecer directrices generales para desarrollar e implantar programas eficaces de mantenimiento preventivo de la integridad de los activos para sistemas y equipos.

Las recomendaciones de tareas de inspección, pruebas y mantenimiento de sistemas y equipos concretos pueden consultarse en sus respectivas fichas técnicas.

El diseño de sistemas y equipos se encuentra fuera del alcance de este documento. Sin embargo, las decisiones que se toman en la fase de diseño pueden afectar al alcance, la implantación y la eficacia del programa de inspección, pruebas y mantenimiento y, con ello, a la fiabilidad de los equipos. La información relativa al diseño de activos susceptibles de ser mantenidos puede encontrarse en las fichas técnicas específicas para dichos equipos, así como en las directrices del fabricante, las buenas prácticas del sector y las normas y códigos aplicables.

### 1.1 Riesgos

Contar con un programa viable de integridad de los activos es fundamental para garantizar un funcionamiento fiable de los procesos de la planta, incluidas las actividades de producción y los sistemas de suministro y de apoyo. Este sistema de gestión emplea datos de diseño, operativos y recopilados en las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento para garantizar la fiabilidad de los equipos, lo que permite reducir la probabilidad de que se produzcan averías y aislar las fuentes de energía. Los programas inadecuados de integridad de los activos pueden dar lugar a averías de los equipos y, como consecuencia, provocar daños materiales e interrumpir las actividades.

### 1.2 Cambios

Julio de 2024. Revisión parcial. Se llevaron a cabo cambios mínimos de redacción.

## 2.0 RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS

### 2.1 Introducción

El objetivo de un programa de integridad de los activos es garantizar que los equipos de producción, suministro y apoyo funcionen de manera fiable y se mantengan en un estado idóneo para el servicio previsto. A la hora de mantener la integridad de los activos, resulta fundamental contar con un programa sólido de inspección, pruebas y mantenimiento que permita evaluar el estado de los sistemas y equipos, de forma que pueda detectarse y gestionarse cualquier posible deficiencia antes de que se produzca una avería. Un programa eficaz de integridad de los activos precisa de la colaboración de todos los departamentos de la planta, incluidos los de gestión, operaciones, ingeniería y mantenimiento.

Su desarrollo puede tomar diferentes trayectorias dependiendo de la industria. Algunos sectores cuentan con procesos bien definidos y mecanismos de daño predecibles detallados en las normas industriales. Otros, al no disponer de normas industriales propias, puede que dependan de evaluaciones independientes para determinar los posibles mecanismos de daño. En ambos casos, la información que se utiliza a la hora de desarrollar un programa de integridad de los activos debe tener en cuenta los riesgos específicos existentes.

### 2.2 Equipos y procesos

2.2.1 Identifique los riesgos a los que están expuestos los equipos y sistemas de apoyo, producción y suministros en función del proceso. Asegúrese de que se comprendan estos riesgos y de que el personal de la compañía tenga a su disposición información sobre ellos.

2.2.2 Siempre que sea posible, evalúe y controle estos riesgos inherentes a través del diseño y los parámetros de funcionamiento. Siempre que se produzcan reparaciones, modificaciones, reacondicionamientos o sustituciones en los procesos, sistemas o equipos, o bien cambios en el régimen de mantenimiento o en el de funcionamiento, vuelva a realizar la valoración de estos riesgos y de los métodos de evaluación y control utilizados. Esto incluye comprobar el alcance y la implantación del programa de integridad de los activos.

2.2.3 Diseñe e instale equipos que permitan efectuar labores de inspección, pruebas y mantenimiento durante toda su vida útil (es decir, equipos diseñados con miras a su facilidad de mantenimiento). Cuando los procesos, sistemas o equipos se reparen, modifiquen, reacondicionen o sustituyan, gestione dichos cambios teniendo en mente la necesidad de seguir llevando a cabo las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento de forma eficaz.

2.2.3.1 En los casos que sea necesario, habilite un método que permita medir intervalos basado en el proceso (por ejemplo, cantidades producidas, horas de funcionamiento o número de arranques) a fin de determinar cuándo poner en marcha las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento. Siempre que sea posible, conserve estos datos de funcionamiento durante toda la vida útil de los equipos.

## 2.3 Factor humano

### 2.3.1 Integridad de los activos

Un programa eficaz de integridad de los activos se ocupa de verificar el adecuado diseño, instalación, funcionamiento, mantenimiento y protección de los equipos, ya sean mecánicos, eléctricos, a presión o de producción, así como de sus sistemas asociados. El objetivo de dichos programas es identificar posibles deficiencias en las fases incipientes y corregirlas en el momento óptimo **a lo largo de la vida útil del equipo** (consulte la sección 3.3.1.1 y la figura 3.3.1-1 para obtener más información).

#### 2.3.1.1 Programa de integridad de los activos

2.3.1.1.1 Asegúrese de que el personal involucrado en cualquier aspecto de este programa cuente con la formación necesaria, y que su capacitación y competencia sean acordes con la dificultad de las tareas que se lleven a cabo. Esto incluye a ingenieros, operadores, diseñadores, contratistas y proveedores.

2.3.1.1.2 **Desarrolle e implante un programa documentado** de integridad de los activos con el fin de garantizar la **integridad y fiabilidad** de los sistemas y equipos de producción, suministro y apoyo. Un programa exitoso deberá incluir los siguientes elementos clave:

- A. Una cultura en la que se conceda un alto valor a la integridad de los activos.
- B. Apoyo y compromiso por parte de todos los niveles de la compañía, incluido un equipo de dirección con niveles claros de responsabilidad establecidos.
- C. Una política por escrito que defina claramente los objetivos del programa y que incluya la tolerancia al riesgo y los niveles de fiabilidad deseados.

#### 2.3.1.2 Programa de inspección, pruebas y mantenimiento

2.3.1.2.1 **Desarrolle, recopile y mantenga actualizada toda la información necesaria para establecer e implantar las tareas y estrategias de inspección, pruebas y mantenimiento apropiadas de cara a garantizar la integridad y fiabilidad de los equipos a lo largo de toda su vida útil.**

A. **Desarrolle** un método que permita identificar, detallar y realizar un seguimiento de los sistemas, equipos y componentes incluidos en el programa de integridad de los activos. Incluya los diagramas de flujo de producción y procesos asociados, los diagramas de tuberías e instrumentación y los diagramas unifilares de los sistemas de apoyo y suministros de los sistemas, equipos y componentes.

1. Identifique los equipos y componentes de forma única y reconocible.
2. Recoja de forma detallada cualquier información pertinente sobre el diseño y la puesta en marcha de los equipos, así como información suficiente para adquirir recambios o llevar a cabo reparaciones o modificaciones.
3. Actualice la información cuando se añadan, retiren o sustituyan equipos o componentes de los sistemas.

B. Dé prioridad a los sistemas y equipos en función de las posibles consecuencias de **una avería**, basándose en una evaluación sistemática de los riesgos existentes en la planta, incluidos los sistemas de apoyo, suministro y producción.

C. Identifique los riesgos inherentes al proceso y los que dependen de los equipos, así como los mecanismos de daño y modos de fallo que deberán evaluarse a lo largo de su vida útil, con miras a verificar su integridad para el servicio previsto.

D. Identifique el régimen y los parámetros de funcionamiento previstos, incluidas las tasas de rampa de cada régimen operativo y las ventanas de integridad operativa.

E. Tenga en cuenta las directrices proporcionadas por las distintas autoridades, los códigos y las normas aplicables, así como el historial de funcionamiento del equipo, la información proporcionada por el personal de la planta, las buenas prácticas de la industria, las fichas técnicas específicas de los equipos y las directrices del fabricante.

2.3.1.2.2 Desarrolle e implante un programa de inspección, pruebas y mantenimiento utilizando para ello la información descrita en la sección 2.3.1.2.1.

A. Determine las actividades y estrategias de inspección, pruebas y mantenimiento que deben implantarse, siguiendo criterios uniformes a la hora de determinar qué actividades son necesarias. Incluya las actividades de referencia, así como los intervalos de tiempo o las condiciones del equipo que deberán poner en marcha las actividades periódicas. Hay diferentes estrategias de inspección, pruebas y mantenimiento posibles para garantizar la integridad y fiabilidad de los equipos.

1. En el caso de utilizar una estrategia de inspección, pruebas y mantenimiento reactiva (en función de las averías), lleve a cabo lo siguiente:
  - a. Adopte una manera de identificar que un equipo no ha funcionado adecuadamente para facilitar su reparación o sustitución.
  - b. Garantice la disponibilidad de personal para reparar o sustituir el equipo afectado dentro de un plazo aceptable tras el fallo del equipo.
  - c. Asegúrese de que estén disponibles los equipos, herramientas, recambios y consumibles necesarios para solucionar la avería actual y otras que puedan tener lugar en el futuro y de que sean accesibles en el plazo de tiempo necesario.
2. En el caso de utilizar una estrategia de inspección, pruebas y mantenimiento preventiva, lleve a cabo lo siguiente:
  - a. Planifique las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento con antelación, estableciendo un desencadenante de dichas actividades que puede ser un intervalo basado en el tiempo o en el proceso (por ejemplo: rendimiento, horas de funcionamiento o número de arranques).
  - b. Lleve a cabo el mantenimiento del equipo cuando se alcance ese intervalo, independientemente de cuál sea el estado del equipo.
  - c. Asegúrese de que la periodicidad utilizada para desencadenar las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento sea fiable. Es posible utilizar múltiples intervalos basados en procesos para desencadenar la misma actividad. En estos casos, asegúrese de reiniciar todos los intervalos de periodicidad cuando la actividad se haya completado.
  - d. Lleve a cabo actividades de inspección, pruebas y mantenimiento de referencia en los equipos a fin de utilizarlas como punto de partida para observar tendencias o realizar comparativas. En este punto se incluyen las inspecciones de referencia de equipos de nueva fabricación o recién comprados o reparados, así como las pruebas de referencia de los sensores de los equipos.
  - e. Establezca una forma de identificar que un equipo ha activado un intervalo de proceso para poder organizar las tareas de inspección, pruebas y mantenimiento.
  - f. Asegúrese de que haya personal disponible para llevar a cabo la actividad de inspección, pruebas y mantenimiento dentro de un plazo aceptable desde que se desencadena el intervalo del proceso.
  - g. Asegúrese de que estén disponibles los equipos, herramientas, recambios y consumibles necesarios para llevar a cabo la actividad de inspección, pruebas y mantenimiento en el plazo de tiempo necesario.

3. En el caso de utilizar una estrategia de inspección, pruebas y mantenimiento predictiva o basada en el estado de los equipos, lleve a cabo lo siguiente:
    - a. Relacione los parámetros controlados que hayan desencadenado la actividad de inspección, pruebas y mantenimiento con el mecanismo de daño que dicha actividad abordará.
    - b. Lleve a cabo actividades de inspección, pruebas y mantenimiento de referencia en los equipos a fin de utilizarlas como punto de partida para observar tendencias o realizar comparativas. En este punto se incluyen las señales de referencia para la supervisión de los parámetros de los equipos, así como las pruebas de referencia de los sensores.
    - c. Asegúrese de que el personal que lleva a cabo la evaluación de las variables supervisadas cuenta con la formación y experiencia adecuadas para ello.
    - d. Asegúrese de que la supervisión sea capaz de minimizar la posibilidad de que se produzcan falsas alarmas.
    - e. Establezca los límites de funcionamiento seguro (los valores absolutos superior e inferior, además de la tasa de cambios) aceptables para cada variable supervisada y defina los criterios de aceptación que desencadenarán las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento.
    - f. Lleve a cabo el control, el muestreo y el seguimiento de las tendencias de los parámetros de los equipos a intervalos adecuados para posibilitar que cualquier condición que se salga de los criterios de aceptación se reconozca de forma adecuada y con una antelación suficiente para que puedan llevarse a cabo acciones correctivas antes de que se produzca la avería (detección precoz).
  - B. Redacte una descripción detallada de cada actividad que se incluirá como parte del programa de inspección, pruebas y mantenimiento. En caso de existir recomendaciones detalladas del fabricante, prácticas de la industria o normas o códigos aplicables, puede que estos proporcionen suficientes directrices de inspección, pruebas y mantenimiento preventivas o basadas en el estado de los equipos.
  - C. Defina los criterios de aceptación para las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento cuyos resultados se van a evaluar.
- 2.3.1.2.3 Lleve a cabo las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento y documéntelas de acuerdo con lo recogido en el programa.
- A. Implante un procedimiento para realizar el seguimiento de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento desde el momento en que se desencadenan hasta que se completan.
  - B. Revise y evalúe los resultados de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento de forma inmediata tras su recepción para garantizar que se tomen las medidas correctivas necesarias.
    1. Siga un procedimiento de gestión de anomalías cuando los resultados del programa de inspección, pruebas y mantenimiento se desvíen de los criterios de aceptación. (Para más información sobre la gestión de anomalías, consulte la sección 2.3.1.4.) Asegúrese de que la anomalía se comunique al departamento de operaciones. Si la anomalía se produce mientras el equipo está en funcionamiento, determine la gravedad de la misma para decidir si es necesario detener la unidad.
  - C. Supervise el estado y el rendimiento de los equipos de la siguiente manera:
    1. Supervise los datos de funcionamiento para garantizar que el equipo permanezca dentro de sus parámetros de funcionamiento, e identifique si estos se sobrepasan. Si el equipo supera los parámetros de funcionamiento, determine si es necesario llevar a cabo ajustes en el programa de inspección, pruebas y mantenimiento y evalúe su impacto sobre la vida útil restante del equipo.
    2. Supervise el estado, los resultados y las tendencias de rendimiento y el estado de los procesos, sistemas y equipos, así como de las acciones del programa de inspección, pruebas y mantenimiento. En el caso de que los resultados y las tendencias se desvíen de los criterios de aceptación o reflejen una aceleración del deterioro de los equipos, valore si es necesario llevar a cabo otras acciones o ajustes en el programa de inspección, pruebas y mantenimiento. Cuando el programa de inspección, pruebas y mantenimiento detecte uno o más parámetros que se salgan de los límites aceptables y no se lleven a cabo reparaciones, modificaciones o sustituciones antes de volver a arrancar el equipo, debe efectuarse una evaluación de la idoneidad del equipo para el servicio. Para obtener directrices adicionales, consulte las secciones 2.3.1.4.1(A) y 3.3.1.3(A).

D. En caso de necesitar aplazar las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento, determine las posibles consecuencias de no completarlas dentro del plazo estipulado por dicho programa de inspección, pruebas y mantenimiento antes de decidir qué tarea se necesita aplazar.

E. Realice un seguimiento de los trabajos aplazados hasta su finalización.

F. Evalúe los resultados y las tendencias del programa para determinar los posibles efectos en su alcance o estrategia.

Según proceda, evalúe el alcance, las estrategias y la periodicidad del programa de inspección, pruebas y mantenimiento para garantizar una identificación efectiva de los mecanismos de daño, siguiendo para ello un enfoque basado en el estado de los equipos que tome en cuenta las tendencias de las inspecciones, pruebas y mantenimiento, las evaluaciones de idoneidad para el servicio y los resultados de los estudios de vida útil restante y de los análisis de causa raíz.

Considere el efecto de los cambios en las ventanas de integridad operativa y en el régimen o los parámetros de funcionamiento sobre los mecanismos de daño y el alcance del programa de inspección, pruebas y mantenimiento, incluidos los efectos de cambios en los equipos debidos a posibles anomalías, disparos, paradas forzadas, fallos críticos o averías.

Considere el efecto acumulativo de los factores que contribuyen al envejecimiento operativo sobre el alcance del programa de inspección, pruebas y mantenimiento.

### 2.3.1.3 Envejecimiento operativo de los equipos y vida útil restante

A fin de mantener la integridad y fiabilidad de un equipo a lo largo de toda su vida útil, es necesario gestionar adecuadamente el envejecimiento operativo. Evalúe el deterioro de los equipos como consecuencia de los mecanismos de daño asociados a los procesos (o a los propios equipos) que tengan lugar durante toda su vida útil. Para determinar el impacto del envejecimiento operativo sobre la vida útil restante de los equipos, emplee una estrategia basada en el estado de los equipos. Evalúe los efectos acumulativos de los siguientes factores que pueden contribuir al envejecimiento operativo de los equipos y afectar a su vida útil restante. En la figura 3.3.1.2.7 se muestra la interacción de los factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos:

- condiciones de servicio físicas, de funcionamiento y ambientales;
- historial de funcionamiento (incluido el análisis de las tendencias de los parámetros que reflejen el estado y el rendimiento);
- evaluación de los resultados y las tendencias del programa de inspección, pruebas y mantenimiento (incluida la idoneidad de los equipos para el servicio previsto);
- antigüedad del equipo y tiempo en servicio.

Los estudios de vida útil restante se llevan a cabo a partir de la evaluación del estado de los equipos teniendo en cuenta los factores contribuyentes enumerados (incluidas evaluaciones de idoneidad para el servicio) **con el objetivo de determinar cuánta vida útil le queda al equipo**. Estudie la posibilidad de efectuar reparaciones, modificaciones, remodelaciones o sustituciones para mantener la integridad operativa de los equipos y reducir la posibilidad de que se produzca una avería prematura. La sustitución de componentes deteriorados clave puede prolongar la vida útil. En la figura 3.3.1.3 se muestra la interacción entre los estados de los equipos, incluidos los factores que contribuyen al envejecimiento operativo, el historial de funcionamiento, los resultados de las inspecciones, las pruebas y mantenimiento y los resultados de las evaluaciones de la idoneidad del equipo que afectan a la realización de un estudio de vida útil restante.

Tenga en cuenta los plazos de sustitución de los equipos, especialmente si el equipo que debe reemplazarse debe seguir en servicio hasta la instalación de la unidad de recambio. Considere la posibilidad de establecer un plan de contingencia para los equipos a fin de preparar con antelación la respuesta a una posible avería prematura de un equipo en servicio, con el objeto de subsanar cualquier desfase entre el periodo estimado de vida útil y el plazo de sustitución establecido.

Consulte las secciones 2.3.1.4.1(D) y 3.3.1.3(C) para obtener directrices adicionales acerca de la vida útil restante de los equipos, y las secciones 3.3.1.2.5, 3.3.1.2.6 y 3.3.1.2.7 para obtener directrices adicionales sobre el envejecimiento operativo de los equipos. Consulte también las secciones 2.3.2, 3.3.2 y las fichas técnicas aplicables para obtener directrices de planificación ante contingencias para equipos concretos.

### 2.3.1.4 Gestión de anomalías

**2.3.1.4.1 Desarrolle e implante un proceso de gestión de anomalías como parte del programa de integridad de los activos a fin de garantizar la evaluación y el seguimiento hasta su cierre de cualquier anomalía en el estado de los equipos.** Un proceso típico de gestión de anomalías incluye los siguientes elementos:

#### A. Evaluación de la idoneidad para el servicio

Evalúe la idoneidad para el servicio de un equipo cuando el programa de inspección, pruebas y mantenimiento identifique uno o más parámetros que se salgan de los límites aceptables y no se lleven a cabo reparaciones, modificaciones o sustituciones antes de volver a arrancarlo. Podría no ser necesario completar evaluaciones de la idoneidad para el servicio si se llevan a cabo, dentro del plazo debido, las medidas correctivas necesarias (como reparaciones, modificaciones o sustituciones) para restituir el equipo a un estado apto para el servicio previsto.

#### B. Reparación, modificación, recalibración o sustitución

1. Cuando sea necesario llevar a cabo acciones correctivas en un equipo, utilice siempre que sea posible las fichas técnicas específicas aplicables, las directrices del fabricante, las buenas prácticas del sector o los códigos y prácticas de ingeniería aceptados.
2. Utilice un proceso de gestión de cambios cuando deba llevar a cabo acciones correctivas que impliquen la modificación o sustitución de equipos (excepto cuando se trate de sustituciones por elementos idénticos).
3. Lleve a cabo actividades de control y garantía de calidad (QA/QC por sus siglas en inglés) para garantizar la correcta realización de los trabajos. Esto incluye efectuar inspecciones y pruebas tras la finalización de los trabajos de reparación que permitan asegurarse de que su calidad sea aceptable y adecuada para el funcionamiento previsto.
4. Tenga en cuenta los resultados del programa de inspección, pruebas y mantenimiento en los futuros diseños de modificaciones o equipos de recambio.
5. Establezca y registre nuevas referencias para las actividades de supervisión.

#### C. Reevaluación de los parámetros de funcionamiento

Determine si es necesario ajustar los parámetros de funcionamiento del sistema de acuerdo con el deterioro observado, el estado del equipo y el servicio futuro previsto.

#### D. Vida útil restante

Lleve a cabo un estudio de la vida útil restante cuando el deterioro supere los límites aceptables predeterminados pero el equipo siga considerándose idóneo para el servicio. Dicho estudio también puede realizarse cuando existan dudas de la idoneidad del equipo para funcionar durante el periodo previsto. Esto incluye también el impacto acumulado del envejecimiento operativo sobre la vida útil restante para el servicio previsto. El estudio de vida útil restante se aplica principalmente a equipos mecánicos fijos y rotativos. Sin embargo, existen análisis predictivos de vida útil que podrían ser aplicables para otros tipos de equipos.

1. Asegúrese de que los datos sean relevantes y precisos. Siempre que sea posible, utilice datos reales obtenidos mediante medición. Cuando utilice datos suministrados o promedios en lugar de datos obtenidos mediante medición, las tasas de deterioro que se determinen podrían no reflejar las condiciones reales. En el mismo sentido, dependiendo del mecanismo del deterioro, puede resultar fundamental comparar las tendencias de equipos de la misma ubicación a fin de garantizar la precisión de los datos.
2. Calcule el plazo en que se ha de realizar una nueva inspección del deterioro, basándolo en el cálculo de la vida útil restante del equipo, las condiciones o régimen de funcionamiento previstos, las directrices de las fichas técnicas específicas del equipo y del fabricante, las buenas prácticas del sector o los códigos y prácticas de ingeniería aceptados.

### 2.3.1.5 Análisis de causa raíz

2.3.1.5.1 Lleve a cabo un análisis de causa raíz y establezca acciones correctivas a partir de las observaciones realizadas, en caso necesario. Desarrolle recomendaciones y acciones correctivas específicas para evitar que los incidentes vuelvan a producirse o que tengan lugar otros similares. Se recomienda establecer indicadores para medir la eficacia de una acción correctiva motivada por un análisis de causa raíz a fin de confirmar que esta ha tenido el efecto deseado. Estas acciones pueden consistir en cambios físicos o procedimentales y deberían realizarse de acuerdo con un proceso de gestión de cambios que permita garantizar la seguridad y supervisar que se completan.

Algunas situaciones que normalmente justifican la realización de un análisis en profundidad de las causas raíz son la avería prematura de un equipo, cuando este falla de una manera inesperada o imprevista según el análisis de riesgos efectuado, cuando se observa un deterioro excesivo o imprevisto o cuando el equipo empieza a funcionar inesperadamente fuera de sus parámetros habituales. En cambio, podría no ser necesario efectuar un análisis de causa raíz si una situación ya prevista en el marco del programa de integridad de los activos tiene lugar dentro del plazo y de un modo pronosticados. El nivel de control aplicable durante un análisis de causa raíz puede variar en función de las circunstancias que el programa de inspección, pruebas y mantenimiento haya puesto de manifiesto. Los análisis de causa raíz permiten la mejora continua y evolución del programa de integridad de los activos.

### 2.3.1.6 Requisitos de documentación y análisis de tendencias

2.3.1.6.1 Documente cada actividad que se lleve a cabo dentro del programa de inspección, pruebas y mantenimiento, así como cualquier análisis de causa raíz o gestión de anomalías posterior.

2.3.1.6.2 Registre las tendencias de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento para identificar cualquier cambio significativo en el estado de los equipos a fin de predecir o detectar posibles fallos antes de que se produzca una avería durante el funcionamiento.

2.3.1.6.3 Utilice todos los datos recabados durante el proceso de gestión de anomalías y el programa de inspección, pruebas y mantenimiento para redefinir el procedimiento de evaluación e identificación de riesgos (secciones 2.2.1 y 2.2.2). Esto puede afectar la frecuencia de la actividad de inspección, pruebas y mantenimiento y su alcance.

A. Basándose en los resultados de los análisis de causa raíz, los parámetros de funcionamiento y la realización de reparaciones, modificaciones, recalibraciones o sustituciones, actualice la periodicidad de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento, así como las estrategias y métodos utilizados.

B. Incorpore información al programa de integridad de los activos para reflejar las condiciones actuales que deban tenerse en cuenta para los nuevos diseños.

### 2.3.1.7 Auditorías

2.3.1.7.1 Lleve a cabo auditorías del programa (y elabore los informes pertinentes). Para la elaboración tanto de las auditorías como de los informes, recurra a personal cualificado que, preferiblemente, no pertenezca al propio equipo de mantenimiento. Para cumplir los objetivos específicos de la auditoría, incluya una revisión completa de los registros necesarios.

A. Asegúrese de que la frecuencia y la exhaustividad de las auditorías estén en consonancia con los resultados recibidos de auditorías anteriores y con el rendimiento general del programa de integridad de los activos.

B. Lleve a cabo una auditoría de los riesgos a los que estén expuestos los equipos de producción, suministros y apoyo cuando estos estén funcionando en un régimen que no se haya tenido en cuenta durante el desarrollo del programa de integridad de los activos.

2.3.1.7.2 En caso de detectarse carencias durante las auditorías, asegúrese de que los informes resultantes identifiquen acciones correctivas y supervisen que estas se llevan a cabo.

### 2.3.2 Plan de contingencia

#### 2.3.2.1 Plan de contingencia para los equipos

2.3.2.1.1 Como parte del plan de continuidad de las actividades, desarrolle y mantenga un plan documentado de contingencia **para minimizar el tiempo de parada de los equipos y reducir el riesgo** de que los procesos estratégicos de la planta (incluidos los sistemas de producción, suministro o apoyo) se vean afectados por la posible parada de un equipo.

Como parte del plan de contingencia para equipos, lleve a cabo una evaluación sistemática de los sistemas y procesos de las instalaciones con miras a identificar los equipos que son esenciales para la continuidad de las operaciones (es decir, una lista de los activos estratégicos).

Evalúe los escenarios en los que podrían producirse averías de los equipos y los riesgos resultantes de interrupción de las actividades. Considere los cuellos de botella de los procesos, los puntos únicos de fallo y los equipos únicos y con largos plazos de sustitución. Además, evalúe la integridad de los equipos, su fiabilidad y vida útil restante, la idoneidad del equipo para el servicio, el histórico o las tendencias de funcionamiento y el envejecimiento operativo de los equipos. Evalúe el tipo de plan de contingencia necesario para los equipos y su alcance a fin de mitigar los riesgos de avería específicos para cada equipo. Para todos los equipos incluidos en el plan de contingencia, conserve la información descrita en la sección 3.3.1.2.1.

En el plan de contingencia de los equipos se indican opciones de recuperación y estrategias de mitigación de cara a responder y recuperarse de los riesgos creados por averías de los equipos. Esto puede incluir aspectos como los plazos de reparación, sustitución y alquiler de equipos, el uso de equipos de segunda mano o sobrantes, la redundancia o la gestión de recambios, a fin de minimizar los tiempos de parada.

Como parte del plan de contingencia, evalúe la posibilidad de añadir requisitos de transporte, retirada y desmontaje, así como los de instalación, manipulación y mano de obra especializada propios del equipo. Consulte la sección 3.3.2.

En caso de que los proveedores deban llevar a cabo alguna tarea asociada con el plan de contingencia para equipos, haga lo siguiente:

- A. Asegúrese de antemano de que cuenten con la cualificación requerida según las directrices del fabricante y los códigos y normas aplicables (como, por ejemplo, los de buenas prácticas de ingeniería reconocidas y generalmente aceptadas, o RAGAGEP, por sus siglas en inglés). Esto incluye las eventuales normas y directrices de la empresa.
- B. Asegúrese de que cuenten con la mano de obra especializada necesaria, así como las herramientas específicas para cada equipo.

Como parte de la implantación del plan de contingencia para los equipos, determine si el equipo debe someterse a algún proceso determinado de puesta en marcha o a una revisión previa de seguridad, de acuerdo con los procedimientos de funcionamiento estándar del equipo o proceso en cuestión.

2.3.2.1.2 Para que un plan de contingencia pueda considerarse viable de cara a reducir el riesgo y minimizar **el tiempo de parada de los equipos a consecuencia de una avería**, deberán cumplirse los siguientes puntos:

- A. El plan de contingencia para equipos documenta las acciones programadas para responder y recuperarse ante una avería de maquinaria, a fin de **minimizar el tiempo de parada**.
- B. El plan de contingencia para equipos tiene en cuenta su estado, las distintas situaciones de avería posibles, los riesgos existentes y el impacto sobre los procesos y la continuidad de las operaciones que tendría la parada forzosa de un equipo estratégico.
- C. Se han desarrollado opciones y estrategias de mitigación como parte del plan de contingencia para los equipos estratégicos y estas incluyen los plazos de reparación, sustitución y alquiler de los equipos, el uso de equipos de segunda mano o sobrantes, la redundancia y la gestión de recambios, cuando sea necesario.

D. Está disponible la información relativa al diseño, las especificaciones y la instalación del equipo, contratos en vigor y acuerdos de mantenimiento con el fabricante o proveedores, cuando sean necesarios como parte del plan de contingencia para equipos.

E. El plan de contingencia para equipos incluye procedimientos verificados para el transporte, la retirada/desmontaje y la instalación/manipulación de los equipos estratégicos.

2.3.2.1.3 Revise, pruebe y valide anualmente el plan de contingencia para gestionar los cambios, mantener la viabilidad y confirmar su eficacia. En el mismo sentido, revise, pruebe y valide el plan de contingencia cuando se produzcan cambios importantes en las instalaciones, incluidos los siguientes:

A. después de la puesta en servicio de piezas de recambio o cuando se estén reparando y dejen de estar disponibles o ser viables;

B. si los recambios no se almacenan o mantienen de manera adecuada;

C. si se producen cambios en los procesos, en los flujos de ingresos o en el estado de los equipos.

### 2.3.2.2 Gestión de recambios

2.3.2.2.1 La gestión de recambios constituye una de las opciones y estrategias de mitigación para recuperarse frente a averías. Almacene los recambios (todo el equipo o piezas específicas) de acuerdo con las instrucciones del fabricante y con miras a reducir el tiempo de parada de los equipos en caso de avería, y protéjalos contra daños físicos y contaminación. Inspeccione, pruebe y realice el mantenimiento de los recambios de acuerdo con las instrucciones del fabricante como parte del programa de integridad de los activos para mantener su viabilidad e idoneidad para el servicio previsto.

Revise el diseño, la capacidad nominal y las características físicas de los recambios, comparándolos con los del equipo en servicio para verificar su compatibilidad. Esto sirve para garantizar que los recambios se podrán poner en servicio para reanudar las actividades normales en caso de que sea necesario recuperarse de la avería de un equipo. Este punto incluye identificar la necesidad de llevar a cabo reparaciones o modificaciones en los recambios para que vuelvan a un estado adecuado.

Los «recambios de uso habitual» son consumibles que no se utilizan para reducir el tiempo de parada de los equipos en caso de avería. Este tipo de recambios se pone comúnmente en servicio durante el transcurso de la vida útil del equipo en condiciones normales de funcionamiento. En este punto se incluyen los recambios recomendados por el fabricante del equipo original. Por su parte, los «recambios para averías de los equipos» se utilizan cuando ocurren paradas no planificadas de un equipo estratégico, a fin de **minimizar** su duración y restablecer cuanto antes el funcionamiento. En esta ficha técnica, el término «recambios» hace referencia a los recambios para averías de los equipos. Consulte las fichas técnicas específicas relativas a los equipos o las actividades concretas para obtener recomendaciones sobre cuándo gestionar los recambios para averías de los equipos.

En cuanto a los equipos de recambio, conserve la información sobre ellos que se describe en la sección 3.3.1.2.1.

Verifique la ubicación, estado y viabilidad de los recambios, ya estén en la propia planta o fuera de ella. Verifique que se posee el recambio y que este se dedica al uso previsto.

2.3.2.2.2 Para que los recambio puedan considerarse viables de cara a **reducir el riesgo y minimizar el tiempo de parada** de los equipos a consecuencia de una avería, deberán cumplirse los siguientes puntos:

A. El diseño, la capacidad nominal y las características físicas del recambio son compatibles tanto con el equipo en servicio como con el proceso.

B. Se han verificado la ubicación, estado y compatibilidad de los recambios para responder y recuperarse frente a la avería de un equipo a fin de **minimizar el tiempo de parada**.

C. **Los recambios se almacenan adecuadamente y se inspeccionan, prueban y mantienen como parte del programa de integridad de los activos para mantener su viabilidad.**

D. **Se ha verificado que los recambios son idóneos para el servicio previsto.**

E. **Hay recambios disponibles para su utilización en caso de producirse una avería del equipo mientras está en funcionamiento.**

F. Existe un plan que documenta los requisitos de transporte, retirada/desmontaje e instalación/manipulación de los recambios (ya estén en la planta o fuera de ella). Esto incluye la identificación y planificación de cualquier modificación importante necesaria para instalar el recambio en su ubicación final (por ejemplo, cimentación, soportes, dimensionamiento de la estructura, conexiones al sistema y a los procesos) y disponer de los elementos de montaje necesarios para la instalación (juegos de cuñas, acoplamientos, cableado) cuando se necesiten.

A fin de mantener la viabilidad de los recambios para averías de los equipos, el alcance y la implantación del programa de integridad de los activos que se aplica a estos es el mismo que el utilizado para los equipos en funcionamiento.

Consulte en el anexo C las directrices relativas a las estrategias de mitigación para planes de contingencia para equipos redundantes (es decir, equipos N+1) y arrendados.

Consulte las fichas técnicas aplicables a los equipos o actividades específicos para obtener directrices adicionales sobre planes de contingencia y gestión de recambios.

### 2.3.3 Exclusión de materiales extraños

2.3.3.1 Determine los equipos que deberían formar parte del programa de exclusión de materiales extraños y el nivel de conformidad dentro de dicho programa (nivel 1, 2 o 3) en el que deben incluirse. Los equipos como turbinas, generadores, motores y compresores son los más vulnerables frente a daños por objetos extraños debido a las bajas tolerancias en los elementos rotativos a velocidades elevadas. Sin embargo, el programa de exclusión de materiales extraños debería tenerse en cuenta siempre que se abran equipos (transformadores, recipientes a presión, redes de tuberías, calderas, cuadros de distribución, etc.) para llevar a cabo labores de inspección, pruebas, mantenimiento o reparaciones.

2.3.3.1.1 Mantenga una lista de los distintos equipos y sistemas y sus niveles de conformidad.

2.3.3.2 Implante un programa de exclusión de materiales y asegúrese de que, siempre que se lleve a cabo el mantenimiento de los equipos o sistemas identificados como parte del programa, se cumplan estrictamente sus procedimientos.

2.3.3.3 Lleve a cabo auditorías periódicas de la estructura del programa de exclusión de materiales extraños para garantizar que esté funcionando, se hayan incluido todos los equipos y sistemas estratégicos y los niveles de los procedimientos sigan siendo los aplicables a los equipos.

En el anexo D encontrará directrices sobre los distintos niveles de análisis que forman parte del programa de exclusión de materiales extraños. En los proyectos que involucren el desmontaje importante de un equipo rotativo (en particular, turbinas de gas y generadores) se deberían aplicar las directrices correspondientes al nivel 3, ya que la entrada de materiales extraños en estos sistemas podría tener efectos devastadores y costosos. En cambio, para los proyectos en los que el desmontaje sea menor (por ejemplo, si es tan solo para permitir el acceso de equipos de inspección remota), podría aplicarse un nivel más bajo del programa. A la hora de escoger el nivel de protección para una actividad frente a un posible incidente de entrada de materiales extraños, se debería tener en cuenta el conjunto de riesgos que este conlleva.

## 3.0 FUNDAMENTO DE LAS RECOMENDACIONES

### 3.1 Historial de siniestros

#### 3.1.1 Estadística de siniestros

Existe una amplia experiencia acumulada en siniestros relacionados con el mantenimiento industrial. Las estadísticas en materia de siniestros de FM demuestran que, si los programas de inspección, pruebas y mantenimiento no se desarrollan, aplican y gestionan de forma eficaz, pueden contribuir negativamente a los siniestros en equipos. De hecho, los datos de siniestros recabados en un periodo reciente de 10 años demostraron que contar con un programa inadecuado de integridad de los activos (por ejemplo, debido a la ausencia de un programa de inspección, pruebas y mantenimiento, a un diseño incorrecto, o a un sistema inadecuado de gestión de anomalías) contribuyó negativamente a la mayoría de los siniestros en equipos registrados durante dicho periodo.

### 3.1.2 Ejemplos de siniestros

#### 3.1.2.1 La falta de inspecciones, pruebas y mantenimiento provoca el fallo de la corona dentada de un molino semiautógeno

Una mina de propiedad compartida se dedicaba a la producción de concentrado de cobre y molibdeno, con menores cantidades de plata y oro. Se trataba de un complejo de mina a cielo abierto con una tasa de producción de aproximadamente 16.000 toneladas (17.637 toneladas EEUU) diarias. Las instalaciones contaban con un único molino semiautógeno de 8.200 kW (11.000 hp) impulsado por dos motores eléctricos de 4.100 kW (5.500 hp). El molino semiautógeno alimentaba, a su vez, dos molinos de bolas paralelos. El mineral pasaba en primer lugar desde las trituradoras primarias hasta una acumulación de minerales que se trasladaban a continuación sobre una cinta transportadora hasta la alimentación del molino semiautógeno.

Durante las comprobaciones del circuito al comienzo del turno, un gran estruendo anómalo alertó al encargado. Se observó que caía polvo desde la cubierta de la corona dentada y las vigas del molino. Se descubrió que uno de los dientes de la corona estaba roto, por lo que se procedió al cierre del molino. Se llevaron a cabo los procedimientos de parada y, posteriormente, se eliminaron todos los materiales presentes en el molino semiautógeno. Se encontraron varios trozos del diente roto de hasta 305 mm (12 in) de longitud en los distintos puntos de recogida del sistema de lubricación. La rotura del diente había desplazado  $\frac{1}{4}$  hacia adentro el engranaje del piñón y el conjunto del motor de la posición norte, y se observaron daños en los piñones norte y sur.

Todas las actividades del molino tuvieron que interrumpirse completamente durante dos meses, y solo pudieron reanudarse tras ese tiempo porque se hizo funcionar el engranaje en sentido inverso hasta que llegó el recambio. Después de la entrega de la corona dentada de recambio (algo que tardó cuatro meses tras agilizarse el envío), su instalación y puesta en marcha en la planta requirieron cuatro semanas más de interrupción de las actividades.

El análisis de fallos que se realizó incluyó pruebas detalladas que revelaron que 24 de los 394 dientes de la corona presentaban daños importantes a causa, seguramente, de la inclinación hacia adentro de la corona. A pesar de haber tenido que sustituir los engranajes acoplados y de haber funcionado sin lubricación en varias ocasiones durante los 10 años previos a esta avería, no se había efectuado ninguna inspección de la corona dentada en todo ese tiempo.

En el caso de este siniestro, la falta de inspección y pruebas de la corona provocó una acumulación de daños que desembocó en el fallo de uno de los dientes y la necesidad de sustituir la corona. Aunque ya se habían producido varios casos de falta de lubricación y desgaste de los piñones, el programa de inspección, pruebas y mantenimiento no se adaptó para comprobar la existencia de daños colaterales. Al no haber llevado a cabo labores de inspección, pruebas y mantenimiento que pudieran identificar el posible deterioro, la planta no pudo tomar las medidas necesarias para evitar el avance de los daños o planificar la sustitución necesaria.

#### 3.1.2.2 La falta de gestión de anomalías de un transformador con fallos internos provoca su avería y una reducción de los niveles de producción

Una planta de fabricación de neumáticos con capacidad para 11.000 ruedas para vehículos de pasajeros y agrícolas contaba con el 100 % de la cuota de mercado en su país de origen, más las ventas procedentes de la exportación. La planta recibía energía eléctrica de la red pública desde una subestación situada a 7 km (4,3 millas) de distancia gracias a una línea aérea de transmisión exclusiva para este fin. La subestación de la planta contaba con un único disyuntor de aceite para proteger dos transformadores de aceite de 7,5 MVA que reducían la tensión de 20 kV a 2,4 kV. El uso de un suministro de 2,4 kV era único en la región, y con él se proporcionaba alimentación a mezcladores Banbury, trenes de desbaste y otros equipos de producción. Ambos transformadores eran necesarios para mantener la plena producción de la planta.

Como práctica de mantenimiento preventivo, se realizaban pruebas de muestras del aceite de los transformadores. Los resultados de las pruebas de gases disueltos en el aceite mostraban indicios de posibles condiciones anómalas en ambos equipos. Se recomendó sustituirlos y desarrollar planes de continuidad de las actividades que permitieran recuperarse en caso de una avería en los transformadores.

La dirección de la planta había presentado un informe justificativo para la sustitución y se fue reacondicionando el aceite anualmente con la intención de ampliar la vida útil del transformador.

Una noche, la planta se quedó sin electricidad, al parecer por un apagón en la red eléctrica. El personal de la planta confirmó que se habían abierto el disyuntor de aceite de 20 kV y los disyuntores de 2,4 kV aguas abajo de los dos transformadores y se había disparado el relé diferencial del equipo más antiguo.

Los transformadores se sometieron a pruebas de resistencia del aislamiento y de relación de transformación y se concluyó que el equipo más antiguo mostraba señales de fallos en las espiras en el lado de alta tensión, lo que confirmó la existencia de una anomalía interna. A pesar de haberse detectado un deterioro del transformador y de que los resultados de los análisis de gases disueltos en el aceite de ambos transformadores mostraban indicios de anomalías internas, los equipos se conectaron a la corriente al día siguiente con los disyuntores secundarios abiertos. Cuando se cerró el disyuntor de aceite aguas arriba, el transformador más antiguo produjo un estallido y el disyuntor volvió a abrirse.

El transformador se inspeccionó internamente a través de una abertura de acceso y se confirmó que existían daños en los bobinados de alta tensión. La sobretensión transitoria provocada por el apagón general había precipitado el fallo del transformador, que ya estaba deteriorado.

Al día siguiente, la planta volvió a funcionar a aproximadamente un 40 % de su capacidad y con un único transformador en funcionamiento mientras se procuraba la reparación o sustitución del equipo averiado. Se efectuaron otros arreglos que incrementaron la capacidad a aproximadamente un 70 %. Se tardó aproximadamente seis semanas en reparar el transformador averiado.

#### **3.1.2.3 La falta de gestión de anomalías provoca el derrumbe de una torre de refrigeración**

Una central eléctrica de carbón producía electricidad mediante un turbogenerador de vapor de grandes dimensiones. Una torre de refrigeración hiperbólica de flujo cruzado suministraba el agua de refrigeración necesaria para las operaciones. En dicha torre, de 37 años de antigüedad, se utilizaba un canal de madera de secuoya.

El programa de inspección, pruebas y mantenimiento que se aplicaba a la torre de refrigeración se estuvo llevando a cabo en intervalos de dos años desde su puesta en marcha hasta tres años antes del siniestro, momento en que se amplió el intervalo para pasar a realizar las pruebas cada tres años, coincidiendo con las paradas de la planta. Cuatro meses antes del incidente se había completado una inspección programada.

Los resultados revelaron la existencia de varios problemas críticos en la estructura de la torre de refrigeración (pilares arqueados, anomalías en secciones del pilar y estructura separada del tubo colector). Se recomendó completar las mejoras estructurales antes de volver a poner la torre en servicio,

pero solo se llegó a efectuar una parte de las reparaciones, lo que desembocó en un derrumbe parcial de aproximadamente un 25 % del canal de la torre de refrigeración, que cayó al suelo. La causa del siniestro fue la erosión causada por el agua en los elementos estructurales del canal, de madera de secuoya. La reducción en la sección transversal del elemento estructural generó una pérdida de integridad estructural que provocó el colapso parcial y acarreó una duración de la parada de 7,5 semanas.

El aumento del intervalo entre inspecciones facilitó una mayor erosión hídrica de los miembros estructurales del canal. Una vez identificado el deterioro, se debería haber aplicado un proceso de gestión de anomalías a los resultados de la inspección para determinar si los elementos estructurales de la sección transversal seguían siendo aptos para el servicio previsto y establecer las posibles implicaciones del deterioro. De haber llevado esto a cabo, se podrían haber dado los pasos adecuados para corregir las deficiencias encontradas durante la inspección de la torre de refrigeración, y prevenir así el siniestro.

#### **3.1.2.4 La falta de un plan de contingencia para los equipos prolonga la interrupción de las actividades**

Una planta de grandes dimensiones producía pasta de papel Kraft en una sola línea, con una capacidad nominal de 900.000 toneladas al año (816.500 toneladas EEUU/año) y contaba con un sistema de generación eléctrica en planta que satisfacía toda su demanda. El exceso de energía se vendía a la red. Para elevar la tensión de la electricidad generada en la planta se utilizaba un único transformador de potencial. Dicho transformador tenía cuatro años de antigüedad, contaba con elementos de protección específicos y un sistema de supervisión en línea de los gases disueltos en el aceite. Los resultados de las

labores de mantenimiento realizadas no mostraron indicios de anomalías. Entre las actividades realizadas se incluían las siguientes:

- cada tres años, pruebas de factor de potencia;
- mediciones de la resistencia del aislamiento;
- cada dos años, pruebas de resistencia óhmica y de relación de transformación;
- anualmente, pruebas del aceite de aislamiento;
- inspecciones visuales y limpieza periódicas.

Durante el funcionamiento rutinario, se produjo el disparo del grupo electrógeno y se observó que la válvula de seguridad del transformador elevador había descargado aceite. Las lecturas del sistema de detección en línea de gases disueltos en el aceite revelaron detalles importantes. Se desconectó el transformador de la red y la planta comenzó a comprar energía eléctrica a fin de reanudar sus actividades. El transformador había sufrido un cortocircuito interno y varios fallos entre espiras y, además, se detectó azufre en el aceite de aislamiento que, según se determinó, había sido la causa del siniestro.

La avería eléctrica del transformador elevador del grupo electrógeno dio lugar a la compra externa de energía eléctrica. Además, sin la condensación de la turbina, la planta se vio obligada a descargar vapor, lo que a su vez incrementó la demanda del sistema de tratamiento del agua de alimentación de la caldera. Este siniestro afectó también a la producción: la fábrica no alcanzó la producción prevista. La compra de energía eléctrica representó aproximadamente la mitad del tiempo de interrupción de las actividades.

## 3.2 Equipos y procesos

### 3.2.1 Influencias del programa de integridad de los activos

El programa de integridad de los activos y el alcance de su programa de inspección, pruebas y mantenimiento están influenciados por distintos aspectos de un proceso. La información relativa al diseño, el funcionamiento y los riesgos proporciona el conocimiento de base sobre el que se desarrolla el programa de inspección, pruebas y mantenimiento. Los resultados de este programa influyen en el diseño, construcción y funcionamiento de los equipos nuevos y los ya existentes, incluidos aspectos como las ventanas de integridad operativa, los límites de funcionamiento seguro, y las reparaciones o modificaciones.

## 3.3 Operación y mantenimiento

### 3.3.1 Integridad de los activos

Un programa de integridad de los activos es un elemento esencial para ayudar a garantizar la integridad y fiabilidad de los equipos mecánicos, eléctricos, a presión y de producción, así como de sus sistemas asociados. La integridad y fiabilidad de los equipos tiene también en cuenta el servicio previsto a lo largo de su vida útil. Promover la integridad y la fiabilidad aumenta la eficiencia y reduce la posibilidad de que los equipos sufran averías.

La avería de un equipo constituye una de las causas principales de fallo de los sistemas de contención, lo que puede provocar incendios, explosiones u otras situaciones de riesgo. La prevención de averías de los equipos y la contención de las fuentes de energía dependen de las características de los equipos, desde cómo están diseñados e instalados, hasta la forma de utilizarlos y protegerlos, pasando por todas las tareas de mantenimiento. Los programas de integridad de los activos pueden validar el diseño del equipo original al detectar, supervisar y observar las tendencias de los mecanismos de daño que se esperan. Estos programas permiten gestionar con flexibilidad los cambios en el proceso, las condiciones de funcionamiento y los criterios que definen el programa de inspección, pruebas y mantenimiento.

#### 3.3.1.1 El programa de integridad de los activos

El programa de integridad de los activos tiene un efecto sobre el equipo a lo largo de su vida útil. Después del diseño y puesta en marcha iniciales, el programa de integridad de los activos implanta un procedimiento de inspección, pruebas y mantenimiento centrado en asegurar que el equipo sea fiable durante los periodos de funcionamiento y parada. Este programa de inspección, pruebas y mantenimiento tiene en cuenta los posibles mecanismos de daño y los modos de fallo que dependen del proceso y del propio equipo y que pueden presentarse durante el funcionamiento. Se trata de un proceso continuo que debería adaptarse al envejecerse el equipo o producirse cambios en el proceso a lo largo de su vida útil.

Las lecciones extraídas del historial de funcionamiento del equipo deberían incorporarse al diseño y al programa de integridad de los activos para utilizarlas con nuevos equipos que presenten condiciones similares.

Para que el programa de gestión de activos sea viable, en sus etapas de desarrollo e implantación deberán gestionarse eficazmente los elementos clave que interaccionan.

El **componente de responsabilidad** es la base de un programa viable. Constituye la primera etapa del proceso, en la que deberá proporcionarse el grado de apoyo y compromiso necesario por parte de toda la organización para implantar el programa eficazmente. Consulte la sección 2.3.1.1. Las otras etapas del proceso incluyen las que se mencionan a continuación:

#### **Identificar y evaluar**

Las etapas del proceso relativas al conocimiento acerca de los procesos, los parámetros de funcionamiento y la identificación y evaluación de riesgos contribuyen a identificar y comprender para qué se han diseñado los equipos y a qué riesgos provocados por los procesos se ven expuestos a lo largo de su vida útil. Esto incluye las ventanas de integridad operativa determinadas en función de los parámetros de funcionamiento. Consulte la sección 2.2.

#### **Reducir riesgos**

Un diseño y puesta en marcha adecuados es una de las etapas del proceso que reduce los riesgos inherentes para los equipos provocados por el proceso del que forman parte. Consulte la sección 2.2.2.

#### **Detectar**

Los programas de inspección, pruebas y mantenimiento; supervisión del estado y del rendimiento a partir de los mecanismos de daño y modos de fallo de los procesos y equipos; así como la documentación y análisis de tendencias de los resultados son etapas del proceso que afectan directamente a la viabilidad del programa de integridad de los activos. Esta es la piedra angular del programa de integridad de los activos. Consulte la sección 2.3.1.2.

#### **Gestionar**

Una etapa eficaz de gestión de las anomalías, con evaluaciones de idoneidad para el funcionamiento y de la vida útil restante, permite verificar si el alcance y la implantación del programa de integridad de los activos están sirviendo para gestionar eficazmente los mecanismos de daños y la integridad y fiabilidad de los equipos. Consulte la sección 2.3.1.4.

#### **Mejorar**

La etapa de análisis de causa raíz de los fallos de los equipos, junto con las medidas correctoras resultantes, contribuye a la mejora y evolución continuas del programa. Consulte la sección 2.3.1.5.

En la figura 3.3.1.1-1 pueden verse las etapas del proceso del programa de integridad de los activos.

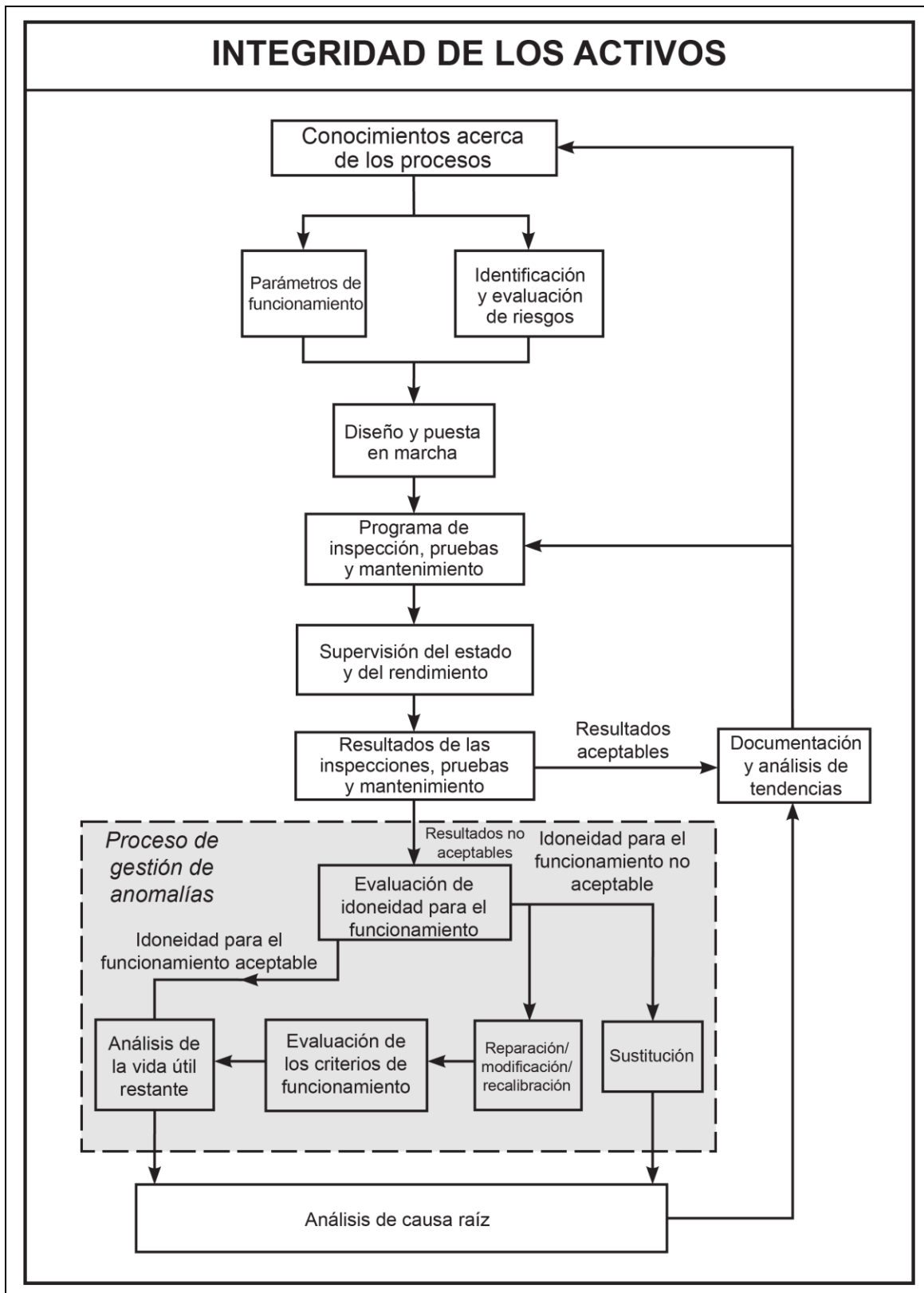


Figura 3.3.1.1-1. Diagrama de flujo del proceso de integridad de los activos

### 3.3.1.2 Inspección, pruebas y mantenimiento

El programa de inspección, pruebas y mantenimiento es la piedra angular del programa de integridad de los activos y tiene como objetivo identificar e implantar las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento necesarias para garantizar la fiabilidad a largo plazo de los equipos. El alcance, las técnicas, la periodicidad y las ubicaciones de las actividades que recoge el programa de inspección, pruebas y mantenimiento variarán según el diseño del equipo, el envejecimiento operativo, los mecanismos de daño y los modos de fallo previstos, así como el objetivo de disponibilidad de funcionamiento.

Cabe señalar que la periodicidad para llevar a cabo las actividades del programa de inspección, pruebas y mantenimiento se basan generalmente en lograr un equilibrio entre la disponibilidad deseada del equipo (tolerancia al riesgo) y los costes de las actividades, a fin de que el programa resulte más rentable y aplicable.

Cada actividad de inspección, pruebas y mantenimiento normalmente irá acompañada de una descripción detallada que incluirá los siguientes puntos:

- A. Orientación sobre cómo, dónde, cuándo y por qué se debería realizar la actividad de inspección, pruebas y mantenimiento. Este punto puede incluir desde instrucciones sencillas en una orden de trabajo hasta procedimientos completos para ciertas actividades, dependiendo del nivel de la actividad.
- B. Los informes requeridos al realizar la actividad. El nivel de precisión de los informes debería estar en consonancia con el nivel de la actividad de inspección, pruebas y mantenimiento, así como con el nivel de las instrucciones proporcionadas. Consulte la sección 2.3.6 para obtener directrices sobre la documentación.
- C. Los criterios de aceptación con los que comparar los resultados de las actividades.

#### 3.3.1.2.1 Lista maestra de equipos

Antes de poder comenzar a asignar estrategias y actividades dentro del programa de inspección, pruebas y mantenimiento, se debería establecer un método para identificar, describir y realizar un seguimiento de los sistemas, equipos y componentes a fin de garantizar que se hayan contabilizado todos los activos que deberían incluirse en el programa de integridad. Una forma de hacerlo es elaborar una lista maestra de los equipos e instrumentos.

Esta lista debería incluir todos los activos incluidos en el programa de integridad de los activos y, por lo general, va acompañada además de un diagrama asociado de flujo de producción o procesos, así como de diagramas de tuberías e instrumentación, incluidos los diagramas unifilares de los sistemas de suministro y de apoyo. En esta lista también deberían incluirse los sistemas de protección. Durante la elaboración de la lista maestra de equipos, se deberían verificar los planos y los diagramas (incluidos los de tuberías e instrumentación) sobre el terreno, con el objetivo de asegurar la exactitud y coherencia de la información, y que se cuente con los dispositivos de control y protección apropiados (por ejemplo, válvulas, instrumentos, tapones de drenaje, etc.). La lista maestra de equipos e instrumentación debería proporcionar detalles adecuados para poder agrupar los equipos de acuerdo con sus componentes y subconjuntos principales. Asegúrese de incluir también los equipos redundantes, de recambio o alquilados.

La información que normalmente se incluye en una lista maestra de equipos e instrumentación incluye los siguientes datos:

- especificaciones de diseño;
- información de la placa de datos técnicos (fabricante, modelo, número de serie, fecha de instalación, material, dimensiones, proveedor o servicio técnico local, etc.);
- nombre y número de los equipos de la planta;
- ubicación (número de edificio, piso, etc.);
- nombre de la persona o personas responsable(s) o con conocimiento acerca de los equipos;
- ubicación de los manuales técnicos e información sobre el propietario, otros documentos y planos;
- un registro de averías de la maquinaria y disponibilidad de los recambios de uso habitual, así como los nombres y los datos de contacto de los proveedores de los equipos y recambios, técnicos de mantenimiento disponibles y opciones de alquiler (si proceden).

3.3.1.2.2 Un programa de inspección, pruebas y mantenimiento puede utilizar una estrategia reconocida, o bien una combinación de estrategias, a la hora de implantar las actividades del programa. Las estrategias utilizadas dependerán del equipo, la criticidad del proceso, los riesgos identificados, los mecanismos de daño, los modos de fallo y el historial de funcionamiento. Además, es necesario observar que los cambios en el funcionamiento o el estado de cada activo pueden modificar los mecanismos de daño y los modos de fallo correspondientes. Por lo tanto, para cada activo concreto podría utilizarse una combinación de prácticas de mantenimiento y estrategias de mitigación en cualquier etapa de su vida útil. Es esencial que las plantas se aseguren de que la estrategia de mantenimiento que se aplica para cada activo se actualice según sea necesario para reflejar el estado actual de dicho activo.

Las tres estrategias principales se describen a continuación.

### A. Reactiva

Una estrategia reactiva (también denominada de avería, correctiva o contra fallo) consiste en llevar a cabo las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento (o bien la reparación o sustitución) al producirse el fallo de un componente durante su funcionamiento. Se trata de la modalidad de inspección, pruebas y mantenimiento más antigua y básica. La acción que se toma se limita al evento de fallo específico con el fin de restaurar el activo a un nivel aceptable de rendimiento. Generalmente, el enfoque reactivo se reserva para aquellos activos que no tienen un impacto directo sobre la integridad y fiabilidad del proceso general. Es una estrategia que no debería aplicarse nunca con un sistema de protección. Entre los componentes con los que se utiliza un enfoque reactivo podrían estar aquellos activos que cuentan con redundancia incorporada en el proceso, activos con recambios fácilmente intercambiables durante el propio funcionamiento o piezas cuyo fallo tiene pocas consecuencias (es decir, que no son esenciales para el proceso ni suponen una amenaza significativa de daños colaterales). Este tipo de actividades pueden figurar en los registros de trabajo como actividades «no programadas» o «de emergencia». Si se sigue esta estrategia, las actividades deberían poder llevarse a cabo con suficiente prontitud y por personal fácilmente disponible. El plazo en el que es posible corregir este tipo de situaciones dependerá de la función que el componente o equipo cumplía dentro del proceso.

Características de una estrategia reactiva:

- Una estrategia reactiva puede ser menos costosa de implantar (en cuanto a los costes iniciales, aunque quizás no a largo plazo) que otras estrategias más sofisticadas, debido a que requiere el mínimo de análisis y planificación.
- Supone un bajo tiempo de inactividad inicial para el equipo, ya que este no se pone fuera de servicio para llevar a cabo las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento.
- Por lo general, da lugar a fallos imprevisibles capaces de dar lugar a una disminución de la disponibilidad y mayores costes colaterales.
- La vida útil de los equipos es más corta.
- Los daños descubiertos después del fallo pueden resultar más graves que si se hubieran supervisado y reparado antes.

### B. Preventiva

Una estrategia preventiva (o basada en el tiempo) consiste en realizar las actividades de mantenimiento cuando se activan los intervalos de periodicidad del proceso (por ejemplo, número de meses, horas de funcionamiento, kilómetros, arranques, paradas) con el objetivo de evitar una avería imprevista. Se trata de un concepto basado en prevenir fallos reacondicionando o sustituyendo componentes antes de que fallen. Las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento se programan a intervalos predeterminados, independientemente del estado del equipo en ese momento. Precisa de un conocimiento estadístico del fenómeno de deterioro, así como de la vida útil del componente. El objetivo de una estrategia preventiva es prevenir fallos catastróficos y evitar cualquier actividad no planificada. En comparación con el mantenimiento reactivo, esta estrategia suele suponer menos tiempo de inactividad del equipo. Este método es particularmente adecuado cuando las causas específicas del deterioro de un activo y su régimen de funcionamiento están bien establecidas, son consistentes y previsibles.

A la hora de determinar los intervalos de prevención, la vida útil y la probabilidad de fallo se basan en información estadística que, a su vez, suele proceder del fabricante del equipo original y los grupos del sector. Debido a esto, es posible que los datos no reflejen de forma precisa ningún régimen de

funcionamiento en particular en una ubicación concreta, y sigue existiendo la posibilidad de que se produzcan fallos imprevistos durante las operaciones, lo que daría lugar a actividades no planificadas y a un tiempo de parada de los activos.

Además, si se sustituyen las piezas en un período de tiempo predeterminado, es posible que esta sustitución tenga lugar mucho antes de que se produzca un fallo, lo que, a su vez, podría suponer un desperdicio de la vida útil no aprovechada del componente sustituido. Por otro lado, un exceso de mantenimiento podría ser también perjudicial (por ejemplo, engrasar un cojinete con demasiada frecuencia).

Características de una estrategia preventiva:

- Los equipos se deberían someter a rutinas de inspección, pruebas y mantenimiento a lo largo de su vida útil.
- Las actividades preventivas de inspección, pruebas y mantenimiento pueden proporcionar los datos de partida necesarios para conocer el deterioro de los equipos que no se están supervisando.
- Una estrategia preventiva de inspección, pruebas y mantenimiento puede resultar costosa, debido a las actividades programadas periódicamente independientemente del estado del equipo.
- Se necesitan recursos para programar, ejecutar y llevar un seguimiento de las actividades comprendidas en el programa.
- Un equipo que funciona correctamente puede verse alterado por el desmontaje periódico, hasta el punto de llegar a sufrir tensiones inducidas (por ejemplo, un equipo que funciona bien y se desmantela para una actividad de inspección, pruebas y mantenimiento para volver a montarse después y que, debido a un error del técnico durante la actividad, sufre un daño).
- En comparación con el mantenimiento reactivo, esta estrategia supone una mayor vida útil y fiabilidad del equipo.

#### C. Predictiva y basada en el estado del equipo

Una estrategia predictiva o basada en el estado del equipo utiliza determinadas técnicas para supervisar dicho estado. Cuando existe un deterioro, la mayoría de los equipos presentan una pérdida de rendimiento energético en forma de excesiva emisión de calor, sonido, movimiento, desgaste de los componentes, etc. Por lo tanto, supervisar las formas en que un activo puede gastar esta energía o mostrar una reducción de la eficiencia puede proporcionar indicadores precoces de que el equipo presenta problemas. Las variables que deberían supervisarse varían según el activo en cuestión y el proceso del que forma parte. La información recopilada por las técnicas de supervisión se utiliza para identificar el deterioro y poner en marcha las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento. En la estrategia predictiva, los datos recopilados de la supervisión se extrapolan para mejorar la predicción de las próximas averías. Según ambos métodos, las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento solo deberían realizarse cuando sea necesario (antes de un fallo o un daño irreparable).

Estas estrategias requieren, en primer lugar, tomar y recopilar mediciones para determinar cuándo existe una anomalía. La interpretación posterior de estas mediciones especifica si la anomalía es significativa y, de ser así, se procede a establecer el tipo concreto de deterioro y su gravedad. Esto permite planificar o ejecutar intervenciones solo después de que se haya observado un empeoramiento del estado del equipo que ponga en riesgo su vida útil restante.

Existen varias estrategias para establecer técnicas de supervisión del estado de los equipos. Para cada componente o equipo se puede aplicar una o varias estrategias de supervisión de su estado, así como utilizar distintas técnicas. Independientemente de lo anterior, las técnicas de supervisión del estado del equipo deberían ser adecuadas para detectar los diferentes mecanismos de daño típicos correspondientes a los parámetros de funcionamiento del activo en cada proceso. Entre las diferentes estrategias se incluyen las siguientes:

- Estrategia continua: las estrategias continuas suelen estar automatizadas. Consisten en proporcionar vigilancia continua y enviar la información correspondiente a una ubicación central (es decir, a una sala de control). Dado que el coste de instalación de estos sistemas suele ser elevado, se utilizan cuando el estado del equipo debe notificarse en cuestión de segundos.

- Estrategia periódica: las estrategias periódicas se llevan a cabo a intervalos determinados (en función del tiempo o a partir de intervalos del proceso). Su coste de instalación puede ser más bajo si no se conectan con una ubicación central de supervisión. No obstante, si no se supervisa desde una ubicación central, la estrategia periódica suele resultar más laboriosa debido a la necesidad de recopilar los datos sobre el terreno. Estas estrategias suelen utilizarse cuando las condiciones del equipo denotan la existencia de anomalías en una fase incipiente que, de ignorarse, podrían dar lugar a fallos.
- Estrategia transitoria: las estrategias transitorias supervisan las condiciones únicamente durante las operaciones de arranque o parada, en situaciones de alarma o cualquier otro modo de funcionamiento transitorio. Esta estrategia puede utilizarse también durante la puesta en marcha, así como antes o después de las revisiones, a fin de confirmar que cualquier sustitución o modificación efectuada sea aceptable para la carga de trabajo del equipo.

Entre las técnicas de supervisión que pueden implantarse se incluyen las siguientes:

1. Supervisión del rendimiento: para supervisar el rendimiento se recurre a varias formas de seguimiento de parámetros, que se traducen en características de rendimiento de los sistemas o equipos. Este modo de supervisión puede emplearse en cualquier componente con instrumentación instalada que resulte útil para evaluar el estado o la eficiencia.
2. Supervisión de la temperatura: dentro de la supervisión de la temperatura se incluyen las inspecciones termográficas y otras técnicas.
  - a. Supervisión termográfica: la supervisión termográfica es capaz de detectar defectos eléctricos o mecánicos, tales como un exceso de fricción, sobrecalentamientos, conexiones sueltas, el deterioro de los aislamientos u obstrucciones en el sistema de refrigeración. La supervisión termográfica suele aplicarse a elementos como cojinetes, motores, fusibles, relés, tuberías de vapor, engranajes impulsores, correas, acoplamientos, grupos electrógenos, transformadores, conexiones de fusibles, cuadros de distribución, motores de arranque, contactores y equipos conectados a la corriente.
  - b. Supervisión puntual de la temperatura: la supervisión puntual de la temperatura se utiliza generalmente para realizar un seguimiento de los perfiles de temperatura de un equipo a lo largo de diferentes modalidades de funcionamiento y estados transitorios. Este tipo de supervisión puede utilizarse en ubicaciones específicas en las que no sea posible realizar una supervisión termográfica durante el funcionamiento.
3. Supervisión de vibraciones: la supervisión de vibraciones constituye una técnica muy eficaz para detectar defectos mecánicos en equipos rotativos como bombas, motores, ventiladores y turbinas. Permite identificar cojinetes defectuosos, desequilibrios y fallos de alineación.
4. Análisis de lubricación: el análisis de la lubricación permite identificar el desgaste de los componentes o los cojinetes, el agotamiento de los aditivos, la dilución de los combustibles, las fugas de refrigerante, la contaminación, la entrada de suciedad y el deterioro de los sellos internos. Se utiliza en cajas de engranajes, motores, compresores, bombas y motores. La lubricación es fundamental para el funcionamiento de las máquinas. Asegúrese de que se realiza un diagnóstico preciso de la lubricación y sus propiedades físicas
5. Análisis de partículas: los componentes desgastados de las máquinas (ya sean reciprocantes, cajas de engranajes o sistemas hidráulicos) liberan residuos. Su recogida y análisis proporciona información sobre qué componentes se están deteriorando, así como sobre su tasa de deterioro. Se utiliza en cajas de engranajes, motores, compresores, bombas y motores.
6. Supervisión de emisiones acústicas: la supervisión de emisiones acústicas se puede utilizar para detectar, localizar y supervisar de forma continuada grietas o fugas en estructuras, tuberías y recipientes a presión. La supervisión de emisiones acústicas se emplea como instrumento de detección; no constituye una tecnología de precisión. Se utiliza en equipos rotativos y componentes presurizados.
7. Supervisión por ultrasonidos: la supervisión por ultrasonidos identifica la falta o exceso de lubricación de los cojinetes, pérdidas de espesor de las paredes y defectos subsuperficial. Esta técnica se utiliza en equipos rotativos y componentes presurizados.

8. Supervisión de equipos eléctricos en funcionamiento: el análisis de gases disueltos en el aceite o la descarga parcial son técnicas que se utilizan para evaluar el estado de grandes motores y generadores. Detecta los huecos que se forman en el aislamiento sólido (delaminación).

Características de una estrategia predictiva o basada en el estado del equipo:

- El equipo solo se revisa cuando es necesario.
- Las actividades se realizan con antelación suficiente para prevenir daños importantes.
- Se identifican deficiencias de diseño para permitir la realización de reparaciones permanentes.
- Se incrementa el tiempo de funcionamiento.
- Se requieren equipos de supervisión y análisis, así como capacitación del personal.
- No analizar correctamente los datos puede llevar a realizar actividades de inspección, pruebas y mantenimiento erróneas, o a no llevarlas a cabo cuando son necesarias.

3.3.1.2.3 Es posible aplicar varias estrategias de inspección, pruebas y mantenimiento a cada equipo. Para determinar de manera coherente qué estrategias de inspección, pruebas y mantenimiento utilizar para cada equipo, se suele llevar a cabo un proceso de categorización de los equipos en función de su nivel de prioridad, así como una selección de las posibles estrategias de inspección, pruebas y mantenimiento. Este proceso puede variar de una planta a otra. Un proceso bien definido para determinar la criticidad de los equipos, aplicado con coherencia en toda la planta u operación, ayuda a garantizar la coherencia al comparar sistemas o equipos. En las siguientes secciones se tratan algunos ejemplos de procesos típicos.

#### A. Normas industriales documentadas

Es posible que exista información normalizada sobre los procesos que hace mucho tiempo que se usan. Dicha información suele ser desarrollada y mantenida por una entidad industrial de reconocida solvencia para que la utilicen tanto propietarios como operadores.

#### B. Agrupación de sistemas y equipos en categorías

Las categorías de agrupación de equipos y sistemas están determinadas por la industria y se utilizan para representar el nivel de criticidad de cada pieza del equipo. Estas categorías de agrupación pueden ser de índole general o compleja.

#### C. Mantenimiento centrado en la fiabilidad

Se trata de un proceso de mantenimiento sistemático que analiza las funciones del sistema. En primer lugar, se elige un equipo crítico, para a continuación definir y analizar el sistema al que pertenece el componente. El análisis identifica de qué formas el sistema no lograría satisfacer su cometido en la planta. Se determina la causa raíz de cada una de las maneras en que el sistema podría fallar y se aplica una estrategia de inspección, pruebas y mantenimiento a cada una. El objetivo principal es proporcionar una continuidad operativa que resulte rentable. El mantenimiento centrado en la fiabilidad habitualmente se realiza en maquinaria rotativa.

#### D. Inspección basada en riesgos y mantenimiento basado en riesgos

La inspección basada en riesgos y el mantenimiento basado en riesgos son enfoques para determinar cómo, dónde y cuándo llevar a cabo las tareas de inspección y mantenimiento de los activos de una planta. Ambas metodologías se utilizan para asignar prioridades a las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento y se basan en la premisa de que lo más eficaz es que dichas actividades (y sus costes) se centren primero en aquellos procesos, sistemas o equipos que presenten un mayor riesgo.

Las metodologías de inspección y mantenimiento basadas en riesgos constituyen programas integrales que, para poder implantarse, requieren el compromiso y respaldo a largo plazo de la dirección corporativa. En estos programas, el riesgo se determina elaborando situaciones de fallo podrían afectar a los procesos, sistemas o equipos de la planta. A continuación, la probabilidad y las consecuencias de estos fallos se trasladan a una matriz de riesgos que representa visualmente la categoría de riesgo de los activos incluidos. Mediante esta matriz se determina qué activos están por encima del nivel de riesgo aceptable y, por lo tanto, precisan de la aplicación de técnicas de mitigación para reducirlo.

### 3.3.1.2.4. Ventanas de integridad operativa y límites de funcionamiento seguro

La ventana de integridad operativa representa el rango permitido dentro de los parámetros de funcionamiento de un equipo, según lo establecido en la evaluación e identificación de riesgos (por ejemplo, límites superior e inferior de temperatura, tasas de rampa mínima y máxima). Los límites superior e inferior de la ventana de integridad operativa se denominan también límites de funcionamiento seguro.

Cuando un equipo funciona dentro de estos límites, puede cumplir con los parámetros de proceso y diseño con una menor probabilidad de avería. En cambio, funcionar fuera de esos límites (y, por tanto, fuera de la ventana de integridad operativa) dará lugar a un deterioro acelerado y a fallos prematuros. Las ventanas de integridad operativa y los límites de funcionamiento seguro dependen del estado del equipo y están sujetos a cambios con el tiempo. Es necesario que los operadores comprendan las ventanas de integridad operativa y los límites de funcionamiento de los equipos, tal como se detallan en los procedimientos de funcionamiento y en la formación impartida. En la figura 3.3.1.2.4. se ilustran ambos conceptos.

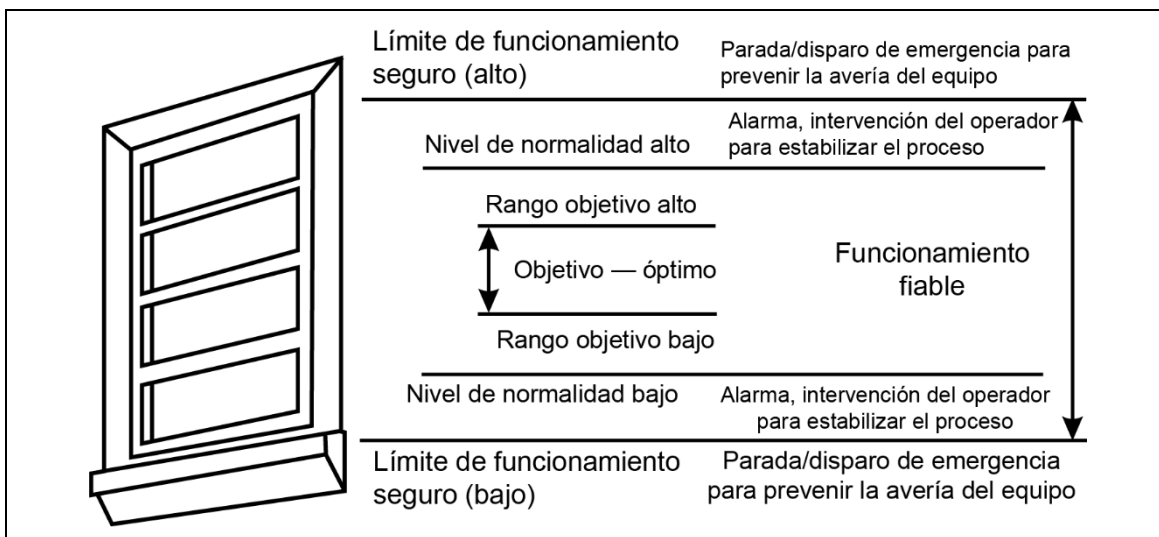


Figura 3.3.1.2.4. Ventana de integridad operativa

### 3.3.1.2.5 Envejecimiento operativo de los equipos

El concepto de envejecimiento operativo no se refiere únicamente a la antigüedad desde el punto de vista cronológico. El envejecimiento operativo es el deterioro del equipo a lo largo de su vida útil, que se ve afectado por los efectos acumulados de las condiciones físicas, de funcionamiento y ambientales, así como por el historial de funcionamiento, los resultados de evaluación y las tendencias del programa de inspección, pruebas y mantenimiento y la antigüedad del equipo en relación con su vida útil. Los equipos y componentes están diseñados para sufrir degradación y mecanismos de daño relacionados con el ambiente y los procesos, con un cierto margen, o factor de seguridad, basado en las normas aplicables. Esto permite que el equipo funcione de manera fiable de acuerdo con las condiciones de funcionamiento previstas en función de los riesgos del proceso (como temperatura, presión, tasa de corrosión, ciclos, etc.). El fabricante del equipo original tiene en cuenta en la fase de diseño este deterioro que está previsto que ocurra a lo largo de la vida útil del equipo. Sin embargo, las propiedades físicas, metalúrgicas y químicas de los materiales que forman parte del equipo se deterioran debido a su exposición a las condiciones ambientales y de funcionamiento. Como resultado de estos factores, la integridad del equipo se degrada con el tiempo por el efecto del envejecimiento operativo.

El envejecimiento operativo depende tanto de los procesos como del propio equipo. El equipo puede experimentar un deterioro (que puede estar relacionado o no con el tiempo que lleva en funcionamiento), lo que aumenta la posibilidad de que se produzca una avería. Esto dependerá del grado de deterioro y los daños existentes. Puede tratarse de un envejecimiento normal de funcionamiento que ya se ha tenido en cuenta en la fase de diseño, o bien de un envejecimiento operativo acelerado, dependiendo de cómo hayan contribuido los factores que afectan al equipo. El envejecimiento operativo acelerado y los fallos prematuros

o imprevistos pueden incrementarse cuando estos factores se gestionan de manera inadecuada, el equipo presenta defectos latentes de diseño o existen defectos de fabricación o una falta de adecuación del diseño al proceso. Pueden ocurrir fallos imprevistos incluso cuando el equipo viene funcionando dentro de su ventana de integridad operativa, debido a la existencia de cargas cíclicas o fatiga. Las condiciones de funcionamiento y ambientales pueden dar lugar a cambios en los mecanismos de daño y estos, a su vez, pueden impactar sobre el envejecimiento operativo y la vida útil restante del equipo. Los cambios en los parámetros de funcionamiento fuera de la ventana de integridad operativa y de los límites del diseño establecidos por el fabricante también pueden modificar los mecanismos de daño y la vida útil del equipo, de forma que aumente el deterioro y la posibilidad de que se produzca una avería.

La forma en que se gestionan estos factores influye en la posibilidad de llevar a cabo una reparación, modificación o reacondicionamiento para restaurar la integridad, o bien una sustitución de componentes o del equipo completo. Un funcionamiento adecuado y un programa viable de inspección, pruebas y mantenimiento pueden permitir que el equipo alcance o incluso supere la vida útil del diseño original. Por el contrario, un funcionamiento o un programa de inspección, pruebas y mantenimiento inadecuados pueden reducir la vida útil. Para poder comprender con claridad el estado del equipo en lo que respecta a su vida útil es necesario tener en cuenta los resultados del estudio de vida útil restante.

#### 3.3.1.2.6 Envejecimiento operativo de los equipos e integridad de los activos

Comprender los riesgos que entrañan los procesos proporciona la base para la implantación del programa de integridad de activos y su alcance, con el objetivo de supervisar de forma eficaz los mecanismos de daño y el efecto de los factores que contribuyen al envejecimiento operativo y la vida útil restante. Como parte del programa de inspección, pruebas y mantenimiento, los mecanismos de daño deben entenderse plenamente, evaluarse y registrarse sus tendencias. Además, en caso necesario, deben corregirse las posibles anomalías para mantener la integridad del equipo durante toda su vida útil.

Cuando el programa de integridad de los activos revele que el deterioro está fuera de los límites aceptables, podría ser necesario llevar a cabo análisis adicionales mediante evaluaciones de la idoneidad del equipo para el servicio. Esto podría dar lugar a reajustes en el programa de inspección, pruebas y mantenimiento y, además, podría ser necesario revisar los procedimientos o los parámetros de funcionamiento para asegurar que se mantengan dentro de cualquier posible cambio de la ventana de integridad operativa a fin de evitar que el equipo sufra anomalías durante el servicio que puedan acelerar el deterioro. Si durante la supervisión del estado del equipo y su rendimiento se observa una reducción de la producción o la eficiencia, un aumento de la frecuencia de las averías o reparaciones repetitivas, esto puede indicar que ha aumentado el deterioro y que este hecho esté afectando negativamente la vida útil. Es posible que sea necesario reparar, modificar o reacondicionar el equipo a fin de restaurar su integridad. La sustitución de componentes deteriorados clave puede ampliar la vida útil del equipo. Dependiendo de los resultados del estudio de vida útil restante, puede ser necesaria la sustitución del equipo completo. El estudio de vida útil restante proporciona la información necesaria para garantizar la sustitución en tiempo y forma de los equipos envejecidos antes de producirse una posible avería en servicio.

A fin de gestionar de forma eficaz el envejecimiento operativo, es necesario adoptar una estrategia basada en el estado del equipo para evaluar el efecto de los factores contribuyentes sobre la vida útil restante. Este punto incluye el análisis de las inspecciones, pruebas y mantenimiento, así como los resultados de la supervisión del estado y el rendimiento, para poder analizar las tendencias. El alcance y la frecuencia del programa de inspección, pruebas y mantenimiento pueden requerir ajustes para supervisar más estrechamente los mecanismos de daño hasta que el equipo pueda repararse, modificarse, reacondicionarse o sustituirse.

#### 3.3.1.2.7 Factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos

Los factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos y que actúan como indicadores de riesgo pueden incluir, entre otros, los que se enumeran a continuación:

##### **Físicos**

- Degradación de las propiedades mecánicas
- Corrosión o erosión: incluida la corrosión debajo del aislamiento o la protección ignífuga
- Desgaste
- Degradación térmica
- Fatiga

- Tensiones cíclicas
- Fragilidad
- Resistencia a la fractura
- Corrosión bajo tensión
- Oxidación
- Deformación lineal
- Daños o ataque por hidrógeno
- Deformación o distorsión

### Condiciones ambientales y de funcionamiento

- Régimen y condiciones de funcionamiento, parámetros, horas de funcionamiento y cambios en el ciclo de trabajo
- Cambios en el proceso o en la tasa de producción
- Cambios en los materiales del proceso
- Cambios en la ventana de integridad operativa
- Inadecuado seguimiento por parte de los operadores de los procedimientos de funcionamiento estándar o de actuación en caso de emergencia
- Sobrecalefacción
- Exceso de presión
- Pérdida de refrigeración
- Vibraciones
- Fugas
- Desalineación
- Choque térmico
- Ataque químico
- Impacto mecánico
- Falta de lubricación
- Sedimentos
- Pérdida de la capa de pasivación
- Condiciones del ambiente (por ejemplo, si es limpio, fresco, hermético, seco; si contiene aire salino o arena del desierto, temperatura ambiente alta o baja, si hay presencia de sustancias peligrosas de proceso)
- Condiciones ambientales persistentes o inherentes al proceso

### Historial de funcionamiento

- Desviaciones del proceso: funcionamiento incoherente dentro de los límites de diseño
- Supervisión y seguimiento de las tendencias desfavorables de parámetros de estado y rendimiento
- Impacto desfavorable de anomalías, disparos, paradas forzadas, fallos críticos o averías
- Historial de casos de funcionamiento más allá de los límites de diseño
- Diseño del equipo, tipo, modelo o historial operativo del parque de equipos, incluido el impacto sobre la vida útil de cualquier actualización o sustitución de componentes
- Aumento de la frecuencia de las averías o necesidad reiterada de reparaciones, reacondicionamientos o sustituciones de componentes clave
- Historial de funcionamiento desfavorable en comparación con el diseño original

### Inspecciones, pruebas y mantenimiento

- Resultados y tendencias de la evaluación de los mecanismos de daños de acuerdo con el programa de integridad de los activos, con las correspondientes reparaciones o modificaciones y los reacondicionamientos o sustituciones de componentes estratégicos cuando estos sean necesarios para restaurar la integridad del equipo
- Resultados de las evaluaciones de la idoneidad del equipo para el servicio

### Antigüedad del equipo y vida útil

- Antigüedad cronológica del equipo comparada con su vida útil restante

La antigüedad cronológica es un factor contribuyente a la hora de evaluar el envejecimiento operativo. La relación de la vida útil del equipo respecto a su antigüedad cronológica varía según el tipo de equipo y el entorno en el que este funciona, factor que a su vez repercute sobre el deterioro del equipo con el paso del

tiempo. Es importante distinguir entre envejecimiento de funcionamiento y antigüedad. El deterioro puede progresar con el tiempo, pero existen factores que contribuyen, incluida la antigüedad. Los años de uso hacen que el equipo sufra mayores riesgos por la exposición prolongada a diversos mecanismos de daño, condiciones del entorno de funcionamiento, etc.

En la figura 3.3.1.2.7 se muestra la interacción de los factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos.

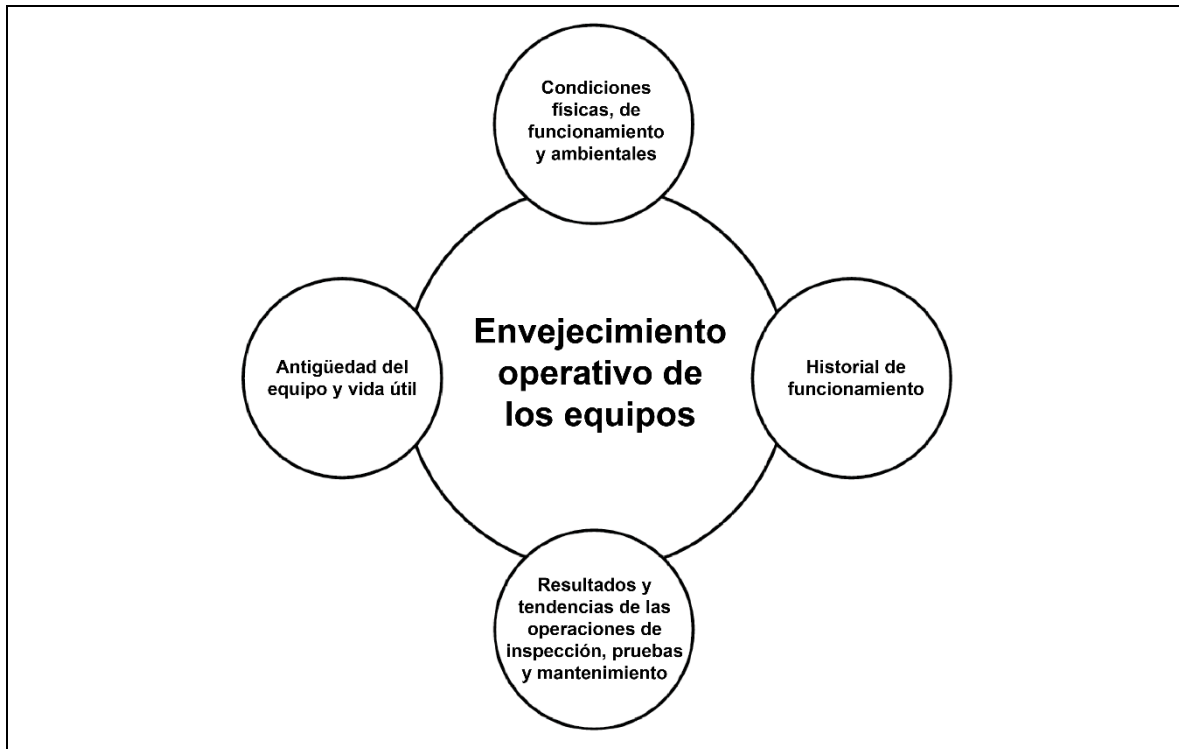


Figura 3.3.1.2.7. Factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos

### 3.3.1.3 Gestión de anomalías

La gestión de anomalías es un proceso que forma parte del programa de integridad de activos a fin de garantizar la evaluación y seguimiento hasta su cierre de cualquier anomalía en el estado de los equipos. Este proceso se pone en marcha cuando los resultados del programa de inspección, pruebas y mantenimiento identifican una o varias condiciones de deterioro o mecanismos de daño que están fuera de los límites aceptables. Este proceso está pensado para determinar las implicaciones del deterioro observado en la vida útil del equipo.

#### A. Idoneidad para el servicio

Cuando el programa de inspección, pruebas y mantenimiento identifica la existencia de deterioro o daños que están fuera de los criterios de aceptación, se realiza una evaluación de los resultados para determinar sus posibles implicaciones. Se le denomina evaluación de la idoneidad para el servicio al análisis de los resultados de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento con miras a determinar la integridad del equipo para seguir funcionando y ser considerado apto para el servicio. Una evaluación de la idoneidad para el servicio es una evaluación integral, de ingeniería cuantitativa o cualitativa, para demostrar la integridad del equipo funcionando de acuerdo con las condiciones actuales. La evaluación tiene en cuenta el impacto de los distintos mecanismos de deterioro y daños identificados, de modo que se puedan tomar decisiones proactivas para que el equipo siga funcionando en las mismas condiciones (o bien disminuir la potencia, reparar, supervisar o sustituir el equipo). Para esta evaluación, es necesario disponer de los

datos de diseño originales del equipo, así como el historial de funcionamiento, inspecciones, pruebas y mantenimiento, y conocer las condiciones de funcionamiento previstas. Un proceso típico de evaluación de la idoneidad para el servicio es el siguiente:

1. Identificar el tipo y alcance de cualquier deterioro.
2. Determinar si se puede realizar una evaluación de idoneidad para el servicio.
3. Establecer los requisitos de datos.
4. Revisar las técnicas de evaluación de la idoneidad para el servicio disponibles y los criterios de aceptación.
5. Efectuar la evaluación de la idoneidad para el servicio.
6. Realizar las reparaciones necesarias.
7. Decidir sobre la necesidad de supervisar el funcionamiento.
8. Elaborar la documentación.

A nivel mundial, la norma más utilizada para las evaluaciones de idoneidad para el servicio de los activos a presión y estructurales es la API 579/ASME FFS-1, que describe tres niveles para dichas evaluaciones:

- El nivel 1 consiste en una evaluación básica.
- El nivel 2 es una evaluación más minuciosa que incluye cálculos detallados.
- El nivel 3 constituye el análisis más profundo y, por lo general, incluye modelos informáticos.

Si la evaluación determina que, de acuerdo con su estado actual, el equipo es apto para el servicio, normalmente se realiza un estudio de vida útil restante.

En cambio, si la evaluación de la idoneidad para el servicio establece que el equipo no es apto, se estudian varias opciones. Una de ellas es reparar o modificar físicamente el equipo hasta que alcance un estado aceptable. Otra es recalificar el equipo para reducir las tensiones operativas, de modo que el estado actual del equipo pueda considerarse aceptable (dependerá de que el proceso permita esta recalificación). Por último, existe la posibilidad de retirar el equipo del servicio y, bien omitirlo (si no es estratégico para la operación), o bien sustituirlo. En cada una de estas situaciones, deberían reevaluarse la ventana de integridad operativa y el límite de funcionamiento seguro del equipo, así como realizarse un estudio de vida restante.

Cada vez que, como consecuencia de los resultados del programa de inspección, pruebas y mantenimiento, se decide que es necesaria una evaluación de aptitud para el servicio, se suele realizar un análisis de causa raíz o una investigación del incidente.

### B. Control y gestión de calidad de los recambios, las reparaciones y las modificaciones

Cuando se constata un deterioro, puede ser necesario llevar a cabo acciones correctivas antes de volver a poner el equipo en servicio. El alcance de cada acción dependerá de los mecanismos de daño y del grado de deterioro.

Al realizar sustituciones, reparaciones o modificaciones en el equipo, es importante asegurarse de que los componentes y equipos utilizados sean del tipo y material adecuados. Para lograr esto, se pueden desarrollar y aplicar prácticas y procedimientos de control y garantía de calidad para la compra, fabricación, recepción y almacenamiento, construcción e instalación de los equipos y sistemas. Las reparaciones, alteraciones, recalificaciones, sustituciones y desmantelamientos de equipos y sistemas también deberían estar sujetos a prácticas y procedimientos de control y garantía de calidad.

La verificación de que los materiales cumplen con las especificaciones de diseño (en cuanto a dimensiones, propiedades mecánicas y composición química) forma parte de ese mismo control de calidad y puede implantarse durante la fabricación, al recibir el equipo, al llevar a cabo tareas de construcción, reparación o modificación o durante las actividades rutinarias de inspección, pruebas y mantenimiento. Para ello, se pueden utilizar distintas técnicas para garantizar que se cumplan las especificaciones de diseño. La práctica más común de verificación para confirmar la composición química del material es un análisis de identificación positiva de los materiales.

La identificación positiva de los materiales es el nombre que comúnmente se le da a la práctica de realizar pruebas físicas de un material para identificar su composición química, y se puede utilizar para confirmar que los materiales empleados en la construcción son conformes al diseño especificado, ya sea antes o después de su puesta en servicio. Existen varias técnicas de identificación positiva de los materiales. El método de campo portátil más extendido es la fluorescencia de rayos X. En un entorno de laboratorio, por su parte, es más común utilizar un microscopio electrónico de barrido con espectrómetro de rayos X de energía dispersiva, o bien recurrir a una técnica espectroscópica de emisión óptica.

Las diferentes técnicas de identificación positiva de los materiales pueden variar en la precisión de sus resultados, debido a las limitaciones propias de los diferentes métodos. Las técnicas de laboratorio suelen ser más precisas y capaces de detectar elementos con pesos atómicos más bajos.

### C. Vida útil restante

Cuando un equipo ha estado sujeto a los efectos acumulados de los factores que contribuyen al envejecimiento operativo, como situaciones de funcionamiento o ambientales que provocan su deterioro y envejecimiento operativo, la vida útil restante del equipo puede verse afectada negativamente. **Conocer la vida útil restante del equipo es fundamental para desarrollar e implantar una estrategia de gestión proactiva de activos que permita planificar la reparación, la modificación, el reacondicionamiento o la sustitución del equipo antes de que se produzca un fallo durante su funcionamiento. El cálculo de vida útil restante sirve para determinar el plazo restante de funcionamiento de un equipo en el servicio previsto y se basa en los resultados de una evaluación de ingeniería efectuada en el marco de un estudio de vida útil restante.**

**Un estudio de vida útil restante es una evaluación de ingeniería exhaustiva, cuantitativa o cualitativa basada en el estado del equipo que permite determinar cuánta vida útil le queda al equipo. El estudio de vida útil restante puede llevar al desarrollo de un plan de contingencia del equipo según sea necesario para abordar el posible desfase entre la vida útil restante y el plazo de reparación, modificación, reacondicionamiento o sustitución del equipo. El objetivo es reducir el riesgo y minimizar el tiempo de parada debido a un fallo prematuro del equipo en servicio.**

**El estudio de vida útil restante adopta un enfoque en función del estado de los equipos y tiene en cuenta los efectos de los factores que contribuyen a su envejecimiento operativo (como el estado físico, de funcionamiento y del ambiente), los resultados actuales y las tendencias de las inspecciones, pruebas y mantenimiento (basándose en características conocidas de los mecanismos de deterioro y daños que afectan a los equipos y en los materiales de construcción de estos, **antigüedad y tiempo en servicio**), las condiciones de funcionamiento y su historial, y los resultados de las evaluaciones de idoneidad para el funcionamiento. La figura 3.3.1.3 muestra la interacción entre los estados de los equipos, incluidos los factores que contribuyen al envejecimiento operativo, el historial de funcionamiento, los resultados de las inspecciones, las pruebas y mantenimiento y los resultados de las evaluaciones de la idoneidad del equipo que repercuten en la **necesidad de realizar un estudio de vida útil restante.****



Fig. 3.3.1.3. Estado de los equipos que afectan a la realización de un estudio de vida útil restante

El estudio se utiliza para calcular durante cuánto tiempo puede **seguir en funcionamiento** el equipo antes de la próxima actividad planificada de inspección, mantenimiento y pruebas, **o bien** antes de que el equipo deba repararse, modificarse, reacondicionarse o sustituirse. El estudio de vida útil restante puede incluirse en el proceso de gestión de anomalías para ayudar a establecer qué actividades de inspección, pruebas y mantenimiento requiere un equipo. El método utilizado para realizar este estudio puede variar entre los diferentes tipos de equipos.

En muchas ocasiones, es recomendable ampliar el intervalo entre inspecciones de un equipo. Para ello, se suele instalar un equipo para supervisar su estado, haciendo un seguimiento de los parámetros que indiquen la progresión de los mecanismos de daño. Esto a menudo se hace coincidir con cambios en las condiciones de operación para reducir el estrés que sufre el equipo como parte de las operaciones. Estas acciones pueden afectar los procedimientos de funcionamiento estándar, lo que exigiría modificar dichos procedimientos. De ser así, es necesario volver a impartir formación a los operadores a fin de que se comprenda plenamente el cambio de las condiciones de operación que se deben a las nuevas condiciones del equipo.

Generalmente, los estudios de vida útil restante y las evaluaciones de idoneidad para el servicio se llevan a cabo por parte del fabricante, contratistas externos cualificados o un equipo multidisciplinar de personal clave de la planta. en función del tipo de equipo y del grado de deterioro que se pretenda evaluar en ambos estudios.

#### 3.3.1.4 Análisis de causa raíz

El análisis de causa raíz es un enfoque que analiza los factores subyacentes a los eventos o condiciones, en lugar de estudiar los síntomas que estos producen. El análisis de causa raíz debería identificar los orígenes del evento o la condición que, de corregirse, evitará que los síntomas observados vuelvan a producirse.

El nivel de control aplicable durante un análisis de causa raíz puede variar en función de las circunstancias que el programa de inspección, pruebas y mantenimiento haya puesto de manifiesto. Dependiendo de la criticidad, las posibles consecuencias y el historial del equipo, podría no ser necesario realizar un análisis de causa raíz completo. Igualmente, si un componente se acerca al final de su vida útil restante (o la supera) y se deteriora por lo que parece ser un mecanismo de daño previsto, el análisis de causa raíz podría limitarse a confirmar dicho mecanismo de daño.

Las situaciones que normalmente justifican la realización de un análisis profundo de causa raíz incluyen la avería prematura de un equipo, cuando este falla de una manera imprevista o cuando se observa un deterioro excesivo o inesperado. El análisis de causa raíz se suele realizar en el marco de la investigación de incidentes.

En todas las situaciones, el análisis de causa raíz debería estar en consonancia con la criticidad del equipo o sistema, así como con las consecuencias del siniestro.

Al realizar el análisis de causa raíz, se suelen tener en cuenta los siguientes puntos:

##### A. Personal

1. La cualificación del personal involucrado debería estar en consonancia con el alcance del análisis de causa raíz.
2. En un análisis profundo de causa raíz pueden participar múltiples especialistas, incluidos ingenieros eléctricos o mecánicos o expertos en corrosión y metalurgia, en los procesos y operaciones de la planta, así como en gestión, modelizaciones o ensayos no destructivos.

##### B. Revisión de los registros del equipo

1. Informes de anomalías e historial de reparaciones o modificaciones.
2. Declaración de los requisitos de mantenimiento.
3. Informes de inspección del desmontaje de equipos y sistemas.
4. Boletines e informes técnicos del fabricante del equipo original.
5. Registros de mantenimiento (incluidos los detalles procedimentales) que garanticen que no existan defectos u omisiones en los procedimientos que permitan que vuelva a ocurrir lo mismo en el futuro.
6. Historial de episodios de mantenimiento relacionados.
7. Cualquier informe relativo al deterioro o avería como, por ejemplo:
  - análisis o inspección de los componentes averiados;
  - descripción de los síntomas;
  - informe de resolución de problemas.

C. Análisis e inspección de las piezas defectuosas, descripción de los síntomas y cualquier operación de resolución de problemas realizada.

#### 3.3.1.5 Documentación y seguimiento de tendencias

Mantener registros (es decir, datos históricos) de los equipos que forman parte del programa de integridad de los activos es fundamental para hacer seguimientos, elaborar tendencias y realizar auditorías. Todos los resultados de las actividades del programa de inspección, pruebas y mantenimiento deberían documentarse, así como las evaluaciones de idoneidad para el servicio, los estudios de vida útil restante y los análisis de causa raíz, a fin de poder observar las tendencias e integrarlas de nuevo en el programa de inspección, pruebas y mantenimiento y en el análisis de riesgos. Esto se hace para garantizar que,

con cada nueva evaluación del programa y análisis de riesgos que se efectúe, se tengan en cuenta y examinen las condiciones reales del proceso, los sistemas y los equipos, así como cualquier riesgo imprevisto.

El análisis de los resultados de las actividades del programa de inspección, pruebas y mantenimiento (más los parámetros de funcionamiento) durante un periodo de tiempo determinado con miras a identificar cualquier cambio importante que pueda indicar una posible avería futura del equipo. La velocidad de los cambios (ya sea que se aceleren, ralenticen o permanezcan constantes), en combinación con el alcance de los cambios observados en los resultados de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento y en los parámetros de funcionamiento a lo largo del tiempo, ayudan a prever e identificar posibles fallos. Esto permite tomar medidas correctivas antes de que se produzca una avería durante el funcionamiento.

3.3.1.5.1 La documentación detallada de una actividad suele incluir la siguiente información:

- A. Nombre y cualificación del técnico, fecha, actividad realizada, equipos o herramientas utilizados, componentes afectados, cobertura de la actividad, procedimiento utilizado, preparación del equipo antes de la actividad, estado inicialmente encontrado, condiciones ambientales, resultados de la actividad, unidades empleadas en todas las mediciones y lecturas, interpretación del técnico.
- B. Detalles suficientes para que un técnico del mismo nivel de competencia pueda repetir la actividad y que esta produzca resultados comparables.
- C. Un identificador único del equipo para la unidad afectada, según lo determinado por la lista maestra de equipos. Véase la sección 2.3.1.1.1.

3.3.1.5.2 A continuación, se ofrece una lista de las maneras en que se obtienen tendencias a partir de los datos recogidos para poder utilizarlas dentro del programa de integridad de los activos:

- A. Comparar los datos de inspección actuales con los de inspecciones anteriores y los datos de referencia para verificar cómo se están propagando los mecanismos de daño.
- B. Comparar los datos de supervisión del estado y el rendimiento con las condiciones de funcionamiento previstas y las ventanas de integridad operativa para identificar cambios en el estado del equipo que puedan acelerar el deterioro o indicar una posible anomalía que haga necesario tomar medidas adicionales.
- C. Incorporar al programa de integridad de los activos los resultados de la inspección y la información obtenida durante la supervisión para mantener la viabilidad del programa.
- D. Realizar un seguimiento del grado de finalización de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento.
- E. Documentar los tipos de fallo y sus ubicaciones para identificar problemas sistémicos.
- F. Conservar las investigaciones de incidentes y los análisis de causa raíz para poder compararlos con sucesos futuros.

### 3.3.1.6 Auditorías

El proceso de auditoría puede ser de naturaleza general o detallada. En una auditoría general se observarán los procesos establecidos y se determinará si son adecuados o si, por el contrario, es necesario implementar mejoras. Por su parte, una auditoría detallada analizará los pormenores de los procesos y se centrará en estudiar el rendimiento del programa.

Algunos ejemplos de objetivos de auditorías son, entre otros, los siguientes:

- revisión de los indicadores de rendimiento;
- revisión de los informes de los análisis de causa raíz para asegurarse de que se han aplicado las recomendaciones;
- revisión de las deficiencias para asegurar que se esté realizando un seguimiento activo de su estado, que se estén supervisando hasta su cierre y que dicho cierre esté convenientemente justificado;
- revisión de los porcentajes de finalización de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento y seguimiento activo de los trabajos aplazados;

- comprobación de que las nuevas tecnologías que se hayan implantado están produciendo los resultados deseados;
- comprobación de que se estén evaluando e implantando los avisos del fabricante del equipo original y de los organismos del sector;
- comprobación de que la formación, las prácticas y los procedimientos se estén siguiendo y actualizando según sea necesario;
- comprobación de que se esté haciendo un seguimiento de las recomendaciones de la auditoría.

Cada auditoría debería incluir acciones correctivas viables, y estas deberían estar relacionadas con los objetivos de la auditoría y contribuir a subsanar las deficiencias observadas. Algunos ejemplos de acciones correctivas son los siguientes:

- la sustitución de un equipo que presenta problemas;
- la realización de modificaciones en equipos cuando sea necesario;
- actualización de procedimientos;
- la impartición de formación o sesiones de actualización cuando sea preciso.

### 3.3.2 Plan de contingencia

Para mantener la continuidad de los procesos principales de la planta, es fundamental poderse recuperar de una parada no planificada que deje fuera de servicio equipos esenciales. Un plan de contingencia documenta la respuesta programada para recuperarse de la indisponibilidad de un equipo debido a una avería (y de la consiguiente interrupción de procesos esenciales de la planta) con miras a reducir la duración de la parada. Este plan es resultado de una evaluación sistemática de los procesos de la planta, centrándose en la identificación de los equipos que se consideran esenciales para la continuidad de las operaciones.

Las acciones que se precisan para recuperarse de una situación de parada y reducir los riesgos asociados incluyen la revisión de la información de diseño de los equipos pertinentes, su integridad y fiabilidad. Las opciones y estrategias de mitigación que forman parte del plan de contingencia pueden incluir los plazos de reparación, sustitución y alquiler de equipos, el uso de equipos de segunda mano o sobrantes, gestión de recambios, así como los requisitos de transporte, instalación y manipulación.

En cuanto al transporte y manipulación de equipos de alquiler o respaldo, deben incluirse las siguientes consideraciones:

#### A. Reubicación de equipos dentro del lugar de utilización:

1. Identificar y garantizar la disponibilidad de todos los requisitos de montaje (grúa, helicóptero, arriostramiento horizontal, etc.).
2. Determinar cualquier posible necesidad de realizar modificaciones en la construcción (por ejemplo, retirada de cubiertas, paredes o equipos).

#### B. Transporte de equipos desde el lugar donde se guarda o almacena hasta el lugar de utilización:

1. Establecer planes y contratos con transportistas y empresas de transporte. Resolver posibles problemas de envío, determine la posibilidad de tener que acelerar los envíos y establezca con antelación las rutas de transporte. Tenga en cuenta factores relativos a las condiciones climatológicas estacionales y la lejanía de la ubicación que puedan retrasar el transporte.
2. Identificar cualquier requisito especial para la concesión de permisos debido a factores como los siguientes:
  - circulación por vías públicas (límites de peso y altura para transitar por carreteras y cruces, necesidad de vehículos especiales, etc.);
  - transporte aéreo de equipos;
  - transporte por vías navegables;
  - requisitos aduaneros entre países.

El alcance del plan de contingencia es específico para una situación de avería de equipos y forma parte del plan de continuidad de las actividades. Un plan de contingencia viable reducirá el tiempo de parada como consecuencia de una avería de los equipos y permitirá acelerar la reanudación de las operaciones.

## 4.0 REFERENCIAS

### 4.1 FM

Fichas técnicas específicas para los equipos pertinentes.

### 4.2 Otras referencias

Center for Chemical Process Safety (CCPS, Centro para la Seguridad en los Procesos Químicos). Dealing with Aging Process Facilities and Infrastructure. John Wiley & Sons, Nueva York (2018).

Center for Chemical Process Safety (CCPS, Centro para la Seguridad en los Procesos Químicos). Guidelines for Asset Integrity Management (1.ª ed.). John Wiley & Sons, Nueva York (2016).

Center for Chemical Process Safety (CCPS, Centro para la Seguridad en los Procesos Químicos). Guidelines for Risk Based Process Safety, John Wiley & Sons, Nueva York (2007).

Health and Safety Executive (HSE). Managing Aging Plant Summary Guide (2010).

## ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Análisis de causa raíz:** Enfoque que sirve para determinar las causas subyacentes de un suceso (en lugar de los síntomas que estas producen).

**Análisis de fallos:** Serie de pruebas o exámenes que se realizan para determinar los mecanismos de daño que actúan sobre un material.

**Avería de un equipo o equipos:** Ocurre cuando el equipo no puede realizar su función prevista a la capacidad prevista.

**Cuello de botella:** La operación más lenta (punto de estrangulamiento) de un proceso.

**Deficiencia:** Condición observada que no cumple los criterios de aceptación establecidos en el programa de inspección, pruebas y mantenimiento.

**Disponibilidad:** Capacidad de un equipo o sistema de funcionar adecuadamente cuando es necesario. Puede representarse como la medida de porcentaje de tiempo que el equipo puede encontrarse en un estado en el que puede funcionar.

**Envejecimiento operativo de los equipos:** Deterioro de los parámetros de estado a lo largo de la vida útil de los equipos, teniendo en cuenta los efectos acumulados de las condiciones físicas, de funcionamiento y ambientales, así como el historial de funcionamiento, los resultados y tendencias del programa de inspección, pruebas y mantenimiento, y la antigüedad del equipo con respecto a su vida útil. El envejecimiento operativo es consecuencia de la exposición a estos factores contribuyentes, que dependen del equipo y el proceso.

**Estudio de vida útil restante:** Evaluación de ingeniería exhaustiva, cuantitativa o cualitativa que forma parte de una estrategia de gestión proactiva de activos y que adopta un enfoque basado en el estado del equipo para determinar el plazo restante de funcionamiento de este en el servicio previsto antes de que se produzca una avería.

**Fiabilidad:** Capacidad de un equipo o sistema para funcionar según lo previsto durante un periodo de tiempo determinado, siempre que funcione dentro de unas condiciones ambientales y de funcionamiento específicas.

**Idoneidad para el servicio:** Una evaluación integral de ingeniería cuantitativa o cualitativa que se efectúa para determinar la integridad del equipo para funcionar de manera continua en el servicio previsto. Se basa en estudiar los mecanismos de deterioro y de daños que exceden los criterios de aceptación y los límites aceptables identificados en el programa de integridad de los activos. La idoneidad para el servicio puede justificar la continuidad del equipo, o bien identificar las medidas correctivas necesarias para volver a poner en servicio el equipo.

**Inspección, pruebas y mantenimiento basados en el estado:** Trabajos de inspección, pruebas y mantenimiento que se llevan a cabo cuando el estado del equipo o sistema supervisado los activa.

**Inspección, pruebas y mantenimiento predictivo:** Actividades de inspección, pruebas y mantenimiento que se llevan a cabo cuando el estado que se anticipa que tendrá el equipo o equipos las desencadena, en función de los parámetros de rendimiento y estado supervisados en ese momento.

**Inspección, pruebas y mantenimiento preventivo:** Actividades de inspección, pruebas y mantenimiento que se activan a intervalos predeterminados, independientemente del estado del equipo o los equipos en ese momento.

**Inspección, pruebas y mantenimiento reactivo:** Actividades de inspección, pruebas y mantenimiento que se activan a raíz de un fallo del equipo.

**Intervalo basado en el estado:** Intervalos obtenidos a partir de la supervisión de los parámetros de estado de los sistemas o equipos (por ejemplo, la temperatura, la presión, el caudal, etc.).

**Intervalo basado en el proceso:** Intervalos que se derivan de las mediciones realizadas en el proceso del que forma parte el sistema o equipo (por ejemplo, cantidades producidas, horas de funcionamiento, número de arranques). Estos intervalos se pueden utilizar para adaptar los trabajos preventivos de inspección, pruebas y mantenimiento que anteriormente se estuvieran activando en función del tiempo.

**Mecanismo de daño:** Proceso que da lugar al deterioro de los equipos. Por ejemplo, corrosión, agrietamiento, sobrecalentamiento, etc.

**Modo de fallo:** Clasificación de los modos en que un equipo reacciona cuando es incapaz de hacer frente a las condiciones operativas y, a consecuencia de ello, falla (por ejemplo, fugas por pequeñas perforaciones, liberación de sustancias, explosión). También puede referirse a la forma en que se manifiesta un fallo (por ejemplo, si se provoca un cierre de válvula, o que una bomba no arranque o no funcione). Las causas de los fallos pueden radicar en mecanismos como los de fatiga, corrosión o desgaste, además de errores humanos, sobreesfuerzos o deficiencias relacionadas con el diseño o la fabricación.

**Procedimiento de gestión de cambios:** Programa destinado a prevenir la introducción de riesgos de los que no se sea consciente durante los procesos de cambio (como modificaciones que afecten a la tecnología, las instalaciones o el personal).

**Programa de integridad de los activos:** Sistema de gestión para garantizar la integridad y fiabilidad de los sistemas y equipos a lo largo de toda su vida útil.

**Proveedor de servicios alternativo:** Una entidad que no está afiliada con el fabricante original del equipo.

**RAGAGEP:** Siglas en inglés de «Buenas prácticas de ingeniería reconocidas y generalmente aceptadas».

**Redundancia:** Forma de resiliencia que garantiza la disponibilidad del sistema en caso de fallo de un equipo que consiste en disponer de al menos un equipo de recambio independiente.

**Riesgo:** Producto de la probabilidad de que se produzca un suceso y de las consecuencias que este tendría.

**Seguimiento de tendencias:** El análisis de los resultados de las actividades del programa de inspección, pruebas y mantenimiento (más los parámetros de funcionamiento) durante un periodo de tiempo determinado con miras a identificar cualquier cambio importante que pueda indicar una posible avería futura del equipo. La velocidad de los cambios (ya sea que se aceleren, ralenticen o permanezcan constantes), en combinación con el alcance de los cambios observados en los resultados de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento y en los parámetros de funcionamiento a lo largo del tiempo, ayudan a prever e identificar posibles fallos. Esto permite tomar medidas correctivas antes de que se produzca una avería durante el funcionamiento.

**SOL:** Límites de funcionamiento seguro, por sus siglas en inglés Véase «Ventanas de integridad operativa».

**Supervisión de estado:** Supervisión de variables que indican las condiciones de funcionamiento de los equipos.

**Supervisión del rendimiento:** Supervisión de las variables indicativas del rendimiento (por ejemplo, la eficiencia) del equipo o sistema supervisados.

**Ventana de integridad operativa:** Ventana de integridad operativa. Representa el rango permitido dentro de los parámetros de funcionamiento de un equipo, según lo establecido en la evaluación e identificación de riesgos (por ejemplo, los límites superior e inferior de temperatura, tasas de rampa mínima y máxima). Los límites superior e inferior de la ventana de integridad operativa se denominan también límites de funcionamiento seguro.

Cuando un equipo funciona dentro de estos límites, puede cumplir con los parámetros de proceso y diseño con una menor probabilidad de avería. En cambio, funcionar fuera de esos límites (y, por tanto, fuera de la ventana de integridad operativa) dará lugar a un deterioro acelerado y a fallos prematuros.

**Viable:** Capaz de funcionar satisfactoriamente.

**Vida útil restante:** Denominada también «vida restante» o «vida de servicio restante». Plazo restante de funcionamiento del equipo en el servicio previsto basado en los resultados **de una evaluación de ingeniería efectuada en el marco de un estudio de vida útil restante.**

**Vida útil según diseño:** Plazo de permanencia del equipo dentro de los criterios de diseño para el servicio previsto de acuerdo con lo establecido por el fabricante del equipo original.

**Vida útil:** Denominada también «expectativa de vida» o «ciclo de vida». Plazo en el que se espera que el equipo funcione dentro de los límites de diseño (es decir, dentro de los parámetros establecidos por la ventana de integridad operativa) para el servicio previsto. Dicho plazo tiene en cuenta el efecto acumulado de los factores que contribuyen al envejecimiento operativo.

## ANEXO B: HISTORIAL DE REVISIONES DEL DOCUMENTO

El objetivo de este anexo es recoger los cambios introducidos en este documento en cada una de sus ediciones. Tenga en cuenta que los números de secciones se refieren específicamente a la numeración existente en la versión publicada en esa fecha (es decir, los números de sección no siempre se mantienen idénticos de una versión a otra).

**Julio de 2024. Revisión parcial. Se llevaron a cabo cambios mínimos de redacción.**

Julio de 2023. Revisión parcial. Se han llevado a cabo cambios de redacción en las indicaciones del proceso del programa de integridad de los activos a fin de mejorar la claridad. También se han revisado las directrices relativas al envejecimiento operativo de los equipos y su vida útil restante a fin de mejorar la claridad; en esta revisión se incluyen las nuevas figuras 3.3.1.2.7 y 3.3.1.3 sobre «Factores que contribuyen al envejecimiento operativo de los equipos» y «Estado de los equipos que afectan a la realización de un estudio de vida útil restante», respectivamente. Se ha añadido un nuevo anexo (anexo E) sobre «Directrices para programas de auditoría e inspección de componentes y servicios de proveedores alternativos».

Julio de 2022. Revisión parcial. Se realizaron cambios menores de redacción.

Octubre de 2021. Revisión parcial. Se llevaron a cabo los siguientes cambios importantes:

- A. Se añadieron directrices sobre el envejecimiento operativo de los equipos.
- B. Se actualizaron las directrices sobre la idoneidad para el servicio y la vida útil restante de los equipos.

Enero de 2021. Revisión parcial. Se añadieron definiciones nuevas al anexo A: Glosario de términos.

Octubre de 2020. Revisión parcial. Se actualizaron las directrices sobre equipos redundantes (N+1) del anexo C.

Enero de 2020. Revisión parcial. Se llevaron a cabo los siguientes cambios:

- A. Se revisaron las directrices de planificación de contingencia para los equipos y la gestión de los recambios.

B. Se añadieron directrices de cara a evaluar la viabilidad de la planificación de contingencia para los equipos y la gestión de los recambios.

C. Se reubicó la información de gestión de los recambios y del transporte (del anexo C a las secciones 2.0 y 3.0).

Julio de 2018. Se revisó la totalidad del documento. Se realizaron los siguientes cambios importantes:

A. Se cambió el título del documento de Maintenance and Inspection (Mantenimiento e inspección) a Asset Integrity (Integridad de los activos).

B. Se incorporó información de la anterior ficha técnica dando un formato más organizado y conciso.

C. Se eliminó información redundante.

D. Se eliminó el material de apoyo que no mejoraba la comprensión de las recomendaciones.

E. Se agregaron secciones sobre integridad de los activos, gestión de anomalías y análisis de causa raíz.

Enero de 2014. Se añadieron la sección 2.5, Exclusión de materiales extraños, y el anexo D, Procedimiento de exclusión de materiales extraños.

Abril de 2011. Entre los cambios realizados se encuentran los siguientes:

- Se agregaron recomendaciones para maquinaria estratégica y equipos de alto riesgo en aplicaciones críticas.
- Se añadieron nuevas recomendaciones de gestión de mantenimiento y servicios.
- Se añadieron directrices técnicas para los programas de mantenimiento basados en el tiempo y basados en el estado.

Mayo de 2003. Se revisó la sección titulada «3.1 Historial de siniestros». Además, se realizaron cambios de redacción mínimos.

Septiembre de 2002. Se añadió al anexo C.3 (Risk Based Inspection an FM Global Overview) una descripción general de FM Global de la inspección basada en riesgos y se agregó una referencia a dicho anexo en la recomendación 2.2.1.4. Además, se modificó el redactado del título y el alcance de esta ficha técnica, de Maintenance a Maintenance and Inspection, a fin de subrayar la importancia de las inspecciones en cualquier programa de mantenimiento.

Mayo de 2001. Únicamente se efectuaron cambios de redacción. No se realizó ningún cambio técnico.

Enero de 2000. Se reorganizó la edición de 1995 de este documento para hacer más uniforme el formato. No se realizó ningún cambio técnico.

## ANEXO C PLAN DE CONTINGENCIA PARA LOS EQUIPOS

### C.1 Proceso del plan de contingencia para equipos

El proceso de desarrollo y mantenimiento de un plan de contingencia para equipos viable incluye los siguientes pasos:

1. Establecer un equipo multidisciplinar para realizar una valoración sistemática de la resiliencia de los procesos de las instalaciones como parte de la planificación del plan de contingencia.
2. Revisar/desarrollar diagramas de flujo de producción que abarquen todo el proceso, incluidos la producción, los sistemas de suministro, los sistemas de soporte y los equipos asociados.
3. Identificar los sistemas y equipos considerados esenciales para la continuidad de las operaciones. Considerar los cuellos de botella de los procesos, los puntos únicos de fallo, los equipos exclusivos y con plazos largos de sustitución, la vida útil restante de los equipos, la idoneidad del equipo para el servicio, los riesgos en procesos y el histórico o tendencias de funcionamiento para evaluar el riesgo de avería de los equipos. Estos aspectos sirven de indicadores del nivel de vulnerabilidad ante una avería.
4. Evaluar los posibles escenarios de avería para los equipos y los riesgos resultantes.

5. Evaluar la capacidad para recuperarse de la avería. Desarrollar estrategias de mitigación, entre las que se pueden incluir la gestión de recambios (de equipos completos o solo piezas, en las instalaciones o fuera de ellas), la redundancia (N+1), las opciones de reparación y sustitución, y el uso de equipos de alquiler, de segunda mano o sobrantes. Tener en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo original en materia de recambios. Revisar todos aquellos contratos de mantenimiento de larga duración que puedan ayudar a mitigar las consecuencias de una avería de los equipos.
6. Cuando existan recambios o equipos redundantes, revisar el programa de integridad de activos para garantizar que se encuentran en condiciones adecuadas.
7. Desarrollar, verificar y mantener la información de diseño, instalación y puesta en servicio de los equipos esenciales.
8. Revisar los requisitos de transporte, manipulación, instalación y puesta en servicio, incluido cualquier permiso especial necesario.
9. Precertificar y formar al personal de la planta, los contratistas y los proveedores en el alcance y la implantación del plan de contingencia.
10. Desarrollar un plan documentado de contingencia para recuperarse ante una posible avería de los equipos. Revisar, probar y validar anualmente el plan de contingencia para gestionar los cambios y confirmar su eficacia.

### C.2 Estrategias de redundancia y alquiler de equipos

Las directrices recogidas en este punto detallan las mejores prácticas para evaluar y validar distintas estrategias de mitigación de los planes de contingencia para equipos redundantes o de alquiler. Consulte la sección 3.3.2 para obtener más información sobre el transporte de equipos de alquiler.

#### C.2.1 Redundancia

Los equipos N+1 (o recambios en línea) son equipos redundantes **correctamente** instalados y conectados en un sistema de producción, de suministro o de apoyo. Los equipos redundantes (N+1) garantizan la disponibilidad del sistema para satisfacer la demanda del proceso en caso de averiarse un equipo. El equipo redundante está disponible para su puesta a pleno funcionamiento con el objetivo de **reducir el riesgo y minimizar el tiempo de interrupción de las actividades** que supondría la avería del equipo que está en ese momento en servicio.

Para que un recambio N+1 pueda considerarse viable de cara a **reducir el riesgo y minimizar el tiempo de parada de los equipos a consecuencia de una avería, deberán cumplirse los siguientes puntos:**

- A. El equipo N+1 es un equipo redundante, **correctamente** instalado y conectado en un sistema de producción, de suministro o de apoyo.
- B. El equipo redundante se puede poner plenamente en funcionamiento sin interrupción perceptible en el proceso, con el objetivo de reducir el riesgo de interrupción de las actividades que supondría la avería del equipo en servicio en ese momento.
- C. El equipo redundante no está sujeto a daños como consecuencia de las posibles anomalías del equipo en servicio.
- D. El diseño y la capacidad nominal del equipo N+1 son compatibles tanto con el equipo en servicio como con el proceso.
- E. El equipo N+1 se inspecciona, prueba y mantiene como parte del programa de integridad de los activos a fin de mantener su viabilidad.
- F. Se ha verificado la **adecuación del equipo N+1 para el servicio previsto.**
- G. **El equipo N+1 está disponible para su utilización en caso de producirse una avería del equipo en funcionamiento.**
- H. Hay establecidos procedimientos de actuación estándar y de emergencia para poner en funcionamiento el equipo N+1 y detener el equipo en servicio.

A fin de mantener la viabilidad de los recambios, el alcance y la implantación del programa de integridad de los activos que se aplica al equipo N+1 (recambios en línea) es el mismo que el utilizado para los equipos en funcionamiento.

Una de las principales cualidades de un equipo redundante (N+1) viable es su capacidad de reducir el riesgo de que tenga lugar una interrupción de las actividades debido a una avería del equipo en funcionamiento. De cara a poder reducir el riesgo, el equipo N+1 no debe estar sujeto a daños causados por las posibles deficiencias del equipo en servicio.

Evalúe cuál es la capacidad nominal del equipo redundante en comparación con la del equipo en servicio para determinar en qué medida se puede restaurar el proceso en caso de avería del equipo que está en funcionamiento.

Como parte del programa de integridad de los activos, verifique la disponibilidad y el estado de los equipos redundantes, lo que incluye hacer todas las inspecciones del equipo redundante necesarias antes del arranque. Evalúe la idoneidad del equipo redundante para el servicio previsto. Valore si es necesario efectuar reparaciones o modificaciones para que pueda utilizarse el equipo redundante.

Verifique que se apliquen los procedimientos requeridos y se haya impartido un nivel de formación adecuado para cambiar el proceso del equipo original por el redundante, incluida también la operación de parada del equipo original que está en funcionamiento.

### C.2.2 Equipos de alquiler

Equipos alquilados o de leasing para su uso durante un periodo de tiempo determinado a fin de complementar la instalación existente.

1. Conserve los datos de contacto principal y de emergencia del proveedor.
2. Suscriba contratos de mantenimiento con el fabricante del equipo o los proveedores (también a largo plazo) relacionados con la disponibilidad y el mantenimiento de los equipos de alquiler.
3. Valide el alcance y la calidad de los servicios del proveedor.
4. Revise la capacidad nominal (de producción) del equipo de alquiler en comparación con la del equipo en servicio.
5. Conserve las especificaciones y requisitos de instalación, retirada y desmontaje del equipo en funcionamiento y el de alquiler.
  - a. Identifique los puntos de conexión temporales. El sistema existente debería contar con puntos de conexión adecuados, que permitan conectar el equipo de alquiler.
  - b. Debería documentarse y considerarse cualquier proceso de puesta en marcha que requiera el equipo de alquiler. Además, se deberían identificar y estudiar todos los permisos que sea necesario obtener por parte de las autoridades locales o empresas públicas de suministro para la puesta en funcionamiento del equipo de alquiler (por ejemplo, permisos medioambientales o de demanda eléctrica).
  - c. Se debería identificar al personal necesario para retirar el equipo existente e instalar el recambio.
    - Identifique también a los proveedores necesarios.
  - d. Se debería identificar y planificar cualquier modificación importante necesaria para instalar el recambio en su ubicación final (por ejemplo, cimentación, soportes, dimensionamiento de la estructura).
    - Asegúrese de disponer de los elementos de montaje necesarios para la instalación del recambio (juegos de cuñas, acoplamientos, cableado, barras de distribución, etc.).
6. En caso de que los proveedores deban llevar a cabo alguna tarea asociada con la instalación del equipo de alquiler, haga lo siguiente:
  - a. Asegúrese de antemano de que cuenten con la certificación requerida según las directrices del fabricante y los códigos y normas aplicables (como, por ejemplo, los de buenas prácticas de ingeniería reconocidas y generalmente aceptadas, o RAGAGEP, por sus siglas en inglés). Esto incluye las eventuales normas y directrices de la empresa.

- b. Asegúrese de que cuenten con la mano de obra especializada necesaria, así como las herramientas específicas para cada equipo.

## ANEXO D, PROCEDIMIENTO DE EXCLUSIÓN DE MATERIALES EXTRAÑOS

### D.1 Finalidad

Este procedimiento proporciona directrices de mejores prácticas destinadas a evitar la introducción y acumulación de materiales extraños en equipos abiertos para realizar en ellos tareas de inspección, pruebas, mantenimiento o reparaciones, y que son susceptibles de sufrir daños por entrada de objetos extraños. El procedimiento también abarca el control de los elementos instalados temporalmente o que se utilizan para facilitar el trabajo, tales como herramientas, bridas ciegas, filtros, placas de orificio y materiales de limpieza.

Nota: La forma más eficiente de prevenir daños por objetos extraños es mantener un nivel elevado de orden y limpieza. Un objeto no puede terminar dentro de la zona de exclusión de materiales extraños si desde el primer momento se excluye de dichas zonas. Se necesita una gestión adecuada de las herramientas a fin de realizar los trabajos requeridos. Es imprescindible que todo el personal tenga conocimiento de esta política y preste especial atención a todos los materiales y herramientas que entran en la zona de trabajo.

### D.2 Definiciones

**Control de accesos:** Métodos utilizados para controlar las entradas y salidas de personal, herramientas y materiales. Entre ellos se encuentra el uso de señalización, marcadores de límites y registros de entrada o salida, así como personal de supervisión. Los marcadores de límites, de acuerdo con las directrices para las zonas de exclusión de materiales extraños, deberían consistir en barreras sólidas como por ejemplo paredes metálicas temporales, paredes de vidrio acrílico, alambradas o, si procede, cortinas de tela, cuerdas o cintas diseñadas para este uso.

**Punto de control de accesos:** Un punto a lo largo de los límites establecidos de la zona de exclusión desde el que se controla la entrada de personal, herramientas y materiales.

**Zona limpia:** Zona que se encuentra fuera de la zona de exclusión de materiales extraños. Generalmente, se trata de una ubicación apartada de la zona de exclusión de materiales extraños en la que se almacenan subconjuntos o se realizan trabajos en ellos.

**Hoja de cierre:** La hoja de cierre se utiliza para identificar cualquier discrepancia existente en el registro de dispositivos de barrera para la exclusión de materiales extraños (formulario 2), el formulario de elementos extraviados (formulario 3), el registro de herramientas (formulario 4) y el registro de materiales (formulario 5), así como para describir los hallazgos producidos durante las inspecciones de cierre y cómo se llevaron a cabo las inspecciones (visualmente, con un boroscopio, etc.). Tanto el representante de la propiedad como el director técnico deberían revisar y firmar la hoja de cierre al finalizar la parada o el evento de mantenimiento. Las hojas de cierre cumplimentadas deberían convertirse en una parte permanente del registro de paradas.

**Material extraño:** Se denomina así al material que no forma parte del sistema o componente (según su diseño). Por ejemplo: cintas, alambres, bridas, varillas para soldar, herramientas, bolígrafos, lápices, hilo y cable eléctrico, etiquetas de papel o plástico, pegatinas, letreros, etiquetas de operaciones mal aseguradas, trapos, protectores faciales de plástico, bolsas de plástico, material de embalaje, juntas, sobrante de material sellador, tapones para los oídos, serrín, productos químicos, disolventes, pinturas, artículos personales como gafas o joyería, o cualquier otro artículo susceptible de perjudicar el funcionamiento del sistema o componente.

**Auditoría de exclusión de materiales extraños:** Auditoría periódica efectuada por el representante de la propiedad o el director técnico durante un evento de mantenimiento, utilizando la lista de control de inspección de campo para la exclusión de materiales extraños (formulario 1) a fin de evaluar la implantación adecuada del programa de exclusión de materiales extraños.

**Zona de exclusión de materiales extraños:** Zona de trabajo alrededor de un instrumento o un componente eléctrico o mecánico de acceso libre. Estos deberían estar rodeados de un marcador de límite físico que requiera controles específicos para evitar la introducción de materiales no deseados dentro de un sistema o componente. Se debería informar de forma visible de la ubicación de estas zonas.

**Barrera de exclusión de materiales extraños:** Cualquier dispositivo (como tapones, cubiertas, tapas, bolsas, cintas, mallas, etc.) utilizado para cerrar o cubrir la abertura de una tubería o equipo con el fin de evitar la introducción de materiales extraños.

**Límite de la zona de exclusión de materiales extraños:** Límite físico alrededor de una actividad, consistente generalmente en un marcador de límite físico acompañado de señales visibles que identifiquen la zona en cuestión como una zona de exclusión de materiales extraños.

**Etiqueta de identificación de exclusión de materiales extraños:** Etiquetas que se colocan al final de cordones, barreras u obstáculos para facilitar la identificación de un dispositivo de barrera o límite de exclusión de materiales extraños determinado.

**Supervisor de la zona de exclusión de materiales extraños:** Persona responsable del control de acceso de acuerdo con este procedimiento. Se encarga de verificar todos los elementos consignados en los registros por el grupo de trabajo y, por lo tanto, debería ser competente, estar bien formado y ser plenamente consciente de las consecuencias de los daños que los objetos extraños pueden causar a la maquinaria.

**Cordón:** Una correa, cuerda, alambre de sujeción u objeto similar utilizado para asegurar un elemento dentro de una zona controlada de exclusión de materiales extraños, de tal manera que este no se convierta en un objeto extraño si la persona que lo está utilizando o sosteniendo pierde el control del elemento.

**Representante de la propiedad:** Persona responsable de supervisar la adecuada aplicación del programa de exclusión de materiales extraños por parte del director técnico, y que realiza auditorías periódicas del programa de acuerdo con la lista de control de inspección de campo para la exclusión de materiales extraños.

**Director técnico:** El supervisor (un empleado de la propiedad o del contratista que realiza el trabajo) que tiene la responsabilidad directa de controlar el desempeño del trabajo que se está llevando a cabo sobre el equipo y, por lo tanto, de la implantación del programa de exclusión de materiales extraños durante la parada.

### D.3 Aplicabilidad

Este procedimiento y todas sus disposiciones deberían aplicarse siempre que se abra un equipo o sistema para realizar tareas de inspección, pruebas, mantenimiento o reparación. incluidos, entre otros, turbinas (de gas o vapor), generadores y sus disyuntores, transformadores, redes de tuberías, sistemas de entrada de aire, condensadores, intercambiadores de calor, bombas, motores de gran tamaño, compresores y otros equipos fijos de grandes dimensiones. Dados los distintos niveles de riesgo de introducción de materiales extraños al realizar trabajos de inspección, pruebas, mantenimiento o reparación, más adelante se detallan los diferentes niveles de aplicación del programa de exclusión de materiales extraños. Aunque existen diferentes niveles de recomendaciones de exclusión de materiales extraños, las prácticas generales deberían cumplirse durante todas las actividades de inspección, pruebas, mantenimiento y reparación que pongan en riesgo el sistema. A la hora de escoger el nivel de protección para una actividad frente a un posible incidente de entrada de materiales extraños, se debería tener en cuenta el conjunto de riesgos que este conlleva.

### D.4 Responsabilidad

Todas las personas involucradas en el proyecto deberían estar completamente familiarizadas con el programa y comprender la necesidad de seguir los procedimientos adecuados. El representante de la propiedad es el responsable de garantizar que todos los empleados que interactúan con la zona de exclusión de materiales extraños reciban una introducción detallada sobre lo que se está llevando a cabo y el motivo, así como actualizaciones diarias. Además, el representante de la propiedad es también responsable de supervisar la correcta aplicación del procedimiento de exclusión de materiales extraños por parte del director técnico, para lo que deberá interactuar directamente con este y servirse de auditorías periódicas del programa y de comprobaciones puntuales rutinarias para determinar dicho cumplimiento.

El director técnico debería ser el principal responsable de la aplicación del programa de exclusión de materiales extraños en cualquier proyecto, además de ser el responsable de acordar con el representante de la propiedad al inicio de cada proyecto el nivel de inspección requerido (por ejemplo, visual, uso de cámaras) para constatar que no hayan quedado materiales extraños en la zona de exclusión. Es esencial que el director técnico refuerce el procedimiento de exclusión de materiales extraños con todos los operadores calificados durante las reuniones de seguridad.

Todos los operadores calificados, mediante la coordinación con el director técnico, son responsables de asegurarse de que los dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños estén colocados, que las etiquetas de identificación de la zona de exclusión estén colgadas y sujetas a aberturas concretas, y que todas las barreras de exclusión de materiales extraños y las etiquetas de identificación estén debidamente consignadas en el formulario correspondiente. El personal debería respetar todas las etiquetas de exclusión de materiales extraños. Estas no deberían retirarse a menos que las tareas que vayan a llevarse a cabo lo exijan. En caso de tener que retirarlas durante un trabajo, deberían volver a colocarse posteriormente (salvo que el reensamblaje de los componentes sea inminente).

### D.5 Exclusión de materiales extraños: Nivel 1

El nivel 1 de exclusión de materiales extraños se aplica a los componentes y sistemas que tienen una probabilidad baja de que se introduzcan materiales extraños, y en los que la inspección visual o la recuperación de dicho material no se ve afectada ni restringida. En estos casos, la dificultad para llevar a cabo una inspección o recuperar los elementos es baja y no requiere un desmontaje importante de los componentes. En general, los equipos incluidos en el nivel 1 tienen un carácter menos estratégico y no presentan tolerancias críticas asociadas.

Los requisitos mínimos del nivel 1 de exclusión de materiales extraños son los siguientes:

- A. Impartir formación a todo el personal sobre los requisitos del procedimiento de exclusión de materiales extraños, tanto del contratista como de la propiedad, al comienzo de cada parada. Incluir un reconocimiento firmado por todos que garantice que comprenden el procedimiento de exclusión de materiales extraños (formulario 6).
- B. Tomar las precauciones laborales adecuadas y llevar a cabo el trabajo con el cuidado profesional debido.
- C. Impartir una sesión informativa previa al trabajo que describa todas las labores que se realizarán a fin de prepararse adecuadamente y usar únicamente las herramientas y materiales necesarios. Seguir los procedimientos de trabajo adecuados. Actualizar los informes según sea necesario.
- D. Delimitar la zona de exclusión de materiales extraños y colocar las etiquetas de identificación de exclusión de materiales extraños en todos los puntos de acceso, notificando al personal los requisitos.
- E. Enumerar las herramientas y equipos utilizando el registro de herramientas de la zona de exclusión de materiales extraños (formulario 4) y asegurarse de que todos ellos estén localizados al final de cada turno, o al cambiar de turno, y de que no se dejen en zonas problemáticas. Evaluar las herramientas presentes en la zona de exclusión de materiales extraños y, cuando sea posible, unificarlas para limitar su número y, por lo tanto, el riesgo de que se produzca un caso de introducción de materiales extraños en la zona.
- F. Disponer de forma ordenada todos los componentes de los equipos, tanto dentro como fuera de la zona de exclusión de materiales extraños. Guardar los más pequeños en cajas o bolsas y etiquetadas. Mantener listas de todos los componentes, incluyendo su cantidad (caso de que haya varios idénticos). Consignar en el registro de materiales de la zona de exclusión de materiales extraños (formulario 5) todos los componentes que sea necesario sustituir.
- G. Antes del desmontaje, limpiar el equipo que se abrirá o en el que se trabajará para evitar que entren materiales extraños una vez abierto el mismo.
- H. Una vez que el equipo esté abierto, asegurar todas las zonas que podrían ser susceptibles a la introducción de materiales extraños usando barreras de exclusión (cobertores, piezas ciegas, barreras inflables o cualquier otro sistema de barrera apropiado). Rellenar y conservar un registro de los dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños (formulario 2). Asegurarse de que las barreras de exclusión de materiales extraños sean fácilmente reconocibles para que no se confundan

con una parte habitual del equipo o sistema ni con consumibles de uso habitual (los dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños suelen ser de color rojo intenso o naranja). Documentar todos los dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños utilizando una etiqueta de identificación única en la que se especifique la ubicación y el tipo de barrera (por ejemplo, tapones o bandas magnéticas). Asegurarse de que todas las barreras de exclusión de materiales extraños que no sean fácilmente visibles (por ejemplo, las que estén en líneas de vaciado de aceite o de extracción de aire) incluyan una línea de extensión que vaya desde la barrera de exclusión hasta el exterior del equipo, con la etiqueta de identificación de exclusión de materiales extraños al final de dicha línea.

I. Registrar y colocar en una zona de acceso controlado todo material extraño (por ejemplo, residuos, herramientas, o trapos) que se encuentre al abrir el equipo, con el fin de permitir la investigación y evaluación por parte del personal técnico.

J. Mantener en todo momento una lista de los elementos del procedimiento de exclusión de materiales extraños extraviados (formulario 3) y asegurarse de que todo el personal informe de inmediato (y sin temor a represalias) sobre cualquier elemento que se haya podido caer y no sea posible encontrar o recuperar de inmediato.

K. Documentar cualquier herramienta que se haya caído o extraviado en el registro de elementos extraviados del procedimiento de exclusión y asegurarse de que se recuperen de inmediato, si es posible.

L. Si se van a instalar piezas nuevas, efectuar una limpieza a fondo y una inspección de estas antes de la instalación.

M. Antes de retirar cualquier dispositivo de barrera de exclusión de materiales extraños, limpiar la zona circundante para eliminar los residuos y otros objetos a fin de evitar la introducción de materiales extraños una vez que el equipo esté abierto.

N. Durante el reensamblaje, eliminar cada uno de los elementos de la lista de materiales extraños extraviados (formulario 3) En el momento apropiado durante el proceso de reensamblaje, quitar de la lista las piezas ciegas y cobertores (es decir: retirar estos elementos y quitarlos del registro únicamente cuando esa sección del sistema esté lista para ser reensamblada). Inspeccionar minuciosamente todos los componentes y secciones del sistema en busca de materiales extraños. Si no se pudiera localizar algún dispositivo de barrera para la exclusión de materiales extraños, el director técnico y el representante de la propiedad deberían revisar esta situación.

O. Limpiar a fondo todos los cerramientos (preferiblemente con un aspirador, aunque también podrían soplarse con aire de la planta en caso necesario) antes de la inspección final.

P. Antes de la reinstalación, limpiar mediante soplado todas las tuberías y tubos de diámetro pequeño; limpiar mediante soplado, aspiración o con una gasa las tuberías de diámetro grande. Retirar, además, todos los dispositivos de barrera. Eliminar todos los campos del registro de dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños (formulario 2). Si no se pudiera localizar algún dispositivo de barrera para la exclusión de materiales extraños, el director técnico y el representante de la propiedad deberían revisar esta situación.

Q. Antes de cerrar o volver a instalar el equipo, asegurarse de que se inspeccionan visualmente las carcasas, tuberías, aberturas y desagües (directamente o de forma remota). El director técnico y el representante de la propiedad deberían realizar o presenciar las inspecciones.

R. Antes de cerrar el equipo por última vez, asegurarse de que todos los puntos de la lista de elementos extraviados (formulario 3) hayan quedado resueltos. Si no se han contabilizado todos los elementos, el director técnico y el representante de la propiedad deberían revisar juntos la lista de elementos extraviados y llegar a un acuerdo sobre las acciones adecuadas que deberían tomarse en relación con ellos.

#### **D.6 Exclusión de materiales extraños: Nivel 2**

El nivel 2 de exclusión de materiales extraños se aplica a los componentes y sistemas en los que existe la posibilidad de que se introduzcan materiales extraños, y en los que la inspección visual o la recuperación de dicho material se vería ligeramente afectada o restringida. El nivel 2 se aplica a trabajos en turbinas

y otros equipos rotativos estratégicos, como bombas y motores, con espacios libres estrechos y críticos, así como en los recipientes y redes de tuberías que alimentan dichos sistemas.

Los requisitos mínimos del nivel 2 de exclusión de materiales extraños son los siguientes:

- A. Cumplir con todos los requisitos del nivel 1 del procedimiento de exclusión de materiales extraños.
- B. Limitar el acceso a la zona de exclusión de materiales extraños desde una única ubicación.
- C. Hacer que un supervisor de exclusión de materiales extraños para controlar el acceso a la zona de trabajo y hacer un inventario de todos los materiales que entran y salen de ella. Restringir el acceso a la zona de trabajo cuando el supervisor de la zona de exclusión de materiales extraños no esté disponible.
- D. Colocar tapas o taponeros en ambos extremos de todas las tuberías que se hayan retirado y etiquetarlas con su ubicación y otros identificadores pertinentes.
- E. Instalar taquillas o contenedores de almacenamiento para que el personal que acceda a la zona de exclusión de materiales extraños deposite en ellos sus efectos personales.
- F. Asegurarse de que el personal que entre en la zona de exclusión de materiales extraños tenga los bolsillos vacíos. Permitir que se introduzcan en la zona de exclusión de materiales extraños únicamente los elementos necesarios. Hacer que todos los artículos personales (por ejemplo, teléfonos móviles, relojes, joyas, bolígrafos, navajas y carteras) permanezcan fuera de ella. Hacer que cualquier objeto suelto (incluidas las joyas) que no sea necesario para realizar una tarea específica en la zona de trabajo se deje con el supervisor de la zona de exclusión de materiales extraños, o bien en la taquilla o contenedor para efectos personales.
- G. Instruir a todo el personal para que verifique que tanto su ropa como la suela de sus botas estén limpias y libres de residuos antes de acceder a la zona de trabajo. Encargar al supervisor de la zona de exclusión de materiales extraños que inspeccione visualmente la ropa y las botas de todo el personal que acceda a la zona de trabajo, especialmente durante el proceso de reensamblaje.
- H. Es preferible el uso de botas de seguridad sin cordones, o bien de cubrebotas sin cordones. En caso de no usar botas de seguridad sin cordones, los elementos como cordones o hebillas deberían estar asegurados con cinta adhesiva.
- I. Que las gafas de seguridad estén atadas con cordones.
- J. Asegurarse de que todas las herramientas presentes en la zona de trabajo estén claramente ordenadas y de que se tenga control de ellas a nivel personal (es decir, que cada persona lleve el control de sus propias herramientas: «llévese las mismas herramientas con las que haya entrado»).
- K. Dejar atadas las herramientas si existe la posibilidad de que se caigan en una zona de la que no se puedan recuperar fácilmente.
- L. Que todos los componentes presentes en la zona de trabajo estén debidamente guardados en cajas o bolsas y etiquetados.
- M. Que los registros de exclusión de materiales extraños queden borrados al final de cada turno o al cambiar de turno, con la excepción de las herramientas que se utilicen a largo plazo.
- N. El director técnico debería realizar una auditoría de exclusión de materiales extraños, de forma periódica y al menos semanalmente, que incluya el control de los límites de exclusión, las etiquetas de identificación, los dispositivos de barrera, los registros de entrada y salida de la zona de exclusión de materiales extraños y la inspección de todas las tuberías que aún no se hayan instalado. La auditoría debería realizarse de acuerdo con la lista de control de inspección de campo para la exclusión de materiales extraños (formulario 1).
- O. El representante de la propiedad debería realizar, como mínimo, una auditoría semanal del programa de exclusión de materiales extraños. La auditoría debería realizarse de acuerdo con la lista de control de inspección de campo para la exclusión de materiales extraños (formulario 1).
- P. Al realizar una inspección visual remota de las zonas poco visibles, el director técnico y el representante de la propiedad deberían decidir de antemano si se incluirán videos o fotografías junto con el informe de parada.

**D.7 Exclusión de materiales extraños: Nivel 3**

El nivel 3 de exclusión de materiales extraños se aplica a los componentes y sistemas para los que exista la posibilidad de que se introduzcan materiales extraños, y para los que la inspección visual o la recuperación de dicho material se vea altamente afectada o restringida, pudiendo requerir incluso un desmontaje importante de los componentes. El nivel 3 se aplica a los trabajos que involucran el desmontaje extenso de un equipo rotativo (en particular, turbinas y generadores). La introducción de materiales extraños en estos sistemas tendría, con toda probabilidad, efectos costosos y devastadores.

Los requisitos mínimos del nivel 3 de exclusión de materiales extraños son los siguientes:

- A. Cumplir con todos los requisitos del nivel 1 y nivel 2 del procedimiento de exclusión de materiales extraños.
- B. Establecer un punto de control de acceso, y exigir a todo el personal que registre su entrada y salida de la zona proporcionando un inventario completo de todos los elementos que se introduzcan en la zona de trabajo (incluidas las piezas y las herramientas que vayan a usarse tanto a corto como a largo plazo). Restringir el acceso a la zona de trabajo cuando el supervisor de la zona de exclusión de materiales extraños no esté disponible.
- C. Designar a un supervisor de la zona de exclusión de materiales extraños para que vele por el cumplimiento del control de accesos y verifique el inventario de elementos que entran y salen de la zona de trabajo de exclusión de materiales extraños.
- D. Asegurarse de que todas las herramientas, incluidas las linternas, estén aseguradas con cordones. Que todas las herramientas estén atadas al personal que las utiliza para evitar que estas caigan al interior del equipo abierto. Que todas las herramientas que tengan compartimentos para pilas u otros accesorios apliquen cinta adhesiva en cada uno para evitar que se abra (por ejemplo, linternas o dispositivos de control del aire).
- E. Cuando los componentes o subcomponentes se trasladen a una «zona limpia», aplicar el programa de exclusión de materiales extraños también a dicha zona.
- F. Al trabajar con grupos electrógenos o motores eléctricos grandes, hacer lo siguiente:
  - 1. Asegurarse de que el suministro de aire del grupo electrógeno sea limpio, cálido y seco para mitigar la entrada de humedad en él.
  - 2. Colocar un cobertor o un cerramiento (por ejemplo, una carpa o lona), además de barreras laterales, con el fin de proteger el equipo abierto frente al polvo, la humedad o las aves que puedan posarse sobre él, entre otras cosas.
  - 3. Asegurarse de que todo el personal que trabaje en la zona de exclusión de materiales extraños use cubrebotas y monos de trabajo antiestáticos y sin bolsillos.

**Formulario 1. Programa de exclusión de materiales extraños: lista de control de inspección de campo**

Planta/Trabajo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Director técnico: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Salvo que se indique lo contrario, todas las tareas se aplican a todos los niveles del programa de exclusión de materiales extraños.

	<i>Tarea</i>	<i>Sí</i>	<i>No</i>	<i>N/A</i>	<i>Comentarios</i>
1	¿Está la zona de exclusión de materiales extraños delimitada y señalizada?				
2	¿Se ha colocado la señalización adecuada?				
3	¿Se han instalado correctamente los dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños?				
4	¿Llevan todos los dispositivos de barrera de exclusión de materiales extraños su correspondiente etiqueta identificativa?				
5	¿Se han rellenado correctamente las etiquetas de exclusión de materiales extraños?				
DN150 (6)	¿Falta algún dispositivo de barrera de exclusión de materiales extraños?				
7	¿Está correctamente cumplimentado el registro de exclusión de materiales extraños?				
DN200 (8)	¿Hay personal que supervise el procedimiento de exclusión de materiales extraños y vele por su cumplimiento?				
9	¿Se etiquetan e identifican las tuberías y tubos que se retiran?				
10	¿Está actualizada la lista de elementos extraviados?				
11	¿Cuántos objetos hay en la lista de elementos extraviados?				
12	¿Está actualizado el libro de registro de la zona de exclusión de materiales extraños?				
13	¿Se cuenta con un supervisor de exclusión de materiales extraños? (Niveles 2 y 3)				
14	¿Se tapan o cubren por ambos extremos las tuberías y tubos que se retiran? (Niveles 2 y 3)				
15	¿Hay disponibles taquillas o contenedores para los efectos personales? (Niveles 2 y 3)				
16	¿Se guardan en cajas o bolsas, o se etiquetan todos los componentes presentes en la zona de trabajo? (Niveles 2 y 3)				
17	¿Se borran los campos de los registros de exclusión de materiales extraños al final de cada turno? (Niveles 2 y 3)				
18	¿Se mantienen bien organizadas las herramientas? (Niveles 2 y 3)				
19	¿Se supervisa la zona de exclusión de materiales extraños para asegurar que no haya efectos personales? (Niveles 2 y 3)				
20	¿Están las herramientas aseguradas con cordones? (Nivel 3)				
21	¿Se está aplicando la política de exclusión de materiales extraños para grupos electrógenos y equipos eléctricos? (Nivel 3)				
22	¿Se cubren los equipos eléctricos y grupos electrógenos y se les proporciona aire caliente y seco? (Nivel 3)				
23	¿Utiliza el personal cubrebotas y monos de trabajo antiestáticos en la zona en la que está el grupo electrógeno? (Nivel 3)				

Comentarios: \_\_\_\_\_

Cumplimentado por: \_\_\_\_\_ Representante del propietario: \_\_\_\_\_











## ANEXO E: PROVEEDORES DE SERVICIOS ALTERNATIVOS

### E.1 Directrices para crear un programa de auditoría e inspección para componentes y servicios de proveedores alternativos

Cuando se están adquiriendo (o se han adquirido) componentes o servicios para los equipos, debería existir un programa de auditoría e inspección por parte del cliente que permita garantizar su calidad.

Para todos los servicios y componentes:

- A. El proveedor de servicios debería contar con un programa de gestión de calidad y control de calidad (GC/CC) verificable y que proporcione una trazabilidad completa de todas las piezas y materiales.
- B. El proveedor de los servicios debería contar con un programa de GC/CC documentado y verificable que incluya especificaciones, adquisición, fabricación, existencias, inspecciones, pruebas, transporte, almacenamiento, verificación de la instalación y puesta en marcha, en la medida en que sea aplicable a los servicios adquiridos.
- C. Como mínimo, este programa debería también gestionar los elementos que se indican a continuación, en la medida en que sean relevantes para los servicios y componentes que se están adquiriendo. Estas directrices no deberían considerarse como completas, sino como un punto de partida para elaborar un programa detallado de auditoría e inspección.
- D. Dicho programa debería ponerlo en práctica el propio comprador o quien este haya designado para la adquisición de componentes o servicios.

### E.2 Servicios de inspección en talleres y en campo

Los servicios de inspección proporcionados podrían incluir varios tipos de ensayos no destructivos. Cuando se están adquiriendo estos servicios:

- A. El personal de inspección debería tener una experiencia relevante tanto en el tipo de inspecciones que se llevarán a cabo como en el componente concreto que se inspeccionará. Además de esta experiencia, asegúrese de que el personal de inspección tenga acceso a los procedimientos recomendados del fabricante original (o a unos equivalentes) y a los criterios de aceptación del fabricante.
- B. Si se proporcionan ensayos no destructivos, el técnico debería poseer como mínimo la certificación ASNT SNT-TC-1A, nivel II (o una equivalente admitida en el país correspondiente).
- C. ASNT SNT-TC-1A es una práctica recomendada que proporciona directrices a los empleadores para crear programas internos documentados destinados a certificar al personal que realice ensayos no destructivos. No es lo mismo que una certificación ASNT, puesto que las empresas pueden adaptar sus certificaciones internas para dar respuesta a sus necesidades mínimas.
- D. Los servicios deberían proporcionarse de acuerdo con un procedimiento documentado y cualificado, o tener una trazabilidad adecuada.
- E. El proveedor de los servicios debería cumplir con un procedimiento estricto de exclusión de materiales extraños (consulte el anexo D).

### E.3 Servicios de campo

Algunos servicios de campo proporcionados podrían ser trabajos de profesionales, dirección técnica sobre el terreno o ensayos no destructivos. Cuando se están adquiriendo estos servicios:

- A. El proveedor de los servicios debería priorizar al personal de ingeniería y técnico que cuente con las habilidades, formación y experiencia adecuadas y documentadas. El personal que realiza los ensayos no destructivos debería tener el nivel de certificación adecuado para la técnica que vaya a seguirse.
- B. El proveedor de los servicios debería respetar las buenas prácticas de ingeniería, así como los procesos y los procedimientos utilizados en el sector. Los servicios deberían proporcionarse respetando un procedimiento documentado y certificado.

- C. El proveedor de los servicios debería seguir un procedimiento estricto de exclusión de materiales extraños.
- D. El proveedor de los servicios debería tener (o poder acceder a) talleres de fabricación adecuados. El taller debería realizar, y documentar, un control de calidad de medidas de rendimiento de los equipos esenciales.
- E. El proveedor de los servicios debería mantener registros de formación documentados de todo el personal de instalación y mantenimiento de campo.
- F. El proveedor de los servicios debería contar con personal de apoyo adecuado en el caso de que surjan problemas a los que no se pueda dar respuesta sobre el terreno.
- G. Cuando sea adecuado, todas las herramientas proporcionadas por el proveedor de los servicios deberían haberse inspeccionado para establecer que puedan utilizarse, especialmente los dispositivos de izado.

#### E.4 Servicios en talleres

Una parte importante de la inspección, pruebas y mantenimiento de los equipos es el reacondicionamiento de los componentes para alargar su vida útil. En el proceso de reacondicionamiento podrían intervenir muchas disciplinas, como mano de obra especializada, personal de ensayos destructivos y no destructivos y soporte de ingeniería. Cuando se envíen piezas a un taller para su reacondicionamiento, es necesario asegurarse de los siguientes puntos:

- A. El taller debería tener una experiencia relevante tanto en el tipo de reacondicionamientos que se llevarán a cabo como en los componentes concretos que está previsto reacondicionar. Por otra parte, todos los servicios de inspección deberían cumplir con la sección C.1.1 de este documento.
- B. El proveedor de los servicios debería disponer de un programa documentado que garantice que el personal empleado cuente con las cualificaciones, la formación y la experiencia necesarias. El proveedor de los servicios debería mantener registros de formación documentados para todo el personal que realice tareas de reacondicionamiento. El proveedor de los servicios debería respetar las buenas prácticas de ingeniería, así como los procesos y los procedimientos utilizados en el sector.
- C. El proveedor de servicios debería tener capacidades adecuadas para el reacondicionamiento (o disponer de un proveedor homologado), así como un control de calidad documentado de las mediciones del rendimiento de los componentes críticos.
- D. El proveedor de los servicios debería tener acceso a recambios de las piezas que se desechen durante el proceso de reparación. El proveedor de los servicios debería verificar la idoneidad de las piezas (histórico) de recambio que se emplearán para uno o más intervalos de funcionamiento.
- E. El proveedor de los servicios debería haber verificado el origen de todos los consumibles utilizados durante el proceso de reparación, como alambre de soldadura, materiales de relleno, material de soldadura blanda o fuerte, etc. Las reparaciones llevadas a cabo, por ejemplo, con técnicas de soldadura deberían estar sujetas a una evaluación del departamento de ingeniería que incluya un análisis metalúrgico que permita confirmar que el método de reparación propuesto es adecuado para la aplicación, materiales y temperatura concretos, de acuerdo con los procedimientos validados que deberían elaborar soldadores certificados.
- F. El proveedor de los servicios debería conocer el origen de todos los accesorios necesarios para el proceso de reparación, como pasadores, juntas, etc., y dicho origen debería poderse verificar.
- G. El proveedor de los servicios debería contar con procedimientos de reparación documentados y cualificados que produzcan una calidad reproducible para cumplir con las especificaciones del fabricante. El proceso de reparación debería incluir especificaciones detalladas de los pasos del procedimiento:
  - 1. registro de la referencia del componente, número de serie, historial de funcionamiento completo desde la última reparación y desde la fabricación inicial;
  - 2. inspección visual de materiales entrantes, medida de dimensiones, ensayos no destructivos y fotografías y mapas de defectos;

3. análisis metalúrgico del material base, en la medida en que sea necesario para comprobar su composición y propiedades;
4. desmontaje de los componentes del subensamblaje;
5. limpieza;
6. métodos de los ensayos no destructivos, de acuerdo con procedimientos documentados y cualificados;
7. tratamientos térmicos;
8. reparaciones de las soldaduras (de acuerdo con procedimientos cualificados) con materiales de relleno certificados y compatibles con los materiales base;
9. precalentamiento y tratamiento de alivio de la tensión posterior a la soldadura (cuando sea necesario);
10. mecanizado para que las dimensiones del componente reparado coincidan con las requeridas;
11. nueva aplicación del recubrimiento y tratamiento de difusión térmica (en caso de ser necesario);
12. nuevo montaje de los componentes del subensamblaje;
13. inspecciones de control/gestión de calidad, pruebas finales, etc.

Una vez que el primer componente se procese utilizando los procedimientos aplicables y cumpla con los requisitos de calidad, utilice los procedimientos de reparación certificados y las especificaciones del proceso para garantizar una calidad reproducible. En caso de introducirse cualquier mejora posterior al proceso y los procedimientos de reparación, será necesario volver a evaluar la cualificación y documentar los cambios mediante un proceso de gestión de revisión de cambios. A fin de garantizar una calidad reproducible, debería utilizarse el proceso revisado cuando sea necesario para esas condiciones específicas.

### **E.5 Componentes que no son del fabricante original (ingeniería inversa y rediseño)**

Antes de utilizar componentes que no sean del fabricante original, el proveedor debería haber evaluado el diseño de los componentes del fabricante original e identificado cualquier posible problema con el rendimiento de las piezas (es decir, oxidación precoz, grietas, desgaste o fallos). Si no se puede identificar ningún problema y no existen cuestiones de posible infracción de patentes, una alternativa aceptable sería fabricar mediante ingeniería inversa un componente que cumpla con los criterios de calidad indicados a continuación. Si se conoce la existencia de problemas con el componente, es aceptable fabricar un componente rediseñado que cumpla con los criterios enumerados a continuación.

#### **E.5.1 Componentes diseñados mediante ingeniería inversa**

Cuando el propietario proporcione una muestra para tomarla como base de la ingeniería inversa, debería ser consciente de que el componente podría dañarse o quedar destruido por el análisis metalúrgico necesario para cuantificar con precisión las características del componente. Se considera que seis es el número mínimo de piezas nuevas estadísticamente significativo para poder hacer ingeniería inversa de un componente determinando con suficiente precisión.

Las muestras a partir de las cuales se medirá el componente de ingeniería inversa deberían ser dimensionalmente precisas dentro de tolerancias apropiadas. Las mediciones en 3D deberían realizarse utilizando técnicas de medición reproducibles, como láser, luz blanca, tomografía computarizada o barrido por rayos X.

La identificación y réplica de todas las aleaciones utilizadas en el componente, el recubrimiento (cuando sea necesario) y los componentes del subensamblaje deberían determinarse mediante un análisis espectral o un medio equivalente. Deberían identificarse y aplicarse todos los acabados necesarios y adecuados para las superficies metálicas.

Cualquier desviación de las normas del fabricante original, como el uso de aleaciones alternativas o materiales diferentes, debería evaluarse y determinarse si son aceptables antes de su uso en el diseño.

Debería contarse con personal (interno del propietario o externo) que cuente con la experiencia adecuada para ayudar con el desarrollo de las especificaciones metalúrgicas así como otras especificaciones técnicas pertinentes para la compra de los componentes de ingeniería inversa.

### **E.5.2 Componentes rediseñados**

Cuando un componente experimenta repetidamente los mismos fallos durante el funcionamiento, un proveedor de servicios alternativo debería rediseñarlo con miras a solucionar estos problemas antes de fabricarlo. Otra situación en la que un proveedor de servicios alternativo podría optar por rediseñar un componente es para evitar eventuales cuestiones de infracción de patentes.

### **E.5.3 Proceso de diseño**

El proveedor debería analizar las posibles causas raíz de cualquier problema que presente el componente mediante pruebas de los equipos, ensayos de laboratorio, modelos informáticos, etc., según sea necesario.

Aquellos componentes que presenten problemas conocidos deberían rediseñarse para eliminarlos (utilizando herramientas analíticas de última generación generalmente aceptadas y pruebas).

Como parte del proceso de rediseño, debería evaluarse el impacto que tienen los componentes rediseñados sobre otros componentes, así como el rendimiento general de los equipos. El proveedor debería disponer de un proceso establecido, con procedimientos documentados que incluyan todos los pasos del diseño de ingeniería.

El proveedor debería estar dispuesto a revelar completamente, al propietario y a FM, la lógica del diseño, así como todas las suposiciones utilizadas en el rediseño o a la hora de introducir modificaciones que puedan cambiar de forma apreciable el rendimiento de los equipos existentes.

### **E.5.4 Proceso de pruebas y validación**

El proceso de validación del proveedor para sus cambios de diseño debería incluir la verificación de los márgenes de la frecuencia de resonancia.

El proveedor debería ser capaz de realizar pruebas que demuestren que los componentes rediseñados funcionarán de la manera necesaria para el uso previsto. Un componente, o grupo de componentes, rediseñado no debería afectar de forma significativa al resto del equipo, a menos que se haya realizado un análisis para todos los componentes afectados que demuestre de manera concluyente que no existe ningún impacto negativo sobre los componentes involucrados en ninguna de las condiciones de operación.

Para evaluar el rendimiento del nuevo diseño, los componentes rediseñados deberían someterse a pruebas utilizando la instrumentación adicional que sea necesaria.

Deberían realizarse inspecciones periódicas adicionales hasta que el componente haya demostrado que es adecuado para el entorno de funcionamiento y su aplicación como parte del equipo y que cumple con el intervalo objetivo de reparaciones y sustituciones.

### **E.5.5 Proceso de fabricación**

El proveedor del componente debería disponer de un programa de control/gestión de calidad y tenerlo disponible para su revisión por parte del propietario.

El programa de control/gestión de calidad debería indicar explícitamente la manera en que el proveedor de las piezas supervisa y garantiza la calidad de todos los trabajos realizados por los subcontratistas de todos los niveles, incluidos los proveedores de materias primas.

El proveedor de las piezas debería garantizar que cumple con las especificaciones de sus materiales y que todos los certificados de materiales tienen una trazabilidad completa de acuerdo con el programa de identificación de materiales.

El proveedor de las piezas debería proporcionar al propietario los datos de fabricación relevantes para su revisión, como análisis térmicos de composición química, radiografías de alta resolución, certificaciones y análisis de la capa de unión y la capa superior de todos los recubrimientos empleados (cuando sea necesario) y documentación del tratamiento térmico que muestre el tiempo a cada temperatura.

### E.6 Mejoras y sustituciones del sistema de control industrial

El sistema de control industrial debería proporcionar funciones de control, supervisión, secuenciación y protección de emergencia de los equipos que sean completas, fiables y de última tecnología.

El proveedor de los servicios debería respetar las buenas prácticas de ingeniería, así como los procesos y los procedimientos utilizados en el sector.

El proveedor de los servicios debería tener un conocimiento detallado del modelo concreto del equipo y de la configuración que se está controlando.

El proveedor de los servicios debería conocer bien las fortalezas y debilidades de la plataforma de control que se está utilizando, incluida la tasa de respuesta y la tasa de muestras. El proveedor de los servicios debería ser capaz de explicar en qué se diferencia la plataforma de control del sistema que se está sustituyendo con respecto al anterior y ser capaz de resolver cualquier posible debilidad percibida del nuevo sistema.

El proveedor de los servicios debería entender los modos de fallo conocidos del equipo de control que se están ofreciendo y saber cómo pueden ponerse de manifiesto dichos modos de fallo y protegerse frente a ellos.

El sistema de control industrial debería incorporar todos los sistemas de protección recomendados del fabricante de los equipos.

Debería instalarse suficiente redundancia en los sistemas de protección de forma que un único fallo no provoque un disparo del equipo o impida que el equipo se dispare.

Deberían habilitarse diagnósticos del sistema como parte integral del sistema de control industrial. En las estaciones de trabajo de ingeniería y del operador debería contarse con reconocimiento automático y ubicación de los fallos de control e instrumentación. Todos los fallos de dispositivos deberían contar con alarmas de fallo.

El sistema nuevo o modificado debería ser capaz de probar los sistemas de protección. Si los sistemas propuestos son de autodiagnóstico hasta el punto de que no se considere necesario realizar pruebas por separado, el proveedor debería facilitar documentación que demuestre que las funcionalidades de autodiagnóstico son suficientes para eliminar la necesidad de probar por separado los componentes del sistema.

Como parte del proceso de puesta en marcha, y para asegurarse de que el sistema funciona tal como está previsto, deberían realizarse pruebas exhaustivas de aceptación en fábrica (que incluyan los sistemas auxiliares esenciales). Los componentes físicos deberían probarse físicamente para asegurarse de que funcionan correctamente.

Como parte del proceso de puesta en marcha, para asegurarse de que el sistema funciona tal como está previsto, deberían también realizarse pruebas exhaustivas de aceptación in situ (que incluyan los sistemas auxiliares esenciales).

### E.7 Contrato de servicios del proveedor de servicios alternativo

Un contrato de servicios es un acuerdo para suministrar determinadas combinaciones de piezas de repuesto, reacondicionamiento de piezas, servicios de inspección, servicios de campo, supervisión y diagnóstico, gestión de inventarios y gestión de contratos. Al celebrar un tipo de contrato de servicios con un proveedor de servicios alternativo, se deberían tener en cuenta todas las consideraciones aplicables presentadas en esta sección de auditorías e inspección de la ficha técnica.

Se debería efectuar un proceso de diligencia debida, tanto técnica como económica, de cualquier proveedor de servicios alternativo que se esté considerando para el contrato. Esta diligencia debida debería incluir a todos los subproveedores que entregarán piezas o servicios de acuerdo con el contrato.

En el caso de producirse una parada no planificada, el proveedor debería estar en disposición de entregar las piezas y realizar los servicios con prontitud.

El propietario debería reservarse el derecho de obtener piezas y servicios del fabricante original del equipo o de otras fuentes si los proveedores de servicios alternativos no están en situación de hacerlo de acuerdo con el contrato.

En el caso de que el proveedor del contrato de servicios esté adquiriendo nuevas piezas de un proveedor alternativo de servicios y no esté controlando directamente el proceso de fabricación, el contratista del contrato de servicios debería tener un programa en vigor que garantice la calidad de las piezas y el cumplimiento de las directrices incluidas en esta sección relativa al programa de auditoría e inspección.

Si el contratista del contrato de servicios va a suministrar componentes reacondicionados, no aprobados por el fabricante o usados como parte de un conjunto, el proveedor debería poder aportar el historial de funcionamiento de las piezas desde su fabricación y desde la última reparación, así como otros parámetros históricos clave, para asegurarse de que las piezas sean adecuadas para el servicio previsto del equipo.

El propietario debería mantener el derecho de utilizar los servicios de otros contratistas o consultores para dar apoyo a la supervisión de una parada, los procesos de reacondicionamiento de piezas o, en caso de fallo, un análisis de causa raíz.