

FUNCIONAMIENTO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR Y DEL SUMIDERO FINAL DE CALOR

Colaboradores	Santiago Aleza Enciso, Irene Cuarental García, Antonio Vela Guzmán, Roberto Gil de Mingo, Carmen Muñoz Muñoz
----------------------	--

Redactor/a	Ana Artigao Arteaga	01.07.19
	Antonio M. Jiménez Juan	01.07.19
Unidad de Planificación, Evaluación y Calidad	Ana Belén Pérez Pelaz	01.07.19
Subdirector/a	José Ramón Alonso Escós	01.07.19
Director/a Técnico/a (por suplencia)	Rafael Cid Campo	02.07.19

El presente procedimiento de inspección se ha estructurado en el siguiente índice:

1. OBJETO Y ALCANCE.....	2
2. DEFINICIONES	2
3. NORMATIVA APLICABLE	2
4. RESPONSABILIDADES.....	3
5. DESCRIPCIÓN	3
5.1. BASES DE INSPECCIÓN	4
5.2. REQUISITOS Y GUÍAS DE INSPECCIÓN.....	5
5.2.1 Inspección bienal o general.....	5
5.2.1.1 Objetivo y selección de la muestra a inspeccionar	5
5.2.1.2 Revisión de cambiadores directamente refrigerados por el sistema de agua de servicios de seguridad	6
5.2.1.3 Revisión de cambiadores que están refrigerados directamente por un sistema de agua de refrigeración en circuito cerrado	10

5.2.1.4	Funcionamiento del sumidero final de calor (UHS) y del sistema de agua de servicios esenciales	11
5.2.1.5	Requisitos de vigilancia	18
5.3.	IDENTIFICACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	19
6.	REGISTROS	19
7.	REFERENCIAS	19
8.	ANEXOS.....	21
	ANEXO I. MOTIVOS DE LA REVISIÓN Y CAMBIOS INTRODUCIDOS.....	22
	ANEXO II. GUÍA DE COMPROBACIONES DE INRE	23

1. OBJETO Y ALCANCE

Este procedimiento tiene por objeto definir la sistemática de la inspección que realiza el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) sobre el funcionamiento de los cambiadores de calor y del sumidero final de calor, dentro del Plan Base de Inspección del Sistema Integrado de Supervisión de CC.NN. (SISC).

Este procedimiento aplica a las inspecciones a realizar sobre el funcionamiento de intercambiadores de calor y sumidero final de calor (UHS) requeridos para extraer el calor de decaimiento y para suministrar agua de refrigeración a equipos importantes para la seguridad, es decir, tanto relacionados con la seguridad como relevantes para la seguridad.

2. DEFINICIONES

Las que se describen en PG.IV.03 (Rev. 2), PA.IV.01 (Rev. 3) y Anexo 7 del PG.XI.04 (Rev. 3).

3. NORMATIVA APLICABLE

La que se describe en el PG.IV.03 (Rev. 2), actualizada con lo siguiente:

- Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear.
- Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.
- Real Decreto 1440/2010, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear.
- Real Decreto 1400/2018, de 23 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Seguridad Nuclear en las Instalaciones Nucleares.
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas.
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes.

- Instrucción IS-26, de 16 de junio de 2010, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a las instalaciones nucleares.
- Instrucción IS-27, revisión 1, de 14 de junio de 2017, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios generales de diseño de centrales nucleares.
- Instrucción IS-32, de 16 de noviembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de centrales nucleares.
- Instrucción IS-37, de 21 de enero de 2015, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre análisis de accidentes base de diseño en centrales nucleares.

4. RESPONSABILIDADES

En el procedimiento PG.IV.03 (Rev. 2), “Inspección y control de instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible”, se establecen con carácter general las responsabilidades relativas a este procedimiento. Además, son responsabilidades específicas las siguientes:

Subdirección de Ingeniería (SIN), como Inspección de la Sede

Realizar la inspección general de carácter bienal según se describe en el apartado 5.2.2. Las unidades responsables de la realización de esta inspección son:

- Área de Ingeniería de Sistemas (INSI), en general.
- Área de Ciencias de la Tierra (CITI), en lo referente al sumidero final de calor (UHS).

Tal y como se indica en el apartado “Estimación de recursos” se contactará con las áreas especialistas/INRE según los temas lo requieran durante el desarrollo de la inspección.

5. DESCRIPCIÓN

Los Pilares de Seguridad asociados a este procedimiento son:

- Sucesos iniciadores
- Sistemas de mitigación
- Integridad de las barreras

Los objetivos de esta inspección son verificar que:

1. El titular dispone de procesos que permitan identificar cualquier posible deficiencia en los intercambiadores de calor que pueda ocultar una degradación en su funcionamiento. Esto aplica a todos los intercambiadores de calor, importantes para la seguridad, conectados directa o indirectamente a los sistemas de agua de servicios o al sumidero final de calor (UHS), incluyendo cambiadores de calor en sistemas de agua de refrigeración en circuito cerrado.
2. El titular dispone de procesos que permitan identificar cualquier potencial problema o fallos de causa común en el funcionamiento del sumidero final de calor (UHS) que pudieran incrementar el riesgo (p. ej.: formación de hielo en las estructuras de toma de agua de servicios). El sumidero final de calor (UHS) puede ser un único sistema o una combinación de varios, según la configuración de cada planta.

3. El titular ha identificado y resuelto satisfactoriamente los problemas relacionados con el funcionamiento de intercambiadores o sumidero final que pudieran provocar sucesos iniciadores o afectar a varios cambiadores de calor en sistemas de mitigación, incrementando de esta manera el riesgo (p.ej.: funcionamiento del intercambiador de calor de agua de refrigeración de componentes afectado por corrosión, ensuciamiento o acumulación de lodos).

- **Frecuencia y tamaño de la muestra**

Para considerar completado este procedimiento del SISC es necesario realizar en planta cada dos años una inspección general (según el apartado 5.2.1 de este procedimiento). La inspección general debe incluir la revisión del funcionamiento de dos a cuatro cambiadores de calor, y la comprobación de sus controles de ensuciamiento; así como también la revisión del sumidero final de calor (UHS), de sus componentes y de los parámetros asociados al cumplimiento de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) vinculadas. En la medida de lo posible, al planificar las inspecciones se podría considerar la oportunidad de coincidir con actividades de limpieza, inspección o ejecución de requisitos de vigilancia planificados por el titular, en operación a potencia o en paradas de recarga.

Cada inspección se realiza de acuerdo con este procedimiento; aunque no resulta necesario que todas las inspecciones incluyan en su alcance todos los puntos identificados que se detallan en el apartado 5.2.

- **Estimación de recursos**

Se estima que este procedimiento requiere una media entre 72 y 128 horas para la inspección bial, independientemente del número de unidades situadas en el emplazamiento. Esta estimación corresponde al tiempo de inspección directa en planta, sin incluir otras dedicaciones necesarias (preparación de inspecciones, elaboración de actas o informes, etc.), y dependen de la composición del equipo de inspección y del alcance de la inspección.

Según el alcance de la inspección y el desarrollo de la misma, si los temas lo requieren, se contactará con las áreas especialistas/INRE para aquellos aspectos que queden fuera de las competencias de las áreas señaladas en el apartado 4. Responsabilidades.

5.1. BASES DE INSPECCIÓN

Los intercambiadores de calor y el sumidero final son necesarios para extraer el calor residual y proporcionar agua de refrigeración a los equipos importantes para la seguridad. La degradación de su funcionamiento puede llevar a que no se cumplan los criterios de éxito y producir un incremento del riesgo, principalmente por fallos de causa común. Esta área de inspección comprueba diversos aspectos de los pilares de seguridad asociados (sucesos iniciadores, sistemas de mitigación e integridad de las barreras) para los que no hay indicadores de medida del comportamiento.

Al programar estas inspecciones pueden tenerse en cuenta las paradas para recarga y los mantenimientos 'on-line' programados en las plantas, con el fin de identificar oportunidades para observar actividades poco frecuentes asociadas a los cambiadores de calor significativos para el

riesgo o a inspecciones y pruebas de los sistemas de agua de servicios (inspecciones y pruebas de los cambiadores de calor, inspecciones del interior de las tuberías de agua de servicios, etc.).

En la selección de los cambiadores de calor a revisar se tendrán en cuenta, además de otros factores y de los componentes ya inspeccionados en anteriores inspecciones, criterios adicionales tales como: análisis de ingeniería, experiencia operativa, historial de fallos o mejoras implantadas en aplicación de programas de gestión de vida u otros.

La tabla que sigue muestra una guía de consulta para seleccionar las actividades de inspección que permitan cumplir cada objetivo de los pilares de seguridad y, entre ellas, las que tienen prioridad desde el punto de vista del riesgo; es decir, los fallos de causa común que tienen una probabilidad razonable de suceder deberían ser objetivo de las inspecciones, para determinar su impacto en los pilares de seguridad.

Pilares de Seguridad	Objetivos de inspección	Prioridad según el riesgo	Ejemplos
SUCESOS INICIADORES	Revisar sucesos, problemas o condiciones que impliquen la degradación o pérdida del sumidero final de calor (UHS).	Fallos de causa común que afecten a la capacidad de evacuación de calor.	Formación de hielo en las estructuras de toma de agua de servicios y agua de circulación.
SISTEMAS DE MITIGACIÓN / INTEGRIDAD DE LAS BARRERAS	Revisar cualquier degradación potencial del funcionamiento de los cambiadores de calor / ventiladores de enfriamiento de la contención.	La selección de intercambiadores de calor se debería centrar en el potencial de fallos de causa común, o en los intercambiadores más significativos para el riesgo con un margen reducido en su diseño o con un alto potencial de ensuciamiento.	Degradación de la refrigeración de la contención o del funcionamiento de intercambiadores de calor del agua de refrigeración de componentes, debido a corrosión, incrustaciones, acumulación de lodos, etc.

5.2. REQUISITOS Y GUÍAS DE INSPECCIÓN

5.2.1 Inspección bienal o general

5.2.1.1 Objetivo y selección de la muestra a inspeccionar

Además del sumidero final de calor (UHS), seleccionar de dos a cuatro intercambiadores de calor pertenecientes a sistemas con una alta contribución al riesgo. Aquí se incluyen todos los intercambiadores de calor importantes para la seguridad.

No hay límite al tipo y tamaño de los intercambiadores de calor que se pueden seleccionar, siempre y cuando sean importantes para la seguridad.

La selección de los cambiadores de calor también debería tener en cuenta los resultados de las inspecciones anteriores, así como la existencia de cambiadores con un historial de incidencias y acciones correctoras asociadas.

La muestra seleccionada de intercambiadores de calor se incrementará o reducirá, según consideren los inspectores, para centrarse en aspectos significativos para el riesgo y en aspectos del programa de gestión de vida u otros programas de mejora aplicables.

Como referencia, algunos aspectos significativos de la operación de los últimos años en centrales nucleares españolas han sido: degradación de tuberías en el sistema de agua de servicios esenciales (antiguo sistema) y reducción de caudal del nuevo sistema; presencia de ferrobacterias en el Embalse de Servicios Esenciales; suciedad en el aporte de agua desde la balsa a las torres de refrigeración de salvaguardias tecnológicas; desprendimiento de restos de corrosión o incrustaciones en cambiadores del sistema de esenciales.

5.2.1.2 Revisión de cambiadores directamente refrigerados por el sistema de agua de servicios de seguridad

Para los intercambiadores de calor seleccionados y que estén refrigerados directamente por el sistema de agua de servicios, verificar que las pruebas, inspección, mantenimiento y programas de vigilancia del ensuciamiento biológico y del macro-ensuciamiento son adecuados, individualmente o combinados entre sí, para asegurar una correcta transmisión de calor (según ref. G.L. 89-13).

1. Revisar el método y los resultados de las pruebas de eficiencia de los intercambiadores de calor seleccionados o los métodos equivalentes para verificar su funcionamiento (considerar como posible referencia ASME OM-S/G Part 21; en apdo. 7). Examinar las pruebas reales de eficiencia del cambiador de calor (caso de que la asistencia a pruebas se incluya en la inspección), o revisar los procedimientos y los datos/informes de esas pruebas con el fin de verificar su validez y de detectar errores o problemas que hayan aparecido. Comprobar los siguientes aspectos, si aplican:
 - (a) La metodología de prueba seleccionada está de acuerdo con las prácticas industriales aceptadas o es equivalente.
 - (b) Las condiciones de prueba (p. ej. temperaturas e incrementos térmicos, presiones diferenciales y caudales) concuerdan con la metodología seleccionada.
 - (c) Los criterios de aceptación de las pruebas (p. ej. factores de ensuciamiento, coeficientes de transmisión de calor) están de acuerdo con las bases de diseño.
 - (d) Los resultados de las pruebas consideran adecuadamente las diferencias entre las condiciones de prueba y las de diseño (quizá no sea posible realizar pruebas funcionales con la tasa de evacuación de calor de diseño). Los resultados de las pruebas han de ser extrapolados a las condiciones de diseño de los intercambiadores.
 - (e) La frecuencia de las pruebas, basada en las tendencias observadas en los resultados de las mismas, es suficiente para detectar una degradación antes de que la capacidad de evacuación de calor sea inferior a la base de diseño. Las tendencias en las pruebas de eficiencia de los intercambiadores de calor no deberían tener cambios bruscos sin que el titular haya proporcionado una justificación válida para tal desviación.

- (f) Los resultados de las pruebas han tenido en cuenta las imprecisiones y errores de la instrumentación empleada, así como diferencias entre la distinta instrumentación que se utilice. La instrumentación de prueba debería calibrarse en el rango adecuado para los parámetros que se han de medir; si no, los pequeños errores de precisión de medida podrían afectar a los resultados de la prueba. La precisión requerida en la instrumentación depende de los márgenes disponibles entre el parámetro calculado a partir de los resultados de la prueba y la condición límite de diseño.
- (g) Las potencias térmicas por el lado de los tubos y por el lado carcasa son iguales o se mantienen dentro de un margen acotado y justificado razonablemente (por ejemplo, del orden del 5%), si hay información adecuada disponible en los resultados de las pruebas para calcular estos dos valores.
2. Para la inspección/limpieza, revisar los métodos y resultados de las inspecciones de los intercambiadores de calor, o bien asistir y observar directamente la ejecución de la inspección/limpieza. El inspector puede basarse tanto en hipótesis de diseño de los cálculos como en parámetros incluidos en las hojas de datos de diseño, que pueden ser evaluados por observación, revisión o inspección de los registros de las inspecciones del titular, o simplemente revisar los límites operacionales contenidos en los procedimientos. Verificar los siguientes puntos, si aplica:
- (a) Los métodos utilizados para inspeccionar y limpiar los intercambiadores de calor son coherentes con las condiciones “*as-found*” identificadas, con la tendencia de la degradación esperada y con los estándares de la industria. Los métodos basados en la identificación de las tendencias de degradación son adecuados si aseguran que no hay pérdida de capacidad entre sucesivas inspecciones planificadas. Los métodos deberían ser consistentes con las guías establecidas en EPRI NP-7552 y EPRI-1022980, o con documentación equivalente de reconocido carácter técnico (aceptada como práctica industrial) para el mantenimiento/inspección y limpieza de los cambiadores.
- (b) Las actividades de inspección y limpieza tienen establecidos criterios de aceptación que están de acuerdo con la práctica industrial aceptada o son equivalentes. Los criterios de aceptación consideran el factor de ensuciamiento y el coeficiente de transmisión de calor de forma consistente con las hipótesis de diseño y las condiciones “*as-found*”. La frecuencia de inspección o limpieza es consistente con las condiciones “*as found*” y las tendencias identificadas. Basándose en las frecuencias y las tendencias, los criterios de aceptación serán adecuados para asegurar que no se pierde capacidad de enfriamiento durante el periodo de servicio establecido.
- (c) Los resultados “*as found*” son registrados, evaluados y se tienen en cuenta adecuadamente (considerando su tendencia, por ejemplo), de manera tal que la condición final “*as left*” resulte aceptable. Por tanto, se identifican y evalúan los cambios en las tendencias. El titular ha evaluado la condición “*as-left*” y determinado, basándose en la frecuencia y la tendencia, que el cambiador de calor se mantendría operable durante el período en servicio hasta la siguiente inspección.
- (d) Si se asiste a la inspección/limpieza, realizar las siguientes comprobaciones:

1. Antes de la limpieza, examinar el alcance de las incrustaciones y la obstrucción de los tubos. Igualmente, inspeccionar todas las áreas accesibles del cambiador, superficies, cajas de agua, placas tubulares, ánodos de sacrificio, drenajes y venteos, etc., chequeando que el titular compruebe todos los aspectos aplicables a las mismas. Contrastar los resultados de la inspección actual con las anteriores.
 2. Examinar las condiciones en que se encuentran las superficies limpias y la preparación de las mismas.
 3. Comprobar que el número real de tubos taponados está de acuerdo con los datos registrados, que se encuentra dentro de los límites de operabilidad del intercambiador, que está de acuerdo con la documentación controlada y que ese dato está correctamente contemplado en los cálculos de eficiencia del equipo.
 4. Verificar que están taponados ambos extremos de un mismo tubo.
 5. Buscar indicaciones de macro-ensuciamiento, que incluyen acumulación de lodos o sedimentos, de mejillones o almejas vivos o muertos, materia acuática (p. ej. peces, algas, hierbas...) y material extraño derivado de las actividades de mantenimiento o construcción.
 6. Verificar los distintos componentes del intercambiador; por ejemplo, que las bridas y cabezales de las cajas de agua están correctamente instalados y orientados, el uso de sellantes y juntas.
 7. Verificar que estos mismos componentes quedan adecuadamente instalados y orientados tras la inspección.
- (e) La frecuencia de las inspecciones del titular debe ser adecuada para detectar la degradación antes de que disminuya la capacidad de extracción de calor por debajo de los valores base de diseño (para un potencial de ensuciamiento determinado).
- (f) Los resultados de las inspecciones del titular se encuentran categorizados adecuadamente frente a criterios de aceptación de ingeniería preestablecidos, y son aceptables.
3. Verificar que las condiciones y la operación son consistentes con las hipótesis de diseño en los cálculos de transferencia de calor, y con lo descrito en el Estudio de Seguridad. El inspector puede basarse tanto en hipótesis de los cálculos de diseño como en parámetros incluidos en las hojas de datos de diseño, que pueden ser valorados por observación, revisión o inspección de los registros de las inspecciones del titular, o simplemente revisar los límites operacionales contenidos en los procedimientos. Verificar que la condición “*as-found*” de las superficies interiores de los tubos del cambiador de calor es consistente con el factor de ensuciamiento utilizado en los cálculos de diseño, o al que se da crédito en los documentos base de diseño o en el Estudio de Seguridad.
 4. Verificar que el titular ha evaluado potenciales “golpes de ariete” en los cambiadores susceptibles de sufrirlo y que ha adoptado las medidas adecuadas para resolverlos. Hay que tener en cuenta a este respecto las indicaciones de la G.L. 96-06. Los cambiadores susceptibles de sufrir este fenómeno incluyen (pero no están limitados a ello):
 - Cambiadores de calor que permanecen aislados en situación de reserva.

- Cambiadores de calor que pueden drenarse parcialmente durante los accidentes base de diseño (pérdida de energía exterior –LOOP, o accidente de pérdida de refrigerante–LOCA), tales como los enfriadores de aire de la contención.
 - Cambiadores de calor de la contención después de un “Station Blackout” (SBO) o cualquier otro suceso en el que el flujo de caudal se interrumpa temporalmente.
5. Verificar que se cuenta con los controles adecuados y los límites operacionales necesarios para prevenir la degradación de los cambiadores de calor debida a vibración inducida por un exceso de caudal durante la operación.

Los cambiadores de calor sometidos a vibración inducida por un exceso de caudal son susceptibles de daño potencial en los tubos o haces de tubos. Tales cambiadores se pueden identificar basándose en:

- Observación directa durante condiciones de alto caudal (ruidos y vibración en los tubos).
- Cuestiones identificadas en la documentación asociada a acciones correctivas (p. ej. vibración durante la operación, daños en los tubos inesperados o excesivos).
- Cuestiones identificadas durante las entrevistas con personal de la planta.
- Límites administrativos establecidos en procedimientos para limitar el caudal de acuerdo con recomendaciones de los fabricantes o cálculos de ingeniería.

Adicionalmente, se deberán revisar los resultados del balance de caudal del sistema y los datos individuales de caudal por cada cambiador de calor. Verificar que el titular mantiene el caudal calculado a través de cada cambiador de calor.

6. Revisar, si aplica, las pruebas periódicas de caudal con el valor máximo de diseño, o uno próximo, para cambiadores de calor redundantes y de uso poco frecuente.
7. Verificar que el número de tubos taponados se encuentra dentro de los límites preestablecidos, basados en la capacidad de transferencia de calor y en las hipótesis de diseño de la transferencia de calor, y que son tenidos en cuenta de forma apropiada en los cálculos que se realicen del funcionamiento de los cambiadores.
8. Revisar, si aplica, los informes de inspección por corrientes inducidas y los registros de las inspecciones visuales, para determinar la integridad estructural del cambiador de calor.
9. Observar la ejecución por parte del titular de los controles de ensuciamiento biológico. El titular debería contar con un criterio de aceptación para los controles de ensuciamiento biológico que esté basado en estándares de la industria, o en resultados de programas de apoyo, o en recomendaciones de los suministradores.
10. Comprobar, bien directamente o bien a través de los datos de operación, alguno o varios de los puntos siguientes:
1. Las temperaturas de entrada y salida del cambiador de calor.
 2. Los caudales de los fluidos primario y secundario.
 3. Existencia de fugas o goteos evidentes. Verificar la posibilidad de caudales de ‘bypass’ por deficiencias en el cambiador.

4. Verificar si el cambiador de calor puede cumplir su función de seguridad, o significativa para el riesgo, mediante la revisión de la documentación o de los resultados de las inspecciones del titular.
11. Comprobar si el cambiador de calor está correctamente categorizado dentro de la Regla de Mantenimiento y verificar que recibe el mantenimiento requerido.
12. Comprobar, en caso de que se hallen implantados, que los tratamientos químicos, el control de fugas en tuberías, los métodos utilizados para controlar la corrosión por incrustaciones biológicas (tales como conchas, algas y microorganismos) y los métodos para el control de macro-incrustaciones (lodos, mejillones muertos, acumulación de suciedad, etc.), son suficientes para asegurar la eficiencia necesaria del intercambiador de calor (p. ej. criterios de aceptación adecuados).

5.2.1.3 Revisión de cambiadores que están refrigerados directamente por un sistema de agua de refrigeración en circuito cerrado

Estos cambiadores de calor, además de estar directamente enfriados por un sistema de agua de refrigeración en circuito cerrado, pueden estar enfriados indirectamente por el sistema de agua de servicios, o bien enfriados directamente por unidades de enfriamiento refrigeradas por aire. Como ejemplo pueden considerarse los cambiadores de calor residual (RHR), refrigerados indirectamente por el sistema de agua de servicios, u otros cambiadores refrigerados directamente por baterías de aire. En este último caso, se pueden citar como ejemplo de cambiadores refrigerados por aire que no dependen del sistema de agua de servicios o del UHS, los asociados al generador diésel para SBO, al generador diésel de emergencia o a los compresores de aire de instrumentos.

Para los intercambiadores de calor seleccionados verificar los siguientes puntos:

1. Las condiciones y la operación son acordes con las hipótesis de diseño consideradas en los cálculos de transmisión de calor. El inspector puede consultar tanto hipótesis de los cálculos de diseño como parámetros en las hojas de datos de diseño, y que se puedan valorar mediante la observación, la revisión de los registros de inspecciones del titular o la revisión de los límites operacionales de los procedimientos.
2. El titular ha evaluado potenciales “golpe de ariete” en los cambiadores susceptibles de sufrirlo y ha adoptado las medidas adecuadas para abordarlos. Los cambiadores de calor susceptibles de sufrir un golpe de ariete incluyen:
 - Cambiadores de calor que permanecen aislados en situación de reserva.
 - Cambiadores de calor que pueden drenarse parcialmente durante los accidentes base de diseño, tales como los enfriadores de aire de la contención.
 - Cambiadores de calor en los que el flujo de caudal se interrumpe temporalmente.
3. Se cuenta con los controles adecuados y los límites operacionales necesarios para prevenir la degradación de los cambiadores de calor debida a una vibración inducida por un exceso de caudal durante la operación. Los cambiadores de calor sometidos a vibración inducida por un exceso de caudal son susceptibles de daño potencial en los tubos o haces de tubos. Estos cambiadores se pueden identificar basándose en:

- Observación directa durante condiciones de alto caudal (ruidos y vibración en los tubos).
 - Cuestiones identificadas en la documentación asociada a acciones correctivas (p. ej. vibración durante la operación, daños en los tubos inesperados o excesivos).
 - Cuestiones identificadas durante las entrevistas con personal de la planta.
 - Límites administrativos establecidos en procedimientos para limitar el caudal de acuerdo con recomendaciones de los fabricantes o cálculos de ingeniería.
4. Los programas de tratamiento químico para el control de la corrosión son consistentes con los estándares de la industria, y son controlados, probados y evaluados por el titular. Los resultados de los tratamientos deberían ser evaluados para evitar efectos adversos en los cambiadores de calor o en otros componentes del sistema; deberían tener en cuenta la corrosión bajo tensión, y deberían cumplir con los criterios de aceptación establecidos por el titular. Los tratamientos químicos deberían realizarse de acuerdo a un programa, ser controlados y los resultados deberían ser vigilados, analizadas sus tendencias y evaluados.
 5. Revisar, si aplica, las pruebas periódicas de caudal con el valor máximo de diseño, o uno próximo, para cambiadores de calor redundantes y de uso poco frecuente. Se deberán revisar los resultados del balance de caudal del sistema y los datos individuales de caudal por cada cambiador de calor. Verificar que el titular mantiene el caudal calculado a través de cada cambiador de calor.
 6. El número de tubos taponados se encuentra dentro de los límites preestablecidos, basados en la capacidad de transferencia de calor y en las hipótesis de diseño de la transferencia de calor, y que son tenidos en cuenta de forma apropiada en los cálculos que se realicen del funcionamiento de los cambiadores.
 7. Revisar, si aplica, los informes de inspección por corrientes inducidas y los registros de las inspecciones visuales, para determinar la integridad estructural del cambiador de calor.
 8. Aplicar, con el alcance adecuado, los puntos 1, 2, 10 y 11 del apartado 5.2.2.2 anterior.

5.2.1.4 Funcionamiento del sumidero final de calor (UHS) y del sistema de agua de servicios esenciales

El equipo inspector debería comprobar si el sumidero final de calor y sus componentes pueden realizar sus funciones previstas de seguridad o significativas para el riesgo.

Se puede verificar el funcionamiento del sumidero final de calor (UHS) y de sus componentes, tales como tuberías, filtros de entrada, bombas, válvulas, etc., a través de pruebas u otros medios equivalentes. Para los focos fríos, la cuestión se centra en su disponibilidad y accesibilidad para los sistemas de agua de refrigeración de la central.

En cada inspección se deberían comprobar al menos dos de los siete puntos que se detallan más abajo, según sea aplicable (para plantas que tengan presas u otros dispositivos de contención para el UHS, los puntos 1 ó 2 se deben comprobar cada dos inspecciones bienales).

1. Para un UHS en superficie con agua embalsada mediante diques, presas o laderas laterales excavadas, hacer rondas y/o revisar los métodos y resultados del titular con el fin de:

- (a) Comprobar el paramento aguas abajo de la presa o dique en busca de filtraciones o fugas de agua, y comprobar que la zona de coronación no muestre asentamientos o desplazamientos inaceptables. Se debería identificar la existencia de procesos de erosión que pudieran llevar a una pérdida de la integridad estructural.
- (b) Las escolleras de protección situadas en laderas excavadas del UHS, o en paramentos de diques y presas, deberán ser estables y no sufrir movimientos. Si hay vegetación en paramentos o laderas, hay que asegurarse de que está podada, mantenida y de que no afecta o ha afectado negativamente a la estabilidad de diques o laderas.

Hay que tener en cuenta que la pérdida de protección del perímetro de la presa y embalse por un desarrollo excesivo de la vegetación (tal como raíces de árboles) o de madrigueras de animales, puede debilitar la integridad de los taludes y provocar derrumbes, que pueden suponer una reducción en la capacidad de retener agua del UHS, alcanzando un volumen inferior al de diseño.

- (c) Si están disponibles, revisar las inspecciones del titular o de terceros que sirvan para vigilar la integridad de la presa.
 - (d) Verificar que existe suficiente capacidad del embalse. La modificación del perímetro y de su geometría por la entrada de sedimentos u otros materiales puede reducir la capacidad del UHS. Entre las lecciones aprendidas de las inspecciones realizadas se incluye: la degradación del perímetro debido al crecimiento de vegetación, que puede causar la disgregación de limos y arcillas compactadas y el arrastre dentro del vaso de embalse, reduciendo su capacidad; también, la insuficiencia en la realización de medidas del fondo del embalse (batimetría) podría llevar a no identificar cambios significativos en la geometría de diseño del UHS originados por procesos de atarquinamiento (acumulación de sedimentos, plantas y otro materiales).
 - (e) Comprobar que el titular realiza con periodicidad adecuada la vigilancia de niveles, temperaturas y demás parámetros del embalse del UHS reflejados en las ETF asociadas, para verificar que se mantienen dentro de los rangos requeridos. Entre los parámetros a vigilar, identificar si el titular realiza un seguimiento de la calidad química del agua.
2. Para un UHS con presas o excavaciones subacuáticas, revisar los métodos de inspección del titular y sus resultados para verificar:
- (a) Cualquier posible asentamiento o movimiento que indique pérdida de integridad estructural y/o capacidad.
 - (b) Depósito de sedimentos u otros materiales que puedan reducir la capacidad del UHS.
- La inspección de las estructuras subacuáticas del UHS debería identificar asentamientos o movimientos que indiquen pérdida de la integridad estructural o de la capacidad. La altura de agua por encima de la coronación de la presa debería ser constante en los casos en los que el titular realice mediciones para verificar la capacidad.
3. Para un UHS con torres de refrigeración de tiro forzado o piscina/embalse con rociadores, realizar una ronda del sistema y revisar los registros del titular para verificar los siguientes puntos en función de su aplicabilidad:

- (a) Suficiente capacidad de reserva.
 - (b) Vigilancia periódica y análisis de tendencias de acumulación de sedimentos u otros materiales que alteren la geometría de la piscina/embalse.
 - (c) Las estructuras adyacentes no sísmicas o no relacionadas con la seguridad no pueden degradar o bloquear los caminos de flujo durante los sucesos de sismos o condiciones meteorológicas severas.
 - (d) Realización periódica de vigilancias de la capacidad de transferencia de calor.
 - (e) Realización periódica de vigilancias de la integridad estructural del UHS.
4. Revisar la operación del sistema de agua de servicios y del UHS:
- (a) Revisar los cambios de diseño del sistema de agua de servicios y del UHS. La revisión de los cambios o modificaciones debería asegurar que los requisitos básicos de diseño que fueron considerados como hipótesis se han mantenido a lo largo del tiempo. Hay que tener en cuenta también la revisión de las modificaciones planificadas y los cambios relacionados con el envejecimiento, que podrían tener un impacto negativo en las bases de diseño del UHS, incluyendo las condiciones físicas de las estructuras de toma, del embalse y de la presa.
 - (b) Revisar los procedimientos del titular para hacer frente a una pérdida del sistema de agua de servicios o del UHS. Verificar que la instrumentación necesaria para la toma de decisiones está disponible, es funcional, se somete a procedimientos de calibración adecuados, y los errores asociados a las medidas que se obtienen están dentro de los márgenes de precisión que se requieren para cumplir con los objetivos de vigilancia. Los procedimientos del titular deberían incluir guías específicas para situaciones de pérdida de la estructura de toma, pérdida de todas las bombas de agua de servicios, o rotura de una tubería, en función de su aplicabilidad. La instrumentación de medida de nivel de agua en la estructura de toma puede utilizarse en los procedimientos de operación de emergencia.
 - (c) Verificar los controles del titular para prevenir las obstrucciones debidas a macro-ensuciamiento. Verificar que el macro-ensuciamiento está adecuadamente vigilado, controlado y se analiza su tendencia, de forma coherente con las frecuencias e hipótesis del programa de mantenimiento.

Este requisito se puede satisfacer mediante resultados de prueba, observación u otros métodos equivalentes que verifiquen que el sumidero final de calor y sus subcomponentes pueden proporcionar el caudal máximo del sistema. La experiencia operativa en la industria nuclear ha puesto de manifiesto cierto número de sucesos relacionados con la entrada de material extraño en estos sistemas. Estos sucesos incluyen obstrucción de tuberías del sistema, de cambiadores de calor, filtros y rejillas de limpieza, debido a la entrada de materia acuática (tales como peces, algas, hierbas, etc.), restos materiales en flotación o sumergidos, o cieno y sedimentos arrastrados. Habría que tener en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

- Superpoblación de peces pequeños, que podrían ser forzados a entrar en el sistema.

- Mejillones cebra o almejas asiáticas, vivos o muertos.
- Otro material extraño proveniente de las actividades de mantenimiento o construcción.

La G.L. 89-13, que actualmente forma parte de las bases de licencia de las centrales nucleares españolas, recomienda una inspección visual en el período de recarga para descartar ensuciamiento biológico macroscópico, sedimentos y corrosión, y para la eliminación de cualquier posible acumulación.

Los componentes más susceptibles son:

- Cambiadores de calor con tubos de pequeño diámetro, o con pequeños espacios de paso en los cambiadores de placas.
 - Válvulas o cambiadores de calor con bajas velocidades de paso.
 - Válvulas o cambiadores de calor situados en cotas altas.
 - Válvulas que normalmente están cerradas en ramales muertos.
- (d) Si aplica, verificar que los tratamientos con biocidas para el control biótico se han realizado según lo programado, de forma controlada, y que los resultados han sido vigilados, evaluados y se han analizado las tendencias.

El programa de tratamiento biocida debería ser consistente con los estándares de la industria. Los resultados de los tratamientos deberían ser evaluados para asegurar un control biótico satisfactorio y deberían cumplir con los criterios de aceptación establecidos por el titular. Además, se debería vigilar, controlar y analizar las tendencias de la corrosión inducida microbiológica (MIC).

En algunas centrales el control biológico se realiza mediante el control de la temperatura del agua, que condiciona el crecimiento de algas, fuente de alimento de los peces. Variaciones bruscas de la temperatura del agua causadas por la central, pueden originar la muerte masiva de peces y producir problemas en las estructuras de toma de agua.

- (e) Para un UHS con volúmenes fijos (es decir, aquellos que no son un río, un lago o el mar), verificar una adecuada vigilancia de la química del agua para asegurar que se mantienen los niveles adecuados de pH, calcio, dureza, etc.

La vigilancia o el control inadecuados de la química del agua pueden dar lugar a incrustaciones de sales de calcio u otros precipitados en tuberías y en los tubos de los cambiadores de calor de alta temperatura durante un accidente base de diseño. El índice de Langelier es un indicador de uso habitual para la calidad química del agua, que puede utilizarse para reducir la probabilidad de degradación del coeficiente de transferencia de calor debido a depósitos de sales cálcicas.

- (f) Analizar la posible interacción de bombas de distinto caudal y presión funcionando en el sistema. El diseño del sistema es susceptible de presentar esta interacción cuando dos o más bombas centrífugas operan en paralelo y comparten la línea de caudal mínimo. Si una de las bombas es de mayor potencia que la otra (es decir, desarrolla mayor altura para un mismo caudal de agua), la bomba más débil puede irse a un punto de funcionamiento no permitido cuando ambas bombas están funcionando en

condiciones de bajo caudal, como ocurre en el modo de caudal mínimo. Comparar las curvas de las bombas del suministrador, o las curvas elaboradas durante las pruebas del sistema, con el fin de buscar diferencias en la presión de descarga de las bombas para los mismos caudales. Revisar la respuesta del titular al NRC Bulletin 88-04 (apdo. 7 Referencias). Durante las pruebas individuales de bombas, comparar la altura de la bomba para caudales bajos. Revisar el modelo hidráulico del sistema del titular, para localizar las hipótesis de caudal mínimo, o los casos de estudio con bombas en paralelo operando en caudales mínimos. En estos casos comprobar que el titular ha tenido en cuenta las diferencias entre bombas y que verifica en las pruebas periódicas que no existe interacción y que tampoco existe tras el mantenimiento de las bombas.

5. Revisar las pruebas de funcionamiento del sistema de agua de servicios y del UHS.
 - (a) Revisar las pruebas de funcionamiento tales como pruebas ASME en servicio de una muestra de bombas, ventiladores de las torres y válvulas del sistema de agua de servicios. Las pruebas de caudal y de limpieza incluidas en la G.L. 89-13 también aplican a las líneas del sistema de agua de servicios que conectan dos unidades. Además, verificar que no se alcanzan las condiciones de “runout” de la bomba cuando se alinea un número mínimo de bombas con el mayor número de cargas de no seguridad. Utilizar el PT.IV.219, “Requisitos de Vigilancia”, como guía adicional.
 - (b) Revisar los resultados de las pruebas de equilibrado del agua de servicios. Comparar los resultados de equilibrado con la configuración del sistema y los caudales supuestos durante las condiciones de un accidente base de diseño. Verificar que los datos del balance de caudal del sistema son coherentes con las hipótesis principales del diseño, tales como caídas de presión en componentes y tuberías durante las configuraciones de accidente, velocidades de extracción de la carga térmica para distintos caudales y especificaciones de caudal total del sistema.
 - (c) Las válvulas de interfase entre la parte del sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad y la parte no relacionada con la seguridad (no ASME clase 3) o sistemas de tuberías no sísmicos, deberían probarse, inspeccionarse o vigilarse periódicamente para verificar el aislamiento adecuado durante un accidente base de diseño. Verificar que la metodología del titular es adecuada para las hipótesis de la tasa de fugas del sistema consideradas en sus bases de diseño.
 - (d) Verificar el comportamiento de funciones no relacionadas con la seguridad y significativas para el riesgo, tales como apoyo de la refrigeración del edificio de turbina o de sistemas de agua de refrigeración del edificio del reactor en circuito cerrado, compresores de aire o de sistemas auxiliares de agua de alimentación movidos por turbina.
6. Realizar una ronda del sistema de agua de servicios esenciales y de los sistemas de agua de refrigeración en circuito cerrado. Verificar los siguientes puntos en función de su aplicabilidad (tanto en ronda como documentalmente):
 - (a) Para tuberías enterradas o inaccesibles, revisar el programa de pruebas, inspección o vigilancia de tuberías del titular, para verificar la integridad estructural y para asegurar que cualquier fuga o degradación ha sido apropiadamente identificada y tratada.

Los programas de vigilancia e inspección de tuberías deberían incluir comprobaciones periódicas de las penetraciones de las tuberías verticales que atraviesan el suelo de hormigón o una bancada (“riser”).

- (b) Revisar los resultados de las pruebas de ultrasonidos y de las inspecciones visuales, para determinar la integridad estructural de las tuberías.
 - (c) Revisar el tratamiento realizado por el titular de cualquier fuga pasante de una tubería, incluyendo las acciones correctivas llevadas a cabo o planeadas y las evaluaciones estructurales.
 - (d) Revisar el histórico de las fugas pasantes en tuberías, para identificar cualquier posible tendencia negativa desde la última inspección realizada por el CSN.
 - (e) Para los sistemas de agua de refrigeración en circuito cerrado, la inspección visual debería incluir el depósito de compensación. Revisar los registros de operación o entrevistar a los operadores o ingenieros del sistema, para identificar tendencias negativas en los aportes de agua que pudieran indicar un exceso de fugas hacia el exterior del sistema.
 - (f) Revisar el programa de inspección periódica utilizado por el titular para detectar el fallo de las capas protectoras, y la aparición de corrosión y erosión en función de su aplicabilidad.
 - (g) Para bombas verticales, revisar el histórico de operación y los resultados de la vigilancia de vibraciones en las pruebas en servicio en busca de tendencias adversas. Los problemas comunes en bombas de eje vertical incluyen:
 - Fallos de los acoplamientos del eje debidos a corrosión.
 - Corrosión en los terminales del eje y/o en los pernos de cierre del acoplamiento han conducido a elongaciones del eje y han originado daños en la bomba (NRC IN 2007-05).
 - Problemas de refrigeración de los rodamientos del eje.
 - Incapacidad para detectar la degradación de la bomba.
 - La rotación inversa de la bomba cuando está desconectada o en espera, puede provocar fallo por fatiga o agarrotamiento del eje cuando se arranca la bomba.
 - Se han detectado numerosos fallos como consecuencia de desalineamientos, mal equilibrado, errores de instalación y agrietamiento por corrosión intergranular bajo tensión (IGSCC).
 - La experiencia operativa incluye NRC Bulletin 79-15 y NRC IN 80-07, 93-68, 94-45 y 2007-05 (apdo. 7 Referencias).
7. Realizar una ronda por la estructura de toma del agua de servicios. Verificar los puntos siguientes si son aplicables (tanto en ronda como documentalmente):
- (a) Funcionamiento adecuado de las rejillas móviles (típicamente no relacionadas con la seguridad) y los filtros (típicamente relacionados con la seguridad), incluyendo la función de lavado del filtro en contracorriente.

Revisar el mantenimiento y la historia operativa de las rejillas móviles y de los filtros para identificar cualquier tendencia negativa, tales como fallos repetitivos de los pines de unión. Revisar también el histórico de bloqueos en los compartimentos de acumulación de suciedad y la frecuencia de limpieza de los mismos. Verificar si el ensuciamiento o bloqueo de la toma ha provocado reducciones de potencia del reactor. Revisar los procedimientos de operación normal y anómala para determinar si las guías permiten evitar (*bypass*) los filtros para mantenimientos correctivos, incluso aunque sea durante pequeños períodos de tiempo. Si fuera así, revisar de forma independiente la evaluación del titular para esta condición en relación con el posible impacto adverso debido al ensuciamiento en las estructuras, sistemas y componentes aguas abajo de las bombas, tales como los cambiadores de calor o enfriadores con tubos de pequeño diámetro o instrumentación de medida de caudal.

Para los filtros, los aspectos clave a inspeccionar pueden incluir:

- Comprobar si los operadores vigilan la intensidad del motor del filtro y comparan las lecturas cuando se supone que existe una obstrucción.
 - Comprobar cómo se verifica, mide y vigila el caudal de lavado del filtro en contracorriente.
 - Verificar que se encuentra funcional el lavado automático en contracorriente. Para aquellos sistemas de filtrado que no estén relacionados con la seguridad, asegurarse de que los procedimientos tienen en cuenta la operabilidad del agua de servicios cuando los filtros sufren atascamiento durante un suceso de pérdida de energía exterior. En aquellos sistemas de lavado que sí estén relacionados con la seguridad, verificar que su funcionamiento estará asegurado en modo accidente (p. ej. comprobar dependencias de otros sistemas como el aire de instrumentos).
- (b) La integridad estructural de los soportes de componentes no se ha degradado (por ejemplo, debido a corrosión excesiva).

Revisar el programa de inspección periódica de la estructura de toma del agua de servicios basado en la G.L. 89-13. El programa de inspección debería incluir la vigilancia de la acumulación de lodos y la verificación de la integridad estructural de los componentes, incluyendo componentes subacuáticos (p. ej. dispositivos anti-vórtice, compartimentos de acumulación de suciedad, etc.).

- (c) Está monitorizada la acumulación de lodos en las cántaras de las bombas de agua de servicios, se realiza un análisis de tendencias y se mantiene en niveles aceptables.
- (d) Los instrumentos de medida de nivel de agua en la cántara de las bombas de agua de servicios esenciales se mantienen funcionales y se vigilan rutinariamente.

Comprobar los controles operacionales para prevenir una disminución excesiva del nivel en la estructura de toma del agua de servicios, con la pérdida asociada de la succión de la bomba, debido a atascamiento, ensuciamiento o bloqueo de las pantallas o de las rejillas. Los operadores deberían ser capaces de identificar una disminución del nivel de agua en la estructura de toma antes de que alcance el nivel mínimo establecido en las ETF. El procedimiento de operación anómala debería incluir pasos secuenciales antes de alcanzar el nivel de acción de las ETF (p. ej. disparo secuencial de las bombas

de agua de servicios o de las bombas de agua de circulación, o reducir la potencia del reactor). La revisión debería incluir la indicación, los anunciadores y las acciones manuales del operador (respuesta del operador) para las pantallas, rejas y bombas de agua de circulación.

Comprobar los controles operacionales para prevenir un cambio significativo en la temperatura del agua. Los operadores deberían poder identificar cambios térmicos en el agua antes de alcanzar los valores de referencia establecidos en las ETF. Los inspectores examinarán los registros de temperatura obtenidos por el titular en los últimos años y los compararán con las medidas registradas en el programa de vigilancia meteorológica (coordinación con la aplicación del PT.IV.201).

- (e) Comprobar la funcionalidad durante condiciones meteorológicas severas, que pueden originar, entre otros, crecimiento de algas, entrada de hierbas o restos de tormentas, formación de hielo, altas temperaturas. Si la instalación está emplazada en un área susceptible de sufrir temperaturas muy bajas y heladas con formación de cristales de hielo, aunque no lleguen a formarse placas continuas en la superficie, entonces se debe comprobar la capacidad del titular para identificar o mitigar estas condiciones.

Este requisito de inspección debería determinar si el titular tiene procedimientos para afrontar condiciones meteorológicas severas, coordinando la actuación en este punto con la aplicación del procedimiento PT.IV.201. Esta inspección debería también verificar que se vigila la temperatura del agua del UHS, y que ésta no ha excedido los valores límite de ETF o de base de diseño.

Según la experiencia, los factores causales que han provocado el bloqueo de la estructura de toma incluyen cambios de tipo ambiental, tales como tormentas y efectos del viento, vida acuática, formación de hielo, arena, lodos o vertidos de petróleo. Las condiciones que pueden dar lugar a la formación de cristales de hielo incluyen, entre otras, temperatura del agua próxima al punto de congelación, bajo nivel de agua en la toma (facilita la congelación), viento fuerte y humedad muy alta.

- (f) Para muros de contención subacuáticos, cuya misión es limitar la entrada de suciedad o arena, verificar si el agua pudiera circular alrededor del mismo, en lugar de por encima, durante períodos en los que el río o lago tuvieran un nivel bajo de agua. Verificar que el titular ha evaluado la potencial entrada de lodos durante los períodos de bajo caudal y de bajo nivel o que la altura de los muros es la adecuada.

5.2.1.5 Requisitos de vigilancia

Verificar que los sistemas de agua de refrigeración importantes para la seguridad (cadena de evacuación de calor excepto RHR, sumidero final de calor, sistemas de agua enfriada, etc.) cumplen con los requisitos que les imponen las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, a través de la asistencia y/o revisión de resultados de las pruebas de Requisitos de Vigilancia aplicables a estos sistemas. En general, se tratará de pruebas de operabilidad (funcionales) de bombas, cambiadores, ventiladores, torres de refrigeración, válvulas y caminos de flujo asociados, medición de caudales y temperaturas a consumidores y equilibrado de sistemas.

Para el desarrollo de esta parte de la inspección pueden utilizarse las guías contenidas en el procedimiento de inspección PT.IV.219, "Requisitos de vigilancia".

5.3. IDENTIFICACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Verificar si el titular ha incorporado a su programa de acciones correctoras todos aquellos problemas significativos que haya identificado relativos al rendimiento de intercambiadores de calor/sumidero final de calor. Se entiende por problemas significativos aquellos que incluyen los relacionados con la degradación del funcionamiento de cambiadores de calor/sumidero final, acumulación de lodos, golpes de ariete, acumulación de aire en tuberías, corrosión, incrustaciones y pruebas de intercambiadores de calor. Comprobar también si las acciones correctoras adoptadas por el titular son adecuadas. Para más información, consultar el procedimiento PA.IV.201.

6. REGISTROS

Serán registros de calidad las actas de inspección y documentos de evaluación elaborados por las áreas responsables, entre otros los siguientes:

- Actas de Inspección (AIN) y sus diligencias.
- Informes de Evaluación y de Categorización de Hallazgos (IEV).
- Notas de Evaluación Técnica (NET).

7. REFERENCIAS

- PG.IV.03, "Inspección y control de instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo del combustible" (Rev. 2, 2010).
- PA.IV.01, "Programa Base de Inspección a las centrales nucleares e instalaciones del ciclo y residuos en operación" (Rev. 3, 2015).
- PA.IV.201, "Programa de identificación y resolución de problemas (PlyRP)" (Rev. 2, 2015).
- PT.IV.201, "Protección frente a condiciones meteorológicas severas e inundaciones".
- PT.IV.219, "Requisitos de vigilancia" (Rev. 2, 2014).
- US-NRC Inspection Procedure 71111.07, "Heat Sink Performance", Dic/2016.
- US-NRC Generic Letter 89-13, "Service Water System Problems Affecting Safety-Related Equipment".
- US-NRC Generic Letter 91-13, Request for Info Related to the Resolution of GI 130, "Essential Service Water System Failures at Multi-Unit Sites".
- US-NRC Generic Letter 96-06, "Assurance of Equipment Operability and Containment Integrity during Design-Basis Accident Conditions".
- US-NRC Generic Letter 96-06, Supplement 1, "Assurance of Equipment Operability and Containment Integrity during Design-Basis Accident Conditions".
- US-NRC Reg. Guide 1.27, "Ultimate Heat Sink for Nuclear Power Plants".
- US-NRC NUREG-0800, "Standard Review Plan", Capítulo 9.2.
- US-NRC NUREG 1275 Vol. 3, "Operating Experience Feedback Report - Service Water System Failures and Degradations".

- US-NRC NUREG/CR-0548, "Ice Blockage of Water Intakes".
- US-NRC NUREG/CR-5865, "Generic Service Water System Risk-Based Inspection Guide".
- US-NRC Information Notice 80-07, "Pump Shaft Fatigue Cracking".
- US-NRC Information Notice 93-68, "Failure of Pump Shaft Coupling Caused by Temper Embrittlement during Manufacture".
- US-NRC Information Notice 94-45, "Potential Common-Mode Failure for Large Vertical Pumps".
- US-NRC Information Notice 2004-07, "Plugging of Safety Injection Pump Lubrication Oil Coolers with Lakeweed".
- US-NRC Information Notice 2006-17, "Recent Operating Experience of Service Water Systems due to External Conditions".
- US-NRC Information Notice 2007-05, "Vertical Deep Draft Shaft and Coupling Failures".
- US-NRC Information Notice 2007-06, "Potential Common Cause Vulnerabilities in Essential Service Water Systems".
- US-NRC Bulletin 79-15, "Deep Draft Pump Deficiencies".
- US-NRC Bulletin 88-04, "Potential Safety-Related Pump Loss".
- Código ASME.
- ASME OM-S/G Part 21, "Inservice Performance Testing of Heat Exchangers in Light-Water Reactor Power Plants".
- Norma DIN-1944, "Pruebas de aceptación en bombas centrífugas".
- Norma VDI-2056, "Guías de valoración para vibraciones mecánicas en máquinas".
- KTA-3301, "Residual Heat Removal System of Light Water Reactors".
- EPRI NP-7552, "Heat Exchanger Performance Monitoring Guidelines", 1991.
- EPRI TR-103403, "Service Water System Corrosion and Deposition Sourcebook", 1993.
- EPRI TR-106438, "Water Hammer Handbook for Nuclear Plant Engineers", 1996.
- EPRI TR-1022980, "Guidance for an Effective Heat Exchanger Program", 2011.
- TEMA Standards, "Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association".
- Hydraulic Institute Standards.
- OIEA SSR-2/1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design", Rev. 1, 2016.
- OIEA SSR-2/2, "Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation", Rev. 1, 2016.
- OIEA SSG-13, "Chemistry Programme for Water Cooled Nuclear Power Plants", 2011.
- OIEA NS-G-1.9, "Design of the Reactor Coolant System and Associated Systems in Nuclear Power Plants", 2004.

8. ANEXOS

- **Anexo I.-** Motivo de la revisión y cambios introducidos.
- **Anexo II.-** GUÍA DE COMPROBACIONES DE INRE.

ANEXO I. MOTIVOS DE LA REVISIÓN Y CAMBIOS INTRODUCIDOS

La presente revisión del procedimiento PT.IV.206, "Funcionamiento de los cambiadores de calor y del sumidero final de calor", obedece a la necesidad de actualización por dos razones fundamentalmente: a) adecuarlo a los criterios de revisión establecidos en el procedimiento PG.XI.04, revisión 3, "Documentación del Sistema de Gestión", y b) introducir algunos cambios en la descripción de actividades para adaptarse a la última revisión del procedimiento de inspección de la NRC IP 71111.07, que sirve de referencia y está en vigor desde enero de 2017.

De una manera resumida, los cambios más importantes introducidos han sido los siguientes, que facilitan la aplicación práctica del procedimiento en la realización de las inspecciones:

- Se ha adecuado el formato de primera página a lo establecido en el PG.XI.04.
- Se han adaptado las responsabilidades a la estructura organizativa actual de la DSN.
- Se ha ampliado la descripción de actividades de inspección, con cita de ejemplos prácticos, para incluir detalles técnicos relacionados con la experiencia post-Fukushima y con la consideración del envejecimiento.
- Se han incorporado algunos aspectos derivados de la experiencia en la realización de estas inspecciones.
- Otros cambios menores de mejora en la redacción.

ANEXO II. GUÍA DE COMPROBACIONES DE INRE

Las comprobaciones permitirán identificar posibles problemas de funcionamiento en cambiadores o sumidero final que requieran del titular la adopción de medidas correctivas inmediatas.

Comprobaciones a realizar

La inspección permitirá verificar que el funcionamiento de los intercambiadores de calor es aceptable, mediante la observación de las pruebas de rendimiento normalmente aplicadas en la industria, la revisión de los datos resultantes de estas pruebas o el uso de métodos de mantenimiento periódico detallado, como por ejemplo el incluido en EPRI NP-7552 (ver apdo. 7 Referencias). Para la inspección se puede asistir a una o dos pruebas de eficiencia de intercambiadores de calor, revisar los resultados de una o dos pruebas de eficiencia, o comprobar la ejecución y vigilancia a potencia por parte del titular de los controles de incrustación química o biológica y limpieza de tubos de un intercambiador de calor.

Comprobar en cada inspección una de las opciones (a), (b), (c) o (d) que figuran a continuación para verificar el correcto funcionamiento y disponibilidad de los cambiadores o sumidero final seleccionados. Los puntos (e) y (f) que siguen se realizarán adicionalmente para asegurar la operabilidad o funcionalidad de los cambiadores seleccionados.

- (a) Asistir a pruebas de eficiencia de los cambiadores/sumidero final o revisar los datos/informes de pruebas para identificar problemas o errores. Las pruebas deberán ser aquellas típicamente aprobadas por la industria. Verificar que las diferencias entre las condiciones de prueba y las de diseño se han considerado debidamente en los criterios de aceptación de las pruebas y en los resultados de las mismas; ya que quizá no sea posible realizar pruebas funcionales con la tasa de evacuación de calor de diseño del cambiador. Verificar también que los resultados de los ensayos han considerado apropiadamente las imprecisiones y diferencias asociadas a la instrumentación utilizada.
- (b) Verificar que el titular utiliza métodos de mantenimiento periódico aprobados por la industria (p.ej. EPRI NP 7552, "Heat exchanger performance monitoring guidelines").
- (c) Observar los controles de corrosión biológica efectuados por el titular; éste deberá aplicar criterios de aceptación en sus controles de corrosión biológica basados en estándares de la industria, recomendaciones de los suministradores de equipos o en resultados de sus programas.
- (d) Observar las inspecciones del titular sobre los cambiadores de calor y sobre el estado de limpieza de sus tubos. El principal objetivo es comprobar si el número de tubos taponados pudiera afectar a la operabilidad del cambiador (la presencia de corrosión biológica en el interior de los cambiadores y su efecto en la eficiencia es un aspecto a cubrir en la inspección bienal). El titular deberá contar con un criterio de aceptación del máximo número de tubos que pueden estar taponados y una base para dicho criterio.
- (e) Comprobar, ya sea por ronda o por revisión de datos de operación, alguno o varios de los puntos siguientes:
 1. Temperaturas de entrada/salida de los cambiadores.

2. Caudales por los cambiadores (lado de tubos y lado carcasa).
 3. Existencia de cualquier evidencia de fugas.
 4. Verificar si el cambiador de calor puede realizar sus funciones (relacionadas con la seguridad o significativas para el riesgo), revisando la documentación o los resultados de las inspecciones del titular.
 5. Comparar la orientación de los cambiadores, sus cajas de agua y los cabezales de las mismas, así como de cualquier elemento que se haya desmontado en los cambiadores, entre trenes redundantes o con documentación original, para confirmar que es la adecuada.
 6. Verificar la posible existencia de flujos de *'bypass'* en los cambiadores (p.ej. entre el haz tubular y la carcasa).
- (f) Comprobar si el cambiador de calor está correctamente categorizado dentro de la Regla de Mantenimiento y verificar que recibe el mantenimiento que le corresponde.