

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

<b>Colaboradores</b>	
----------------------	--

<b>Propietario/a</b>	Carmen Muñoz Muñoz Antonio Jiménez Juan		2.06.05
<b>Calidad Interna</b>	Emilio Romero Ros		2.06.05
<b>Subdirector/a o Jefe/a de Oficina</b>	Antonio Munuera Bassols		2.06.05
<b>El/La Director/a Técnico/a</b>	Isabel Mellado Jiménez		3.06.05

### 1. OBJETO

Este procedimiento tiene por objeto definir la sistemática de la inspección, a realizar por 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).

Los Pilares de Seguridad asociados a este procedimiento son:

- Sucesos iniciadores (20 %)
- Sistemas de mitigación (80 %)

### 2. ALCANCE

Este procedimiento aplica a las inspecciones a realizar sobre el funcionamiento de intercambiadores de calor, focos fríos y el sumidero final de calor, conectados a sistemas de agua de servicios relacionados con la seguridad, para verificar que:

1. Se identifica cualquier posible deficiencia en los intercambiadores de calor que pueda ocultar una degradación del rendimiento. Se aplica a todos los intercambiadores de calor conectados directa o indirectamente a sistemas de agua de servicios relacionados con la seguridad.
2. Se identifica cualquier problema de causa común en el funcionamiento de los sumideros de calor con potencial para incrementar el riesgo, p. ej: formación de hielo en las estructuras de toma de agua de servicios.

3. El Titular ha identificado y resuelto satisfactoriamente los problemas relacionados con el funcionamiento de los sumideros de calor que pudieran provocar sucesos iniciadores o afectar a varios cambiadores de calor en sistemas de mitigación, incrementando de esta manera el riesgo, como por ejemplo, el rendimiento del intercambiador de calor de agua de refrigeración de componentes afectado por corrosión, suciedad o decantación.

- **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 apdo. 6.2.2) y dos inspecciones anuales (según apdo. 6.2.1). La inspección general debe incluir la revisión del funcionamiento de dos cambiadores de calor, la asistencia a su inspección/limpieza y la comprobación de sus controles de bio-incrustación, así como también la revisión del sumidero final de calor y de sus componentes. Cada inspección anual debe contemplar la revisión de las pruebas de rendimiento de un cambiador de calor.

- **Estimación de recursos**

Se estima que este procedimiento requiere una media de 5 a 7 horas para realizar una inspección anual y entre 34 y 46 horas para el caso de la inspección bienal, sea cual sea el número de unidades de la planta en el emplazamiento. Estas estimaciones corresponden a tiempo de inspección directa en planta, sin incluir otras dedicaciones necesarias (preparación de inspecciones, elaboración de actas o informes, etc.), y dependen del número de intercambiadores de calor/focos fríos que el Titular vaya a probar durante la inspección y del número de Requisitos de Vigilancia presenciados durante la misma.

### 3. DEFINICIONES

Las que se describen en el PG.IV.03 y el PA.IV.01.

### 4. NORMATIVA APLICABLE

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

- Real Decreto 1157/1982, de 30 de abril, por el que se aprueba el Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear, modificado por el Real Decreto 469/2000, de 7 de abril, por el que se modifica la estructura orgánica básica del Consejo de Seguridad Nuclear.
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

### 5. RESPONSABILIDADES

En el procedimiento PG.IV.03 se establecen con carácter general la responsabilidades relativas a este procedimiento. Además, son responsabilidades específicas las siguientes:

- **Inspección de la Sede**

Realizar la inspección global de carácter bienal según se describe en el apartado 6.2.2. Las unidades responsables de la realización de esta inspección son:

- Área de Sistemas Auxiliares y Mantenimiento (ISAM-SIN-DSN), en general.
- Área de Ciencias de la Tierra (CITI-STN-DSN), referente al sumidero final de calor.

- **Inspección Residente**

Realizar las inspecciones de carácter anual según se describe en el apartado 6.2.1.

## 6. DESCRIPCIÓN

### 6.1. BASES DE INSPECCIÓN

Los intercambiadores de calor y los focos fríos son necesarios para extraer el calor residual y proporcionar agua de refrigeración a los equipos que se encuentran en operación. La degradación de su rendimiento 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 aspectos de los pilares de seguridad asociados (sucesos iniciadores y sistemas de mitigación) para los que no hay indicadores de medida del comportamiento.

### 6.2. REQUISITOS DE INSPECCIÓN

#### 6.2.1 Inspección anual

Se debe verificar de forma continua que el rendimiento de los intercambiadores de calor es aceptable, mediante la observación de las pruebas normalmente aplicadas en la industria, la revisión de los datos resultantes de estas pruebas o el uso del método de mantenimiento periódico detallado en EPRI NP-7552. Se debe asistir a una o dos pruebas de rendimiento de intercambiadores de calor, revisar los resultados de una o dos pruebas de rendimiento o comprobar anualmente la ejecución y vigilancia a potencia por parte del Titular de los controles de incrustación biológica y limpieza de tubos de un intercambiador de calor. Seleccionar un intercambiador de calor de un sistema que conecte directamente con el sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad y que tenga un rango alto en la evaluación de riesgos de la central. Comprobar las siguientes cuestiones, según sea aplicable:

- a. 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 (quizá no sea posible realizar pruebas funcionales con la tasa de evacuación de calor de diseño del cambiador).
- b. Los resultados de la inspección tienen una categorización apropiada según los criterios de aceptación de ingeniería preestablecidos y son aceptables. Centrarse especialmente en si el número de tubos taponados afecta a la operabilidad del intercambiador de calor

y no en las incrustaciones biológicas en el interior de los tubos, lo cual debe ser objeto de la inspección realizada cada dos años por un especialista.

- c. La frecuencia de las pruebas o inspecciones es suficiente (considerando el potencial de ensuciamiento) para detectar una degradación antes de la disminución de la capacidad de evacuación de calor por debajo de los valores base de diseño.
- d. Los resultados de las pruebas han tenido en cuenta las imprecisiones y errores en los instrumentos de medida.
- e. El Titular ha desarrollado criterios de aceptación para sus controles de ensuciamiento por incrustaciones biológicas.

#### 6.2.2 Inspección bienal

- **Selección de los cambiadores a inspeccionar**

Seleccionar 2-3 intercambiadores de calor pertenecientes a sistemas que tengan un rango alto en la evaluación de riesgos de la central en cuestión, entre los que se incluyen todos los intercambiadores de calor directa o indirectamente conectados al sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad.

- **Revisión de cambiadores conectados directamente con el sistema de agua de servicios de seguridad**

Para los intercambiadores de calor seleccionados y que estén conectados directamente al sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad, se debe comprobar que las pruebas, la inspección/mantenimiento o la vigilancia de los controles de incrustaciones biológicas son adecuados, individualmente o combinados entre sí, para asegurar una correcta transmisión de calor.

1. Revisar el método y los resultados de las pruebas de rendimiento del intercambiador de calor o los métodos equivalentes para verificar su rendimiento. 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).
  - (e) La frecuencia de las pruebas, deducida a partir de las tendencias 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.

- (f) Los resultados de las pruebas han tenido en cuenta las imprecisiones y errores de la instrumentación empleada.
  - (g) Las potencias térmicas en el lado de los tubos y la carcasa son iguales, 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 rendimiento de los intercambiadores de calor, o bien asistir y observar directamente la ejecución de la inspección/limpieza real. Comprobar los siguientes tres primeros pasos [(a)-(c)] si se realiza la revisión, y el último paso (d) sólo si se asiste realmente a la ejecución de la inspección/limpieza:
- (a) Los métodos utilizados para inspeccionar los intercambiadores de calor son coherentes con la degradación esperada.
  - (b) Los criterios de aceptación establecidos están de acuerdo con la práctica industrial aceptada o son equivalentes, incluyendo la aceptabilidad del intervalo de limpieza.
  - (c) Los resultados “as found” se consideran adecuadamente, de manera tal que la condición final resulte aceptable.
  - (d) Si se asiste a la inspección/limpieza, realizar las siguientes operaciones:
    - (d.1) Antes de la limpieza, examinar el alcance de las incrustaciones y la obstrucción de los tubos.
    - (d.2) Examinar las condiciones en que se encuentran las superficies limpias.
    - (d.3) Comprobar que el número de tubos taponados se encuentra dentro de los límites de operabilidad del intercambiador de calor y que ese dato está correctamente contemplado en los cálculos de rendimiento del mismo.
3. 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, corbículas y microorganismos) y los métodos para el control de macro-incrustaciones (lodos, mejillones muertos, acumulación de suciedad, etc.), son suficientes (p. ej: criterios de aceptación adecuados) para asegurar el rendimiento necesario del intercambiador de calor.

- **Revisión general de los cambiadores**

Para los intercambiadores de calor seleccionados, conectados directa o indirectamente, salvo que se indique lo contrario, al sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad, comprobar los siguientes puntos:

1. Las condiciones y la operación son acordes con las hipótesis de diseño en los cálculos de transmisión de calor (p. ej: para el taponamiento de tubos).
2. El Titular ha evaluado la posibilidad de que ocurran golpes de ariete en dichos intercambiadores de calor y ha adoptado las medidas adecuadas para afrontarlo (evitarlos y/o soportar sus efectos).

3. La observación directa o los problemas identificados en los documentos de acciones correctoras indican que los intercambiadores no muestran vibraciones excesivas que puedan ocasionar daños en los tubos o placas de tubos durante la operación.
4. Para los cambiadores indirectamente conectados al sistema de agua de servicios, comprobar que la química del agua se está controlando de manera adecuada para combatir la corrosión, p. ej: agrietamiento por corrosión bajo tensión en componentes metálicos.
5. Los intercambiadores de calor redundantes y poco utilizados en la operación normal de la planta, se prueban de forma periódica al máximo caudal de diseño.

- **Funcionamiento del sumidero final de calor**

Verificar el funcionamiento de los sumideros finales de calor 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. El inspector debería comprobar dos de los siguientes puntos en relación con los sumideros de calor (focos fríos y sumidero final) y sus componentes, según sea aplicable:

1. Suficiente capacidad de almacenamiento.
2. Revisión por terceros de la presa para comprobar la integridad del sumidero final de calor.
3. Sin atascamientos causados por macro-incrustaciones (lodos, mejillones muertos, acumulación de suciedad, etc.)
4. El Titular cuenta con controles adecuados contra incrustaciones biológicas.
5. Funcionalidad durante condiciones meteorológicas severas, p.ej. formación de hielo o altas temperaturas.
6. Pruebas funcionales de bombas y válvulas en el sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad.

- **Requisitos de vigilancia**

Verificar que los sistemas de agua de refrigeración relacionados con 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 y caminos de flujo asociados, medición de caudales a consumidores y equilibrado de sistemas.

### 6.3. IDENTIFICACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Verificar si el Titular ha incorporado a su programa de acciones correctoras los problemas significativos sobre el rendimiento de intercambiadores de calor/sumideros de calor. Seleccionar y revisar 2-3 problemas de dicho programa de acciones correctoras que estén relacionados con la degradación del rendimiento de cambiadores de calor/sumideros, incluyendo deficiencias relativas a la acumulación de lodos, 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 (ver referencias).

### 6.4. GUÍAS PARA LAS INSPECCIONES

#### 6.4.1. Guías generales

Consultar la tabla incluida a continuación 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 el objetivo de las inspecciones para determinar su impacto en los pilares de seguridad.

<b>Pilares de Seguridad</b>	<b>Objetivos de inspección</b>	<b>Prioridad según el riesgo</b>	<b>Ejemplos</b>
SUCESOS INICIADORES	Revisar sucesos, problemas o condiciones que impliquen la degradación o pérdida de los sumideros de calor, el normal y el sumidero final de calor.	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	Revisar cualquier degradación potencial del comportamiento de los cambiadores de calor.	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.

### 6.4.2. Guías específicas para la inspección bienal

Se recogen a continuación indicaciones orientativas para el desarrollo de la inspección general cada dos años, siguiendo la misma organización de párrafos que figura en el apartado 6.2.2. No se proporcionan guías específicas para la inspección anual.

- **Selección de los cambiadores a inspeccionar**

No hay límite al tipo y tamaño de los intercambiadores de calor que se pueden seleccionar, siempre y cuando estén refrigerados por el sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad o por un sistema de agua de seguridad refrigerado por el sumidero final de calor, y que tengan un rango alto en la evaluación de riesgos específica de la planta. La fuente de agua de seguridad es aquella a la que se da crédito en los análisis de accidentes del Estudio de Seguridad del Titular.

- **Revisión de cambiadores conectados directamente con el sistema de agua de servicios de seguridad**

Para este requisito, si es posible, hay que centrarse en la fuente de agua de seguridad tal y como se ha definido en el apartado anterior. De los intercambiadores seleccionados y para este requisito de inspección, sólo se deberían revisar aquellos refrigerados directamente por el sistema de agua de servicios relacionado con la seguridad (según ref. GL 89-13).

1. No se proporcionan guías específicas.

- (a), (b), (c) y (g) No se proporcionan guías específicas.

- (d). Los resultados de las pruebas han de ser extrapolados a las condiciones de diseño de los intercambiadores de calor.

- (e) Las tendencias en las pruebas de rendimiento de los intercambiadores de calor no deberían tener cambios bruscos sin que el Titular haya proporcionado una justificación válida para tal desviación.

- (f) 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.

2. No se proporcionan guías específicas.

3. No se proporcionan guías específicas.

- **Revisión general de los cambiadores**

Este requisito de inspección debería centrarse en aquellos requisitos de diseño y operación que no sean los que se revisan con pruebas de rendimiento o inspección/limpieza.

1. El inspector puede consultar tanto hipótesis de diseño en los cálculos como parámetros en hojas de datos de diseño, y que se puedan revisar sin efectuar pruebas.

2. No se proporcionan guías específicas.
3. No se proporcionan guías específicas.
4. El requisito de inspección sólo es aplicable a los cambiadores de calor refrigerados con agua de servicios relacionada con la seguridad o la fuente de agua de seguridad, según se ha definido antes, y que además se ubiquen en sistemas de circuito cerrado.
5. No se proporcionan guías específicas.

- **Funcionamiento del sumidero final de calor**

Para este requisito hay que centrarse en la fuente de agua de seguridad, según ya se ha definido antes. El inspector debería comprobar si el sumidero final de calor y sus componentes pueden realizar sus funciones de seguridad previstas. Deberían revisarse cada dos años sólo dos de los puntos detallados y que apliquen a la central en cuestión.

1. No se proporcionan guías específicas.
2. Algunas centrales pueden no contar con presas para alojar el sumidero final de calor, en cuyo caso este requisito no sería aplicable.
3. Este requisito puede satisfacerse mediante resultados de pruebas, observación directa u otros métodos equivalentes para comprobar que el sumidero final de calor y sus componentes pueden suministrar el máximo caudal requerido al sistema.
4. La mejor manera de verificar si los controles de incrustación biológica del Titular son adecuados es comprobar el cumplimiento de los criterios de aceptación adoptados por él mismo.
5. Este requisito de inspección debería determinar si el Titular tiene procedimientos para afrontar condiciones meteorológicas severas. Debe coordinarse la actuación en este punto con la aplicación del procedimiento de inspección PT.IV.201 (ver referencias).
6. No se proporcionan guías específicas.

- **Requisitos de vigilancia**

Para el desarrollo de esta parte de la inspección pueden utilizarse las guías contenidas en el procedimiento de inspección PT.IV.219 (ver referencias).

#### 6.4.3. Guías para la identificación y resolución de problemas

El inspector debe centrarse en sucesos o condiciones que puedan ocasionar la pérdida de cambiadores de calor/sumideros por causas tales como: problemas en la transmisión de calor, limpieza inadecuada, acumulación de hielo, intrusión de vegetación o bloqueo de tuberías y componentes. El inspector debe determinar si el Titular ha tenido en cuenta adecuadamente los fallos de causa común. Deben tener prioridad en la revisión las pérdidas de intercambiadores de calor/sumideros que ya hayan ocurrido. Se deben revisar las

acciones correctoras para determinar si han sido suficientes para prevenir una repetición del problema. Para más orientaciones consultar el procedimiento PA.IV.201 (ver referencias).

## 7. REFERENCIAS

- PG IV 03, “Inspección y control de Instalaciones Nucleares”.
- PA.IV.01, “Programa Base de Inspección a las Instalaciones Nucleares”.
- PA.IV.201, “Programa de identificación y resolución de problemas”.
- PT.IV.201, “Protección frente a condiciones meteorológicas severas e inundaciones”.
- PT.IV.219, “Requisitos de vigilancia”.
- 10 CFR 50 Apéndice A, “*General Design Criteria for Nuclear Power Plants*” (USA).
- US-NRC Inspection Procedure 71111.07, “*Heat Sink Performance*”, Enero/2002.
- US-NRC Generic Letter 89.13, “*Service Water System Problems Affecting Safety-Related Equipment*”.
- US-NRC Regulatory 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*”.
- 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*”.
- Hydraulic Institute Standards.

## 8. ANEXOS

N/A