



José HERVAS GARCIA es Ingeniero Naval, ingresó en TECNATOM en junio de 1976, actuando, desde esta fecha, como responsable de la Sección de Generadores de Vapor y Cambiadores de Calor, cuyo objetivo principal es la puesta a punto de las técnicas, métodos y programas de trabajo relativos a las inspecciones en servicio de los tubos de los generadores de vapor, condensadores y cambiadores de calor.

CENTRALES PWR

OPTIMIZACION DE LA INSPECCION EN SERVICIO DE LOS TUBOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR

J. HERVAS GARCIA

INTRODUCCION

Una central PWR de 930 MWe (semejante a las instaladas en Almaraz o Ascó) dispone de tres generadores de vapor, cada uno de ellos con 4.674 tubos en U. Están hechos de Inconel 600 y con un espesor nominal de pared de 1,09 mm.

Una fuga en alguno de los tubos de los generadores de vapor supone el paso del fluido refrigerante del reactor al sistema de vapor principal, con la consiguiente transferencia de radiactividad del circuito primario al secundario. Dicho fenómeno supone, para el explotador de la central, el tener que tomar una serie de medidas (definidas en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la Central) con objeto de, primero, aislar el generador de vapor donde se produce la fuga y, finalmente, parar el reactor y proceder a la localización y taponado (dejándolo fuera de servicio) del tubo que presenta la fuga.

OBJETIVOS DE LA INSPECCION EN SERVICIO (ISI)

Las ISI de los tubos de los generadores de vapor persiguen, fundamentalmente, los siguientes objetivos:

- Mantener una vigilancia periódica del estado del haz tubular.

- Definir la naturaleza y causa de la degradación de los tubos.
- Dimensionar los efectos de los tubos, principalmente en cuanto a la pérdida de espesor de pared que suponen.

Todo lo anterior debe permitir:

- Tomar a su debido tiempo las medidas correctoras necesarias para intentar detener la degradación de los tubos.
- Eliminar del servicio, o reparar, aquellos tubos que, por tener defectos superiores a la máxima pérdida de espesor permitida, pueden ser susceptibles de perforarse durante el siguiente ciclo de operación de las centrales.

PARADAS NO PROGRAMADAS POR FUGAS EN LOS TUBOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR

Los haces tubulares de las centrales PWR constituyen uno de los puntos más vulnerables de las centrales de vapor a presión, PWR, desde el punto de vista de su operatividad.

Desde la entrada en operación a gran escala de los primeros reactores comerciales, a finales de la década de los sesenta, hasta la fecha, y considerando el total de las centrales PWR en

operación, es decir, tanto las de diseño de Westinghouse como Babcock & Wilcox o de Combustion Engineering, se han identificado hasta 215 paradas no programadas, por fugas en los tubos de los generadores de vapor.

La distribución de estas 215 paradas, según los suministradores principales de las centrales, es la siguiente:

Suministrador	N.º paradas	%
Westinghouse	157	73
Babcock & Wilcox	47	22
Combustion Engineering	11	5

Si se tiene en cuenta el número de centrales en operación de cada suministrador, se obtiene que, porcentualmente, las más afectadas son las de diseño Babcock & Wilcox.

Dado que la mayoría de nuestros centrales PWR españolas en funcionamiento son de diseño Westinghouse, a continuación nos centramos en las causas que produjeron las fugas en los tubos de los generadores en este tipo de centrales. Los fenómenos degradatorios que ocasionaron las paradas no programadas se exponen en la tabla I.

Un análisis más profundo de cada una de las paradas no programadas, ha permitido determinar algunas de las razones principales por las cuales en dichas centrales no se consiguió uno de los objetivos prioritarios de las ISI, cual es el evitar las paradas no programadas por fugas en los tubos de los generadores de vapor. Entre otras, cabe señalar las siguientes causas:

- Programas de inspección inadecuados.
- Elevadas velocidades de degradación.
- Limitaciones de las técnicas de inspección.
- Fallos humanos en la ejecución de las ISI.

PROGRAMAS DE INSPECCION INADECUADOS

Algunas centrales han basado sus estrategias de inspección en realizar los mínimos programas exigidos por las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF), o sea, en el 3 % del total de los tubos, habiéndose encontrado con fugas desde el mismo arranque de la central. También es cierta la situación contraria, es decir, centrales que habiendo realizado inspección en el 100 % de sus tubos, han tenido paradas no programadas durante el siguiente ciclo.

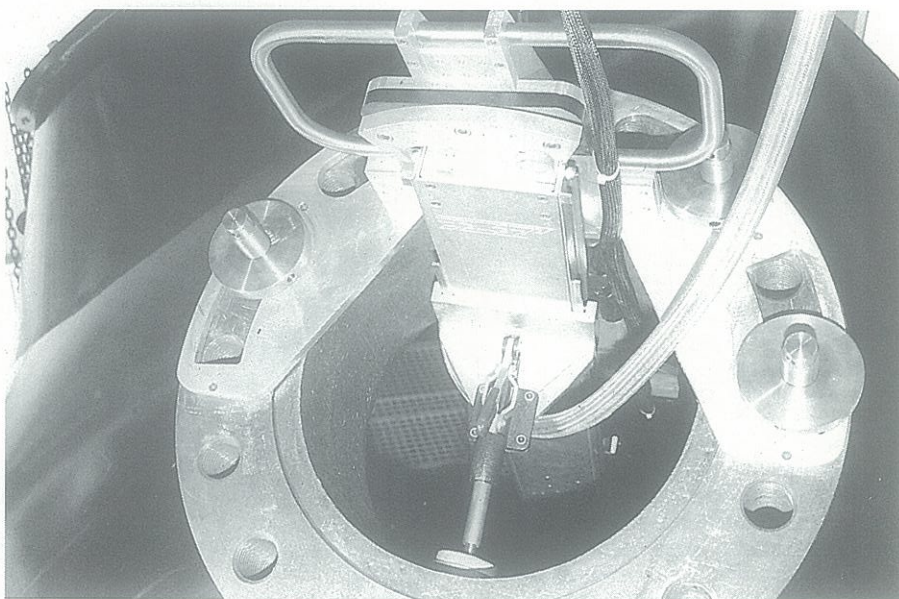
Por ello, los programas de inspección deben ser meticulosamente preparados para cada caso, en función de sus circunstancias particulares.

Los factores que deben considerarse para optimizar los programas de inspección se basarán en:

TI

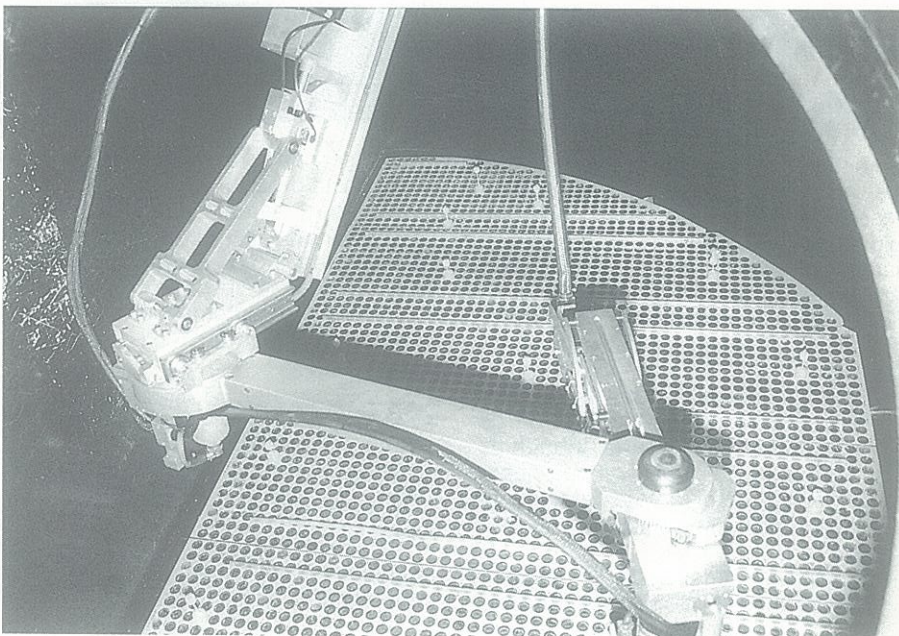
Fenómenos que ocasionan las paradas no programadas

Causa	N.º paradas	%
Denting/Corrosión bajo tensión (SCC)	51	32
Corrosión Intergranular (IGA)/SCC	43	27
Agrietamiento por corrosión bajo tensión (PWSCC)	28	17
Partes sueltas	18	11
Adelgazamiento (Thinning)	5	3
Picaduras (Pitting)	3	2
Desgaste por rozamiento (Wear)	1	1
Fatiga	1	1
Otros	7	5



Anclaje posicionador remoto SM-4 en boca de hombre del GV

Posicionador remoto SM-10 en caja de agua de GV



- Los resultados de las inspecciones anteriores.
- Los datos de operación de la central con repercusión en los tubos de los generadores de vapor.
- Las experiencias en otras centrales con situaciones semejantes en cuanto al tipo de generadores de vapor, materiales, química, etc.

ELEVADAS VELOCIDADES DE DEGRADACION

La experiencia ha puesto de manifiesto que algunas formas de degradación pueden desarrollarse en un período de tiempo inferior a los intervalos entre inspecciones. Ante estas situaciones, que suelen presentarse de forma imprevisible, es difícil poder evitar la parada no programada de la central. Sin embargo, estas situaciones pueden hacerse altamente improbables siempre que se operan los generadores de vapor adecuadamente y las experiencias de este tipo en otras centrales similares sean rápidamente asimiladas, y adoptadas las medidas correctoras pertinentes.

LIMITACIONES EN LAS TECNICAS DE INSPECCION

Las técnicas de inspección aplicables a las inspecciones en servicio de los tubos de los generadores de vapor, a pesar de los continuos avances tecnológicos realizados en los últimos años, siguen sin ser todo lo perfectas que se desearía, adoleciendo de algunas limitaciones frente a algunos de los fenómenos degradatorios existentes en los haces tubulares. Un adecuado conocimiento de las técnicas disponibles, y de sus posibilidades y limitaciones para cada una de las posibles degradaciones existentes en los haces tubulares, permitirá optimizar los programas de inspección y su ejecución.

FALLOS HUMANOS EN LA EJECUCION DE LAS ISI

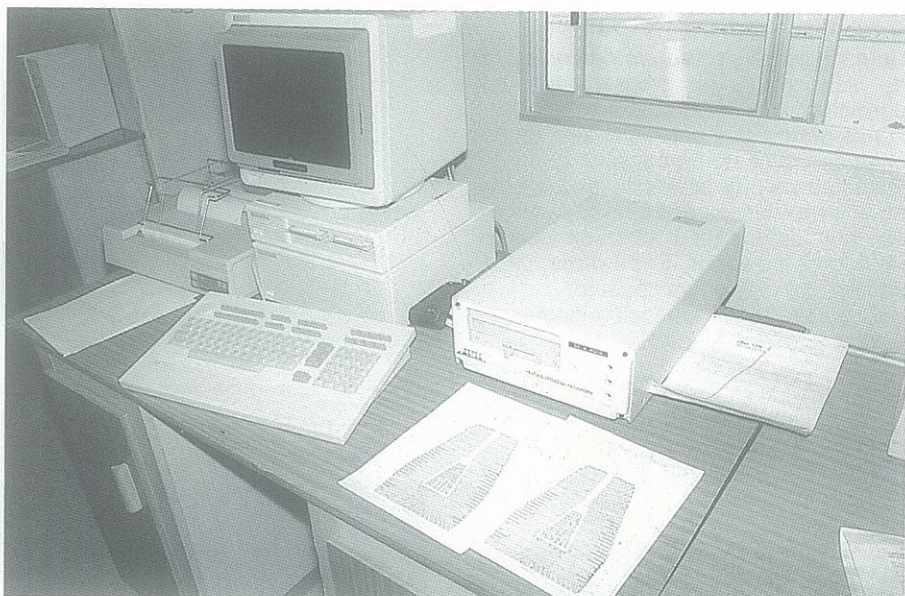
Se achacan a fallos humanos del orden de un 15 % de las paradas no programadas, la mayor parte de las veces debido a que los analistas no han detectado la presencia de las indicaciones en los registros de las inspecciones. Este tipo de fallos se ha visto incrementado por dos razones fundamentales:

- Reducción drástica de los tiempos de inspección (por la utilización de equipos de corrientes inducidas multifrecuencia digital y posicionadores de control remoto automatizados mucho más rápidos y operativos).
- Incremento notable de la cantidad de información disponible (registro de los tubos para analizar como



Sistema adquisición de datos corrientes inducidas multifrecuencia digital

Sistema evaluación de datos corrientes inducidas multifrecuencia digital



consecuencia del uso de la multifrecuencia digital).

Para reducir este tipo de fallo, se están implantando las dobles evaluaciones por dos equipos de analistas diferentes, o bien la realización de un análisis manual y otro automático como verificación del anterior.

OPTIMIZACION DE LAS ISI EN LOS TUBOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR DE LAS CENTRALES PWR ESPAÑOLAS

Algunos de los haces tubulares de los generadores de vapor en operación en nuestras centrales PWR presentan

también algunos de los tipos de degradación que han producido paradas no programadas en otras centrales, como pueden ser Denting, PWSCC, Thinning o Wear, principalmente. Sin embargo, hasta la fecha, las ISI realizadas en los tubos de nuestros generadores de vapor están cumpliendo sus objetivos principales, ya que:

- No se han producido paradas no programadas en nuestras centrales PWR a causa de fugas en los tubos de sus generadores de vapor.
- Se han detectado las degradaciones existentes en su estado incipiente, lo que ha permitido a los explotadores de las centrales tomar las medidas correctoras oportunas.

— Se han ido eliminando del servicio (taponándolos) todos aquellos tubos susceptibles de tener fugas durante el siguiente ciclo de operación de las centrales.

A continuación, se analiza cómo se han ido optimizando nuestras ISI, frente a cada una de las razones principales por las que se han producido paradas no programadas:

SELECCION DE LOS PROGRAMAS DE INSPECCION

En todas nuestras centrales PWR en operación, desde siempre, sus programas de inspección de los tubos de los generadores de vapor han sido mucho más amplios que los requeridos por sus ETF y, en general, podemos afirmar que más amplios que la media mundial. Sin llegar a hacerse programas del 100 % (como se realizan en las centrales japonesas), dichos programas son lo suficientemente amplios como para poder realizar un seguimiento al 100 % de aquellas áreas de los haces tubulares afectadas por algún tipo de degradación y de un muestreo lo suficientemente amplio del resto del haz tubular, lo que hace que sea prácticamente nula la probabilidad de no detectar alguna posible degradación incipiente.

Con ello, actualmente, nuestros programas de inspección, como término medio, vienen a ser del orden de un 60 % de la longitud de los haces tubulares.

ELEVADAS VELOCIDADES DE DEGRADACION

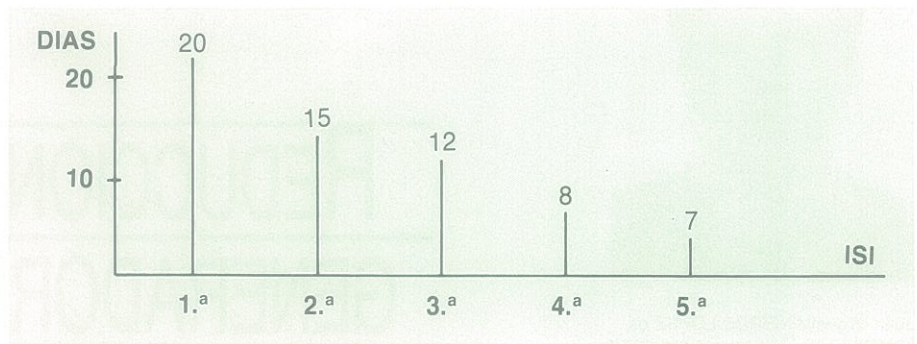
Para aquellos fenómenos cuya velocidad de degradación puede ser elevada, nuestros planteamientos han sido siempre eliminar del servicio aquellos tubos que presenten dicho tipo de degradación una vez ha sido detectada.

LIMITACIONES DE LAS TECNICAS DE INSPECCION

Mediante la reproducción en laboratorio de aquellos fenómenos que existen en los tubos de nuestros generadores o que pueden existir en el futuro, se conocen las bondades y limitaciones de las técnicas que se utilizan y se facilita la optimización continua de las mismas. Existen actualmente diversos programas de desarrollo encaminados a mejorar las limitaciones de las técnicas frente a fenómenos como el Pitting, SCC en tubos con Denting, SCC en zona de transición del expansionado y corrosión intergranular.

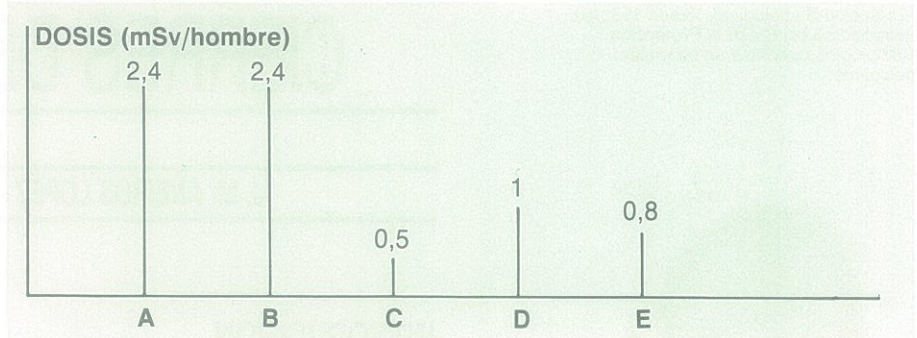
FALLOS HUMANOS EN LA EJECUCION DE LAS INSPECCIONES EN SERVICIO

Para tratar de reducir al máximo los riesgos, siempre existentes, de los fa-



F I Tiempo de ejecución de inspección con bobina circular

F II Dosis recibidas por el personal de inspección



llos humanos, nuestra política de actuación ha estado presidida por:

- Utilización de organizaciones suficientemente dimensionadas para que puedan hacer frente con garantías a cualquier situación imprevisible que se plantee durante la ejecución de las ISI.
- Utilización (sobre todo a nivel de analistas) de personal muy cualificado, experimentado y, sobre todo, conocedor de la problemática particular que presenta cada haz tubular.

Para las próximas inspecciones en servicio, Tecnatom, en línea con lo que se viene realizando en el mundo, sobre todo en Estados Unidos, incorporará un doble análisis de los registros, mediante la utilización de un sistema automático.

Otros factores que se deben considerar para conseguir la máxima optimización de las ISI son:

- La reducción de los tiempos de inspección.
- La reducción de las dosis recibidas.

REDUCCION DE LOS TIEMPOS DE INSPECCION

Las ISI de los tubos de los generadores de vapor se realizan aprovechando las paradas de las centrales para sus recargas y, normalmente, constituyen parte del camino crítico de las mismas. De aquí la importancia de reducir al máximo los tiempos de inspección, manteniendo los programas de inspección que se consideran óptimos.

La figura I muestra cómo se han reducido los tiempos de inspección en una de nuestras centrales (en las demás se han producido reducciones semejantes).

Las razones fundamentales de las reducciones de tiempo conseguidas son:

- La utilización de posicionadores de control remoto tipo SM-10.
- Una vez más, la utilización de organizaciones suficientes y muy especializadas.
- Perfecta coordinación entre los responsables de la central y la organización ejecutante.

REDUCCION DE LAS DOSIS RECIBIDAS

En la figura II se analiza, para las últimas inspecciones, la reducción de dosis recibidas por el personal que realiza la inspección en servicio, observándose la optimización conseguida.

Dos son, a nuestro entender, las razones fundamentales que actúan favorablemente en este aspecto. Dichas razones son:

- La utilización del posicionador SM-10, que no requiere la entrada del personal auxiliar a las cajas de agua para su colocación.
- Utilización de personal auxiliar experimentado. En la medida de lo posible, intervienen las mismas personas para todas las ISI en las diferentes centrales, con la consiguiente integración entre el medio (la central), el personal de Tecnatom y el personal auxiliar.