



José María ZAMARRON CASINELLO es Ingeniero Electromecánico del ICAI, Diplomado en Ingeniería Nuclear por el Instituto de Estudios Nucleares de la Junta de Energía Nuclear y Master en Business Administration por el Instituto de Empresa. En la actualidad es coordinador del Comité de Generadores de Vapor del Grupo de Propietarios Españoles de Centrales PWR y representante español en el "Steam Generators Reliability Project". Asimismo, preside el Comité de Dirección del Proyecto de Investigación sobre Generadores de Vapor y es Jefe de Ingeniería y Suministros de Central Nuclear de Almaraz.

ACCIONES DE LAS CENTRALES ESPAÑOLAS PARA MEJORAR LA FIABILIDAD DE LOS GENERADORES DE VAPOR

J. M. ZAMARRON CASINELLO

INTRODUCCION

Los generadores de vapor son el componente de las centrales de agua a presión que más contribuye a su indisponibilidad, con valores que oscilan entre un 2 % y un 5 %. También son una de las principales causas de pérdida de integridad del primario en el mundo. Téngase en cuenta que aproximadamente el 50 % de la superficie del primario pertenece a los tubos de los generadores de vapor.

Los problemas asociados a los generadores de vapor han ido evolucionando con el tiempo, habiendo ocurrido en ocasiones que la solución a un tipo de defecto ha sido el origen de otro nuevo. La figura 1 muestra en porcentajes la evolución de las causas de taponado con el tiempo. Como puede apreciarse, hasta mediados de los años setenta el fenómeno dominante de degradación era el *wastage*, que estaba asociado al control químico del agua de alimentación mediante fosfatos. Para evitar este problema, la mayoría de las centrales modificaron el control químico del agua de alimentación, que pasó a ser "todo volátil (AVT)", siendo los únicos aditivos al ciclo, para control del pH y del oxígeno, la hidracina y el amoníaco.

Este cambio resolvió el problema de *wastage* pero introdujo el problema del *denting*, que pasó a ser el dominante en la segunda parte de los setenta.

Para remediar el *denting* fue preciso hacer mucho más estrictas las especificaciones del agua de alimentación. Por último, a partir de 1980, empezó a emerger la problemática de la corrosión bajo tensión (SCC) que es el principal problema actual.

El presente artículo pretende describir cuál es la defectología actual de los generadores de vapor y los medios que están aplicando las centrales españolas para mejorar la fiabilidad de estos equipos.

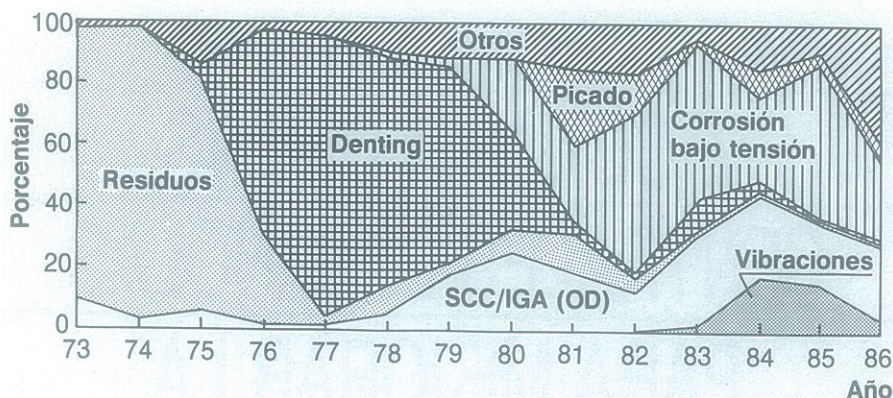
DEFECTOLOGIA ACTUAL

La figura 11 muestra alguno de los defectos presentes o que pueden presentarse en los generadores de vapor de las centrales nucleares españolas en operación comercial. Estos defectos no se presentarán o se presentarán en grado mínimo en las centrales de diseño más moderno.

Los defectos pueden dividirse en tres grupos: mecánicos, de corrosión y acumulación de lodos.

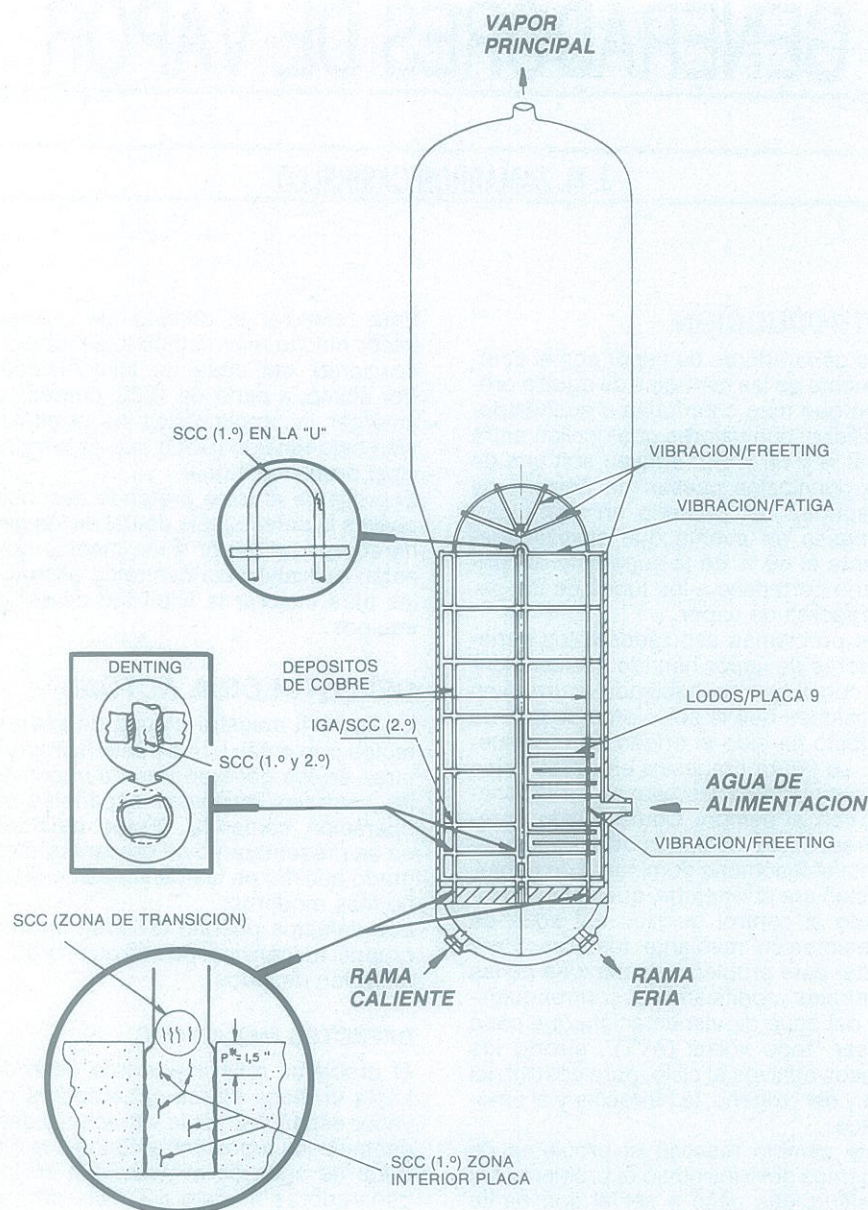
DEFECTOS MECANICOS

El problema más importante ocurrido hasta la fecha en los generadores de vapor españoles fue la vibración y desgaste de los tubos enfrentados a la entrada de agua de alimentación en los generadores modelo D3. Este problema forzó la operación del Grupo 1 de



F I Causas de taponado de tubos en G. V.

F II Defectos típicos y su situación



Almaraz al 50 % de potencia durante dos años. Posteriormente el diseñador de estos equipos introdujo una modificación que mejoró la velocidad del agua a su entrada a los generadores de vapor, con lo que el problema quedó resuelto.

Otro problema de vibración activa, aunque de menor entidad, ocurre en la parte superior del haz de tubos donde se producen unos pequeños desgastes por rozamiento entre los tubos y las barras antivibratorias.

Por lo que se refiere a la posibilidad de fatiga ocasionada por vibración, causa de la rotura de un tubo en la central de North Anna en 1987, se ha comprobado que la combinación de sucesos necesarios para que exista riesgo no se presenta en las centrales españolas en forma significativa.

DEFECTOS DE CORROSION

Denting:

Consiste en la corrosión de las placas soporte de acero al carbono; esta corrosión produce un aumento de volumen de la placa y puede producir el estrangulamiento de los tubos.

Las centrales españolas que han padecido este problema en forma menor lo están atajando mediante un control mucho más exigente de la calidad del agua de entrada a los generadores de vapor.

IGA (Ataque intergranular):

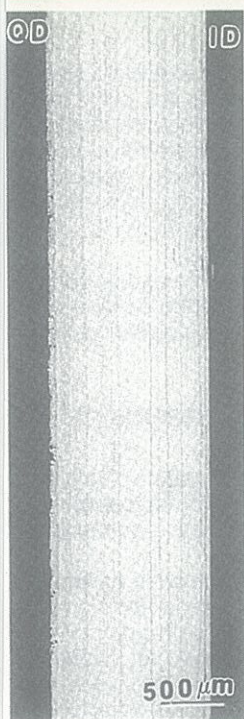
Por muy pura que sea el agua de entrada a los generadores de vapor las pequeñas impurezas que se introducen tienden a concentrarse en los huecos existentes entre los tubos y las placas soporte o placa tubular. Las impurezas así concentradas atacan al borde de grano del material de los tubos (Figura III).

Las centrales españolas que padecen este problema en forma menor lo están atajando mediante limpiezas periódicas de los huecos.

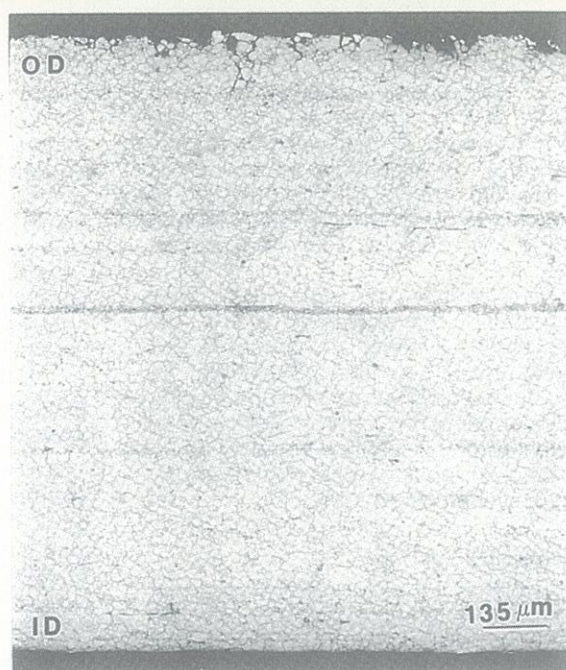
SCC (Corrosión bajo tensión):

Este problema, que es el más activo en todo el mundo en las centrales cuyos tubos son de Inconel 600 M.A. (caso de Zorita, Almaraz y Ascó), consiste en la aparición de grietas en zonas de los tubos sometidas a altas tensiones residuales de tracción. Las áreas en que puede aparecer son: zona del expansionado del tubo a la placa, zona de transición, zona curva de los tubos con menor radio de curvatura y zona de tubos deformados por el *denting*. En todos los casos los defectos aparecen en la zona interior del tubo excepto en los tubos con *denting*, donde la corrosión puede ser interior o exterior (Figura IV).

Al contrario que el resto de los fenómenos de corrosión, la corrosión bajo ten-



Etchant: Nital IM285
(a)



Etchant: Oxalic Acid (b) OM699



Etchant: H_3PO_4 (c) IM005

F III Microfotografías de una sección longitudinal de un tubo con defectos tipo IGA

sión no depende de la calidad del agua (puede aparecer en agua pura) sino tan sólo del tipo de material, temperatura y tensiones residuales.

Para afrontar este problema las centrales más afectadas optaron por realizar un microgranallado de las superficies internas de los tubos en la zona de expansión y transición en la rama caliente. Con este tratamiento se crea una superficie sometida a tensiones de compresión que bloquea la aparición

de nuevos defectos. Asimismo, en la zona curva de los tubos de las dos primeras filas, estas centrales han realizado un tratamiento térmico para relajar tensiones. En estos momentos se está considerando la posibilidad de efectuar un tratamiento similar a los tubos con *denting*.

ACUMULACION DE LODOS

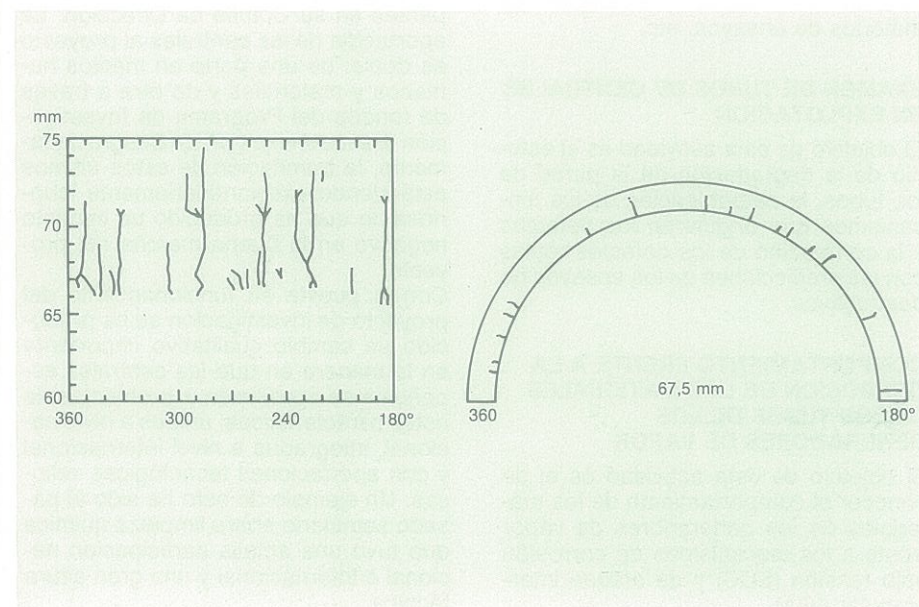
Los generadores de vapor son un concentrador de las impurezas que se pro-

ducen en el ciclo secundario. La mayor parte de dichas impurezas acaban depositadas sobre la placa tubular, de donde son eliminadas parcialmente durante la operación por la purga continua de los generadores de vapor. El resto de los lodos se eliminan durante las paradas con unas "lanzas de agua" que pueden introducirse en los generadores de vapor a la altura de la placa de tubos.

Sin embargo, los generadores de vapor modelo D-3 (Figura II) tienen una zona de precalentamiento donde se acumulan los lodos y que no es accesible con la lanza de agua. Para poder retirar estos lodos, ambas centrales han empleado durante las recargas un método de limpieza química desarrollado por KWU. Adicionalmente, Enwesa y Westinghouse están desarrollando un nuevo método de limpieza mediante pulsos de presión que pueda ser aplicado a la zona del precalentador.

Para reducir el ingreso de productos de corrosión en los generadores de vapor, las centrales están realizando cambios importantes en sus sistemas secundarios: eliminación de aleaciones de cobre en separadores de humedad-recalentadores y en calentadores de agua de alimentación, planta de ósmosis inversa para el agua de aportación al ciclo para evitar entrada de orgánicos, sistema de tratamiento del Condensado, sustitución de la tubería "Crossunder" por una de acero inoxidable o tratamiento por "flame spray" de dicha tubería, etc.

F IV Configuración típica de grietas tipo SCC en zona de transición



EL COMITE DE GENERADORES DE VAPOR

En 1983 las centrales de Almaraz, Ascó, Trillo, Vandellós II y Zorita decidieron la formación de un Comité de Generadores de Vapor para:

- Intercambiar experiencias.
- Participar conjuntamente en grupos internacionales.
- Participar conjuntamente en encuentros bilaterales con otros países.
- Promover estudios conjuntos.
- Efectuar gestiones conjuntas de servicios sobre generadores de vapor.

Posteriormente, tras la creación del Grupo de Propietarios Españoles de Centrales PWR en 1985, el Comité de Generadores de Vapor se integró como un comité de dicho grupo.

Como realizaciones concretas del Comité pueden destacarse:

- La participación conjunta en el grupo internacional "Steam Generators Owners Group".
- La realización de intercambios de información con Suecia, Bélgica y Francia.
- El perfeccionamiento de las técnicas de detección del fenómeno del denting.
- La gestión conjunta de los servicios de limpieza de lodos con lanza (*Sludge Lancing*).
- La preparación del Proyecto de Investigación sobre Generadores de Vapor.

EL PROYECTO DE INVESTIGACION SOBRE GENERADORES DE VAPOR

Como ya se ha señalado, el Comité de Generadores de Vapor ha promovido la realización de un proyecto de investigación y desarrollo para estudiar aquellos aspectos de mayor interés para las centrales españolas.

Este proyecto, que abarca el período 1985-1990 y cuenta con el decidido apoyo del Consejo de Seguridad Nuclear y el Ministerio de Industria y Energía, consta de las siguientes actividades:

GESTION DEL PROYECTO

En la Dirección del Proyecto están representadas todas las instituciones directamente relacionadas con la problemática de los generadores de vapor y que colaboran en la financiación del Proyecto. Estas instituciones son: las centrales de Almaraz, Ascó, Trillo, Vandellós II y Zorita, UNESA, ENSA, CIEMAT y TECNATOM, todas ellas están representadas en el Comité de Dirección del Proyecto.

Para el seguimiento de las actividades del Proyecto y para asegurar la transferencia de tecnología, se ha creado un

grupo de Proyecto de cuatro personas con dedicación exclusiva al mismo. Este grupo es responsable de la preparación de especificaciones, evolución de ofertas, seguimiento de las actividades, preparación de informes, organización de seminarios, intercambios tecnológicos con otros países, etc.

Existe también un acuerdo de intercambio de tecnología con el EPRI que se realiza a través del grupo de Proyecto y que permite a las centrales españolas participar en el grupo internacional gestionado por el EPRI "Steam Generators Reliability Project" en un plano de igualdad con el resto de los países industrializados.

BASE DE DATOS

El objetivo de esta actividad es el desarrollo de una base de datos que permita el almacenamiento y tratamiento de toda la información relativa a los generadores de vapor, y la realización de estudios estadísticos entre generadores de vapor de una o varias centrales para investigar la relación existente entre la fenomenología de la corrosión con el resto de los parámetros de los generadores de vapor. Estos estudios permitirán la generación de planes de exploración según diferentes criterios.

TECNICAS Y CRITERIOS DE EVOLUCION DE END

El objetivo de esta actividad es el aumento de la fiabilidad de las distintas técnicas y criterios de evolución de ensayos no destructivos empleados en los generadores de vapor. Para ello se realizarán: una mejora en los métodos de inspección disponibles actualmente y el desarrollo de otros nuevos; la generación de tubos estándares que reproduzcan los fenómenos degradatorios; la optimización y validación de métodos de ensayos, etc.

EXAMEN DE TUBOS DE CENTRALES EN EXPLOTACION

El objetivo de esta actividad es el estudio de la degradación de la pared de los tubos, la determinación de los mecanismos que originaron los defectos y la correlación de los defectos reales con las predicciones de los ensayos no destructivos.

COMPORTAMIENTO FRENTE A LA CORROSION DE LOS MATERIALES DE LOS TUBOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR

El objetivo de esta actividad es el de conocer el comportamiento de los materiales de los generadores de vapor frente a los mecanismos de corrosión bajo tensión (SCC) y de ataque intergranular (IGA).

En el primer caso se estudiará principalmente la incidencia del pH y de la concentración de hidrógeno en el circuito primario y la influencia y niveles de tensiones mecánicas producidas por crecimiento de magnetita en resquecillo tubo/placa soporte en la aparición de grietas de SCC.

Para el segundo caso se estudiarán las condiciones de operación de los generadores de vapor que puedan generar defectos de IGA.

EVALUACION DE CRITERIOS DE TAPONADO

Los criterios de taponado actuales no son adecuados para defectos del tipo SCC, lo que lleva a un taponamiento innecesario de tubos.

El objetivo de esta actividad es la aplicación del criterio "fuga antes de rotura" para el taponado de tubos con defectos de SCC, teniendo en cuenta la amplia base experimental y analítica existente en la actualidad en aquellos países que llevan aplicando durante muchos años con éxito dicho criterio de taponado. La actividad incluye las pruebas de fugas y de reventado y los análisis de mecánica de fractura necesarios para demostrar la aplicabilidad del criterio "fuga antes de rotura" a las centrales españolas.

EVALUACION Y DESARROLLO DE TECNICAS DE REPARACION Y MITIGACION

El proyecto incluye una evaluación de las técnicas de mayor interés para las centrales. En estos momentos se trabaja en la validación del método de limpieza química de KWU y en la evaluación de los diversos tapones para tubos existentes.

Según se ha señalado, el proyecto está financiado por las empresas participantes en su Comité de Dirección. La aportación de las centrales al proyecto es doble: de una parte en medios humanos y materiales y de otra a través de fondos del Programa de Investigación Electrotécnica (PIE). Desgraciadamente, la tramitación de estos últimos está siendo extraordinariamente laboriosa, lo que ha producido un impacto negativo en la buena marcha del proyecto.

Con la puesta en funcionamiento del proyecto de investigación se ha producido un cambio cualitativo importante en la manera en que las centrales españolas se aproximan a problemas de estas características: unidos a nivel nacional, integrados a nivel internacional y con aportaciones tecnológicas valiosas. Un ejemplo de esto ha sido el pasado seminario sobre limpieza química que tuvo una amplia participación nacional e internacional y una gran altura técnica.