

Descripción de un programa de generadores de vapor

F.J. Campaña

Los generadores de vapor (GGVV) son una parte fundamental de las plantas PWR, por ello, mantener la integridad estructural durante su vida es necesario para permitir la Operación a Largo Plazo (OLP) de plantas PWR. El documento NEI 97-06 proporciona los elementos fundamentales que los Programas de GGVV han de contener. Además, describe los criterios de prestaciones que los tubos de los GGVV han de cumplir para proporcionar la seguridad razonable de que los tubos continúan siendo capaces de mantener sus funciones específicas de seguridad. Por lo tanto, es obligatorio para las plantas con GGVV tener definido un programa de GGVV consistente con el NEI 97-06 y que contenga los elementos definidos en él. Este Programa debe contener algunos elementos tales como la Valoración de la Degradación, la inspección o la Evaluación de la Integridad, entre otros.

Steam Generators (SGs) are a key component of PWR nuclear power plants, maintaining their structural integrity throughout their life time is necessary to allow for long term operation (LTO) of PWR plants. NEI 97-06 provides the fundamental elements to be included in a SG Program. In addition it describes performance criteria that SG tubes have to meet in order to provide reasonable assurance that the tubes are still able to maintain specific safety functions. Hence, it is mandatory for plants with SGs to have defined a SG program consistent with NEI 97-06 and contains the elements which are described by it. This Program must contain some elements such as, Degradation Assessment, inspection and Integrity Assessment, among other.

INTRODUCCIÓN

En las centrales nucleares con tecnología PWR, existe un componente que las distingue, y que es de vital importancia: el Generador de Vapor (GV). Los Generadores de Vapor (GGVV) son unos intercambiadores de calor tubo-carcasa verticales que tienen múltiples funciones, de las cuales, destacan tres:

- Ser el foco frío del Sistema Primario.
- Constituir la barrera de separación entre el primario y el secundario.
- Producir vapor de características adecuadas para la turbina.

Por lo tanto, el mantenimiento de los GGVV es imprescindible para su Operación a Largo Plazo (OLP). Además, reemplazar estos componentes es uno de los trabajos más caros, tediosos y difíciles que puede tener que llevar a cabo una planta nuclear.

Consecuentemente, por la importancia destacada de sus funciones y las dificultades que entraña su cambio, se hace necesario un plan o programa que permita gestionar la integridad estructural de este compo-

nente, tanto de los tubos (sus elementos internos más importantes) como del resto de sus elementos internos. Este plan o programa, es conocido como Programa de GGVV.

La industria nuclear de EE UU, mediante la adopción del NEI-97-06 [1] (Nuclear Energy Institute), estableció un marco para aumentar la fiabilidad de los Generadores de Vapor (GGVV). Este marco incorpora un balance de prevención, inspección, evaluación, reparación y medidas para monitorizar y controlar las fugas. Además, en el documento NEI-97-06 describe los criterios de prestaciones que definen la integridad de los tubos de los GGVV. Por ello, cada planta PWR tiene que establecer su Programa de GGVV de forma consistente con el NEI-97-06.

Además en el citado NEI, se describen los elementos que han de componer el Programa de GGVV, estos elementos son una evidencia del compromiso de la industria nuclear para la operación fiable y segura de los GGVV. Durante más de 20 años la industria ha dedicado una cantidad considerable de recursos para desa-



FRANCISCO JAVIER CAMPAÑA MARTÍN es ingeniero industrial por la Universidad Carlos III de Madrid. Ha desarrollado su actividad profesional en Tecnomat, desde 2009, donde ocupa el cargo de Analista de Integridad.

rollar guías que estructuren el Programa de GGVV para cumplir con los desafíos que suponen los distintos mecanismos de degradación a los que pueden estar sometidos los tubos de GV y el resto de sus elementos internos.

Por si esto no fuera suficiente, la NRC a través de la *Generic Letter* 2006-01 [2], citaba lo siguiente:

- Transmitir a las plantas la preocupación de la NRC de que los actuales requisitos de las Especificaciones Técnicas (ETF), pueden no ser suficientes para asegurar que la integridad de los tubos de los GGVV, se pueda mantener en consonancia con las bases de diseño y de licencia establecidas y
- Requerir a las plantas que proporcionen una descripción de su programa para asegurar la integridad de los tubos de los generadores de vapor en el intervalo entre inspecciones, o adoptar unos requisitos alternativos en las ETF que aseguren la integridad de los tubos de los GGVV.

Por lo que la industria americana, NEI, estableció el marco anteriormente citado

y fue aceptado por la NRC en la forma reflejada en el documento TSTF-449, Revisión 4 [3] o, posteriormente, en el documento TSTF-510, Revisión 2 [4].

Por último, el CSN, en su Instrucción IS-23 [5] indica que en el Manual de Inspección en Servicio (MISI) deberá recoger el Programa de GGVV de aquellas centrales que les aplique.

CRITERIOS DE PRESTACIONES

Los tubos en los GGVV son parte fundamental de la barrera de presión del refrigerante. Por su interior circula el inventario que procede de la vasija del reactor y a través de su espesor han de transmitir el calor necesario para que el agua que los rodea se evapore y tenga las condiciones necesarias para ser expandido en la turbina. Además, han de asegurar que no se liberan productos de fisión al lado secundario.

Los criterios de prestaciones identifican los estándares con los que “medir” el funcionamiento. Estos criterios de prestaciones están basados en la integridad estructural de los tubos, en la fuga inducida en caso de accidente y en la fuga en operación, tal y como se define en las ETF de la planta. El hecho de que los tubos de los GGVV cumplan los criterios de prestaciones y, por ello, con su función de seguridad específica es un requisito indispensable para su OLP.

Los criterios de prestaciones descritos en el documento NEI 97-06, son los siguientes:

- Criterio de prestaciones de integridad estructural (*Structural Integrity Performance Criteria*, SIPC). El criterio de integridad estructural proporciona un margen de seguridad contra la rotura de los tubos bajo condiciones normales y de accidente, y garantiza la integridad estructural de los tubos de los GGVV bajo cualquier transitorio incluido en las especificaciones de diseño. Esto implica tener un factor de seguridad de 3,0 frente a la rotura de tubos con la presión diferencial de operación normal estable a plena potencia y un factor de seguridad de 1,4 frente a la rotura de tubos bajo la presión diferencial entre primario y secundario durante los accidentes base de diseño.
- Criterio de prestaciones de fugas inducidas en caso de accidente (*Accident-Induced Leakage Performance Criteria*, AILPC). El criterio de fugas inducidas por accidente garantiza que la fuga de primario a secundario causada por un accidente base de diseño, distinto de un accidente de rotura de tubo de GV, se mantiene dentro de los supuestos de los análisis de accidente.

- Criterio de prestaciones de fuga en operación. El límite de fuga operacional establece, de forma general, que la fuga del primario al secundario a través de un GV cualquiera debe ser inferior a 568 litros por día (150 galones por día).

CONTENIDO DEL PROGRAMA GGVV

El documento NEI 97-06 y las guías EPRI que en él se referencian son los documentos que definen el Programa de GGVV, que ha de estar documentado en las ETF. Con ello, es obligatorio que este programa contenga los siguientes elementos:

- *Degradation Assessment*
- Inspección
- Evaluación de integridad
- Taponado de tubo y reparaciones
- Monitorización de fugas de primario a secundario
- Mantenimiento de integridad del lado secundario
- Química del agua del secundario y primario
- Exclusión de partes sueltas
- Otros: supervisión del contratista, auto-evaluación e informes.

A continuación se describen las partes más destacadas del Programa de GGVV y que más contribuyen a su OLP.

Degradation Assessment

La Valoración de la Degradación (*Degradation Assessment*, DA) tiene como objetivos principales asegurar que se realizan las inspecciones apropiadas durante la siguiente parada, y que se proporciona la información requerida para evaluar la integridad. Su realización es previa a cada parada para recarga.

Es el documento clave usado para planear la inspección de los GGVV, donde se determinan, documentan y comunican los planes de inspección y las acciones relacionadas con ellos. El DA incluye varios componentes dentro del GV que forman la barrera de presión del refrigerante del reactor.

En la elaboración de este documento, han de tomarse las siguientes consideraciones

- Identificar todos los mecanismos de degradación existente y potencial, y el tipo de defectos que generan estos mecanismos de degradación y su posición. Para ello, es fundamental tener en cuenta la experiencia operativa tanto de la propia planta como ajenas; así como los resultados de anteriores inspecciones.
- Seleccionar las técnicas apropiadas para detección y *sizing* (dimensionamiento del defecto) y documen-

tar las incertidumbres en medidas de ensayo no destructivo (END) para cada mecanismo de degradación. En general, se emplean las corrientes inducidas (CCII) para realizar la inspección y el *sizing*, aunque no se excluyen otras técnicas.

- Documentar en qué áreas se realiza la inspección, el tamaño de la muestra de tubos a inspeccionar y los criterios de ampliación de muestra.
- Identificar el valor límite para la Valoración del Estado (*CM limit*) para cada uno de los mecanismos de degradación y condiciones de carga apropiadas, así como el parámetro de medida adecuado para cada uno de ellos en cada uno de los criterios de prestaciones. Para determinar esos valores límite, existen tres métodos: Método Aritmético, Método Estadístico Simplificado y Método de Monte Carlo. De forma general, se suele seleccionar el Método Estadístico Simplificado, ya que es conservador, sin serlo tanto como el Método Aritmético, y ofrece resultados muy similares al Método de Monte Carlo, sin ser tan complejo.
- Controlar la degradación del resto de componentes del lado primario y, en general, en el lado secundario.
- Identificar actividades que están planeadas en el secundario.

La guía de *EPRI Integrity Assessment* [6] proporciona las claves para conocer cómo llevar a cabo la elaboración del DA.

Inspección

La técnica que se emplea para la inspección de tubos es el ensayo no destructivo de corrientes inducidas y toda la inspección ha de realizarse de acuerdo a los dispuesto en el DA.

El objetivo principal que se persigue es conocer el estado de los tubos de los GGVV y proporcionar la información necesaria para poder realizar la Valoración de Estado (*Condition Monitoring*, CM) y la Evaluación para la Operación (*Operational Assessment*, OA).

Además, como se ha comentado anteriormente, el tamaño de la muestra inicial de tubos inspección y sus respectivas ampliaciones han de estar indicados en el DA. Las ampliaciones se realizan siempre y cuando aparezca algún mecanismo de degradación que no se esperaba o, si se esperaba, que sobrepase un número determinado de tubos afectados, dependiendo del número de tubos de GV y del tipo de degradación (tipo grieta o con pérdida de espesor volumétrica).

Finalmente, la técnica ha de estar cualificada mediante la determinación

de la precisión y la incertidumbre (error típico). Es de vital importancia que esta técnica ofrezca unos resultados correctos y fiables, ya que en ella se basan los estudios que aseguran la integridad estructural. Por ello, la técnica de inspección es una herramienta indispensable para la OLP de los GGVV (Figura 1).

Evaluación de Integridad: *Condition Monitoring* y *Operational Assessment*

La Evaluación de la Integridad de los tubos se realiza después de cada inspección. Esta evaluación incluye:

- Valoración de Estado: es una evaluación retrospectiva que confirma que se ha mantenido la adecuada integridad de los tubos de los GGVV durante el intervalo de inspección previo.
- Evaluación para la Operación: es una evaluación con visión de futuro que demuestra que se cumplirán los criterios de prestaciones de integridad de tubos durante el siguiente intervalo de inspección.

Para realizar la Valoración del Estado, CM, se pueden seguir dos métodos: bien dimensionar por técnica END los defectos y realizar un análisis con los resultados, o bien realizar la prueba de presión *in situ* (*In-Situ Pressure Testing*, ISPT).

Si se sigue el método de dimensionar por técnica END los defectos y realizar un análisis con los resultados, es necesario conocer las medidas de la degradación encontrada: si la medida de la degradación encontrada en aquellos tubos a los que se realiza el análisis es menor que el límite fijado en el DA, los resultados del análisis son aceptables, pues se han satisfecho los criterios de prestaciones. Este proceso para conocer si las medidas de la degradación son adecuadas, se conoce como *screening*.

Si los resultados del análisis del CM no son aceptables, hay que realizar un ISPT. Aunque existen ciertas posibilidades menos contundentes, ya que en caso de que un tubo no cumpla el AILPC, puede realizarse de forma alternativa un análisis de fugas y demostrar que no se supera el valor máximo de fuga permitido por la ETF.

El documento OA deberá demostrar por análisis que las capacidades de detección y/o dimensionamiento de la técnica END combinadas con el crecimiento de las indicaciones, muestran una expectativa de que se van a cumplir los criterios hasta la siguiente inspección programada.

Es aplicable tanto a taponado en detección como a taponado en base al

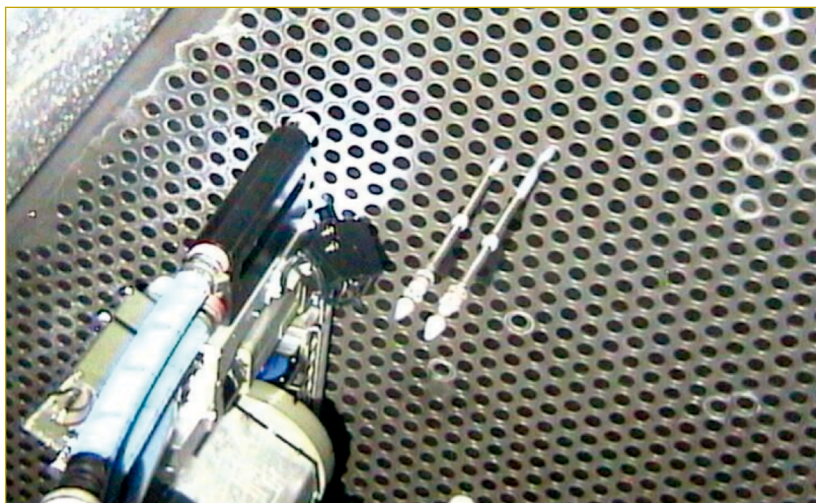


Figura 1. Robot Tesar en la realización de la inspección de tubos de GV.

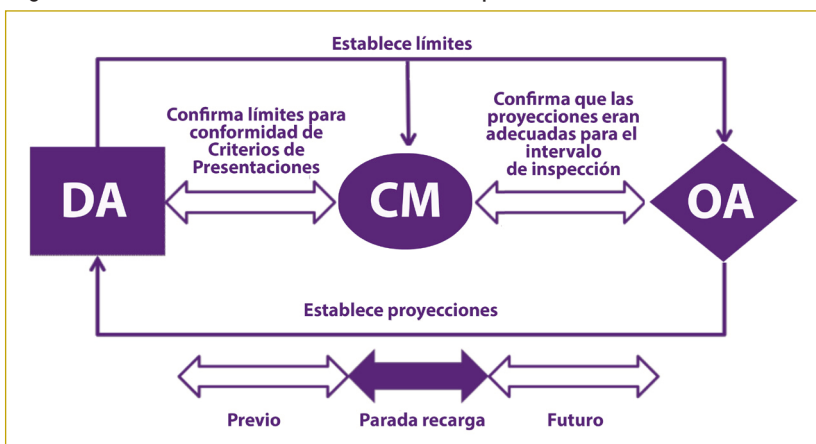


Figura 2. Proceso seguido por esta metodología.

tamaño de las indicaciones. Para aplicarlo, existen dos estrategias: “análisis probabilístico global”, que es una proyección de los resultados individuales de los tubos y “análisis simplificado”, que es una proyección del tubo más limitativo. En general, por simplicidad en los cálculos, se escoge esta última estrategia.

El análisis simplificado, es muy similar al proceso de cálculo del CM *limit*, de hecho, el método de cálculo por el que se realiza es el mismo, pero además, es necesario tener en cuenta la probabilidad de detección (*Probability of Detection*, PoD) de las técnicas END y la evolución de la degradación durante el ciclo.

Una vez se realiza este cálculo, es necesario comprobar que los resultados son consecuentes con los límites establecidos en el DA y que se confirman que las proyecciones eran adecuadas para el intervalo de inspección. Una descripción gráfica de esta metodología se ilustra en la Figura 2. Al igual que en el caso del DA, para la elaboración del OA, es necesario consultar la guía *Integrity Assessment* de EPRI.

Taponado de tubo y reparaciones

Cada planta tiene que tener unos criterios de taponado establecidos para cada tipo de degradación. Los métodos de reparación son aquellos que restablecen la integridad de la barrera de presión del refrigerante sin retirar del servicio al tubo al que se le aplica. Es importante destacar que el taponado no es una reparación ya que su objetivo es retirar el tubo del servicio, no restablecer la integridad de la barrera de presión en ese tubo.

Los criterios y los métodos de reparación alternativos deben ser evaluados y aprobados por la NRC antes de su implementación.

Monitorización de fugas

El seguimiento y monitorización de fugas es una medida de defensa en profundidad para ayudar al personal de planta en la supervisión de la integridad general de los tubos durante la operación. Además, la información sobre fugas en operación es una herramienta útil para la evaluación de

la efectividad del Programa de GGVV ya que las plantas estudian cualquier fuga observada en operación para determinar si es necesario ajustar el programa de inspecciones o si se garantiza la integridad.

Mantenimiento de integridad del secundario y exclusión de partes sueltas

En cuanto a la integridad del secundario, es necesario monitorizar todos aquellos componentes que son susceptibles de sufrir una degradación que provoque fallos los cuales puedan conducir a una pérdida de la función relacionada con la seguridad del GV. El seguimiento y la proyección de las condiciones del secundario de los GGVV tiene como objetivo ser parte de la estrategia para conseguir la OLP.

Una de las acciones a tomar en cuenta para el mantenimiento de la integridad del secundario es que esté limpio: sin depósitos de impurezas. En esta línea existen dos estrategias: "preventiva" o "reactiva". El enfoque "preventivo" implica la realización de *sludge lancing*, del cual, existen varios tipos y formas según temperatura, tiempo y objetivo. Por otro lado, el enfoque "reactivo" se basa en planes de limpiezas químicas agresivas programadas en varias recargas futuras en lugar de realizar limpiezas de *sludge lancing* rutinarias. La combinación de ambos enfoques suele permitir una sólida consistencia para evitar depósitos en el secundario.

Además, el Programa de GGVV ha de definir cuando tiene que realizarse la inspección visual, el alcance de ésta y los procedimientos y metodología que se ha de usar. Suele ser práctica habitual, realizar esta inspección visual entre los tubos, tras las limpiezas por *sludge lancing* o química.

Del mismo modo, se deben incluir procedimientos para impedir la introducción de partes sueltas en el lado primario y secundario de los GGVV cuando están abiertos para inspección, mantenimiento, reparaciones o modificaciones. Es muy importante la exclusión de partes sueltas, ya que suponen, a día de hoy, una de las principales causas de degradación en los tubos de los GGVV.

Química del agua del primario y del secundario

Cada planta, debe poseer unos procedimientos para la monitorización y el control de la química del agua del lado primario y del lado secundario para imposibilitar la degradación. Estos procedimientos, han de estar en concordancia con las guías EPRI adecuadas.

CONCLUSIONES

Como se puede deducir de todo este artículo, la integridad estructural de los elementos que componen la barrera de presión del refrigerante en los GGVV es fundamental y de vital importancia si se quiere la OLP.

En general, el Programa de GGVV asegura dicha integridad, y por lo

tanto una operación fiable y segura que puede extenderse más allá de 40 años.

A lo largo de este artículo se han detallado las partes más destacadas de este Programa, es decir, aquellas que más peso tienen de cara a la OLP: el DA, la inspección y la evaluación de integridad son partes indispensables si se pretende que la planta consiga la OLP.

REFERENCIAS

- [1] "Steam Generator Program Guidelines", NEI 97-06 Revision 3. Enero 2011.
- [2] US NRC Generic Letter 2006-01 "Steam Generator Tube Integrity and Associated Technical Specifications", January 20, 2006.
- [3] Documento TSTF-449, Revision 4.
- [4] Documento TSTF-510, Revision 2.
- [5] Instrucción de 4 de noviembre de 2009, del Consejo de Seguridad Nuclear, número IS-23, sobre inspección en servicio de centrales nucleares.
- [6] Steam Generator Management Program: Steam Generator Integrity Assessment Guidelines", Revision 3, EPRI 1019038, November 2009.

AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo de analistas de corrientes inducidas de Tecnatom.■



1-3 de Octubre de 2014
Palacio de Congresos
de Valencia

Te
esperamos