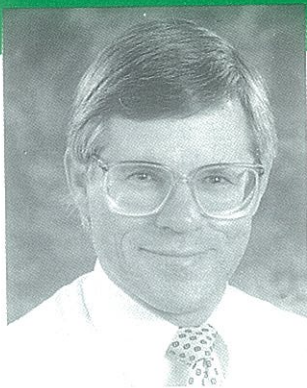




Robert M. WILSON es Jefe de Diseño y Desarrollo de Generadores de Vapor en la división de servicios nucleares de Westinghouse Electric Corporation-Pittsburgh, P.A.

Ha trabajado en las áreas de fabricación, diseño, análisis y mantenimiento de generadores durante 18 años. Tiene un BS degree en Ingeniería Aeroespacial por la Universidad de Auburn y un MS degree en Ingeniería Mecánica por la Universidad de South Florida.

GENERADOR DE VAPOR DE SUSTITUCION

R. WILSON - J. L. PRIETO



José Luis PRIETO es Ingeniero Técnico de Minas (1965) e Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid (1971).

En 1973 ingresa en Empresarios Agrupados, en el Departamento de Ingeniería de Equipo Mecánico para la CN de Almaraz.

En 1974 es contratado por Westinghouse Sistemas Energéticos España, donde trabajó en el Departamento de Ingeniería de Equipo Mecánico para las centrales nucleares de Almaraz, Lemóniz, Ascó, Sayago y Vandellós II.

En 1982 se incorpora al Engineering Task Force, formado para el SEP de puesta al día de la CN de Zorita, pasando a continuación un año en el emplazamiento de dicha central como Ingeniero Supervisor responsable del montaje mecánico y pruebas de equipos hasta la culminación del proyecto, en 1985. En 1986 es asignado como Ingeniero Mecánico al grupo de apoyo a la operación de CN de Almaraz, puesto que continúa desempeñando en la actualidad.

Westinghouse fue pionera, allá por los años 50, en el desarrollo de la industria nuclear para producción de energía eléctrica. Actualmente es uno de los suministradores principales más importantes de esta industria, como demuestra la experiencia acumulada a través de su participación en el diseño, construcción, licenciamiento y puesta en marcha de los 88 reactores de agua a presión, diseño Westinghouse, actualmente en operación en todo el mundo, seis de los cuales están instalados en España, además de los 84 reactores en operación construidos por licenciarios Westinghouse.

Durante esta dilatada experiencia, los diseños de los diferentes sistemas y componentes han ido incorporando paulatinamente aquellas mejoras que, a través de la participación de Westinghouse en servicios a las centrales en operación, se han considerado ventajosas para aumentar su fiabilidad, así

como la disponibilidad de las centrales. Los generadores de vapor son los componentes más delicados de las centrales de agua a presión, debido a las adversas condiciones ambientales y de operación a las que están sometidos, por lo que muchas compañías eléctricas del mundo se plantean en la actualidad la sustitución de estos componentes por otros de diseños actualizados que incorporen los avances tecnológicos derivados del estudio e investigación de numerosos datos reales procedentes de la experiencia de operación de las centrales.

Este artículo pretende describir de manera somera la participación y experiencia de Westinghouse en distintos programas de sustitución de generadores de vapor ya realizados, 25 generadores de vapor de sustitución instalados en ocho centrales, así como la introducción de técnicas especiales en el proceso de fabricación de estos componentes y mejoras en su diseño.

GENERADOR DE VAPOR MODELO F

La descripción detallada de las características de diseño del generador de vapor modelo F de Westinghouse no es el objeto del presente artículo, puesto que fue tratada en el número 65 de esta publicación, correspondiente al mes de mayo de 1988.

Las primeras unidades del modelo F iniciaron su operación en 1980, existiendo en la actualidad 84 generadores de vapor de este modelo operando en 25 centrales en todo el mundo, según se indica en la tabla I.

De los 25 generadores de vapor de sustitución actualmente en operación (véase tabla II), 17 incorporan tubos de material Inconel 600 tratado térmicamente, con un promedio de 8,6 años de

operación y con solamente 41 tubos taponados, ninguno de ellos debido a fenómenos de corrosión.

Los restantes ocho generadores de vapor de sustitución en operación tienen tubos de material Inconel 690 tratado térmicamente y han operado durante un período promedio de 2,1 años sin haber requerido el taponado de ninguno de sus tubos.

T I

Generadores de vapor modelo F

25 plantas	Número de generadores de vapor	Años operación de planta
Surry 2	3	10,8
Surry 1	3	10,0
Turkey Pt 3	3	9,2
Turkey Pt 4	3	8,2
Kory 2	2	8,2
Maanshan 1	3	7,3
Pt Beach 1	2	7,2
Callaway 1	4	6,7
Robinson 2	3	6,5
Kory 3	3	6,5
Maanshan 2	3	6,4
Wolf Creek	4	6,1
Kory 4	3	5,6
Millstone 3	4	5,5
Y. Gwang 1	3	5,5
Catawba 2	4	5,1
Y. Gwang 2	3	4,7
Byron 2	4	4,5
Vogtle 1	4	4,3
Vandellós 2	3	3,6
Braidwood 2	4	3,3
Cook 2	4	2,3
Vogtle 2	4	2,3
Indian Pt 3	4	2,0
Seabrook 1	4	2,0
TOTAL O PROMEDIO	84	5,7

Fecha de referencia: junio 91

TABLA II

Generador de vapor de sustitución modelo F Resumen de experiencia operativa

- | | |
|----|---|
| 17 | GENERADORES DE VAPOR
Tubos Inconel 600 tratado térmicamente
Promedio de operación: 8,6 años
Solamente 41 tubos taponados
Ningún tubo taponado por corrosión |
| 8 | GENERADORES DE VAPOR
Tubos Inconel 690 tratado térmicamente
Promedio de operación: 2,1 años
Ningún tubo taponado |

EXPERIENCIA DE LICENCIAMIENTO DE GENERADORES DE VAPOR DE SUSTITUCION

Como en otras actividades de la industria nuclear, Westinghouse ha sido pionera en el proceso de licenciamiento para la sustitución de generadores de vapor, llevando a cabo el primer estudio de viabilidad realizado en el mundo para sustitución de generadores de vapor, en el año 1975, y desde entonces ha participado en la preparación y defensa de los informes necesarios de la mayoría de los programas de sustitución llevados a cabo tanto en EE.UU. como en otros países del mundo.

A medida que estos programas han evolucionado y la información era presentada a la U. S. Nuclear Regulatory Commission (US NRC), las respuestas a las cuestiones planteadas por este organismo eran incorporadas a los ulteriores informes relativos a la sustitución, por lo que el nivel de clarificación requerido por el organismo regulador ha disminuido considerablemente, al estar la US NRC completamente familiarizada con el proceso de licenciamiento utilizado por Westinghouse. Así, para cada nuevo programa de sustitución que se emprendía, la revisión técnica se enfocaba e intensificaba en el sentido de facilitar una más pronta y eficaz revisión por parte de la NRC. Todos estos programas fueron iniciados, completados y licenciados de acuerdo con los requisitos aplicables del código 10CFR50,90.

A continuación se facilita una breve descripción de algunos de los programas de sustitución de generadores de vapor, en el curso de los cuales, Westinghouse ha desempeñado un papel principal en el proceso de licenciamiento:

SURRY UNIDADES 1 Y 2

El primer programa de sustitución de generadores de vapor en EE.UU. se realizó en la central de Surry, comenzando a principios de 1979 en la unidad 2 y a finales de 1980 en la unidad 1. Virginia Power, compañía propietaria de la central, solicitó la revisión y aprobación del programa a la NRC en agosto de

1977. Esta petición inicial incluía también un informe preliminar tratando la sustitución como una reparación. El correspondiente informe de evaluación de seguridad fue emitido por la NRC en diciembre de 1978, y enmiendas al licenciamiento en enero de 1979.

TURKEY POINT UNIDADES 3 Y 4

En EE.UU., el segundo proyecto de sustitución de generadores tuvo lugar en la central de Turkey Point, propiedad de Florida Power and Light Company (FP & L), comenzándose el programa de reparación en la unidad 3 a mediados de 1981 y completándose a principios de 1982. La reparación en la unidad 4 se comenzó a finales de 1982 y fue completada a mediados de 1983. FP & L sometió en primer lugar a la NRC el informe relativo a la reparación en septiembre de 1977. El informe de evaluación de seguridad sobre la reparación fue emitido por la NRC en mayo de 1979, y posteriormente actualizado en diciembre de 1980. La estimación relativa al impacto ambiental de la reparación fue emitida en junio de 1979, seguida a continuación de los informes medioambientales preliminar, en diciembre de 1980, y final, en marzo de 1981. Las enmiendas relativas al licenciamiento fueron emitidas en junio de 1981.

POINT BEACH, UNIDAD 1

El programa de reparación para la sustitución de los generadores de la central Point Beach Unidad 1, propiedad de Wisconsin Electric Power Company (WEPCO), comenzó el 1 de octubre de 1983 y fue terminado en febrero de 1984. WEPCO inicialmente informó a la NRC de su intención de proceder al cambio de sus generadores en mayo de 1982, emitiendo seguidamente el correspondiente informe de reparación en agosto de 1982. El informe de evaluación de seguridad sobre la reparación fue emitido por el organismo regulador en julio de 1983. El borrador y la versión final de los informes medioambientales fueron emitidos en julio y septiembre de 1983, respectivamente, y, por último enmiendas al licenciamiento en septiembre de 1983.

H. B. ROBINSON UNIDAD 2

El programa de sustitución referente a los generadores de vapor de la unidad 2 de la central de H. B. Robinson comenzó en febrero de 1984. Carolina Power & Light Company (CP & L) informó inicial-

mente a la NRC de su intención de llevar a cabo la sustitución de los generadores de vapor en julio de 1982. Los informes preliminar y final de la reparación fueron sometidos a la NRC en septiembre de 1982 y en enero de 1983, respectivamente. El borrador del informe medioambiental fue emitido por la NRC en septiembre de 1983. El informe de evaluación de seguridad junto con el informe final medioambiental relativos a la reparación fueron emitidos en diciembre de 1983, y, por último, la enmienda relativa al licenciamiento en febrero de 1984.

INDIAN POINT UNIDAD 3

Este trabajo fue el primer programa de sustitución de generadores de acuerdo con el 10CFR50,90 que fue llevado a cabo sin haberse requerido la previa aprobación de la NRC. En este caso, el programa de sustitución fue concebido por la compañía propietaria como una reparación que no afectaba a la licencia de operación ni implicaba una cuestión de seguridad no evaluada (unreviewed safety question).

INNOVACIONES EN PROCESOS DE FABRICACION

Westinghouse lidera la industria en lo relativo al desarrollo de tecnologías innovadoras de fabricación, tales como, por ejemplo, el marcado de los taladros de la placa tubular mediante escritura láser, la videoradioscopia y el control estadístico dimensional del proceso de mecanizado.

MARCADO DE TALADROS PLACA TUBULAR MEDIANTE LASER

Es una técnica que utiliza el láser para el marcado de la identificación de la fila y columna de localización de los tubos en la placa tubular, lo que facilita la posterior identificación de tubos durante futuras operaciones de inspección y mantenimiento del haz tubular. Esta identificación o etiquetado de las posiciones de los tubos sobre la placa tubular se realiza al comienzo de la fabricación y antes de empezar el taladro de los agujeros pasantes a través del espesor de la placa. Las etiquetas de marcado por láser están diseñadas de tal manera que sus caracteres pueden ser leídos con facilidad por lectores de tipo óptico.

Este marcado permite que los datos clave de fabricación sean posteriormente capturados automáticamente por el lector

óptico e introducidos en base de datos de ordenador para su utilización a lo largo de todo el proceso de fabricación de la placa tubular. Este mismo sistema puede luego utilizarse para recoger datos de inspección y mantenimiento en campo.

RADIOSCOPIA EN TIEMPO REAL

Esta técnica de videoradioscopia en tiempo real está siendo incorporada por primera vez por Westinghouse para su aplicación en la fabricación de recipientes a presión para la industria nuclear. En lugar de utilizar placa radiográfica para la inspección de soldaduras en barreras de presión, las cuales deben ser reveladas para poder ser examinadas, una cámara de rayos X suministra una imagen en cinta de vídeo, la cual puede ser guiada por el inspector durante la inspección en tiempo real. Las imágenes de vídeo son digitalizadas y mantenidas en disco láser, pudiendo ser tratadas e intensificadas posteriormente por medio de ordenador, asimismo como las interpretaciones del inspector pueden ser almacenadas sobre el disco láser junto con las imágenes.

CONTROL DIMENSIONAL ESTADISTICO DE PROCESO

Quizá la técnica de fabricación más innovadora que está siendo utilizada por Westinghouse sea ésta, que tiene por objeto mejorar la calidad de los procesos de fabricación mediante la retroalimentación inmediata de los datos de funcionamiento al operador responsable de los procesos críticos de fabricación. Mediante la utilización de un procedimiento llamado de control dimensional estadístico es posible para los operadores poder trazar las dimensiones del trabajo de mecanizado que están realizando de manera que ellos puedan producir resultados en los límites de tolerancia dimensional del equipo. Por ejemplo, posibilitando al operador responsable del taladrado de los agujeros de la placa tubular el medir y estadísticamente interpretar las variaciones en el diámetro real de los agujeros que va realizando, le es posible optimizar la precisión del proceso mediante la introducción de los ajustes que estime necesarios mucho antes de que la dimensión real se aproxime a los límites de tolerancia dimensional especificada en los planos de diseño.

Este proceso también tiene la ventaja de facilitar al operador de la máquina herramienta unas bases objetivas que le permite juzgar por sí mismo la buena calidad y el rendimiento de su trabajo, induciendo en él un sentido de autoestima

y confianza, que es un factor esencial para la fabricación de productos de alta calidad.

MEJORAS DE DISEÑO

Westinghouse ha introducido diversas mejoras en el diseño del generador modelo F a lo largo de la última década. Un ejemplo de éstas son: el uso de material Inconel 690 térmicamente tratado para los tubos y el ensamblaje de mínima holgura de la región doblada en U del haz tubular.

MATERIAL DE TUBOS EN INCONEL 690 TT

Esta aleación constituye el material de calidad óptima aplicable a los tubos del generador de vapor. Esto ha sido demostrado por diversos estudios. La mejor panorámica de los resultados de estos estudios puede hallarse en el documento del EPRI S408-6 "Background Report-Alloy 690 for Steam Generator Tubing Applications", de febrero de 1990, cuyas conclusiones se indican en la tabla III. El documento de EPRI, específicamente,

recoge datos de corrosión obtenidos en ensayos realizados en generadores de vapor con presencia de diferentes materiales sometidos a condiciones ambientales relevantes.

El Inconel 690 térmicamente tratado fue identificado como el material óptimo a aplicar para la fabricación de los tubos del generador de vapor.

El Incoloy 800 exhibió cierta susceptibilidad al cloruro ácido y ambientes cáusticos.

Los resultados de una serie de ensayos llevados a cabo recientemente por el CIEMAT para las compañías españolas, que fueron presentados en el seminario del EPRI relativo a IGA/SCC, en mayo de 1991, muestran que el 100% de las muestras de Incoloy 800 sufrieron agrietamiento, mientras que sólo el 30% de las muestras de Inconel 690 experimentaron dicho fenómeno tras haber sido sometidos ambos a los mismos ensayos ambientales acelerados.

Westinghouse ha sido pionera en el desarrollo del material Inconel 690 y en la optimización de su tratamiento térmico, y ha liderado el programa de ensayos y pruebas a nivel mundial, tendente a cualificar este material para su utilización en los generadores de vapor. Estos resultados han propiciado el que las compañías eléctricas más importantes

del mundo especifiquen la utilización de este tipo de material en la fabricación de sus futuros generadores de sustitución.

ENSAMBLAJE DE MINIMA HOLGURA DE LA REGION EN U DEL HAZ TUBULAR

Los tubos en la región doblada en forma de U del haz tubular se hallan soportados mediante tres juegos de barras antivibratorias que van orientadas de forma casi perpendicular a los ejes de los tubos, pues el soportado en sentido paralelo a los ejes a una distancia superior a 30 mm debe ser evitado, debido a su potencial para inducir concentración química y formación de capa de vapor permanente (local dryout) alrededor del tubo.

El sistema de soportado de la región en U en el modelo F está diseñado para permitir un determinado margen contra el potencial de vibración del tubo inducida por el fluido. Las holguras entre los tubos y sus más próximas barras antivibratorias medidas tras realizar el montaje han resultado ser inferiores a 0,1 mm. Esta alta precisión de construcción se consigue principalmente controlando exhaustivamente todos los diámetros de los tubos y los espesores de las barras antivibratorias tras el doblado, asegurándose que son aceptables previamente a proceder a su montaje.

Tras su instalación dentro del generador, se utiliza una herramienta de medición flexible, equipada con galgas extensométricas, al objeto de medir las holguras (como-construido) que quedan entre los tubos y las barras dentro de toda la región doblada en U del haz. Westinghouse ha fabricado ya 16 generadores desde el año 1986 aplicando este procedimiento.

CONCLUSION

El generador de vapor modelo F de Westinghouse ofrece márgenes de rendimiento y funcionamiento significativos como consecuencia de su buen diseño y de los métodos innovadores empleados en su fabricación. El material Inconel 690 TT ha sido ya instalado en 20 generadores modelo F, ocho de los cuales tienen más de dos años de experiencia operacional, lo que hace que Westinghouse pueda ser considerado como uno de los principales suministradores de generadores de vapor de sustitución, además de ofrecer una gama completa de servicios, que abarcan: fabricación, instalación, mantenimiento, inspección, aumento de potencia de la planta y licenciamiento.

T III

Inconel 690 TT: el material idóneo

	INCONELES				INCO- LOY
	600 R	600 TT	690 R	690 TT	800 R
Agrietamiento por corrosión bajo tensión:					
Cloruro ácido	1	1	1	1	(3-4)
Cáustico inferior al 6%	4,5	2	(1)	1	2
Cáustico 10-50%	4	2	3	2	4
Refrigerante primario puro y fluido del secundario:					
Agua con H ₂	4	2-3	1	1	(1)
Sulfatos alcalinos	1	1	(1)	(1)	(1)
Sulfatos ácidos	3	1	1	(1)	D
Sulfatos más cloruro	3	3	1	(1)	1
Azufre	(2-3)	1	1	1	D
Plomo	4	D	(1)	(1)	1
Corrosión intergranular	(3-4)	(2-3)	(1-2)	(1-2)	(4-5)
Picadura (Pitting) en cloruros	(3)	(3)	2	2	(3)
Adelgazamiento (Wastage):					
Fosfatos	(3)	D	(3)	D	(3)
Sulfatos	(3)	(3)	(1)	D	(1)

Valoración. —1: El mejor. 5: El peor. (): Estimado. D: Desconocido. R: Recocido. TT: Tratado térmicamente.

Documento de referencia: EPRI Research Project S408-6, "Background Report-Alloy 690 for Steam Generator Tubing Applications", febrero 1990.