

GENERADORES DE VAPOR. TRATAMIENTO E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION DEFINITIVA

C. N. ALMARAZ

Juan Julián GOROSARRI

El problema surgido de los generadores de vapor, como consecuencia de las vibraciones en los tubos en la zona de precalentador, ha sido, sin duda, el mayor problema que ha tenido ALMARAZ I desde su puesta en funcionamiento, desde el punto de vista de la disponibilidad de la central. Desde noviembre de 1981 hasta junio de 1983 ha transcurrido un largo período en el que la central operó únicamente del orden de 7.800 horas y sólo al 50 % de su capacidad nominal.

El problema ha consumido, hasta llegar a conocer sus causas y su solución, miles de horas de trabajo de personal especializado y se han escrito cientos de folios de papel.

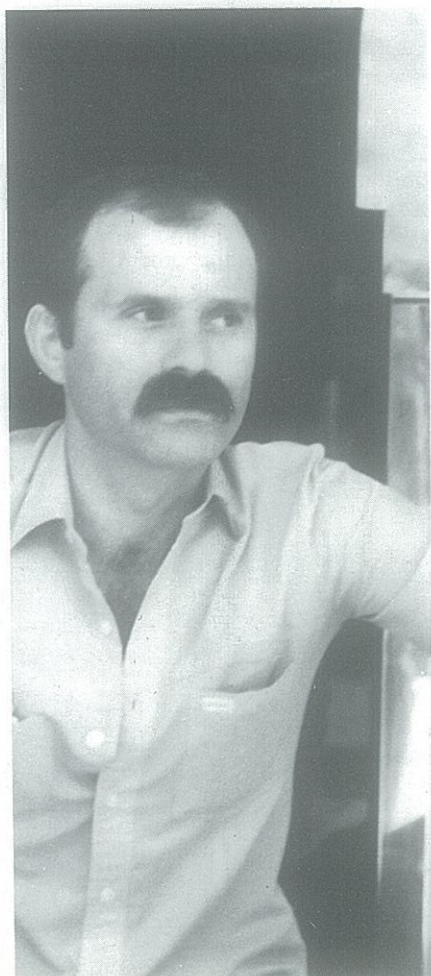
En este escrito se trata de resumir la historia en concreto de Almaraz I en este período y, con carácter general, el tratamiento del problema hasta llegar a la implementación de la solución definitiva.

Juan Julián GOROSARRI GARCIA es Ingeniero Industrial (Especialidad Electricidad) por la ETSII de Bilbao. Diplomado en Ingeniería Nuclear, por el Instituto de Estudios Nucleares en 1972.

Ingresó en 1973 en la Central Nuclear de Almaraz, donde ha sido, hasta 1982, Jefe de la Sección de Ingeniería del Reactor y Resultados de Explotación. Participó en el período de Pruebas Prenucleares de Almaraz I, como responsable de las pruebas de ventilación y corresponsable de las de Hermeticidad e Integridad del Recinto de Contención, entre otras. Posteriormente fue Coordinador General de Programas de Pruebas Nucleares de Almaraz I, siendo además responsable de las específicas del núcleo y las relativas a rendimientos de la Unidad. Es Coordinador de la Inspección Preoperacional y en Servicio de la Central.

Desde la aparición del problema de vibraciones en los generadores de vapor, ha sido el encargado de seguir el problema hasta la implementación de la solución y durante su programa de vigilancia.

Finalmente ha participado en la elaboración del Documento Técnico número 1322 del OIEA sobre generadores de vapor. Actualmente, y desde agosto de 1981, trabaja en el Departamento de Ingeniería y Suministros de CNA en sus oficinas de Madrid.



BREVE DESCRIPCION DE LOS GENERADORES DE VAPOR CON PRECALENTADOR. MODELO D3

El calor generado en un reactor de agua a presión (PWR) se extrae del núcleo a través del refrigerante primario, el cual se transporta hasta el generador de vapor por las bombas principales.

El agua (refrigerante primario) entra por la llamada sección caliente de los tubos, pasa a través de éstos y descarga por la sección llamada fría. El refrigerante una vez que ha pasado por el generador de vapor pasa a través de las bombas principales para dirigirse de nuevo a la vasija del reactor, donde se cierra el ciclo.

Este circuito cerrado es lo que se llama circuito primario de refrigeración del reactor.

Los generadores de vapor con precalentador (ver fig. 1) que forma, como queda dicho, parte del circuito primario de refrigeración del reactor como sumidero de calor, se diseña con las siguientes secciones: una sección de precalentamiento, una sección de evaporación y una sección recuperadora de humedad del vapor generado. Esta última sección que contiene los separadores de humedad está localizada en la zona más alta del generador de vapor.

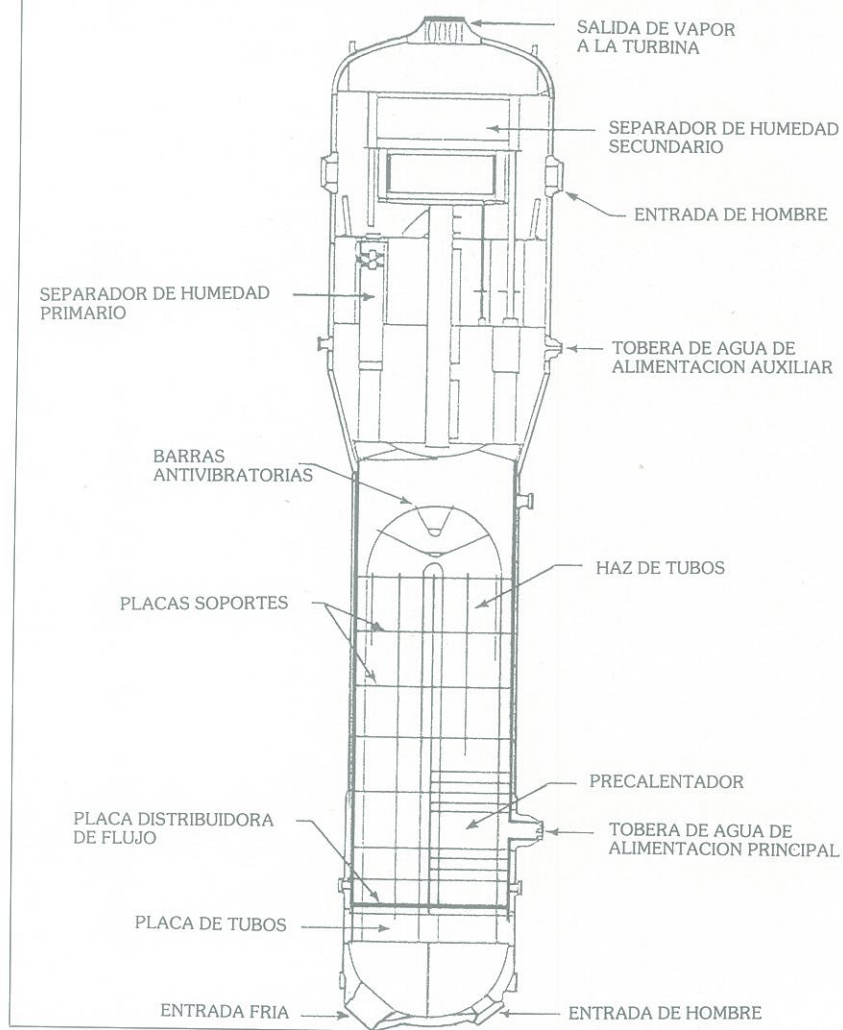
La sección evaporadora será constituida por un haz de tubos en invertida, por el interior de los cuales circula el refrigerante primario.

El haz de tubos contiene 4.674 tubos de incoel 600 con 3/4 de pulgada de diámetro exterior y 0.43" de espesor de pared.

Con objeto de mejorar la transferencia de calor del refrigerante primario al agua de alimentación del lado secundario, el generador de vapor modelo D3 incorpora una serie de placas deflectoras en la zona de entrada, alrededor de la posición de la sección fría del haz tubular próxima a la placa de tubos, constituyendo lo que se llama precalentador (ver fig. 2).

El agua (agua de alimentación FW) que se introduce en el lado secundario de los generadores de vapor, llega movida por las bombas de agua de alimentación y, en primer lugar, pasa a través de un restrictor de flujo situado en la tobera de agua de alimentación principal que sirve para limitar la velocidad del vaciado del lado secundario, en el supuesto de rotura de línea de agua de alimentación. Posteriormente al restrictor de flujo, el agua choca contra una placa

GENERADOR DE VAPOR MODELO D3



cuya función es evitar el choque directo contra los tubos, y mejorar la distribución del flujo dentro del precalentador.

Luego, el agua se divide en dos partes, una hacia arriba y otra hacia abajo a través de los pasos o caminos de flujo definidos por las placas soporte y deflectores del precalentador.

El agua precalentada se pone en contacto con el resto del haz de tubos (sección evaporadora) donde se evapora, pasando luego por los separadores de humedad y dirigiéndose finalmente a la turbina.

DESCUBRIMIENTO Y CAUSAS DEL PROBLEMA DE VIBRACIONES

El 21 de octubre de 1981 la Unidad 3 de la central de Ringhals, en Suecia, que es una unidad PWR de tres lazos de Westinghouse con modelo D3 de generadores de vapor fue llevada a parada fría debido a una fuga a través de los tubos de un generador de vapor de 2,5 gpm. Tras una primera investigación se pudo comprobar que en la zona fría del tubo R49C55* había aparecido un pequeño orificio pasante a la altura de la placa soporte núm. 3.

Esa unidad había operado alrededor de 2.200 horas a niveles de potencia superiores al 75 % antes del momento de la fuga. El hecho hizo sospechar que algún tipo de interacción entre tubos y placas soporte se estaba produciendo que conducía al desgaste de los tubos.

Se inspeccionaron los tres generadores de vapor mediante corrientes inducidas, indicando los resultados que el des-

gaste en los tubos preferencialmente se producía en las tres filas de tubos más exteriores y en la sección del precalentador (filas 47, 48 y 49).

Conocido el hecho, Westinghouse, con objeto de verificar si el fenómeno era problema general del tipo de generador con precalentador, pidió que las unidades semejantes que entonces estaban operando, Almaraz I y McGuire I (USA), se llevaran a parada fría para inspeccionar los generadores de vapor.

Almaraz I había operado a niveles superiores al 75 %, hasta cuando fue parada la central (2 de noviembre), alrededor de 1.500 horas y presentó en sus generadores de vapor indicaciones muy similares a las aparecidas en Ringhals III.

McGuire I, que se encontraba por entonces en período de pruebas nucleares, no había superado nunca el 50 % de potencia nominal y no presentó señal alguna de desgaste en sus modelos D2 de generadores de vapor. La diferencia entre el modelo D2 y D3 está exclusivamente en pequeñas diferencias de orificios existentes en las placas de choque del agua de alimentación y en una primera placa, próxima a la placa de tubos, distribuidora del agua en el haz.

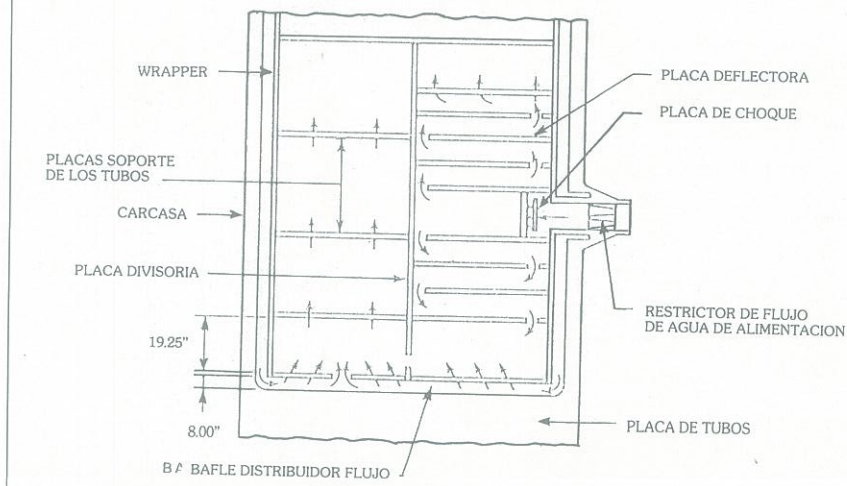
Descubierto el problema, Westinghouse estableció un extenso e intenso programa de trabajo, conducente a investigar las causas del fenómeno y, al mismo tiempo, llegar a diseñar su solución.

Para ello Westinghouse en solitario y con el SSPB (propietario de Ringhals), mediante contrato de investigación en los laboratorios de esta compañía, contando a su vez con la colaboración al aporte de datos de McGuire y Almaraz, inició dichos trabajos.

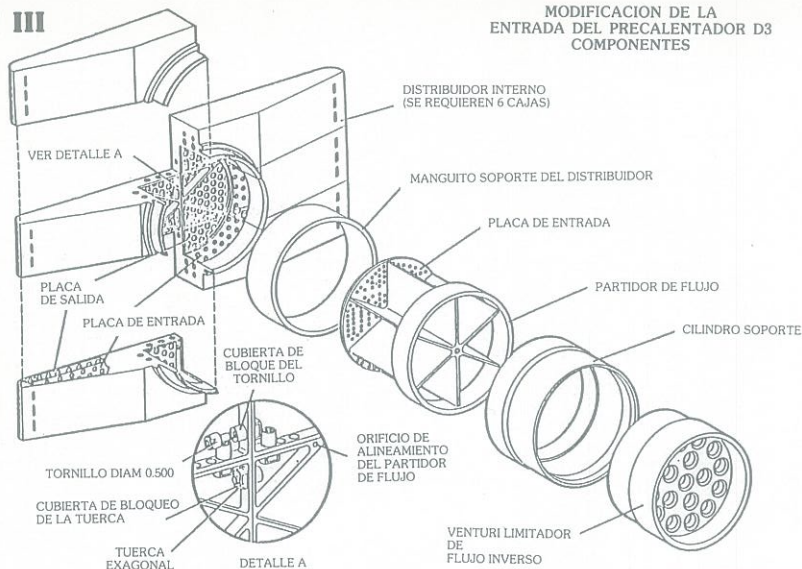
Las fuentes fundamentales de datos utilizados por los grupos de trabajo han sido los siguientes:

* R49C55 significa el tubo de la fila (Row) 49, columna 55, el tubo RIC1 es aquél situado en la sección fría de los generadores de vapor más próximos a la carcasa y al lado izquierdo de la entrada del agua de alimentación.

MODELO D3 DISTRIBUCION DE FLUJO EN EL PRECALENTADOR



MODIFICACION DE LA ENTRADA DEL PRECALENTADOR D3 COMPONENTES



- Resultados de inspecciones por corrientes inducidas (ECT) de las centrales en operación (Almaraz, Ringhals, McGuire).
- Resultados de la inspección en laboratorios de diferentes tubos extraídos de las centrales de Ringhals y Almaraz.
- Medidas de vibraciones directas de los tubos en las centrales en operación (Ringhals, Almaraz, McGuire).
- Información proporcionada por modelos analíticos.
- Información procedente de una serie de modelos a escala, utilizando aire y agua, según los casos, como fluido.
- Información del modelo a escala 1:1 construida en el laboratorio ALV-KARLEBY del SSPB.

Como resultado del estudio ordenado de la información recogida, se ha llegado a determinar las causas del problema y se ha podido diseñar una modificación que las resuelva.

De forma sucinta las causas de los desgastes en los tubos se podría explicar como sigue.

El agua de alimentación al atravesar el restrictor de flujo penetra en el generador de vapor, orientada en cuatro partes, correspondientes a los cuatro orificios del restrictor. Estos cuatro chorros impactan contra la placa de choque, y a través de sus taladros o rodeando dicha placa, el agua entra en la zona del precalentador muy mal distribuida, alcanzando en algunas zonas muy altas velocidades que, debido al régimen turbulento del agua, fluctúan induciendo fuerzas cambiantes sobre los tubos. El fenómeno básico causante del desgaste es la turbulencia pudiendo producirse en algún caso, sobre todo en las zonas de la periferia de la placa de choque, vibraciones inducidas en los tubos, por un fenómeno fluidoelástico, por alcanzarse las velocidades críticas de este fenómeno.

Estos fenómenos originan fuerzas en los tubos que les hacen interaccionar con las placas soportes, dando lugar por

frotamiento al arranque de material y consecuentemente al desgaste de los tubos a la altura de las placas.

DISEÑO Y VERIFICACION DE LA SOLUCION AL PROBLEMA DE LAS VIBRACIONES

DISEÑO

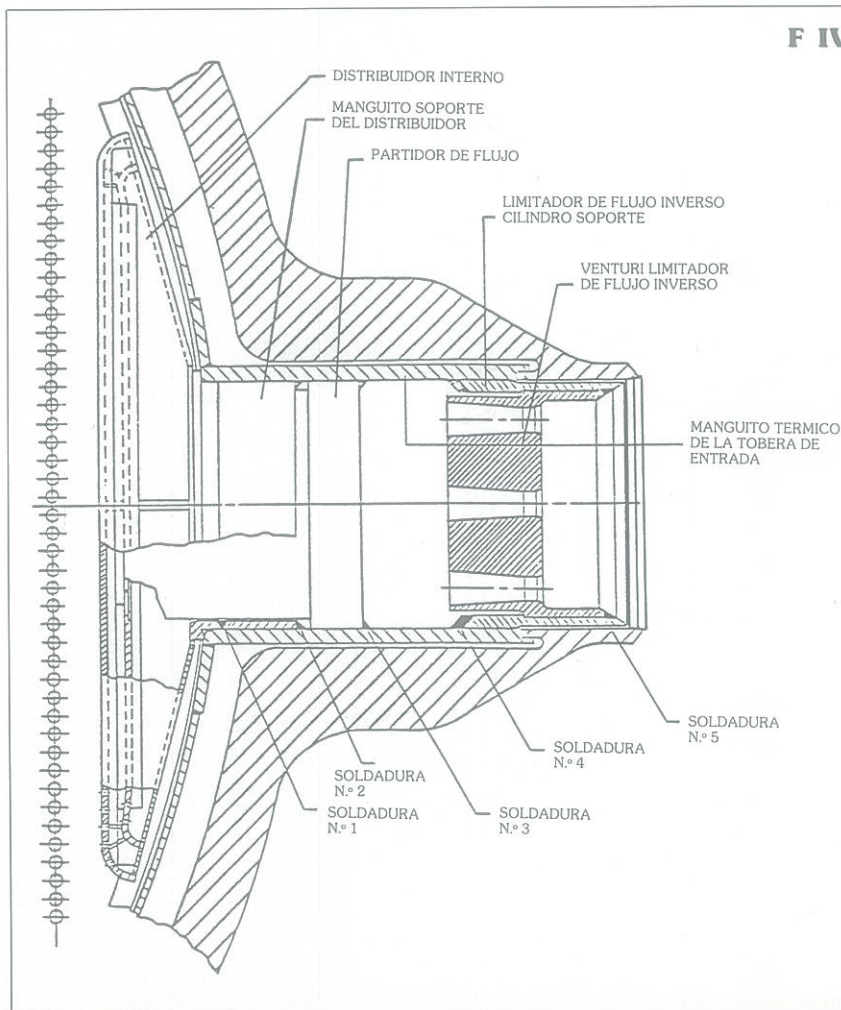
Westinghouse ha desarrollado una modificación de diseño para eliminar o reducir a un nivel aceptable la vibración de los tubos.

Por otra parte, el relativamente grande huelgo entre tubo y placa soporte para las distancias (spans) entre placas soportes utilizadas en la zona del precalentamiento, incrementa la probabilidad de que un tubo pueda «flotar» en una determinada placa soporte de tal manera que se vuelva inefectiva como tal soporte.

Un tubo «flotante» tendrá, de hecho, un span mayor que si estuviera efectivamente soportando una frecuencia natural de vibración más baja y será en definitiva más susceptible a las fuerzas de excitación del fluido.

En resumen, las condiciones del fluido, caracterizado como se ha dicho por su falta de uniformidad y estabilidad que origina alto grado de turbulencia, agravado en algunos casos por el fenómeno de «flotación» de los tubos hacen que la fuerza de excitación del fluido, en los tubos, causen impacto y deslizamiento del tubo contra las placas soportes, resultando todo ello en el desgaste de los mismos.

En primer término describiremos la modificación en sí misma y posteriormente trataremos de explicar, de manera sucinta, el proceso de diseño y verificación que se ha seguido.



Un esquema de la modificación de diseño puede verse en las figs. 3, 4 y 5. Por otra parte, y al objeto de comparación con el diseño previo, se incluye la fig. 7.

Los componentes principales de la modificación son los siguientes:

- Distribuidor (MANIFOLD) formado por seis cajas individuales y elementos de sujeción (tuercas, tornillos, etc.).
- Manguito soporte del Distribuidor.
- Divisor de flujo (flow splitter) que divide el agua de alimentación en seis partes aproximadamente iguales, dirigiendo cada una de ellas a cada caja del Distribuidor.
- Manguito soporte del Restrictor de Flujo Inverso.
- Restrictor de Flujo Inverso.

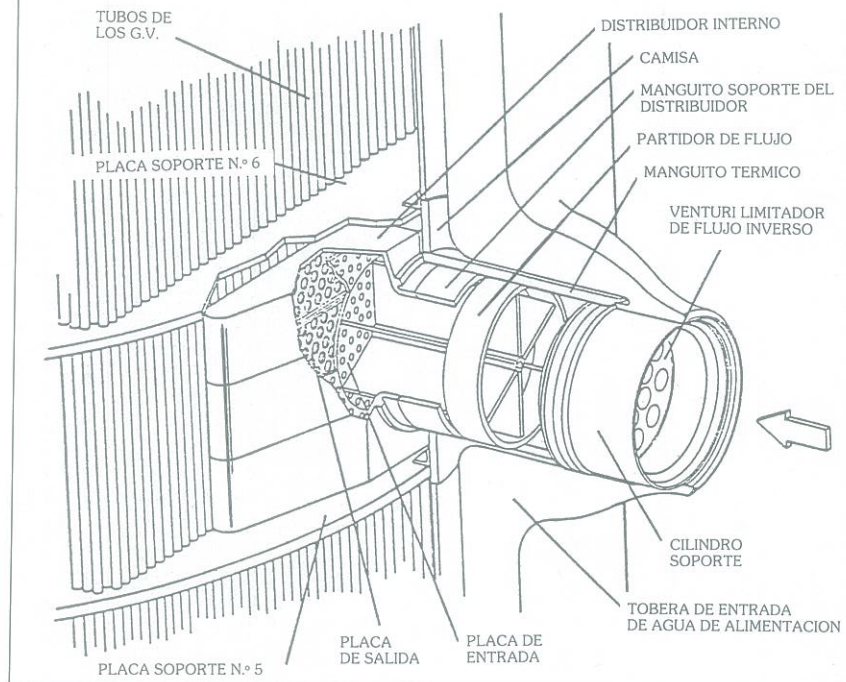
Excepto para las seis cajas del Distribuidor, citado en el punto 1, que se fijan las unas a las otras mediante pernos, tuercas y elementos de bloqueo, todos los componentes restantes van soldados bien a otro componente adyacente de la modificación o bien al manguito térmico de la tobera.

En ningún caso se ha soldado ningún componente a la envolvente de presión de los generadores de vapor.

El Limitador de Flujo Inverso nuevo es similar al existente previamente. La diferencia entre ambos está en que el nuevo tiene 19 agujeros (venturis), mientras que el anterior sólo disponía

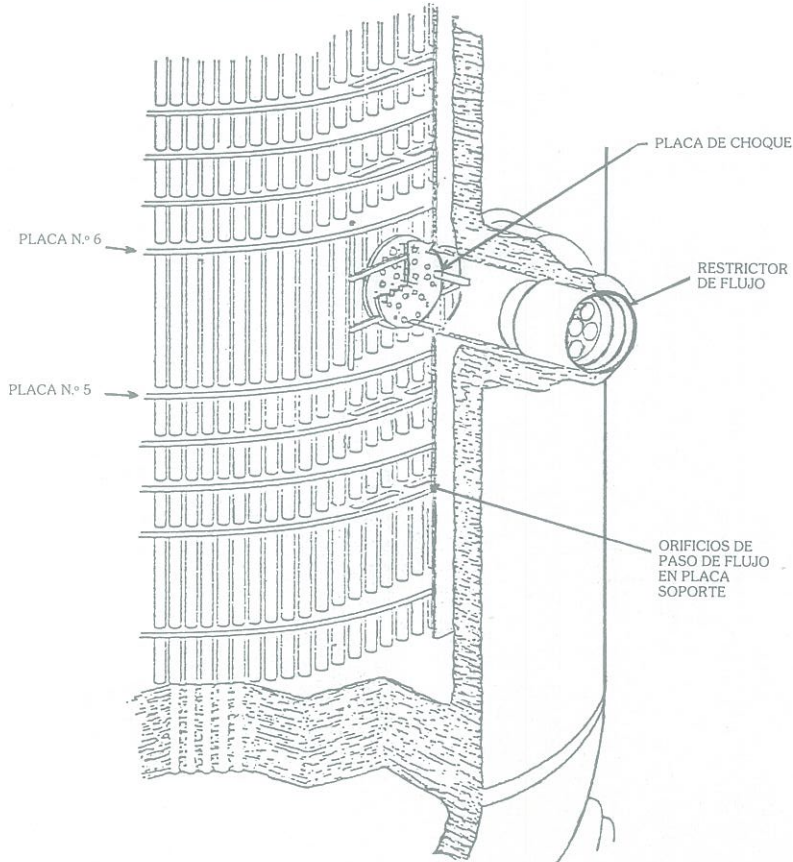
de cuatro agujeros si bien la superficie total de paso, en ambos casos, es igual a 0,22 ft².

MODIFICACION DE LA ENTRADA DEL PRECALENTADOR D3 F V



F VI

MODELO D3 SIN MODIFICAR



La misión de este componente es limitar o disminuir la velocidad de vaciado del generador de vapor en el caso del accidente de rotura de agua de alimentación.

El cilindro soporte al que va soldado el Restrictor de Flujo se ha diseñado de tal modo que en el caso de fallo de esa soldadura el Restrictor de Flujos queda bloqueado aguas abajo por el menor diámetro que tiene el cilindro soporte en esa porción posterior a la citada soldadura.

El Flow Splitter está constituido por seis placas rectangulares, igualmente espaciadas, 60° unas de otras (todas ellas con el lado mayor común) y soldadas a un anillo exterior, por un extremo y a una placa perforada por el otro.

Este componente va soldado a través del anillo exterior de uno de los extremos al manguito térmico de la tobera.

El Distribuidor de flujo consiste en seis cajas distribuidoras.

Las distintas partes de cada caja están soldadas entre sí, mientras que las cajas se unen unas a otras mediante tornillos y tuercas. El objeto de este diseño es hacer posible su montaje a través de la tobera de agua de alimentación.

El conjunto de las cajas distribuidoras acaba por un lado en una sección circular que se suelda al Anillo Soporte del Distribuidor, que a su vez va soldado al manguito técnico de la tobera.

El extremo posterior a la soldadura del Distribuidor parece una doble placa perforada determinada a distribuir lo más uniformemente posible el flujo de entrada, sobre todo el haz de tubos.

Para evitar el colapsamiento de burbujas y, por tanto, la ocurrencia de golpe de ariete (water hammer), los generadores de vapor se alimentan durante el arranque a través del agua de alimentación auxiliar, situada en la parte superior del haz tubular y posteriormente a través de la línea en agua de alimentación principal. Durante la operación inicial el flujo de agua a los generadores de vapor a través del FW es relativamente bajo. Puesto que el agua situada en la línea de agua de alimentación entre el generador de vapor y la válvula de aislamiento puede estar fría cuando el generador de vapor está ya caliente la apertura de la válvula de aislamiento podría producir un flushing de agua fría al interior del distribuidor. Además si el flujo es muy bajo puede producirse estratificación térmica causando tensiones y fatigas que podrían exceder los límites permitidos.

Para salvar este problema se han adoptado dos soluciones:

- Caldeo eléctrico de la zona entre generador de vapor y válvula de aislamiento (solución adoptada en Ringhals IV de Suecia).
- Minipurga inversa, consistente en una línea de conexión entre la línea de agua de alimentación y dirigida al condensador. Esta línea permite purgar el agua fría situada en la zona antes de abrir la válvula de aislamiento.

Solución adoptada por Almaraz I y II, Ascó I, McGuire I (USA) y V. S. Summer (USA).

VERIFICACION DEL DISEÑO

Terminada la descripción de la modificación de diseño vamos a describir brevemente la forma como ha sido probada dicha modificación antes de un montaje en las unidades afectadas.

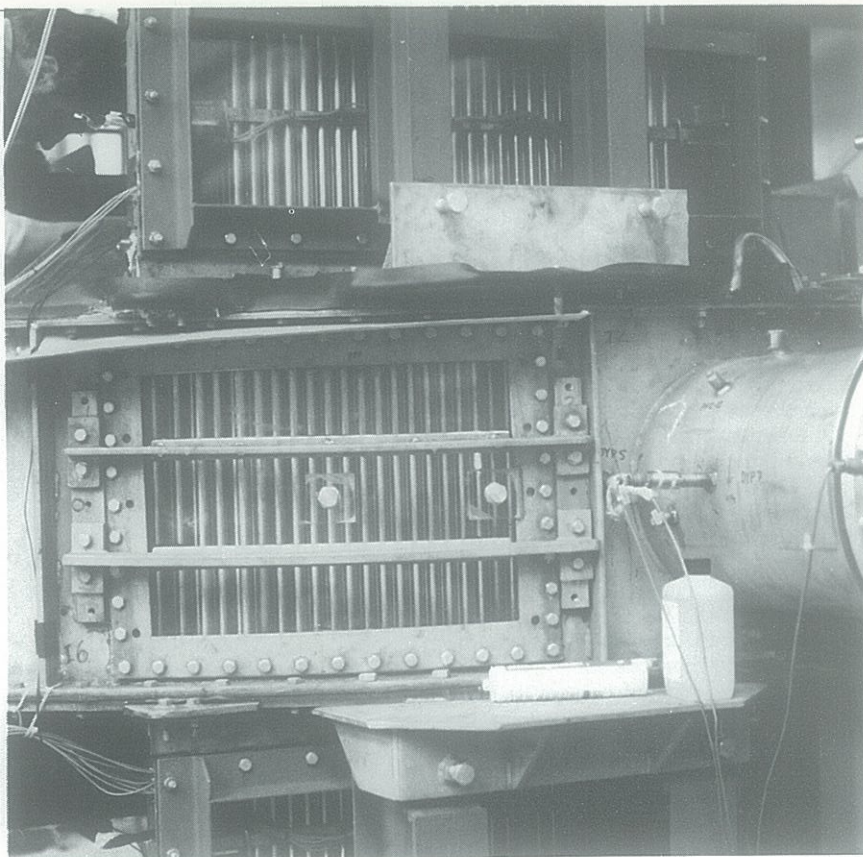
La prueba final de verificación fue realizada en el laboratorio de ALVKAR-LEVY DEL SSPB mediante una maqueta a escala 1:1 que incluye la simulación de la longitud total en los tubos en la región del precalentador. Los datos procedentes de esta maqueta incluye resultados que han sido usados para la verificación final de la idoneidad del funcionamiento del Distribuidor (ver figs. 7 y 8).

En principio, se probó un prototipo de Distribuidor y posteriormente el Distribuidor que realmente ha sido montado en las plantas tras ligeras modificaciones en el prototipo.

Comparando el comportamiento del distribuidor actual con la placa de choque previamente existente, aquél consigue una distribución de flujo mucho más uniforme en todo el frente del haz de tubos.

Este hecho da como resultado las siguientes mejoras:

- Decremento fuerte de los picos de velocidades anteriormente existentes.
- Eliminación de flujos inversos que existían en el área central del haz con el diseño anterior.



F VII Maqueta escala 1:1, de Alvkarlevy (Suecia).

- Decremento notable de los componentes de velocidad fluctuantes.
- Decremento a niveles aceptables de las vibraciones como consecuencia de las mejoras en la distribución de velocidad de flujo comentados anteriormente.

El nuevo Restrictor de Flujo de 19 agujeros también contribuye a mejorar el comportamiento del Distribuidor suministrando una mejor distribución del flujo que llega al Distribuidor que con los cuatro orificios que tenía el diseño anterior.

La mejora en la distribución de flujo a la entrada del haz es tanto en la dirección vertical como lateral. En la región central de entrada, la masa de flujo es

un poco mayor que en las zonas extremas del frente de tubos. Se ha probado que el Distribuidor reduce significativamente la turbulencia y produce en los tubos fuerzas más estables. Las fuerzas fluctuantes que inducen turbulencias han caído en un factor de 3 a 9.

Se ha comprobado igualmente la notable caída en las fuerzas de impacto entre tubo y placa soporte reduciéndose en un factor superior a 20.

Como conclusión general podríamos decir que la modificación de diseño, introduciendo el Distribuidor, reduce las amplitudes de vibración de los tubos al 100 % de potencia (flujo) a niveles comparables a los existentes con el diseño previo entre el 40 y el 50 % de potencia.

F VIII Participantes en una reunión en el laboratorio de Alvkarlevy recibiendo explicaciones sobre el desarrollo de las pruebas.



Por último, y con respecto a la verificación de la modificación en el momento de escribir estas notas hay varias centrales funcionando al 100 % de potencia con la modificación implementada con resultados de las medida de vibración de los tubos muy acordes con lo esperado y, por tanto, optimistas.

Como aspecto negativo de la introducción del Distribuidor se puede destacar el incremento de la pérdida de carga en el agua de alimentación en aproximadamente 0,8 bar, lo cual es fácilmente absorbido por el margen existente en las bombas de agua de alimentación.

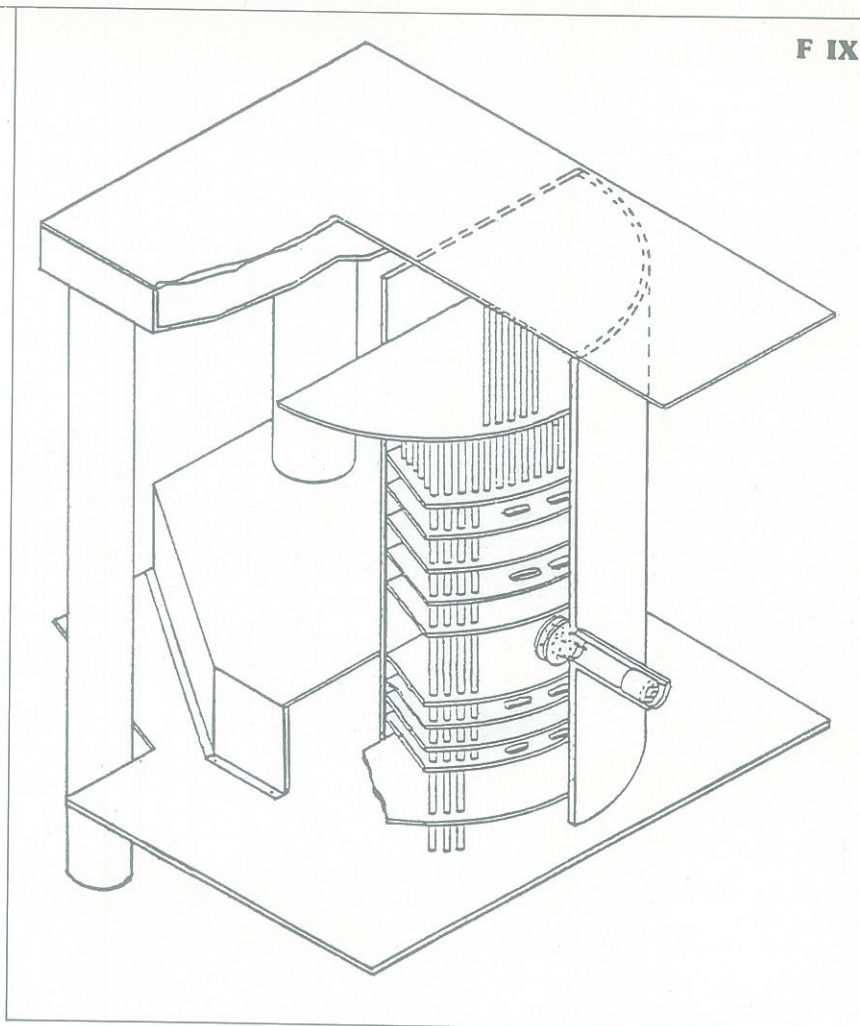
Otro aspecto que merece destacar es que el conjunto de la modificación supone un mejor filtro a las fluctuaciones de presión procedentes del agua de alimentación que en las condiciones anteriores.

Así, las fluctuaciones de presión aguas arriba del frente del haz (fila 49) se han reducido considerablemente en un factor aproximado de 3.

Hay que decir finalmente que la mejor verificación de la idoneidad de la modificación serán las inspecciones tras distintos períodos de operación de los tubos de los generadores de vapor mediante corrientes inducidas (ECT) en cuya dirección se han dirigido los esfuerzos principales de las Compañías Propietarias afectadas por el problema, en concreto Almaraz y Ascó.

Desde el punto de vista del diseño realizado por W y verificado tal como queda dicho anteriormente merece especial mención la revisión exhaustiva hecha del mismo por un grupo independiente (tercera parte) formado por personas especializadas de las Compañías Eléctricas americanas más directamente afectadas DUKE POWER, TVA y SOUTH CAROLINE ELECTRIC AND GAS.

El trabajo de este grupo ha sido seguido muy de cerca por la C. N. de Almaraz, siendo el informe elaborado por el grupo, asumido, prácticamente en su totalidad, por la NRC (Comisión Reguladora Nuclear).



CNA aportó toda la información obtenida de la central durante su operación al 50 % y de las inspecciones de

parada.

IMPLEMENTACION Y PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LA MODIFICACION

IMPLEMENTACION

Durante el diseño de la modificación Westinghouse no sólo tuvo como objetivo el solucionar el problema de las vibraciones, sino además hacer la modificación de tal manera que su implemen-

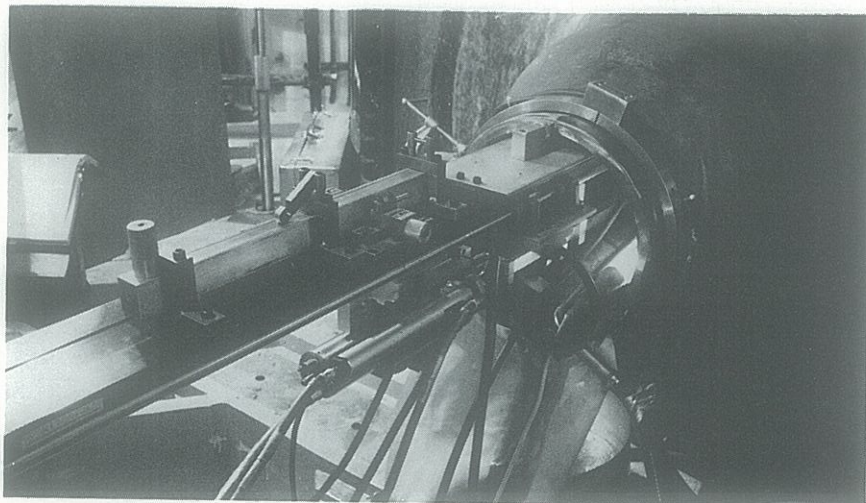
tación resultara fácil y en el menor tiempo posible.

Materiales, proceso de soldadura, técnicas de ensayos destructivos, etc., fueron cuidadosamente considerados en el proceso de diseño. Por ejemplo, los requerimientos de soldadura fueron seleccionados de acuerdo con el ASME III, Subsección NG y Sección XI. Todas las soldaduras en campo son entre metales similares evitando las soldaduras entre metales distintos en campo mediante elementos de transición fabricados en taller.

La secuencia principal de operaciones para implementar la modificación de los generadores de vapor podríamos resumirla como sigue:

- Completar las actividades preparatorias antes de dar comienzo a la modificación, tales como procedimientos, debidamente cumplimentados; accesos; medidas de protección radiológica, si la central ha estado en operación; vacío del secundario, etc.
- Corte de las líneas de FW para permitir el acceso al interior de la tobera.
- Extracción de la placa de choque.

F X Primer plano de la herramienta especial para desmontar la placa de choque.



- Inspección del manguito térmico de la tobera incluyendo control visual y dimensional, así como su acondicionamiento si fuera necesario.
- Introducir con una secuencia preestablecida las seis cajas componentes del Distribuidor.
- Atornillar las distintas cajas del Distribuidor, dando una carga de apriete preliminar incompleta.
- Introducir el manguito soporte del Distribuidor en el interior del manguito térmico, posicionarlo y soldarlo al manguito térmico mediante tack-weld.
- Levantar el Distribuidor hasta colocarlo en su posición de diseño fijándolo al anillo soporte del Distribuidor mediante tack-weld.
- Completar las soldaduras indicadas en los puntos 7 y 8, procediendo seguidamente a un afloje y apriete hasta su carga final de los pernos y tuercas de amarre.
- Introducir el flow splitter colocándolo en su posición de diseño respecto al Distribuidor y soldándolo por su anillo periférico al manguito térmico de la tobera.
- Instalar el anillo soporte del Restrictor de Flujo soldándolo al manguito térmico.
- Introducir el Restrictor de Flujo colocándolo en su posición de diseño, respecto a su anillo soporte y soldándolo a éste.

Esta es la última actividad en el interior de la tobera.

- Recolocar y soldar los codos de la línea del FW cortados para permitir el acceso.
- Prueba hidrostática de las soldaduras del FW que obliga a presurizar todo el generador de vapor.

Como parte de la modificación y en paralelo, con las actividades antes citadas, es preciso montar la línea de purga del FW existente ante el generador de vapor y la válvula de aislamiento dirigiéndola al condensador.

Herramientas

Para la implementación de la modificación en los generadores de vapor se han desarrollado por Westinghouse herramientas nuevas o adoptado herramientas ya conocidas al trabajo específico a realizar.

El objetivo de estas herramientas era múltiple. Sus diseños están orientados a una fácil implementación, minimizando el tiempo de parada de las unidades a modificar y a consideraciones ALARA.

No todas las operaciones a realizar han requerido desarrollar herramientas nuevas, sin embargo, sí ha sido necesario en algún caso, como la introducción y posicionamiento del Distribuidor.

Todas las herramientas han sido intensamente probadas con maquetas fabricadas a escala natural por Westinghouse en sus instalaciones de TAMPA

(Florida) y antes de ser utilizadas en cada central por una maqueta transportable.

Seguidamente se listan las herramientas utilizadas más significativas de las que algunas pueden verse en las fotos que se adjuntan.

- Herramienta de manejo del Restrictor de Flujo.
- Herramienta desintegradora de la placa de choque (fig. 11).
- Herramienta especial de manejo y montaje del Distribuidor.
- Sistema de soldadura automática por arco.
- Sistema especial de medidas para el control, dimensional del manguito térmico y baffes.
- Sistema de succión y filtrado para limpieza del manguito y área del plenum del precalentador.
- Sistema de mecanizado del manguito térmico de la tobera (fig. 11).

Procedimientos

Todas las actividades realizadas han sido cubiertas por procedimientos (coste línea FW, soldadura, etc.).

Los procedimientos incluyen puntos que exigen limpieza y control de las herramientas y otros objetos en que pudieran quedarse vueltos.

Los procedimientos de soldadura se hicieron de acuerdo con la Sección XI del ASME y requerimientos adicionales del diseñador. Los procedimientos de ensayos no destructivos se hicieron de acuerdo con Sección III del ASME, Subsección NE-8000.

Entrenamiento

Westinghouse ha construido maquetas a escala 1:1 de la tobera de agua de alimentación y la parte adyacente del Precalentador. Los objetivos de construcción de estas maquetas han sido, entre otros, los siguientes:

- 1.º Desarrollar y probar procedimientos detallados de soldadura.
- 2.º Prueba de la herramienta a emplear en la modificación a cargo.
- 3.º Entrenamiento del personal para realizar el trabajo a cargo, bajo condiciones restrictivas.

El entrenamiento incluye tanto el aspecto teórico de la modificación como el entrenamiento real de repetir la modificación hasta adquirir soltura ganando tiempo. El personal entrenado debe demostrar habilidad suficiente para realizar el trabajo y sufrir un examen escrito.

Posteriormente, realiza la modificación real en una planta limpia para pasar después a poder hacer los trabajos en plantas sucias; es decir, después de haber operado cierto tiempo.

Consideraciones ALARA

La implementación de la modificación ha sido realizada cumpliendo con los límites dados en la U.S. 10 CFR 20 y los procedimientos tienen en cuenta las

guías que se establecen en la guía reguladora 8.8 (RG 8.8).

Como ya se ha dicho, el diseño de la modificación ha sido lo más sencillo posible para implementar en campo.

Se han diseñado herramientas especiales para realizar los trabajos automáticamente.

El entrenamiento del personal ha sido exhaustivo.

Además de herramientas especiales se han usado cámaras de TV y otros sistemas de inspección remota como fibras ópticas, alejando lo más posible el personal de las áreas de alta radiación.

Todas las precauciones anteriores han tenido un único objetivo y ha sido minimizar los tiempos de exposición y con ello la dosis total recibida por ellos.

Como datos aproximados y relativos, dado que aún no está finalizado el informe, podemos considerar lo siguiente:

Dosis total recibida en la modificación de ALMARAZ I $\approx$ 30 M.R.

La dosis recibida ha sido un 50 % de la dosis prevista.

La dosis recibida por lazo, en Almaraz I, ha sido del orden del 20 % inferior a la referida por el mismo trabajo en la central de McGuire I de Estados Unidos.

PROGRAMA DE VIGILANCIA

Implementada la modificación en una unidad, se establece un programa de vigilancia, previniendo en lo posible fallos del nuevo distribuidor introducido, observando la vibración de los tubos y si los desgastes se han anulado o reducido su velocidad de desgaste a valores aceptables.

En un principio, Westinghouse estableció un programa de vigilancia específico para las dos centrales primeras que fueran modificadas y otro más reducido para el resto de centrales.

Con ligeras modificaciones (en algún caso reduciendo exigencias), el programa fue asumido por el Grupo de Revisión Independiente y por la NRC.

Como consecuencia de las alteraciones producidas, en los programas de arranque de las centrales, la práctica totalidad de ellas han seguido el programa de vigilancia pensado para las dos primeras.

Hasta este momento, las centrales que han implementado la modificación y que tienen sus programas establecidos son: Ringhals IV, Ascó I, McGuire I, V, S. Summer, Almaraz I y Almaraz II.

En algunos casos los programas de estas centrales están ya aprobados por los organismos competentes de sus respectivos países.

Dada la similitud de estos programas, se describe a continuación el programa para Almaraz II, muy similar al de Almaraz I, que ha sido propuesto al Consejo de Seguridad Nuclear, aunque todavía, en este momento, no se ha recibido aprobación oficial al mismo, pudiendo, por tanto, sufrir modificaciones tras la evaluación por el citado organismo.

Inspección preoperacional visual y por corrientes inducidas

Inspección Visual

Después de la modificación se realizará una *Inspección de Referencia visual* mediante fibra óptica.

Inspección por corrientes inducidas

Antes de entrar a operación la Unidad 2 se ha hecho una inspección del 100 % de los tubos por corrientes inducidas, multifrecuencia y siguiendo el método absoluto.

Después de las modificaciones se ha realizado la inspección de la ficha 49 con el objetivo de verificar que los tubos no han sufrido daño alguno durante los trabajos.

Además se ha inspeccionado la periferia del haz, un tubo en profundidad desde la fila 8 a 45 en toda su longitud y de la 1 a la 8 zona fría.

En el caso de tratarse de una unidad que ha estado ya operando la inspección base de referencia para vigilar el fenómeno de desgaste, abarca exclusivamente las cinco primeras filas del haz. Este es el caso de Almaraz I. En cualquier caso siempre se inspecciona después de la modificación la fila 49 y periferia con el objetivo ya indicado.

Inspecciones futuras visuales y por corrientes inducidas

PRIMERA INSPECCION

Inspección visual

La primera inspección visual será realizada en la primera parada para inspeccionar los tubos por corrientes inducidas y con alcance semejante al de la *Base de Referencia*.

Corrientes inducidas

La primera inspección será reactivada a los seis meses de operación efectiva a plena potencia. El alcance será exclusivamente el correspondiente a las cinco filas exteriores y la periferia.

OTRAS INSPECCIONES FUTURAS

Inspecciones visuales

Cos posterioridad a la primera inspección sólo se volverá a realizar otra a los diez años de operación de la unidad, no obstante lo anterior, podrían realizarse otras inspecciones visuales si se juzga necesario, por ejemplo, si se sufre algún golpe de ariete acompañado de alarma del sistema de partes sueltas de algún generador de vapor.

Inspecciones por corrientes inducidas

Realizada la primera inspección de los seis meses de operación a plena potencia efectiva, la frecuencia de inspecciones será la establecida en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la Unidad 2.

Vigilancia de las oscilaciones de presión en el agua de alimentación

Al objeto de verificar que las oscilaciones de presión en el agua de alimentación son iguales o inferiores que las consideradas en el diseño del Distribuidor a efectos de fatiga del mismo, se tomarán medidas de aquellos parámetros mediante tres sensores, uno por cada lazo de agua de alimentación, durante la subida de potencia y al alcanzar el 100 % de la misma. Los escalones de potencia serán los mismos que los establecidos para el programa de pruebas nucleares.

En el caso de la Unidad I la propuesta incluye medidas, cada incremento del 3 % de potencia.

Vigilancia de la vibración de los tubos

Para observar las vibraciones que se producen en los tubos se han introducido seis acelerómetros bidireccionales en cuatro tubos diferentes de la fila 49 del generador de vapor núm. 1.

En este mismo generador de vapor se han colocado próximos a la tobera otros dos acelerómetros en la pared exterior del generador.

De todos estos sensores se tomarán datos a los niveles de potencia siguientes:

1. 0 potencia (ruido de fondo).
2. ≈ 0 antes de producirse el cambio del agua de alimentación.
3. 30 % después del cambio de alimentación auxiliar a la alimentación principal.
4. 5 %
5. 75 %
6. 90 %
7. 100 %

OPERACION DE LA UNIDAD I DESDE LA OPERACION DEL PROBLEMA DE VIBRACIONES. POSICION DEL CSN ANTE LOS DISTINTOS PERMISOS CONCEDIDOS

Los puntos anteriores de este escrito han tratado el problema de vibraciones aparecido en los generadores de vapor con precalentador de una forma general. Se ha intentado informar de cual fue el problema, sus causas, solución, vigilancia, etc., para todos los generadores de vapor con precalentador modelo D2 y D3.

Ahora se va a describir una breve historia de la operación de Almaraz I desde su parada, el 2 de noviembre, hasta este momento en que la unidad ha sido modificada y está en espera del informe favorable del CSN y del permiso de la Dirección General de la Energía para volver a operación.

Simultáneamente se irá informando de cual ha sido el proceder del Consejo de Seguridad Nuclear ante los distintos permisos solicitados.

Ocurrido el incidente de Ringhals, 3 al 21 de octubre de 1981, tal como se

Una vez alcanzó el 100 % de potencia nominal se tomarán datos de la instrumentación interna justamente antes de parada para la primera inspección por corrientes inducidas de los tubos (seis meses a plena potencia efectiva después del arranque).

En el caso de la Unidad I la propuesta por operar antes que la II incluye medidas, cada incremento del 5 % de potencia.

Vigilancia por partes sueltas

INSPECCION VISUAL TRAS LA MODIFICACION

Después de la modificación, y a pesar de las precauciones tomadas durante la misma al acabar los trabajos, se ha inspeccionado el lado secundario de los generadores de vapor para verificar que no han quedado objetos

SISTEMAS DE PARTES SUELTAS

A través de los dos sensores colocados en la pared de cada generador de vapor se estará vigilando de forma continua la posible producción de partes sueltas por rotura o desprendimiento de alguna de las partes del distribuidor.

Estos sensores están sometidos a chequeos operacionales semanales y calibraciones cada dieciocho meses.

Si durante la operación de la central alguno de los seis sensores de partes sueltas (dos por generador de vapor), a los que nos hemos referido antes, permanece inoperable más de treinta días se comunicará al Consejo de Seguridad Nuclear.

Se adjunta cuadro resumen del programa de vigilancia que se ha descrito someramente para Almaraz II (fig 12).

ha dicho anteriormente, Westinghouse pidió parar Almaraz I para su inspección estando al 100 % de potencia. Almaraz I fue parada el 2 de noviembre y se hicieron inspecciones de los tubos de los generadores de vapor llegando a la conclusión de que se trataba de un problema genérico del tipo de generador de vapor.

Bien pronto, tras conocerse el problema pudo adivinarse que la solución del mismo no podría llegar en un corto plazo de tiempo, por lo que conocido el estado de los tubos y con el objeto de minimizar las pérdidas de producción de energía, por una parte, y de conseguir experiencia sobre el nivel de potencia a partir del cual el nivel de vibraciones se podría considerar inaceptable, por otra, Almaraz solicitó de la DGE permiso para operar la central al 50 % de potencia durante 1.500 horas. Este nivel de

potencia y tiempo de funcionamiento desde el punto de vista de análisis, se consideró totalmente aceptable. La solicitud incluyó una escalación, por un total de cuarenta horas, al comienzo del período, hasta el 100 % con objeto de tomar datos de los acelerómetros instalados en los generadores en todo el rango de potencias. Los acelerómetros instalados fueron cuatro en dos tubos (dos por tubo) del generador de vapor núm. 1 y 3 externos en cada una de los tres generadores de vapor.

Previamente a la solicitud de operación de 1.500 horas al 50 %, Almaraz solicitó rebajar el límite de taponado exigido en las especificaciones técnicas, pasándolo del 40 % al 50 % de eliminación del espesor de laboratorio hechos a los tubos extraídos durante la parada, demostraron que los valores de los efectos predichos por ensayos no destructivos mediante corrientes inducidas, sobreestimaban el valor real del defecto. La problemática surgida en torno al método de inspección por corrientes inducidas se explica en el artículo del Sr. HERVAS de **TECNATOM** en este mismo número de la revista.

La DGE aceptó, tras el informe favorable del CSN, este cambio en las Especificaciones Técnicas que supuso el taponamiento de 39 tubos en total en los tres generadores de vapor.

Por otro lado, la DGE otorgó el permiso solicitado por Almaraz mediante un condicionado en el que se incluía que tras el período autorizado se volvería a realizar inspección de los tubos afectados de los generadores de vapor.

En marzo de 1982, cumplido el período autorizado se paró la central y se inspeccionó de nuevo mediante otra técnica diferente de corrientes inducidas si bien se realizó la antigua a efectos comparativos. De la comparación de resultados se observó que los defectos no habían progresado.

Por otra parte, se destaponó un tubo por generador de vapor al objeto de ver una posible evolución. Los defectos medidos mediante la técnica absoluta no superaban el 11 % de disminución en el espesor de pared a ninguno de los tubos, demostrando la sobrestimación del método utilizado en noviembre de 1981.

Finalmente, en esta parada, se extrajeron dos tubos del generador de vapor 3 para mayor acumulación de datos reales.

Basados en la no evolución de los defectos, en los resultados de la evolución de datos tomados en la escalación hasta el 100 % hecha en un período anterior y en las predicciones técnicas de desgaste, Almaraz solicitó un nuevo permiso a la DGE de 1.500 horas al 50 % que fue concedido tras el informe favorable del CSN. Posteriormente el permiso se extendió hasta 2.000 horas.

Pasado el nuevo período la central fue parada en julio de 1982 para realizar una nueva inspección que mostró un muy pequeño, si realmente existió, desgaste adicional en los defectos tras

este segundo período de 2.000 horas de operación.

Aprovechando esta parada se introdujeron algunos cambios en las líneas de agua de alimentación con la intención de alimentar los generadores de vapor. Simultáneamente por el AF y por el FW con un 13 % y un 50 % de caudal nominal respectivamente, de esta forma y sin incrementar el caudal por la tobera principal se conseguiría incrementar en un 13 % la producción eléctrica de la central, sin riesgos adicionales, por un período no prolongado de tiempo.

Conocidos los resultados de inspección y con los estudios positivos de operación con doble alimentación y que la solución definitiva no estaba a la vista, Almaraz solicitó un nuevo permiso, esta vez por 4.000 horas al 50 %, incluyendo una prueba de operación con doble alimentación por un período corto de tiempo que permitiera tomar datos suficientes que avalaran las predicciones de los cálculos.

La DGE autorizó la solicitud de Almaraz 2, incluyendo la prueba con doble alimentación, concediendo 4.000 horas de operación al 50 % con la posibilidad de que las 2.000 horas últimas se operaran al 63 % con doble alimentación si los resultados de la prueba a realizar eran satisfactorios, y así eran apreciados por el CSN.

La Unidad 1 se puso de nuevo en operación en septiembre realizándose, dentro de las 2.000 primeras horas, la prueba de la doble alimentación.

La prueba operativamente fue un éxito y los resultados de las medidas de vibraciones mostraban que el nivel de aquéllos subía ligeramente hasta un valor equivalente al 55 % de potencia (flujo), alimentado exclusivamente el generador de vapor por la tobera de agua de alimentación principal.

Los resultados de esta prueba se enviaron al CSN, pero nunca dicho Organismo se manifestó oficialmente al respecto.

SOLUCIONES DE APOYO AL DISEÑO, CASO DE SER NECESARIO

Hasta que el programa de vigilancia de la modificación no haya concluido no será posible determinar de forma concluyente la efectividad de aquélla para reducir las vibraciones en los tubos a niveles aceptables.

En el caso de que los resultados prácticos muestren que persiste un pequeño nivel de vibración se requerirán estudios para determinar su efecto a largo plazo sobre los tubos.

Ante la posibilidad, hoy considerada prácticamente nula, de que la modificación no resulte absolutamente efectiva están en consideración las siguientes acciones de apoyo.

Un mes antes de finalizar las 4.000 horas CNA pidió una prórroga de 840 horas al 50 % al objeto de hacer coincidir la próxima parada de inspección con el programa de Westinghouse para modificar los generadores afectados, una vez diseñada y verificada la solución.

Con relación a los tubos taponados, éstos no deben alcanzar el punto de desgaste para el que podría producirse una rotura, ya que esto podría traer como consecuencia el daño a los tubos activos vecinos.

Con relación a los tubos taponados, la preocupación del CSN se ha centrado en dos aspectos:

1.º Conocer realmente el defecto que dichos tubos tienen, ya que los datos que se usaron para proceder a taponarlos, venían afectados de incertidumbres grandes.

Para eliminar esta preocupación, como ya se ha dicho, se han destaponado tubos en dos paradas distintas al objeto de conocer, con método más preciso, el valor de los defectos de los tubos. En todos los destaponados el defecto ha sido inferior al límite de taponado.

2.º Determinar si los modelos de desgaste de los tubos activos preparados por Westinghouse era aplicable a los tubos taponados.

Tanto por el examen de los tubos destaponados, como por análisis, se ha comprobado que el comportamiento, desde el punto de vista de desgaste, ha sido igual en tubos activos y taponados.

La experiencia de casi 8.000 horas de operación al 50 % de potencia ha demostrado que a pesar de haber habido pequeños incrementos de los desgastes, éstos han sido tan pequeños que permiten operar la planta en esas condiciones durante períodos pequeños de tiempo sin poner en riesgo la integridad de los tubos.

Para poder conocer de forma más precisa y con más detalle la postura del Grupo Técnico del CSN respecto a este problema, implementación de la solución, y vigilancia de la misma ver la primera referencia.

● Doble alimentación

Esta solución consiste en reducir el caudal de agua desde el valor nominal al 100 % hasta aquel nivel necesario para evitar vibraciones inaceptables. El resto del caudal hasta el 100 % sería introducido por la tobera de agua de alimentación auxiliar.

● Estabilización de tubos

En el caso de que sea necesario una reducción adicional en el nivel de vibraciones y como alternativa a la anterior se podría conseguir introduciendo en el interior de tubos desgastados y taponados

dos, elementos especiales, tales como cables, etc., que los estabilicen.

La función de la estabilización sería doble. Por un lado evitar la vibración y por otro, en los tubos taponados y en el caso de rotura de los mismos, evitar que los extremos de la rotura o partes sueltas dañen los tubos próximos.

● Sustitución de tubos desgastados para barras sólidas

El efecto de sustituir los tubos desgastados por barras sólidas es semejante al de estabilización mencionado en el punto 2.

La instalación de barras sólidas en los lugares que estaban ocupados por tubos desgastados es necesario, con objeto de evitar distorsión en la distribución de flujo en el interior del haz de tubos.

La prórroga fue autorizada en base, por un lado, a los resultados anteriores de inspección con corrientes inducidas, operando al 50 % y, por otro, a que las previsiones de desgaste, incluso funcionando con la doble alimentación, durante el tiempo solicitado de prórroga eran aceptables dados los daños iniciales con que partían los tubos.

Cumplidas las horas autorizadas, sin llegar a agotar todas, fue parada Almaraz I, a finales de abril, para inspeccionar e implementar la modificación.

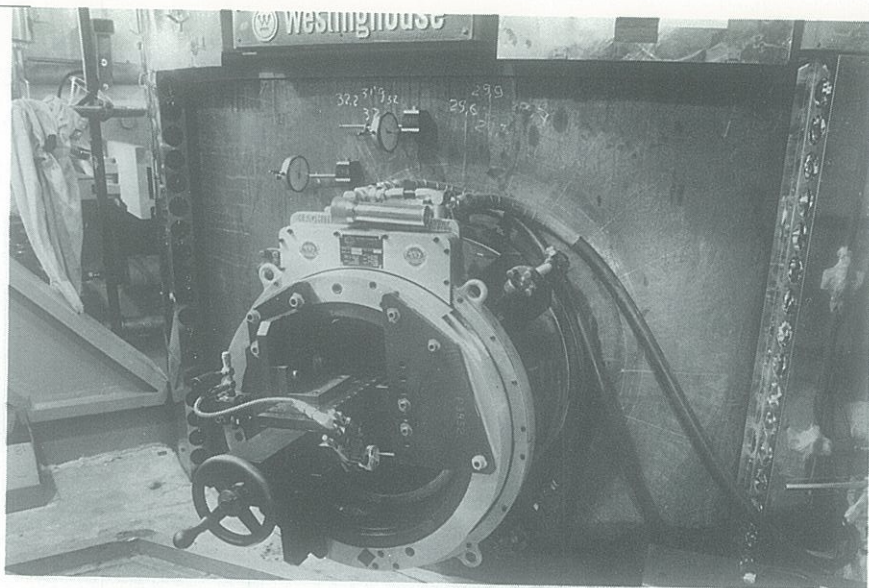
La inspección ha mostrado un ligero incremento en el desgaste de los tubos totalmente dentro de los márgenes previstos en el modelo de desgaste de Westinghouse. No obstante, y a pesar de no llegar al límite de taponado, se ha tomado la precaución de taponar tres tubos en los que el crecimiento de desgaste fue mayor evitando cualquier riesgo aunque sea mínimo.

Por otra parte, se han destaponado cuatro tubos de los que fueron taponados en noviembre de 1981, advirtiendo que su comportamiento frente al desgaste no se ha diferenciado del resto de tubos «activos» (en operación).

Actualmente, terminada la modificación, la central está en espera de recibir de la DGE la autorización para volver de nuevo a operación en las condiciones previstas en el PEP. (Permiso de Explotación Provisional), adicionando las correspondientes al programa de vigilancia de la modificación que ya han sido propuestas por CNA y se están evaluando en el CSN.

Durante las distintas evaluaciones que el CSN ha tenido que ir haciendo para permitir seguir operando Almaraz al 50 %, ha jugado un importante papel el resultado que se iba obteniendo de las distintas inspecciones con corrientes inducidas.

Desde el principio del problema se vio que, si bien un modelo matemático del desgaste podría ser una buena aportación a la hora de decidir, el elemento más fiable para ver que nivel de potencia era aceptable, desde el punto de vista de vibraciones, era la inspección periódica con corrientes inducidas. Al-



F XI Vista de la herramienta especial de mecanizado del manguito térmico.

maraz coincidía fundamentalmente en esta apreciación y debido a ello patrocinó juntamente con Ascó el programa CI-10 desarrollado por **TECNATOM** del que se habla en otro artículo de esta revista.

Por otra parte, la filosofía del CSN no ha sido de permitir un nivel de potencia al cual no se produjeran vibraciones o el desgaste fuese totalmente nulo, tal como parece haber sido la filosofía del SKI (Organismo Regulador Sueco) respecto a Ringhals, quien se ha permitido operar sólo al 40 % de potencia.

El CSN siguiendo más la filosofía de la NRC al considerar el nivel de potencia aceptable, ha permitido un muy pequeño incremento de desgaste, ya que

se considera que no sería efectivo el enorme coste que supone el evitar cualquier nivel de desgaste cuando otras causas de degradación de los tubos no pueden ser evitadas por el momento. Asimismo se considera que una velocidad de desgaste, siempre que sea muy pequeña, es más un problema económico que un problema de seguridad.

Resumiendo los criterios usados para aceptar un período de operación de la central a un nivel de potencia específico, fueron los siguientes:

- En relación con los tubos activos, el tubo más desgastado no debe sufrir desgaste adicional suficiente como para ser posible su rotura bajo condiciones de accidente.

APORTACION ESPAÑOLA A LA SOLUCION DEL PROBLEMA Y A LA VERIFICACION DE LA EFECTIVIDAD DE LA SOLUCION

A pesar de que se han mencionado, a lo largo del escrito, circunstancialmente algunas de las aportaciones españolas, vamos a destacar en este punto lo más importante.

Central Nuclear de Almaraz, desde el mismo momento del conocimiento del incidente del Ringhals ha seguido y colaborado muy de cerca con las compañías afectadas y Westinghouse al objeto de llegar a una pronta y aceptable solución.

Conocida la problemática particular que para este caso presentaban las corrientes inducidas, Almaraz convocó a la compañía propietaria de Ringhals (Suecia), McGuire (USA) y a su través a ZETEC y EPRI respectivamente para que conjuntamente con **TECNATOM** en Madrid discutieran las incertidumbres resultantes al evaluar los datos obtenidos de las inspecciones de las tres centrales.

La reunión, a la que respondieron todos los convocados y a la que se unió voluntariamente un representante de Angra (Brasil), fue un éxito por un doble motivo.

En primer lugar, los expertos en corrientes inducidas llegaron a unos puntos de acuerdo básicos para seguir evaluando con criterios comunes las inspecciones futuras. Por otra parte, fue el inicio de una serie de reuniones a nivel de compañías afectadas de forma más inmediata y que han tenido lugar en Suecia con visita al laboratorio ALVKAR-LEVY (dos reuniones) en Chorlotte (Carolina del Norte, sede de Duke Power) en Madrid (noviembre de 1982) y, finalmente, a finales de agosto de 1983 tendrá lugar una nueva reunión con más amplia participación, a petición de nuevas compañías como TVA (USA), en Barcelona. La C.N. de Ascó participó

muy desde el principio en todas estas reuniones y es quien organiza la próxima de Barcelona.

Esta reunión ha tenido como objeto fundamental el intercambio de experiencias propias de cada participante, información de pruebas, resultados de exámenes, etc., y, en general, llegar a criterios comunes con respecto a los múltiples aspectos que la problemática presentaba, tales como seguridad, garantías, programas, etc.

A su vez, los organismos reguladores de USA (NRC), Suecia (SKI) y España (CSN) han intercambiado información de forma continua.

La efectividad y beneficio de esta colaboración internacional, a la hora de reunir esfuerzos para conseguir objetivos mejores a mejores precios, ha quedado destacado en el DRAFT de Documento Técnico patrocinado por la IAEA (International Atomic Energy Agency) que se cita como ref. 1.^a

Por otra parte, los datos prácticos de operación suministrados por Almaraz a Westinghouse han sido importantes dentro del proceso de investigación de las causas de fenómeno de vibraciones y del diseño de solución.

Los datos se han concretado fundamentalmente en tres aspectos:

- Datos de inspecciones de corrientes inducidas de los tubos de los generadores de vapor.
- Datos de los acelerómetros internos y externos con que se instrumentaron los generadores de vapor de la Unidad 1 en noviembre de 1981.
- Datos conseguidos de los cuatro tubos extraídos (dos del generador de vapor 1 y dos del generador de vapor 2) y analizados en el laboratorio.

Almaraz conjuntamente con la C. N. de Ascó ha patrocinado un programa de investigación CI-10, desarrollado por **TECNATOM** con resultados muy favorables, desde el punto de poder conseguir mejor información del citado, de los tubos y su posterior evaluación.

La puesta a punto para este tipo de defectos de la técnica de corriente inducida es esencial, pensando en el futuro. Esta vía es la única que de forma fehaciente va a demostrar la idoneidad de la modificación para reducir a niveles mínimos aceptables la velocidad, si se da, de desgaste de los tubos.

Por otra parte, cabe destacar que las compañías españolas propietarias de centrales PWR participan como un miembro más «Spanish Utilities» en el llamado SGOG II (Steam Generator Owners Group II), desde su constitución en la reunión de Florida de enero de 1982. La participación española se concreta en 2,5 acciones. Normalmente cada compañía tiene tantas acciones como centrales.

RESUMEN DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LOS GENERADORES DE VAPOR

	POSTERIOR A MODIFICACION	ESCALACION A POTENCIA	DURANTE OPERACION	SEIS MESES PLENIA POTENCIA EFECTIVA	OPERACION ULTERIOR	PERIODICAMENTE DURANTE PARADAS	INSPECCION EN SERVICIO DIEZ AÑOS DE OPERACION
INSPECCION VISUAL	X			X			X
VIGILANCIA VIBRACION TUBOS		X	X (1)				
OSCILACIONES DE PRESION ENTRADA AGUA DE ALIMENTACION		X					
VIGILANCIA PARTES SUELTAS	X (2)	X	X		X		
INSPECCION POR CORRIENTES INDUCIDAS	X			X		X (3)	

(1) Justamente antes de pasar a los 6 meses de operación a plena potencia efectiva.
(2) Posterior a la modificación la vigilancia consiste en la inspección visual de la parte secundaria.
(3) Alcance e intervalos fijados por especificaciones técnicas.

Este grupo que lo organiza y dirige el EPRI investiga de modo analítico y prácticamente en laboratorios propios o contratados, los distintos problemas que se conocen de los generadores de vapor, hasta conocer sus causas y las mejores formas de atajarlos.

Finalmente, merece especial mención que Almaraz tiene contratado, con el INTA, el análisis de los datos de vibraciones que se obtengan de los instrumentos instalados en el generador de vapor 1 y de la Unidad 1, una vez que la central vuelva a operación, ya realizada la implementación de la modificación. De esta forma, Almaraz dispondrá de una tercera parte independiente de análisis de estos datos.

Documento Técnico (DRAFT) núm. 1.322 del International Atomic Energy Agency. Mr. Henricsson (SSPB, Suecia); Mr. Villadóniga (CSN, España), y Mr. Gorosarri (CNA, España).

NUREG-0523. Summary of Operating Experience with Recirculating Steam Generators. January 1979.

NUREG-065. Evaluation of Steam Generator Tube Rupture Events.

REGULATORY GUIDE 1.83. Inservice Inspection of Pressurized Water Reactor Steam Generator Tubes.

REGULATORY GUIDE 1.121. Bases for Plugging Degraded PWR Steam Generator Tubes.

UCRL-53032. Worldwide Assessment of Steam-Generator Problems in Pressurized-Water-Reactor Nuclear Power Plants, september 1981.

NUREG-0886. Steam Generator Tube Experience, February 1982.

NUREG-0966. Safety Evaluation Report related to the D2/D3. Steam Generator Design Modification, march 1983. Includes as Appendix B the Utility Design Review. Panel Evaluation Report D2/D3 Steam Generator Design Modification, january 1983. Amendment No. 21 to Facility Operating License NPF-9 McGuire Nuclear Station, Unit-1, may 1983. Amendment No. 16 to Facility Operating License NPF-12 Virgil C. Summer Nuclear Station Unit 1, may 1983. Westinghouse Preheat Steam Generator D2/D3. Modification Evaluation Package.

