

EXPLOTACION

El fallo de los tubos del Generador de Vapor es, sin duda, uno de los problemas más importantes que afectan a las centrales nucleares de agua presurizada.

Las causas, con independencia del propio diseño del Generador, pueden ser de origen mecánico y químico, siendo estas últimas función del tipo de tratamiento del agua de alimentación del generador y que se resumen a los dos siguientes métodos:

- AVT (todo volátiles)
- Fosfato Congruente

En este estudio se exponen los resultados derivados del tratamiento con fosfato, que es el método seguido en la C. N. «José Cabrera» y en función de los mismos se reflejan una serie de conclusiones.



Adrián GONZALVO LORENTE es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza. Desde 1971 trabaja en la Central Nuclear «José Cabrera» como Jefe de Química y Protección Radiológica.

QUIMICA DEL FOSFATO CONGRUENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR «JOSE CABRERA»

EXPERIENCIAS OPERATIVAS

Adrián GONZALVO

INTRODUCCION

La Central Nuclear «José Cabrera» (ZORITA) consta de un reactor de 510 Mw térmicos y un circuito cerrado de refrigeración. El grupo turbina-generador tiene una potencia eléctrica bruta de 160 Mw.

En junio de 1968 se hace crítico, por primera vez, el reactor y la explotación comercial se inicia a principios de 1969.

Como tratamiento químico del agua de alimentación del Generador de Vapor se ha seguido el del FOSFATO CONGRUENTE. Ello obedece a ser el método recomendado por el fabricante Westinghouse, cuando se inició la operación de la Central, pero introduciéndose ciertas modificaciones, en cuanto a la concentración de fosfato y relación molar Na/PO₄. Sin embargo, a finales de 1974, Westinghouse hizo una nueva recomendación, el cambio al AVT (All-Volatile Treatment), método que no fue seguido por la Central, continuándose con el Fosfato.

En este estudio se analizan los resultados derivados de este tratamiento sobre los tubos del generador. Previamente se exponen las características de este componente, los materiales del circuito secundario, y los otros factores que, en general, condicionan el tipo de tratamiento, como son, calidad química del agua de refrigeración del condensador y del agua de aporte, hermetismo de condensador, capacidad para mantener una continua vigilancia de los parámetros químicos, requerimientos operacionales, etc.

DESCRIPCION DEL GENERADOR DE VAPOR

Se trata de un evaporador vertical de circulación natural, serie 24 de Westinghouse, con las siguientes características operativas al 100 % de carga:

Caudal lado primero primario: 28×10^6 lb/hr.

Temperatura entrada lado primero: 601,8° F.

Temperatura salida lado primero: 555° F.

Presión lado primario: 2.235 psig.

Transferencia calorífica: 1.740×10^6 B.t.u./hr.

Caudal agua alimentación: $2,13 \times 10^6$ lb/hr.

Temperatura agua alimentación: 407,8° F.

Caudal de vapor: $2,13 \times 10^6$ lb/h.

Temperatura del vapor: 498,2° F.

Presión del vapor: 655 psig.

En cuanto a sus tubos en U, hay un total de 2.604 de 0,875 in. O.D. $\times$ 0,050 avg. wall, lo que supone una superficie de transmisión calorífica de 24.834 sq. ft.

La placa tubular es de acero al carbono con un revestimiento de Inconel por el lado primario. Su espesor es de 22 1/4 in.

Las barras antivibratorias son redondas y de acero al carbono.

Finalmente con respecto al sistema de purga, está compuesto por dos tuberías independientes y situadas sobre la placa tubular entre ambas ramas. El caudal máximo de evacuación es del orden de 5 Tns/h.

MATERIALES DEL CIRCUITO SECUNDARIO

Las tuberías y cuerpos de todos los componentes, en general, son de acero al carbono. En cuanto a los tubos de los componentes de intercambio calorífico están constituidos por los siguientes materiales:

- Condensador: CUPRO - NIQUEL (90/10) en la zona de extracción de incondensables de los haces superiores. ADMIRALTY el resto.
- Calentadores: ADMIRALTY los números 1, 2, 3, CUPRO - NIQUEL (90/10) en número 4.
- Recalentadores: CUPRO-NIQUEL.
- Generador de Vapor: INCONEL-600.

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DE LAS AGUAS DE REFRIGERACION DEL CONDENSADOR Y APOORTE

Agua de refrigeración

El análisis de las características físico-químicas del agua de refrigeración es el siguiente:

CATIONES

	° F	meq/l.	ppm.
Calcio	37,3	7,46	149,2
Magnesio	14,15	2,84	34,4
Sodio	2,6	0,52	12,0
Potasio	0,21	0,04	1,7
Σ		10,54	

ANIONES

	° F	meq/l.	ppm.
Bicarbonatos	13	2,6	158,6
Sulfatos	37,16	7,43	356,8
Cloruros	2,61	0,52	18,6
Silicatos	0,14	0,02	2,2
Σ		10,57	

Dureza total (TH)	51,5° F
Alcalinidad (TA)	0° F
Alcalinidad (TAC)	13° F
Anhidrido carbónico libre	1 ppm.
Materia orgánica	4,58 ppm.
Hierro total	0,025 ppm.
Sílice total	2,33 ppm.
Índice de estabilidad	6,71 ppm.
Olor y sabor	0
Color (Escala Pt + Co) ..	5
Turbiedad en SiO ₂	1 ppm.
Materia en suspensión ..	1 ppm.
Residuo total	747 ppm.
Residuo fijo (600° C) ...	611 ppm.
Conductividad	1.052 μ mos/cm.
pH	8,0

Agua de aporte

El agua de aporte proviene del agua de refrigeración antes analizada, tras ser sometida a los siguientes tratamientos:

- Filtración sobre arena
- Cloración

↓
Agua potable

- Descoloración
- Catión fuerte
- Desgasificación
- Anión fuerte
- Lecho mixto

Su calidad química responde al siguiente análisis:

pH	6,6 - 7,2
Conductividad (μ mos/cm.)	0,06 - 0,2 μ mos/cm.
Cloruros	< 10 ppb.
Sodio	< 10 ppb.
Materia en suspensión	< 0,1 ppm.

Respecto al oxígeno, se mantiene normalmente en valores inferiores a 5 ppb., aunque ocasionalmente se alcanzan valores más elevados. Sin embargo, la aportación de oxígeno al circuito secundario a través de esta vía, es despreciable frente a las entradas de aire que puedan producirse a través del condensador y zona de baja presión.

VIGILANCIA DE LOS
PARAMETROS QUIMICOS

Se basa fundamentalmente en análisis de laboratorio, los cuales son continuos durante los arranques, disparos, etc.

Como monitores analíticos en continuo se dispone únicamente de dos conductímetros, uno en condensado y otro en la purga del generador.

Este sistema de vigilancia basado en el factor humano exige un considerable esfuerzo, por cuanto la plantilla está acomodada a circunstancias normales de operación.

En este sentido cabe destacar la recomendación del Steam Generator Owners Groups que hace especial hincapié en la continua vigilancia de los parámetros químicos del Generador de Vapor.

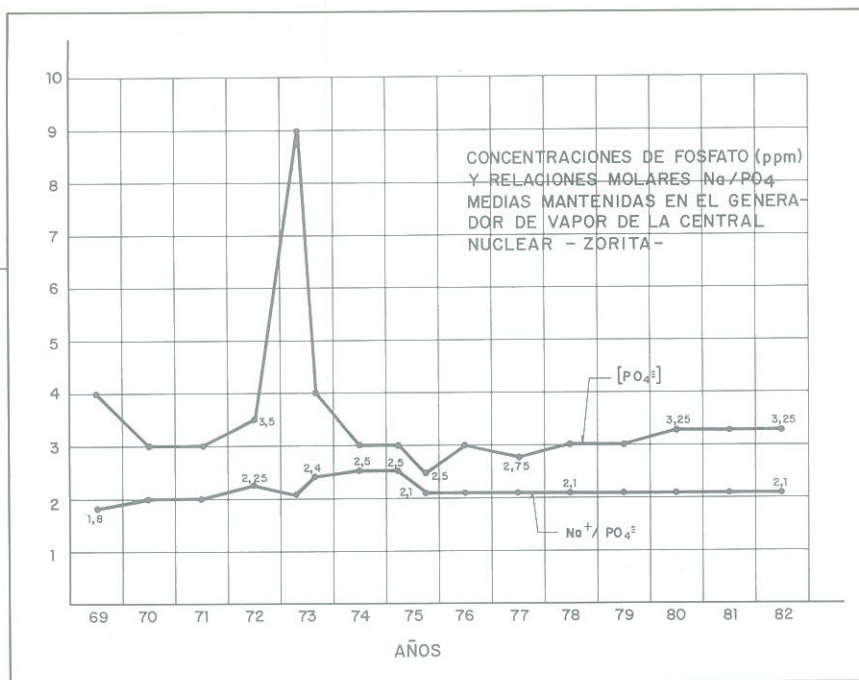
CONCENTRACIONES DE
FOSFATO Y RELACIONES
MOLARES Na/PO₄

Las concentraciones y relaciones molares medias mantenidas han sido las reflejadas en la figura 1.

Como puede observarse, se mantiene una baja concentración de fosfato y relación molar comprendida entre 2 a 2,2. Tan sólo durante los 9 primeros meses de 1973, se elevó la concentración de fosfato hasta 9 ppm., dada la insistente recomendación de Westinghouse. En cuanto al caudal de purga, se viene manteniendo en unas 80 Tns/día, incrementándose en disparos y siempre que las condiciones operativas lo requieran.

ACUMULACION DE
DEPOSITOS SOBRE LA
PLACA TUBULAR

Los depósitos acumulados sobre la placa tubular al actuar el generador



como sistema de concentración, están formados principalmente por óxidos de hierro, cobre, níquel, zinc, etc., resultando de la oxidación del circuito. También aparece dureza como consecuencia de fugas del condensador y por supuesto fosfato y sodio por el propio tratamiento químico.

Las concentraciones porcentuales medias se reflejan en la tabla I.

T. I

Concentraciones porcentuales medias de los depósitos acumulados sobre la placa tubular del generador

Hierro	45
Cobre	20
Zinc	3
Níquel	2
Fosfato	1,8
Sodio	0,6
Calcio	0,3
Silice	0,2

Obviamente, la composición y cantidad varían de un ciclo a otro en función del grado de oxidación del circuito, fugas de condensador, concentración de fosfato y relación molar mantenida, caudal de purga y algunos otros factores.

Las áreas donde tiene lugar esta acumulación, puestas de manifiesto por las pruebas de ECT a 25 KHZ, son debidas a la distribución y velocidad de flujo, observándose una relación directa entre las mismas y grado corrosivo de los tubos. Por ello, se hace imprescindible realizar la limpieza de la placa tubular para atenuar la corrosión.

Como sistema de limpieza se utiliza el chorreado con agua a alta presión (~ 150 kg/cm²). La relación de estas operaciones y las cantidades de depósitos extraídos se exponen en la tabla II.

T. II

Relación de limpiezas efectuadas sobre la placa tubular del generador
Método: chorreado con agua a alta presión

Fecha	Depósitos extraídos, kg.	Fecha	Depósitos extraídos, kg.
Marzo/75	167	Diciembre/79	98,46
Abril/76	40,5	Junio/80	98
Marzo/77	29	Julio/81	143,97
Marzo/78	34	Diciembre/82	129,1
Mayo/79	98,8		

INSPECCIONES POR EDDY-CURRENTS DE LOS TUBOS DEL GENERADOR. DEFECTOS POR ATAQUE QUIMICO

Las pruebas de ECT han puesto de manifiesto que determinados tubos sufren una pérdida material alrededor del mismo y en la zona próxima a la placa tubular.

Este es el tipo de ataque típico (thinning) como consecuencia del tratamiento con fosfato. Ningún otro tipo de defecto de origen químico ha sido observado.

En la tabla III se refleja, para ambas ramas, el porcentaje de tubos con un determinado grado de ataque. La relación expuesta corresponde a los resultados obtenidos en la última inspección por ECT. Un historial de las mismas se expone en la tabla IV.

A lo largo de estas inspecciones han sido taponados el 0,38 % de los tubos con criterios preventivos.

CONCLUSIONES

En función de lo reflejado anteriormente y siguiendo el orden de exposición, se deducen las siguientes conclusiones:

I. El circuito secundario tiene todos los tubos de condensador, calentadores y

y excelente calidad química del agua de aporte.

III. Los parámetros son vigilados en continuo, siempre que las condiciones operativas lo exigen.

IV. Las concentraciones de fosfato y relaciones molares mantenidas hacen, según nuestra opinión, que el adelgazamiento de la pared del tubo por ataque ácido del fosfato sea mínimo y no se genere ataque intercrystalino. A su vez, son suficientes para reaccionar con las pequeñas fugas de agua dura, precipitando los iones calcio y magnesio.

V. De la composición y cantidad de los depósitos acumulados sobre la placa tubular se desprende lo siguiente:

– Una oxidación general del sistema, como consecuencia de las entradas de aire, que si bien no alcanza valores excesivos, sí es conveniente su reducción.

– Excesiva capacidad de concentración del generador; problema en general no resuelto en los generadores de tubos en U.

En este caso, el factor de concentración viene a ser del orden de 250.

– La relación molar Na/PO₄ de los depósitos, presenta un carácter ácido, lo cual produce el mencionado ataque de adelgazamiento de la pared de los tubos.

– Existencia de pequeñas fugas de agua dura del condensador, fundamentalmente por el abocardado de los tubos, tal como se desprende de las inspecciones visuales y ECT sobre los tubos de este componente.

recalentadores, a base de aleaciones de cobre y, por tanto, susceptibles de ser atacadas por la acción del amoníaco, subproducto de la descomposición de la hidracina que se utiliza como reductor del oxígeno. En este sentido, los fabricantes recomiendan actualmente otras aleaciones, como pueden ser el acero inoxidable y titanio, lo que facilitaría la limpieza química de la placa tubular.

II. Dado el diseño del condensador, se hace bastante difícil eliminar las fugas de agua dura y, en especial, las entradas de aire. Esta característica condicionaría el mantenimiento de los parámetros químicos con el tratamiento del AVT, el cual requiere gran hermetismo

T. III

Porcentaje de tubos con un determinado grado de defecto según inspección por ect. de dic./82
Tipo de defecto: Adelgazamiento de la pared del tubo por ataque químico (Thinning)

RAMA CALIENTE		RAMA FRIA	
Porcentaje de defecto	Porcentaje sobre el total de los tubos	Porcentaje de defecto	Porcentaje sobre el total de los tubos
20-29	0,20	20-29	7,42
30-39	0,16	30-39	1,61
40-49	—	40-49	— 0,31
≥ 50	—	≥ 50	—

- Una acumulación de depósitos mayor en la rama fría.

- Una buena, aunque no completa, efectividad de limpieza, mediante el chorreado con agua a alta presión.

La limpieza química sería deseable, pero desafortunadamente no existe un método de entera garantía, ya que la presencia de cobre dificulta el proceso.

VI. Las pruebas de ECT nos ponen de manifiesto que:

- El único defecto de origen químico es el adelgazamiento de la pared del tubo.

No ha sido observado agrietamiento ni deformación plástica del tubo (Denting). El paso al AVT sí podría dar origen a este último tipo de defecto, en particular considerando los materiales y geometría de las placas separadoras de los tubos.

- La cuantía de defectos es muy baja, particularmente en la rama caliente. El porcentaje total en esta rama es del 0,36 y en la fría del 9,34.

- Corroboración de una relación directa entre las zonas de acumulación de depósitos y tubos dañados.

T. IV

Relación de inspecciones por Eddy-Currents al Generador de Vapor

Fecha	PORCENTAJE DE TUBOS INSPECCIONADOS		Frecuencia KHZ
	Rama caliente	Rama fría	
Junio/72	32	—	400
Octubre/73	57	—	400
Marzo/75	47	56	400
Abril 76	56	85	400
Abril/77	53	77	400
Marzo 78	57	76	400
Mayo/79	98	97	400
Junio/80	98	98	400
Junio/81	98	98	multifrecuencia
Diciembre/82	98	98	multifrecuencia

- No haber tenido rotura de tubos a consecuencia de ataque químico. Los tubos taponados han sido por criterios preventivos y suponen un 0,38 %.

REFERENCIAS

1. Nature of solid phase which crystallizes from aqueous solutions of trisodium orthophosphate at high temperatures. Rawich-Shcherbakova (1955).

2. Improved basis for coordinated phosphate-pH control of boiler water. Marcy-Halstead (1964).

3. Steam Generator Chemistry Control. L. Picone (1973).

4. La corrosión en los Generadores de Vapor de centrales nucleares PWR. A. Conzalvo (1976).

5. Steam Generator corrosión. D. Nordmann (1981).

6. Steam Generator Owners Group. EPRI (1982).

ANUNCIARSE EN NUCLEAR ESPAÑA

**se traduce en conseguir
una comunicación directa
con los Sectores Eléctrico
y de Ingeniería españoles
e internacionales**