



Aurelio SALA CANDELA es ingeniero del ICAI. En 1973 se incorpora al proyecto de CN COFRENTES, desarrollando su actividad profesional en el área de Garantía de Calidad, inicialmente con la fabricación de equipos, posteriormente en la construcción de la planta y en la actualidad en ingeniería y compras de equipos y repuestos. Es jefe del proyecto de investigación sobre corrosión intergranular bajo tensión.

PROYECTO DE INVESTIGACION SOBRE CORROSION INTERGRANULAR BAJO TENSION EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

A. SALA CANDELA

INTRODUCCION

El tema de la corrosión que nos ocupa ha sido ya muy discutido en numerosas presentaciones, tanto en las reuniones anuales de la SNE como de otros foros habidos en los últimos cinco años; sin embargo, el traerlo a estas páginas tiene interés como un ejemplo de aplicación práctica del plan de investigación nuclear del sector y de su capacidad de coordinación, que ha permitido confeccionar un programa único a partir de dos individuales e independientes, eliminando las actividades que hubieran sido claramente repetitivas en otro caso.

También en aras de la futura explotabilidad de resultados, que obviamente será una consecuencia de la fiabilidad de los mismos y de la confianza que ofrezcan a los distintos estamentos con poder de decisión, existe un interés grande en el sector en la mayor difusión posible de los trabajos que se están desarrollando. En este sentido, dentro del programa PICI que nos ocupa, se organizó en enero una jornada en la que, en presencia de representantes de la Dirección General de la Energía, OCIDE, Consejo de Seguridad

Nuclear y organizaciones del Sector Eléctrico, se presentaron con detalle los trabajos realizados, los resultados obtenidos y la metodología de trabajo prevista para el resto del proyecto. El Comité de Dirección del Proyecto, organización responsable del mismo y cuyas funciones se explicarán más adelante, pensó que esta presentación era el foro adecuado para escuchar las críticas de todos aquellos que podrán, en el futuro, incidir en la citada explotación de los resultados y modificar o adaptar la metodología inicialmente prevista a aquella vía fruto del consenso entre los representantes.

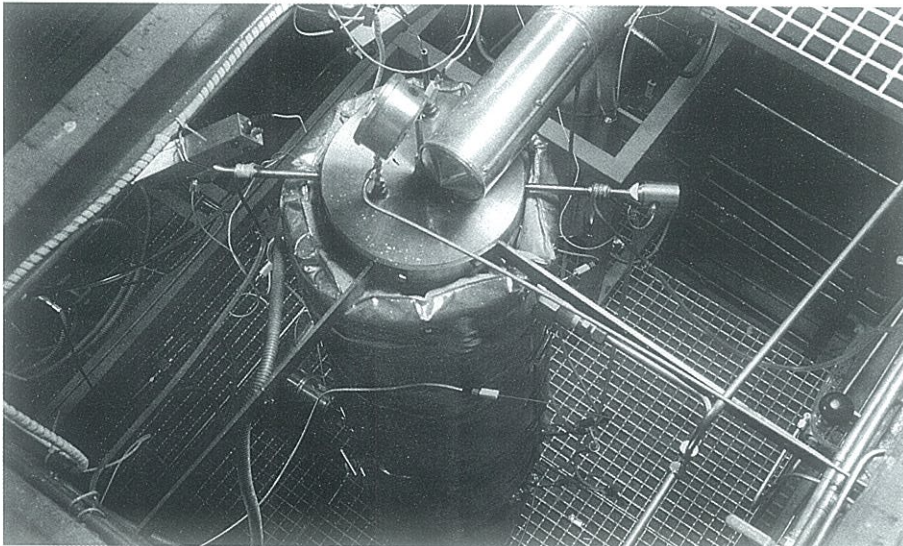
Los comentarios, discusiones, etc. no han supuesto cambios ni en la secuencia ni en las técnicas, por lo que induce a los responsables del proyecto a pensar que si los objetivos se cumplen y se obtienen resultados coherentes, su aplicación a nuestras plantas no producirá dudas en aquellos que no hayan estado directamente involucrados en los trabajos de investigación desarrollados.

ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta el corto espacio asignado a esta presentación y las numerosas publicaciones y artículos sobre la corrosión intergranular bajo tensión en aceros austeníticos con alto contenido en carbono, no parece oportuno detenerse a describir los orígenes de este fenómeno; baste decir que las primeras grietas aparecieron en las centrales BWR americanas en la segunda mitad de la década de los sesenta y que, si bien ha sido concluyentemente aceptado por todos, incluyendo a organismos reguladores como la NRC y otros, que no tienen incidencia en la seguridad, no por ello ha dejado de ser fuente de preocupación por la indisponibilidad de la planta que produce y por los altos costes asociados con su reparación o con la probable sustitución de los materiales fisurados.

Como ejemplo se podrían citar los NUREG-0531, 0313 Revisión 1, 1061 y, finalmente, la revisión 2 del 0313 que sigue siendo objeto de muchas controversias por la industria nuclear ameri-

Proceso de iniciación de grietas en soldaduras de la tubería autoclave de 10"φ, con detectores de emisión acústica instalados.





Equipo de registro de datos de emisión acústica.

cana; las numerosas publicaciones del EPRI con los resultados de las investigaciones realizadas por encargo de BWROG (Boiling Water Reactor Owners Group), del que el Sector Eléctrico español es miembro a través del Grupo de Propietarios Español de reactores de agua en ebullición, y las investigaciones realizadas en otros países como Japón y Alemania orientadas a la búsqueda de materiales no susceptibles a esta corrosión y de técnicas de trabajo que reduzcan la sensibilización del material y mejoren la distribución de tensiones residuales en las soldaduras.

Con estos antecedentes podría ponerse en duda el interés de la investigación española en este campo, pero es evidente que con una potencia nuclear instalada importante, España no puede quedar fuera del programa de investigación internacional en este campo, y, en segundo lugar, no todas las plantas han adoptado las mismas soluciones frente a este fenómeno, por lo que algunas de ellas han sido poco o nada estudiadas por los organismos internacionales, y si existen en las plantas españolas parece lógico que debieran ser analizadas por nuestros investigadores para comprobar su viabilidad o mejorarlas.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

Como se puede ver en otros artículos de esta misma revista, el Sector Eléctrico Español agrupado en UNESA, con el fin de hacer tangibles los proyectos de investigación y conseguir la obtención de resultados finales que aporten utilidad al propio sector, ha establecido

do una estructura básica y unas directrices a las que deben ceñirse los distintos proyectos de investigación amparados, patrocinados o financiados por el Sector.

En lo que concierne al proyecto que nos ocupa, estas directrices se materializan en una organización y un manual de organización y funcionamiento en el que se establecen las pautas que rigen todas y cada una de las actividades del proyecto.

Es evidente que la figura más importante de este organigrama es la del propio investigador, ya sea considerado a nivel individual o de la organización a la que pertenece; sin embargo, en la figura del Comité de Dirección recae la responsabilidad de marcar los límites en los que deba moverse la investigación y elegir, entre las distintas opciones que se presenten, aquella vía que permita llegar a resultados que ofrezcan mayor interés para el sector y la industria en general. A este comité pertenece un representante de cada una de las organizaciones que participan en el proyecto, investigadores, UNESA y centrales involucradas.

Finalmente, el Jefe de proyecto es el vínculo de unión entre todos los participantes y quien debe velar, en el día a día, por el cumplimiento de las directrices que emanan del Comité de Dirección, resolviendo sobre la marcha las dificultades que se presenten y que pudieran impactar en el desarrollo del proyecto hasta su respaldo por el Comité de Dirección.

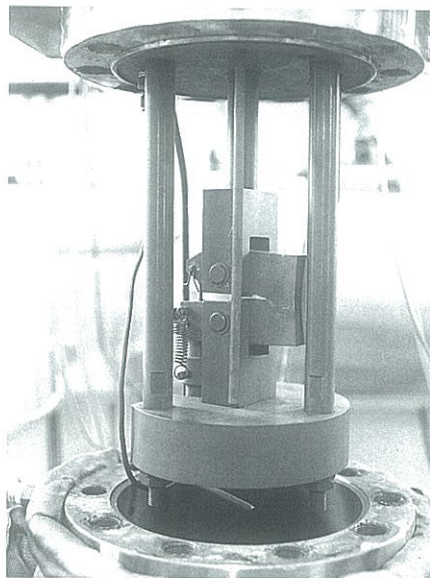
El proyecto PICI se estructura en dos fases muy definidas, cuyo desarrollo es independiente entre sí y cuyo alcance técnico describiremos seguidamente.

En cuanto a programa, la fase I realizada por ENSA ya ha finalizado y a la fase II encomendada al CIEMAT se le ha previsto una duración de tres años, esperándose quede concluida a últimos del próximo 1988. Los trabajos se desarrollan normalmente y, según se deduce de los correspondientes informes, que periódicamente se emiten, es de prever su finalización dentro del plazo previsto.

El presupuesto de este proyecto, valorado en pesetas de 1986, es de 124.500.000, de las que hasta la fecha se han realizado ya 52 millones, cantidad que es concordante con las previsiones iniciales en inversiones y gastos de personal y equipos.

DESCRIPCION TECNICA

El proyecto PICI está formado por dos fases claramente diferenciadas entre sí; la primera, ya finalizada, consistía en la determinación experimental de las tensiones reales en una planta en operación y sus oscilaciones durante



Ensayo de probetas compactas con vistas de la autoclave y LVDT.

los arranques y paradas, así como las temperaturas alcanzadas en el material y sus oscilaciones. La segunda fase, actualmente en proceso, estudia el comportamiento de los materiales y la velocidad de crecimiento de grietas en condiciones de química convencional y química del hidrógeno. Por último, se analizan los parámetros determinantes para la detección por emisión acústica de la energía liberada durante la iniciación y crecimiento de las grietas, que permita disponer de una técnica on-line para la vigilancia de aquellas zonas que pudieran considerarse más sensibles a la fisuración.

FASE I

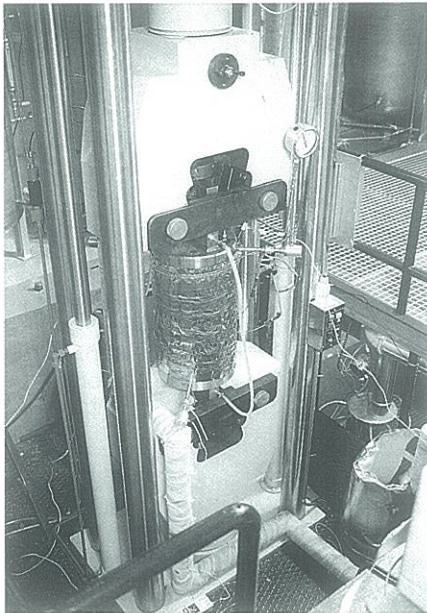
La fase primera del proyecto pretendía verificar el grado de conservadurismo utilizado en el análisis original de tensiones, la identificación y cuantificación de las sollicitaciones reales en arranques y paradas, identificar las posibles excitaciones dinámicas en el rango de muy bajas frecuencias y determinar las posibles derivas a largo plazo sobre el equipo instalado.

Esta fase del proyecto es realmente un programa de extensometría que se ha realizado en Santa María de Garofía, con la colaboración de ENSA, y cuyas medidas se orientaron primordialmente a comprobar si el estado tensional utilizado en el análisis del sistema es válido para la evaluación por mecánica de fractura de una sección fisurada. Para ello se identificaron dos secciones del sistema de recirculación y se instrumentaron con tres galgas extensométricas orientadas longitudinalmente, una circunferencialmente y dos termopares para determinar gradientes térmicos. El sistema de adquisición de

datos disponía de registradores gráficos, magnéticos y de un osciloscopio, y fue modificado posteriormente para medir excitaciones dinámicas de muy baja frecuencia, de tal forma que permitiera un gran aumento del tiempo de muestreo de la señal.

Las conclusiones de esta fase, después de un período de varios meses de toma de datos, son las siguientes:

- En régimen estacionario, las tensiones calculadas son conservadoras frente a las reales medidas y a partir del 90 % de la potencia nominal aparece un dinamismo en las señales captadas de amplitud despreciable y frecuencias discretas, entre 45 y 127 Hz.
- Durante los arranques, la velocidad de deformación del material medida es superior en un orden de magnitud a la utilizada en los ensayos de velocidad de deformación constante



Ensayo de propagación de grietas en tubería 10"φ con vistas de la máquina de tracción de 100 Tm y de los detectores de emisión acústica.

(CERT) utilizados para demostrar la eficacia de la inyección de hidrógeno. En las paradas el efecto es mucho más atenuado.

- Los gradientes térmicos a lo largo de la línea son despreciables.

Finalmente podemos concluir que esta fase del proyecto ha permitido desarrollar una tecnología de instrumentación de sistemas y de manejo e interpretación de señales multiplexadas y ha confirmado que los análisis de tensiones realizados son conservadores y permiten su utilización en evaluaciones por mecánica de fractura; que los ciclos de arranque-parada suponen condiciones evaluadas conservadoramente y que las condiciones dinámicas de

muy baja frecuencia son despreciables.

FASE II

La segunda fase del proyecto, actualmente en proceso en las instalaciones del Instituto de Tecnología Nuclear del CIEMAT, tiene como objetivos conocer el comportamiento de soldaduras agrietadas y reparadas por Weld-overlay en condiciones normales, simuladas, de operación; conocer el comportamiento del acero AISI 304 en condiciones de química alternativa, obtener datos de velocidad de crecimiento de grietas en condiciones de química convencional y química simulada utilizando probetas de mecánica de fractura y, finalmente, desarrollar la técnica de emisión acústica para la detección y seguimiento de las grietas.

Para cubrir los objetivos de esta fase se han establecido las siguientes etapas:

- Ensayos a tamaño real, cuyo objetivo es conocer la velocidad de propagación de las grietas intergranulares de corrosión-tensión en las zonas sensibilizadas por soldadura de materiales análogos a los instalados en las plantas, evaluando las mejoras aportadas por el weld-overlay o la utilización de la química del hidrógeno.

Para esta etapa se dispone de una tubería de diez pulgadas de diámetro de acero tipo AISI 304, con un contenido alto en carbono (mayor de 0,50 %), en la que se han practicado tres soldaduras con un aporte térmico de 80 kJ/inch. aproximadamente. Esta tubería se ha sometido a un proceso de generación de grietas en las tres soldaduras, utilizando dispositivos para creación artificial de resquicios y a la propia tubería como autoclave conectada a un circuito de alta presión-alta temperatura, siguiendo un procedimiento similar al desarrollado por la empresa japonesa IHI y puesto a punto en el programa concertado 52/81 entre Cinsa y JEN.

Una vez iniciadas las grietas, la tubería se dividirá en tres carretes que, cerrados con bridas y conectados al circuito de tratamiento de agua, se introducirán en una máquina de tracción de 100 t para someterlos al ensayo de propagación de grietas. El primero con la soldadura agrietada sin reparar y en condiciones de química estacionaria convencional con 200 ppb de oxígeno. El segundo con soldadura agrietada sin reparar y en condiciones de química alternativa, es decir, con un contenido bajo en oxígeno obtenido en los ensayos SSRT. El tercero y último se someterá a un tratamiento

de reparación por weld-overlay y se ensayará en condiciones de química estacionaria convencional con 200 ppb de oxígeno.

Ensayará en condiciones de química estacionaria convencional con 200 ppb de oxígeno.

Las condiciones de ensayo son agua a 80 kg/cm² y 288 °C, con una conductividad menor que 10⁻⁶ Ω⁻¹ cm⁻¹, un contenido en cloruros inferior a 100 ppb y de 10 ppb en oxígeno, un pH entre 5 y 7 y un caudal de recirculación de 10 litros por hora. Una tensión axial constante de 5.000 psi y otra igual oscilante con un tiempo de subida de 1,5 horas, 5 horas de permanencia a tensión máxima y un tiempo de bajada de 0,5 horas.

- Ensayos de corrosión a velocidad de deformación lenta (SSRT), con el fin de obtener información sobre la influencia de la reducción del contenido en oxígeno del agua en la iniciación de grietas, así como de la influencia por la presencia del hidrógeno.

Para esta fase se utilizarán probetas de tensión uniaxial según ASTM E8-82 previamente sensibilizadas a 625 °C durante dos horas y posteriormente enfriadas al aire con una velocidad de deformación en cabeza de 10⁻⁶ cm/s.

Los ensayos se realizarán en autoclave y se analizarán concentraciones de 200 ppb de oxígeno, 200 ppb de oxígeno más 100 ppb de hidrógeno, 200 ppb de oxígeno y 20 ppb de oxígeno más 125 ppb de hidrógeno. Se realizarán medidas de potencial electroquímico del acero para establecer una relación entre el potencial de corrosión y el tiempo de rotura en los SSRT, así como el tipo de fractura.

- Ensayos de velocidad de crecimiento de grietas, utilizando probetas compactas (CT) para determinar el beneficio de la reducción de oxígeno sobre la velocidad de crecimiento de grietas y obtener información sobre posibles interacciones grieta intergranular y material de aporte de la soldadura. Los ensayos se realizarán en autoclave y con tres factores distintos (15, 20 y 25 Ksi √ in) de intensidad de tensiones K_I.
- Estudio del comportamiento acústico del acero inoxidable AISI 304 mediante probetas específicas e instrumentando el ensayo a tamaño real, para identificar los parámetros que caracterizan la liberación de energía en forma acústica y su correlación con la propagación de grietas intergranulares de corrosión bajo tensión.

Los resultados de este estudio se contrastan mediante inspecciones periódicas por ultrasonidos.