

Verificación de defectos característicos en tubos de acero inoxidable AISI 316L ASTM A-249 correspondientes al condensador principal SD11/12/13 W01/02 de la Central Nuclear Atucha I.

Laura B. Cazal, Miguel A. Cazal, Jorge M. Haddad, Rubén G. Heer, Luis A. Margarittini, Martín J. Molina, Jorge A. Méndez, José D. Scopelliti.
Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NASA) - Gcia. Servicios Para Centrales (GSPC)
Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) - Unidad de Actividad Ensayos No Destructivos y Estructurales (ENDE)
Cno. A La Cruz s/n (5856) Embalse - Pcia. De Córdoba - Argentina
Tel.: 54 3571 486007 - Fax: 54 3571 485108 - email: mcazal@na-sa.com.ar

1.- Resumen

En este trabajo técnico se describe la metodología de ensayo por corrientes inducidas (CI) aplicada en inspecciones de servicio durante las Paradas Programadas de la Central Nuclear Atucha I, en los tubos del condensador principal. Detección de las discontinuidades producidas en los tubos de Acero Inoxidable con costura durante la operación y su posterior caracterización por Ensayos no Destructivos complementarios (Inspección Visual (IV), Líquidos Penetrantes (LP) y Radiografía Industrial (RI)).

Para su comprobación fue necesario identificar una cantidad de tubos con defectos por la técnica de Corrientes Inducidas y su posterior extracción del condensador (Caja, Mazo, Fila, Columna). Se procedió a marcar las zonas del tubo con defectos, luego se cortó en tramos y se realizaron END complementarios verificando lo detectado en la inspección en servicio.

Para caracterizar la defectología encontrada, se realizaron Ensayos Destructivos en las zonas identificadas los cuales comprenden: cortes mecánicos, pulidos metalográficos, microscopía y fotografía macroscópica.

Como resultado de este trabajo técnico se demuestra el origen y tipo de defectos producidos en este material dentro del condensador en operación, la verificación de resultados informado por el ensayo de corrientes inducidas en inspección en servicio y la posible predisposición de la defectología en la zona de soldadura y la zona afectada por el calor (ZAC) de los tubos.

2.- Introducción

Como consecuencia de realizarse las Paradas Programadas de los años 2008, 2009 y 2011 de la Central Nuclear Atucha I y como resultado de la inspección del condensador principal de turbina, SD11/12/13 W01/02, empleando la técnica de corrientes inducidas, se decidió realizar un estudio más detallado de la defectología presente en los tubos.

La inspección de la totalidad de los tubos durante las tres paradas programadas permitió evaluar el estado general de los mismos en cuanto a la integridad de espesor de pared y distribución de indicaciones en su longitud. Se procedió a la extracción de 19 tubos con indicaciones puntuales mayores al 90% de disminución de espesor de pared y con fases cercanas a un agujero pasante del patrón de calibración. Estos tubos tenían indicaciones,

por corrientes inducidas, de comportamiento tanto internas, como externas, con lo cual para caracterizar dichas indicaciones se efectuó una valoración comparativa con otros métodos de END.

3.- Desarrollo

a) Identificación del lote de tubos y ensayos aplicado

A los 19 tubos extraídos se le repitió la inspección por corrientes inducidas con el fin de acotar y marcar la zona del defecto. Luego se cortaron tramos de alrededor de 800 mm. cada uno procediéndose a aplicar los ensayos de líquidos penetrantes y radiografía industrial en forma progresiva y de acuerdo a una planificación sistemática, Figuras 6, 7 y 8.

Previamente se les realizó una limpieza exhaustiva para quitar todo depósito y/o acumulación de óxidos que pudiesen enmascarar las discontinuidades.

b) Se seleccionaron 6 de los 19 tubos los cuales se cortaron en tramos de 60 mm para luego seccionarlos nuevamente en forma longitudinal con respecto al eje del tubo, obteniendo 2 muestras. Una de ellas contiene el cordón de soldadura y las discontinuidades para su estudio.

Se limpió la cara interna de los tubos y se pudo observar a simple vista un conjunto de indicaciones puntuales tipo “pitting”, junto con la indicación de interés. (Figura 1).



Figura 1. Tubo 31/7. Defectología en pared interna del tubo

Luego se realizó un desbaste en la parte lateral de la muestra hasta lograr observar el defecto de interés. (Figura 2).

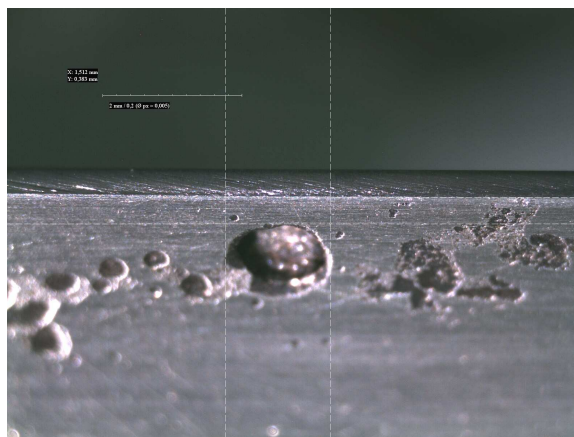


Figura 2. Tubo 31/7. Vista de pared interna y lateral con microscopio con lente 2x.

3.1 - Experiencias Realizadas

3.1.1 - Características de los tubos.

Material:	Acero inoxidable AISI 316L.
Diámetro externo:	23 mm.
Espesor de pared:	0,7 mm. (22 BWG).
Longitud:	8020 mm.
Configuración:	Rectos horizontales con costura.

3.1.2 - Características del condensador.

Configuración:	Seis semicajas de doble paso.
Lado primario:	Agua de río.
Lado secundario:	Agua desmineralizada.
Cantidad de placas tubo:	2.
Cantidad de placas soporte:	9.

3.1.3 - Ensayo por Corrientes Inducidas.

Para realizar el ensayo se utilizó un equipo de CI multifrecuencia ZETEC-Modelo MIZ 28 y se emplearon sondas del tipo circunferencial diferencial interna.

El patrón de calibración, especificado según código ASME Sección V Art. 8, de características idénticas a los tubos del condensador con defectos artificiales detallado en la tabla 1.

Tabla 1. Defectos de patrón de calibración

Cantidad	Descripción	Dimensiones	% de disminución del espesor
1	Ranura interna	Circunf. Concéntrica	20
4	Aguj. Fondo plano externo	Ø 5 mm	23
1	Aguj. Fondo plano externo	Ø 5 mm	46
1	Aguj. Fondo plano externo	Ø 2,7 mm	58
4	Agujero pasante	Ø 0,83 mm	100
1	Agujero pasante	Ø 1,7 mm	100
1	Placa soporte	-	-

Las frecuencias utilizadas para el ensayo fueron: 150, 300, 450 y 600 Khz. El ensayo fue realizado empleando las cuatro frecuencias de ensayo multiplexadas en modo diferencial y absoluto.

De acuerdo al procedimiento de adquisición de datos se calibró la falla del 100% de disminución de pared (Agujero pasante de Ø 1,7 mm) a 40° de fase para todas las frecuencias y se asignó una amplitud de 4 voltios pico a pico al canal de 300 Khz. en la señal del 23% externa. El voltaje de los demás canales fueron referenciados a este canal. Las frecuencias de evaluación utilizadas fueron 600 Khz. para indicaciones externas y 450 Khz. para internas.

3.1.3 - Ensayos por Líquidos Penetrantes.

La técnica de ensayo por LP utilizada es la recomendada en ASTM E-165 de tipo II C (Coloreado - Lavable con solvente).

El examen por líquidos penetrantes se utiliza para verificar si las discontinuidades son internas, externas ó pasantes.

3.1.4 - Ensayos por Radiografía Industrial (Rayos X).

Para realizar el ensayo radiográfico se trabajó con el equipo Baltospot modelo B8140B autorectificable de 140 Kv y película Structurix D3 (Clase 1 ASTM) con pantallas de Pb. Para el control de calidad de imagen se utilizó un ICI de hilo ASTM-E747 set 1A ubicado lado fuente. Los cálculos de exposición fueron realizados para una densidad radiográfica igual a 2 y se utilizó la técnica doble pared doble imagen, según los requerimientos del código ASME V Art. 2. Los parámetros de ensayo se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del ensayo radiográfico

Distancia foco - film	70 cm
Potencial	140 Kv
Corriente	5 mA
Tiempo de exposición	2 minutos

El examen radiográfico en este trabajo, permite corroborar la ubicación, forma y tipo de defecto en el material.

3.1.5 - Inspección Visual con Microscopio.

La inspección visual de los tramos cortados se realizó teniendo en cuenta la ubicación de los defectos por medio de los ensayos anteriores.

El equipamiento utilizado para este ensayo fue un microscopio con el siguiente sistema óptico de medición: Comparador Digital Mitutoyo Mod. ID-C112 B + Cámara color Mod. UI 145 X-C +Software METRIC v. 8.05 Plus e IDS U EYE v. 2.4005.

Este examen nos permitió observar el origen de los defectos caracterizados por los END comprobando si el inicio es Interno o Externo.

3.2 - Resultados obtenidos de los ensayos realizados

3.2.1 - Señales de Corrientes Inducidas.

Los tubos seleccionados para este estudio fueron aquellos que presentaban señales de corrientes inducidas de discontinuidades mayores al 90% de disminución de pared (como referencia se muestra en la figura 5 las correspondientes al tubo fila 31 columna 7).

Para la evaluación comparativa de los datos de C. I. se trazaron curvas de calibración donde se grafican la disminución porcentual del espesor de pared en función de la fase de las señales debidas a los defectos simulados en el patrón de calibración. Esta curva se conoce como curva de calibración ángulo - profundidad porcentual y se construye con

los defectos del 100 %, 58% y del 23%. En la figura siguiente se observan las curvas correspondientes a las frecuencias de evaluación.

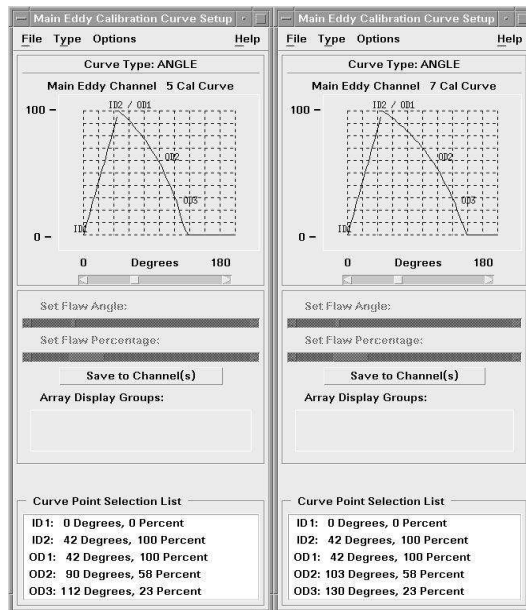


Figura 3. Curvas de calibración. Se grafica en ordenadas la disminución porcentual del espesor entre 0 y 100 y en abscisas el ángulo de fase que varía de 0° a 180°.

El ensayo de corrientes inducidas en 4 de los tubos analizados nos muestran las señales de indicaciones internas y externas y su comparación con las del tubo de calibración. (Figuras 4 y 5).

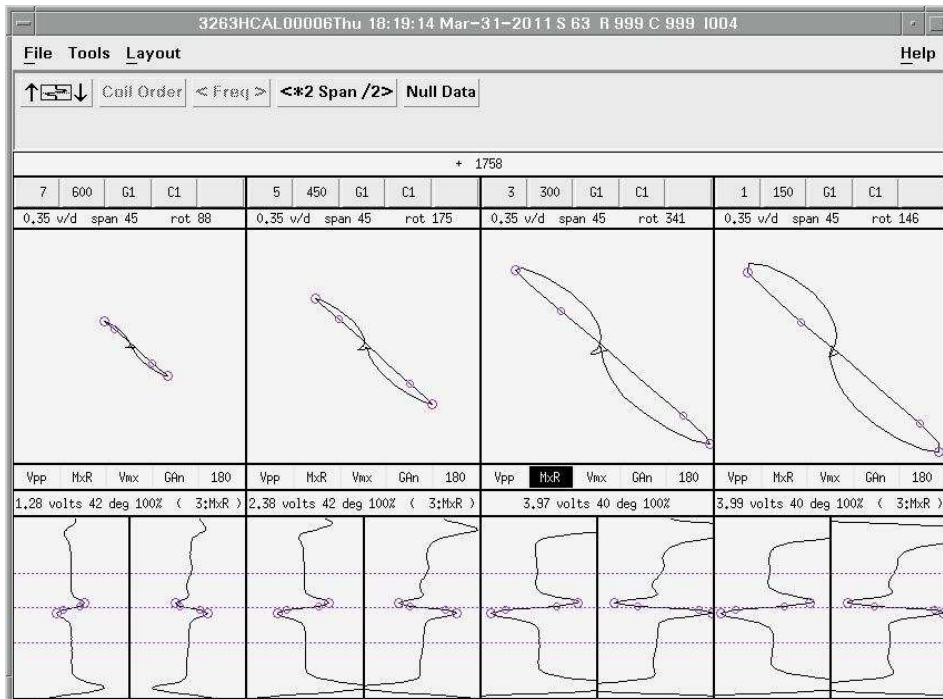


Figura 4. Señales de CI del patrón del 100 %.

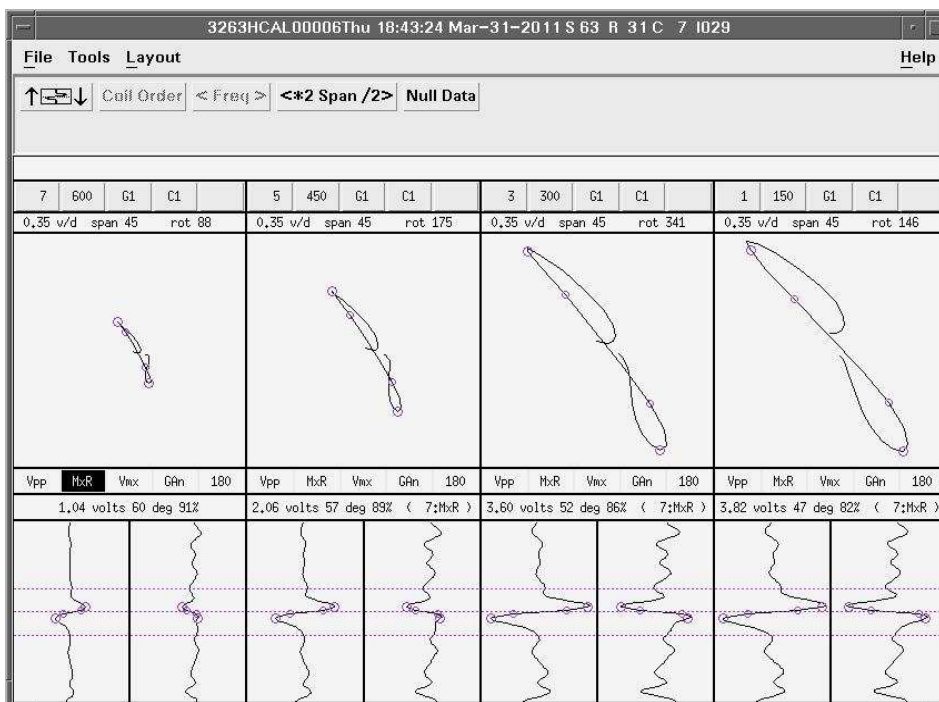


Figura 5. Señal de CI del tubo fila 31 columna 7. Señal que se comporta como externa del 91% de espesor de pared.

Datos históricos de tubos con señales: A modo de ejemplo se detalla la cantidad y distribución por semicaja de tubos con este tipo de indicaciones que fueron taponados durante las paradas programadas de los años 2008, 2009 y 2011:

SEMICAJA	CANTIDAD DE TUBOS	TUBOS TAPONADOS	% DE TUBOS
SD11-W01	9.268	3	0,032 %
SD11-W02	9.268	11	0,118 %
SD12-W01	9.268	12	0,129 %
SD12-W02	9.268	10	0,107 %
SD13-W01	9.268	18	0,194 %
SD13-W02	9.268	16	0,172 %

3.2.2 - Indicaciones por Líquidos Penetrantes.

Se procedió a realizar un ensayo por líquidos penetrantes a los 19 tubos con el fin de confirmar si los defectos reportados eran externos, internos o pasantes. Se realizaron 2 ensayos independientes en la zona identificada por corrientes inducidas:

El primero un ensayo normal donde se aplicó tinta a granel desde el lado exterior del tubo y luego de aplicar el tiempo de penetración correspondiente por norma se continuó con los pasos de la técnica hasta revelar los resultados, no encontrándose indicaciones relevantes desde la pared externa del tubo.

El segundo fue un ensayo donde se aplicó la tinta por el interior del tubo y se aplicó el revelador por el lado exterior del tubo. Por este método se pudo corroborar que de los 19 tubos, 12 presentaron indicaciones pasantes, pudiendo ser revelados desde la pared externa del tubo, cabe acotar que en algunos casos se observaron más de una indicación

por tubo. Se observa en la figura 6 las indicaciones correspondientes al tubo fila 31 columna 7.



Figura 6. Indicación pasante por LP del tubo fila 31 columna 7.

3.2.3 - Indicaciones por Radiografía Industrial.

Se aplicó la técnica de radiografía industrial por rayos X a los 6 tubos con las indicaciones más significativas obtenidas por líquidos penetrantes y / o corrientes inducidas.

Procesadas las placas radiográficas se evaluaron las mismas según los estándares de radiografía ASTM - E390, verificándose la presencia de indicaciones adyacentes a la costura longitudinal del tubo, como así también en el material base del mismo, del tipo poros en canal y esféricos coincidentes con algunas de las indicaciones observadas por CI y LP.

Se observa en las figuras 7 y 8 la imagen de la radiografía correspondiente al tubo fila 31 columna 7 y una ampliación de dicha imagen indicando el defecto de interés respectivamente.

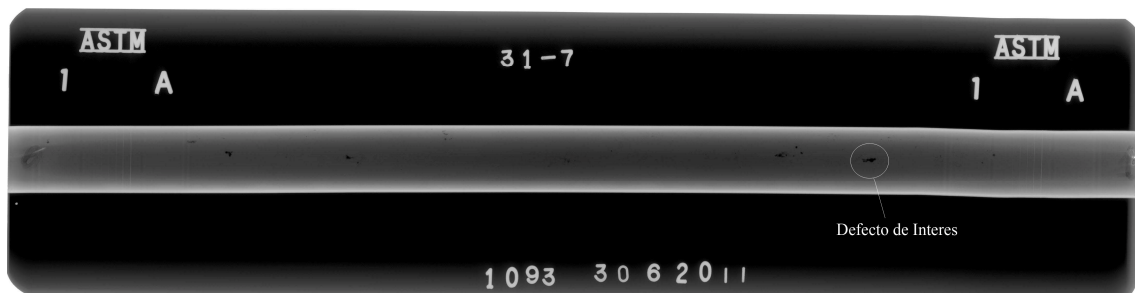


Figura 7. Indicaciones por RI del tubo fila 31 columna 7.

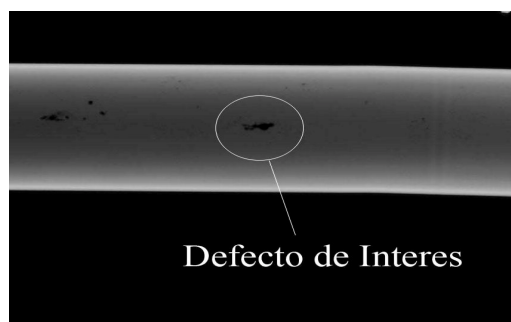


Figura 8. Imagen ampliada de la RI del tubo fila 31 columna 7.

3.2.3 - Inspección Visual con Microscopio.

La primera inspección visual se realizó en la parte exterior de los tubos sin cortar, no observándose indicaciones de relevancia alguna.

Se procedió a cortar transversalmente el tramo en estudio en trozos de 50 mm y éstos a su vez en forma longitudinal para la observación de la superficie interna en los 6 tubos seleccionados (Figura 1 - tubo fila 31 columna 7).

Medición por Metalografía de la profundidad de los defectos utilizando el sistema óptico de medición.

Se procedió a observar detenidamente con el sistema óptico de medición. Se usaron las lentes con aumentos de 6x y 2x. Como resultado se observó que la mayoría de los defectos estaban presentes sobre el cordón de soldadura y/o la zona afectada por el calor en el proceso de soldadura. También la superficie interna de los tubos presentaba concavidades y puntos de picado que no atravesaban la pared del tubo algunos coincidentes con los otros ensayos de CI, LP y RI.

Se seleccionaron los 2 tubos más significativos a los cuales se procedió a desbastar hasta la zona de los defectos con el fin de observar detenidamente con el sistema óptico de medición y medir en forma precisa dichos defectos. Se adjuntan las imágenes de los resultados en las figuras 9, 10 y 11 correspondientes a la muestra del tubo fila 31 columna 7.

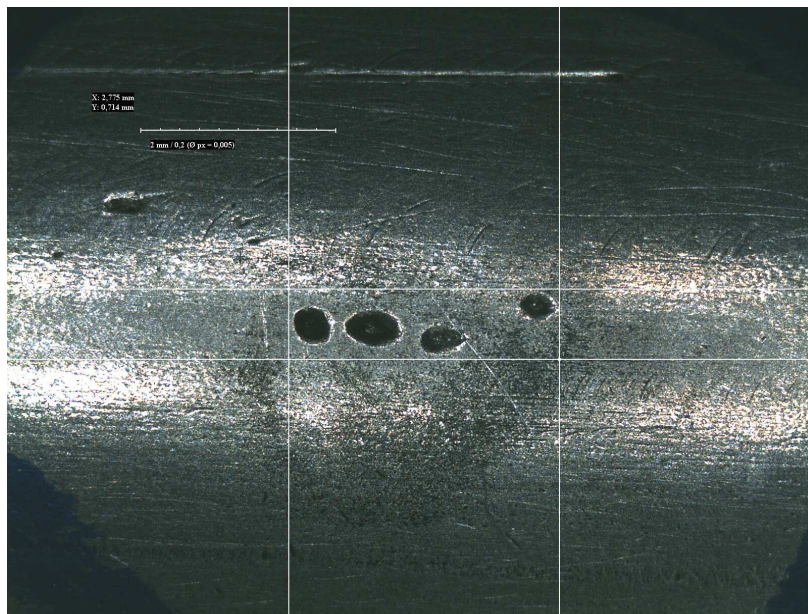


Figura 9. Vista lado externo con lente 2x de la zona de interés del tubo fila 31 columna 7.

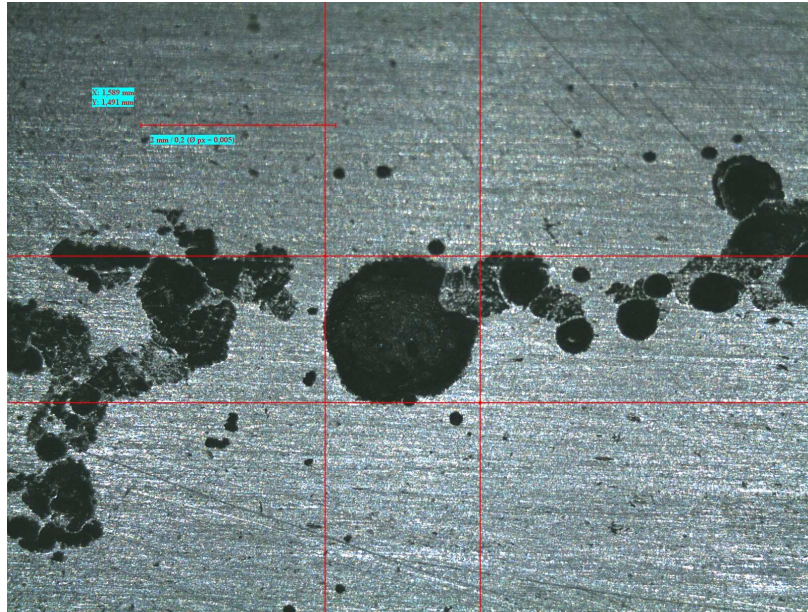


Figura 10. Vista lado interno con lente 2x de la zona de interés del tubo fila 31 columna 7.



Figura 11. Vista de defecto pasante con lente 2x del tubo fila 31 columna 7 luego del pulido metalográfico.

4.- Conclusiones y Recomendaciones

Se comprobó la sensibilidad del ensayo por corrientes inducidas en tubos de acero inoxidable 316L para la detección de discontinuidades tipo pitting.

Se pudo caracterizar el tipo y forma de los defectos por medio de las técnicas superficiales como líquidos penetrantes e inspección visual con microscopio y volumétrica de radiografía industrial.

Se verificó que el origen e inicio de los defectos es en la superficie interna del tubo (lado agua de río) y en su mayoría distribuidos en el cordón de soldadura y la ZAC.

No se encontraron presencia de discontinuidades con origen externo (lado secundario), tipo erosión por vapor, ataque químico o corrosión generalizada, en los tubos del condensador de la CNA I.

Se pudo verificar la correcta selección de los parámetros técnicos usados en el análisis de corrientes inducidas, como frecuencia, fase y amplitud, con el objeto de evaluar el comportamiento de las señales reales de los defectos internos y su comparación con los del patrón de calibración.

Se recomienda profundizar el estudio metalúrgico en cuanto a un análisis de composición del material en las tres zonas características del tubo: Metal base, cordón de soldadura y ZAC con el propósito de determinar si existe algún cambio de estructura en el material, inducido por el proceso de soldadura, que influya en el origen de los defectos.

5.- Agradecimientos

A todo el personal de la División Inspección de Componentes (D.I.C.) y la División Inspección Ensayos Embalse (D.I.E.E.) por su predisposición y colaboración en las diferentes etapas de este proyecto.

6.- Referencias

Para el desarrollo de este Trabajo Técnico se utilizaron como referencia los siguientes documentos:

1. D.I.E.E., “Procedimiento de examinación con Líquidos Penetrantes”, SPC-PR-104-102. Rev. 2. Año 2008.
2. D.I.E.E., “Procedimiento de examinación con Radiografía Industrial”, SPC-PR-104-103. Rev. 2. Año 2009.
3. D.I.C., “Procedimiento de adquisición de datos de corrientes inducidas para el condensador principal de Turbina de la CNA I”, SPC-PR-122-180. Rev. 1. Año 1999.
4. D.I.C., “Procedimiento de evaluación de señales de corrientes inducidas para el condensador principal de Turbina de la CNA I”, SPC-PR-122-181. Rev. 3. Año 2009.
5. D.I.C., “Procedimiento específico para el entrenamiento, calificación y certificación del personal partícipe en las inspecciones por corrientes inducidas de generadores de vapor e intercambiadores de calor”, SPC-PR-122-315. Rev. 0. Año 2003.
6. D.I.C., “Instrucción para Gestión de las Hojas Técnicas de Adquisición (HTA) y de Evaluación (HTE) de datos de Corrientes Inducidas”, SPC-IN-122-092. Rev. 0. Año 2007.

7. D.I.C., Informes de Inspección D.I.C. N° 004/08, año 2008. D.I.C. N° 018/09, año 2009 y D.I.C. N° 011/11, año 2011.
8. A. Obrutsky, J. Scopelliti, J. Méndez y D. Acosta, “Análisis de Señales de Corrientes Inducidas Producidas por Daños por Corrosión en Tubos de Acero Inoxidable AISI 304 de Intercambiadores de Refrigeración de Motores Diesel”, Trabajo Técnico Congreso Regional de END y Estructurales CORENDE. (ENDE-INEND-CNEA 1997). Mendoza 1997.
9. A. Obrutsky, D. Acosta, J. Scopelliti, J. Méndez y P. Penas, “Caracterización de discontinuidades reales en un tubo de Acero Inoxidable AISI 304L utilizando Corrientes Inducidas, Radiografía Industrial y Análisis Metalográfico”, Trabajo Técnico IV Conferencia Panamericana de END. (ENDE-INEND-CNEA 2007). Bs. As. 2007.