

INSPECCION DE REACTOR DE METANOL R-0201 MEDIANTE REMOTE FIELD TEST

Joaquín Lozano, Verónica Domínguez, Luis Alfredo Saavedra, Jorge Daniel Bustos
Complejo Industrial Plaza Huincul, RepsolYPF

Sinopsis

Este trabajo describe la experiencia obtenida en la inspección realizada al Reactor de Metanol R-0201 utilizando RFT (Remote Field Test) e IRIS (Internal Rotating Inspection System) como técnicas de inspección, durante la parada programada de la Planta de Metanol del CIPH (Complejo Industrial Plaza Huincul) llevada a cabo en agosto de 2005. El Reactor R-0201 cuenta con 5449 tubos de acero inoxidable dúplex. A partir del estudio RBI (Inspección Basada en Riesgo) realizado previamente, se determinó que el equipo posee un riesgo medio-alto, debido, en parte, a la posible susceptibilidad de los tubos al daño por corrosión bajo tensiones. Es por esto, que se programó la inspección de los mismos. Las técnicas empleadas fueron RFT e IRIS. Los resultados de los ensayos mostraban una importante cantidad de tubos con pérdidas de espesor que alcanzaban en algunos casos el 100%. Para corroborar dicho diagnóstico se extrajeron dos tubos para su inspección, pero éstos no mostraron evidencia de daño, contradiciendo el diagnóstico obtenido con el RFT. A partir del análisis de los tubos extraídos, se busca establecer una relación entre la señal obtenida por RFT y posibles cambios producidos en el material a nivel microestructural y en sus propiedades mecánicas.

Introducción

Durante el mes de agosto de 2005 se llevó a cabo una parada general de la Planta de Metanol, del Complejo Industrial Plaza Huincul. La unidad se encontraba en operación continua desde mediados de 2002, habiendo sido su puesta en marcha hacia fines del año 2001. Se trata de una planta de metanol, que produce unas 1210 Tn./día., y es de origen alemán. El alcance de la parada incluyó tareas de mantenimiento e inspección. Asimismo, se realizó el cambio de catalizadores tanto en el horno reformador como en el reactor de síntesis R-0201 de la planta. Las inspecciones a realizar en los equipos habían sido determinadas a partir de un estudio de Inspección Basada en Riesgo (RBI), mediante el cual se definieron los equipos a inspeccionar y las técnicas a emplear en los mismos. Este estudio permite establecer un nivel de riesgo para cada equipo, basado en la Probabilidad y en la Consecuencia de Falla, a partir de un análisis minucioso sobre aspectos tales como: mecanismos de daños presentes en el equipo, condiciones de proceso, peligrosidad de los productos procesados, sistemas de mitigación instalados, etc. Los resultados del estudio de RBI mostraron que el reactor de síntesis de metanol, R-0201, era uno de los equipos con mayor nivel de riesgo, el cual estaba determinado en parte por potenciales mecanismos de daños presentes en los tubos del mismo. Debido a ello, se programó la inspección del reactor durante la parada de planta, y la utilización de una técnica de ensayo no destructivo que permitiera determinar la presencia de defectos en los tubos del mismo.

Desarrollo

El reactor de metanol es un equipo con una disposición similar a un intercambiador de calor vertical de carcasa y tubos con tubos rectos y placas fijas. El equipo cuenta con 5449 tubos de acero inoxidable dúplex ASTM A789 UNS S31500, de 44.5 mm. de diámetro exterior, 2.1 mm. de espesor, y 10000 mm. de longitud. Dispone también de cinco placas espaciadoras, que alojan a los

tubos, y que son de material ASTM A240 Gr.304L. La Figura 1 ilustra esquemáticamente el reactor R-0201.

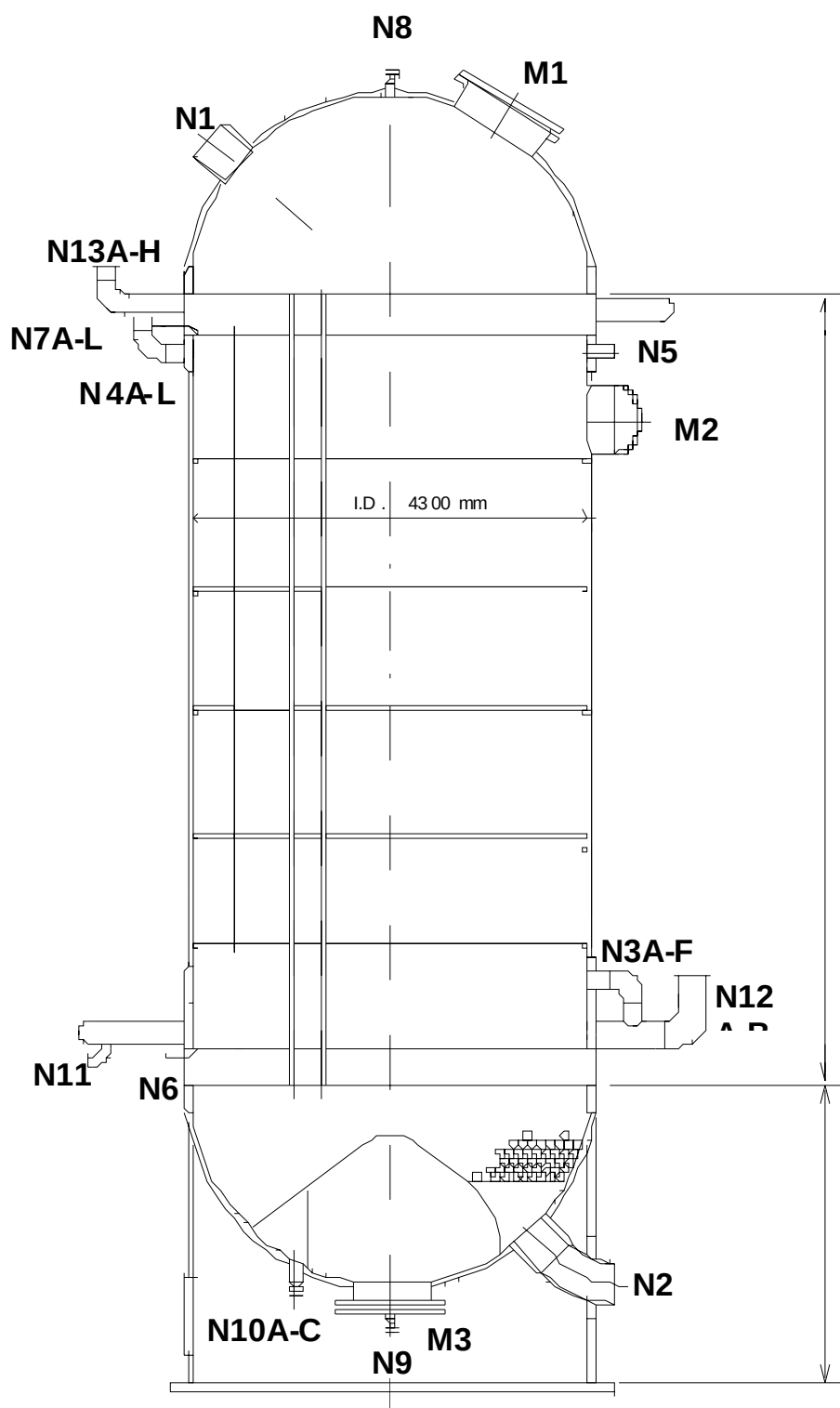


Figura 1. Esquema simplificado del Reactor R-0201

El material de los tubos, acero inoxidable dúplex, posee una matriz austenítica-ferrítica, y se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Elevada resistencia a la corrosión bajo tensiones en ambientes que contienen cloruros
- Buena resistencia al picado y a la corrosión generalizada.
- Elevada resistencia mecánica – Prácticamente el doble que los grados austeníticos

- Buena resistencia a la erosión-corrosión
- Buena soldabilidad

Estos materiales tienen limitada la temperatura máxima de trabajo a valores que rondan los 280-300 °C, debido a que si se exceden dichas temperaturas durante tiempos prolongados, la microestructura cambia, pudiendo resultar en un detrimento de las propiedades mecánicas, en especial, la resistencia al impacto. El fabricante de los tubos del R-0201 recomienda no exceder los 300 °C.

En la Tabla 1 se presenta la composición química del material de los tubos, y en la Tabla 2 se resumen las propiedades mecánicas más importantes del mismo.

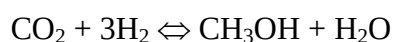
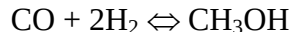
Elemento	C máx	Si	Mn	P máx	S máx	Cr	Ni	Mo	N
%	0.03	1.6	1.5	0.03	0.015	18.5	4.5	2.6	0.07

Tabla 1. Composición química de los tubos

Resistencia a la fluencia mín (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mín (%)	Dureza máx (HRC)
450	700-880	30	28

Tabla 2. Principales propiedades mecánicas

Los tubos del reactor están llenos de catalizador. Este último se encuentra sobre una cama de bolillas inertes dispuestas en el cabezal semiesférico inferior del reactor, entre la placa-tubos inferior y un soporte cónico perforado. Una corriente de gas de síntesis circula a través del catalizador produciendo la siguiente reacción:



El calor exotérmico de la reacción se utiliza para hervir agua en el sector de carcasa del reactor y produce así, vapor saturado de media presión. De esta forma, la temperatura de la reacción, puede controlarse mediante el ajuste de la presión del vapor generado en el lado de la carcasa. Los datos de diseño y operación se resumen en la Tabla 3.

Presión de diseño Lado Tubos (MPa)	Presión de diseño Lado Carcasa (MPa)	Temperatura de diseño Lado Tubos (°C)	Temperatura de diseño Lado Carcasa (°C)	Temperatura de Entrada Lado Tubos (°C)	Temperatura de Salida Lado Tubos (°C)	Presión de Operación Lado Tubos (MPa)
9	4.4	265	256	210	240	8.2

Tabla 3. Parámetros de diseño y Operación del R-0201

Como se observa, la temperatura de salida del reactor se encuentra bien por debajo del valor máximo recomendado por el fabricante de los tubos. No obstante, el perfil de temperaturas del gas a lo largo de los tubos es semejante al mostrado en la Figura 2; y no están del todo determinados los máximos valores alcanzados en la primera parte del perfil, pudiendo éstos, tal vez, superar los valores de diseño.

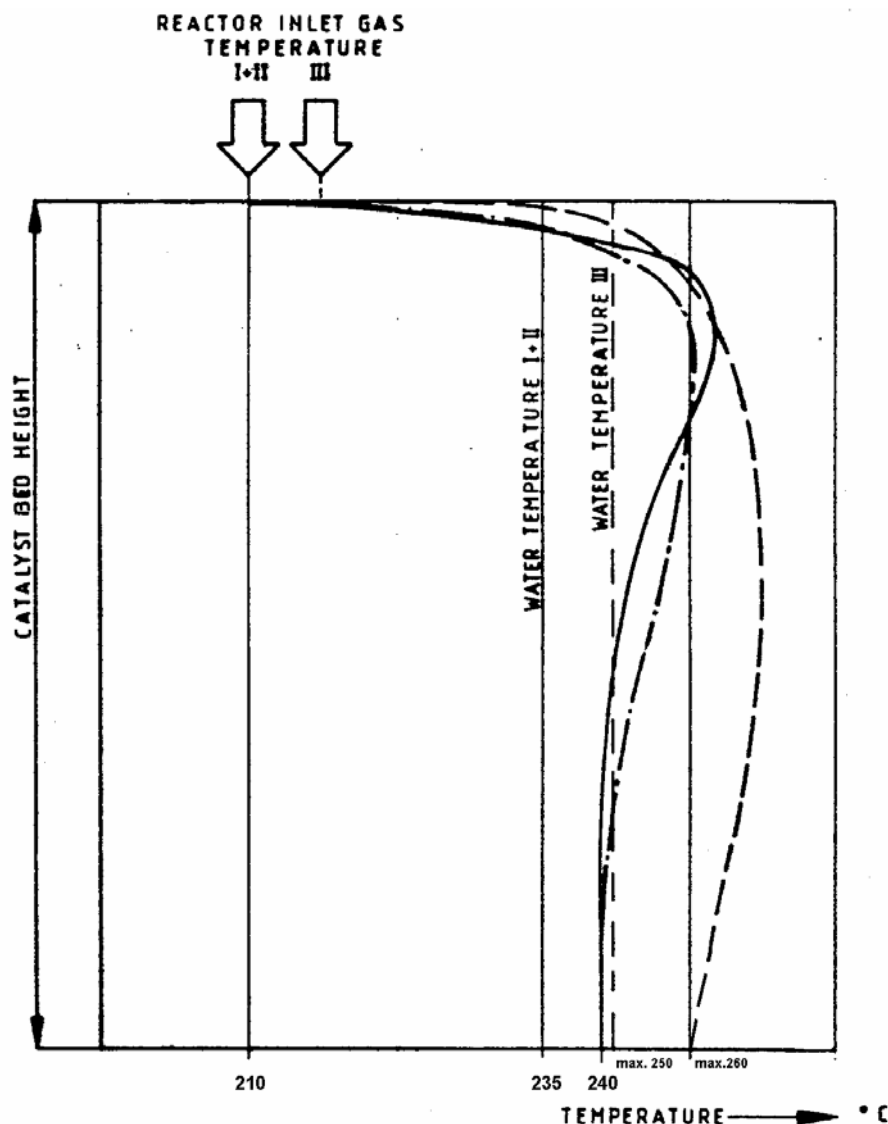


Figura 2. Perfil de temperaturas en tubos del Reactor R-0201.

El estudio de Inspección Basada en Riesgo (RBI) realizado anteriormente asignó un riesgo *medio-alto* (2E) al reactor de metanol, producto de un moderado valor de *Probabilidad de Falla*, y un elevado valor de *Consecuencia de Falla*. En particular, el valor de probabilidad, se debía a potenciales mecanismos de daño presentes en los tubos del equipo, a saber:

- Corrosión bajo tensiones en presencia de cloruros
- Corrosión por picado

Debido al diseño del equipo, cuyas placas tubulares están soldadas a los casquetes y a la carcasa, se debió seleccionar una técnica de inspección que permitiera determinar el estado de los tubos accediendo a los mismos por su interior. Algunos de los ensayos no destructivos disponibles en el mercado, con diferentes grados de efectividad para la detección de los defectos en cuestión, se listan a continuación:

- Ensayo por Corrientes de Eddy
- RFT (Remote Field Test)
- Videoscopia
- IRIS (Internal Rotating Inspection System)

La técnica principal de inspección empleada fue Remote Field Test (RFT). La misma consiste básicamente en una herramienta de prueba que lleva dos bobinas en una configuración de *envío-recepción* donde el excitador y el detector se encuentran separados entre sí por una distancia igual a dos ó tres diámetros del tubo. La bobina del excitador se energiza con una corriente alterna (CA) y emite un campo de CA. El campo viaja de la bobina del excitador, a través de la pared del tubo, axialmente a lo largo del tubo y a través de la pared del tubo en el detector. En cada transmisión a través del espesor del tubo, el campo magnético experimenta un retraso de tiempo y una atenuación en su amplitud. Cuando la herramienta es movida a una región donde existe una pérdida de espesor, el campo habrá perdido tiempo de tránsito entre las bobinas. Es por esto, que tanto la fase de la señal y la amplitud mostrarán un incremento en la zona con pérdida de espesor. Las lecturas de amplitud y fase son interpretadas para determinar la profundidad y extensión del defecto. En la Figura 3 se muestra un esquema simplificado de la herramienta de RFT.

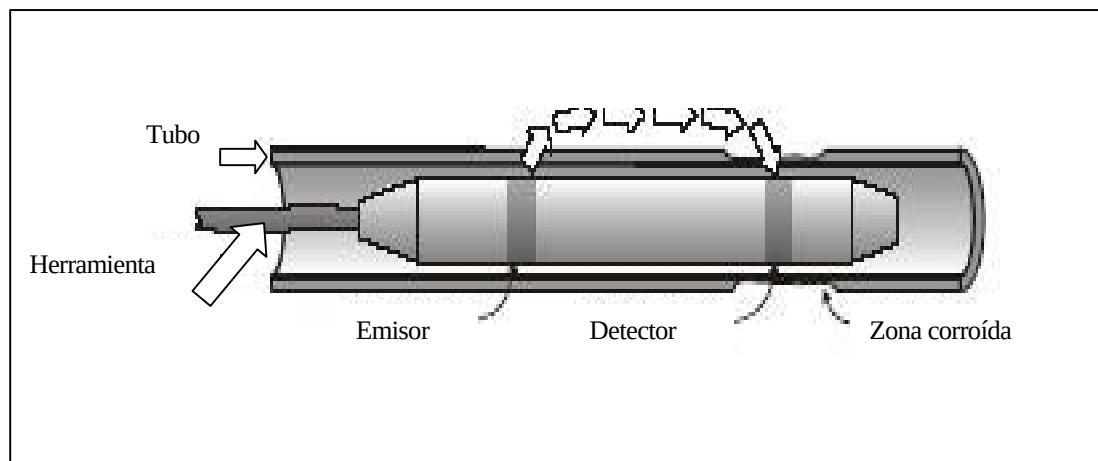


Figura 3. Esquema simplificado de herramienta del RFT

En comparación con el método de Corrientes de Eddy convencional, las bobinas de RFT presentan una mayor separación para medir la transmisión directa.

También se contó con equipo IRIS (Internal Rotating Inspection System), el cual se basa en el principio del ensayo por ultrasonido. Esta técnica cuenta con una herramienta que gira a aproximadamente 1800 revoluciones por minuto, y usa agua como acoplante, por lo que se lo llama método de inspección sumergida. La reflexión es el principio básico que permite que funcione el método IRIS. Una cantidad de energía se refleja cada vez que la onda encuentra una densidad diferente.

Asimismo, se contó con un equipo de videoscopía, con monitor blanco y negro, que permitió realizar una inspección visual en el interior de los tubos.

Se decidió realizar la inspección de 1000 tubos con el método Remote Fiel Test, lo cual representa aproximadamente el 20% de los tubos del equipo, y se fue llevando a cabo el ensayo en filas completas de tubos, separadas cinco filas unas de otras (fila 1, fila 5, fila 10, etc.).

Luego de ensayar las filas más alejadas del centro, los resultados comenzaron a mostrar diferentes niveles de daño en los tubos. El tipo de defecto acusado por el método era pérdida de espesor, y los valores de dicha pérdida de espesor iban desde 20%, en los tubos más alejados del centro, hasta 100% en el caso de los tubos ubicados en la zona central de la placa-tubos. La Figura 4 muestra el resultado del ensayo en uno de los tubos donde se puede apreciar la zona en la cual aparece el defecto de pérdida de espesor. La misma está ubicada en la parte superior de los tubos, a la altura de la primer placa espaciadora, coincidiendo con la región donde la reacción alcanza la mayor temperatura.

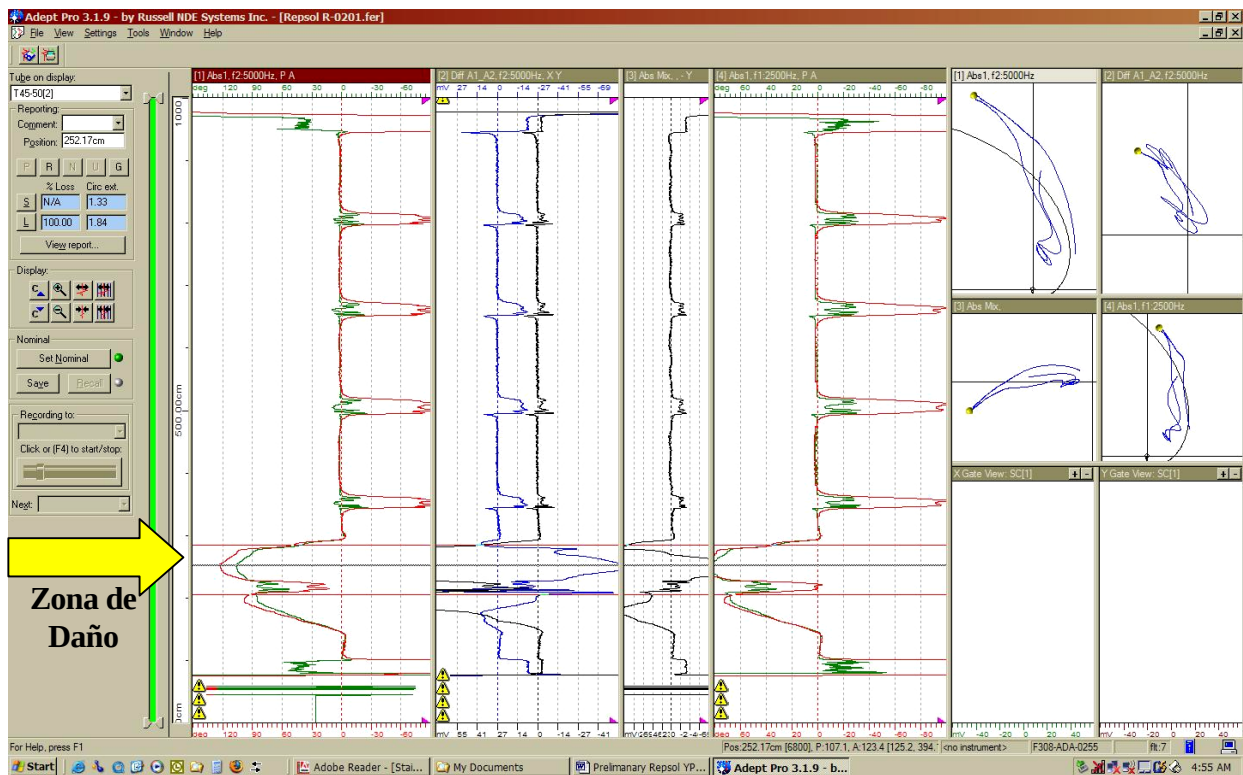


Figura 4. Resultado obtenido con el método RFT en un tubo

Debido a los resultados obtenidos en el ensayo, se procedió a extender la inspección a todos los tubos del equipo. Los ensayos continuaron arrojando valores similares a los encontrados en los primeros 1000 tubos, resultando un diagrama como se muestra en la Figura 5, en el que se observa la distribución de los niveles de daño en los distintos tubos del equipo.

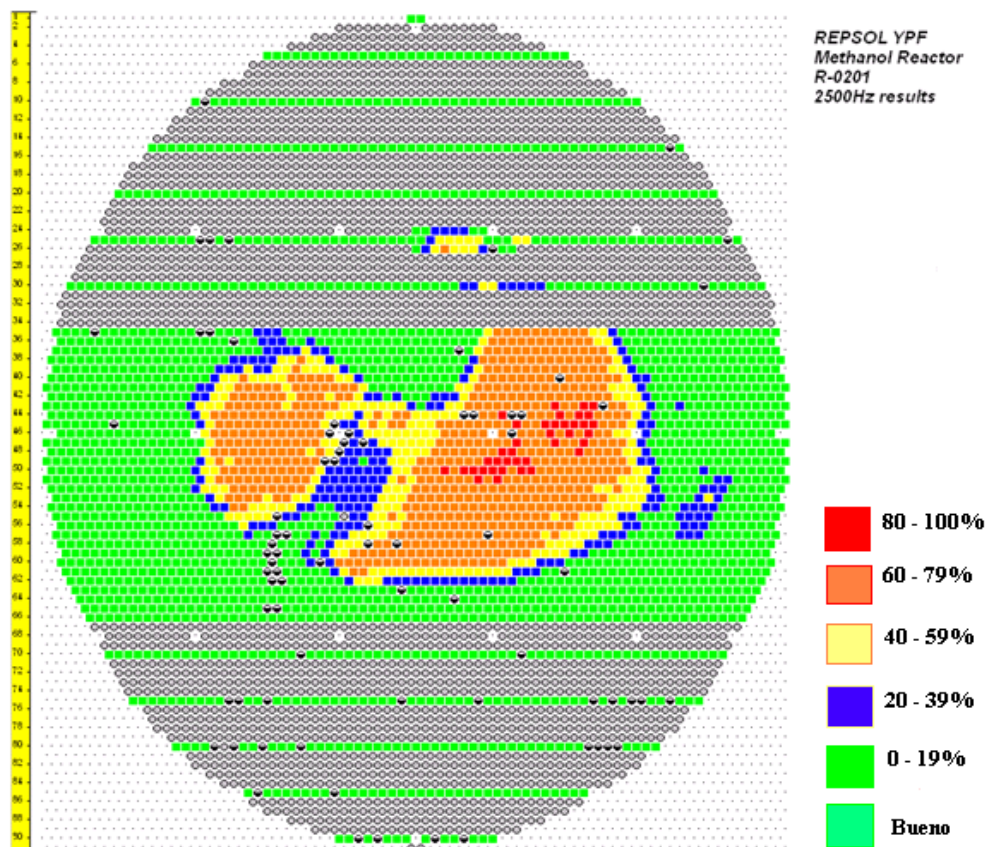


Figura 5. Esquema de la distribución de los diferentes niveles de daño de los tubos, según RFT.

Con el objeto de corroborar el diagnóstico obtenido por el método RFT, se decidió ensayar 3 tubos con el método IRIS. Dado que esta técnica requiere un riguroso nivel de limpieza, se procedió a limpiar los tubos con un cepillo rotante de acero inoxidable. Los resultados de estos ensayos mostraron diferencias con aquellos obtenidos con el RFT, dado que no se observaron pérdidas de espesor significativas, aunque sí una pequeña deformación de uno de los tubos en la zona adyacente a la primer placa soporte. La Figura 6 ilustra el resultado obtenido por el método IRIS en la posición de mayor daño, y la Figura 7 muestra una zona en la cual no existe daño.

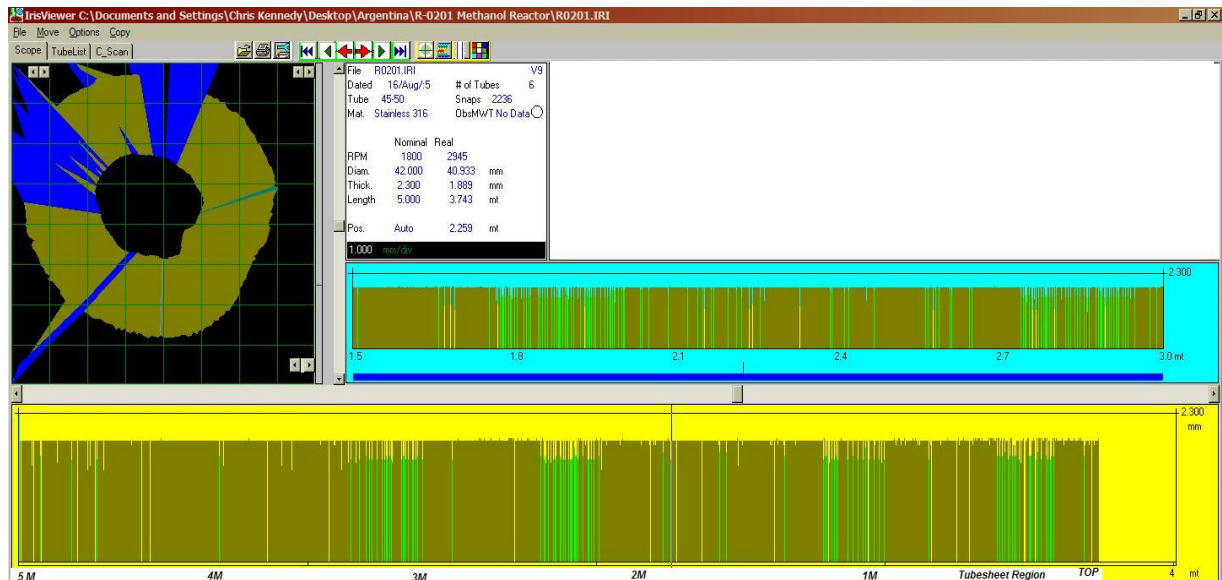


Figura 6. Resultado obtenido con el método IRIS.

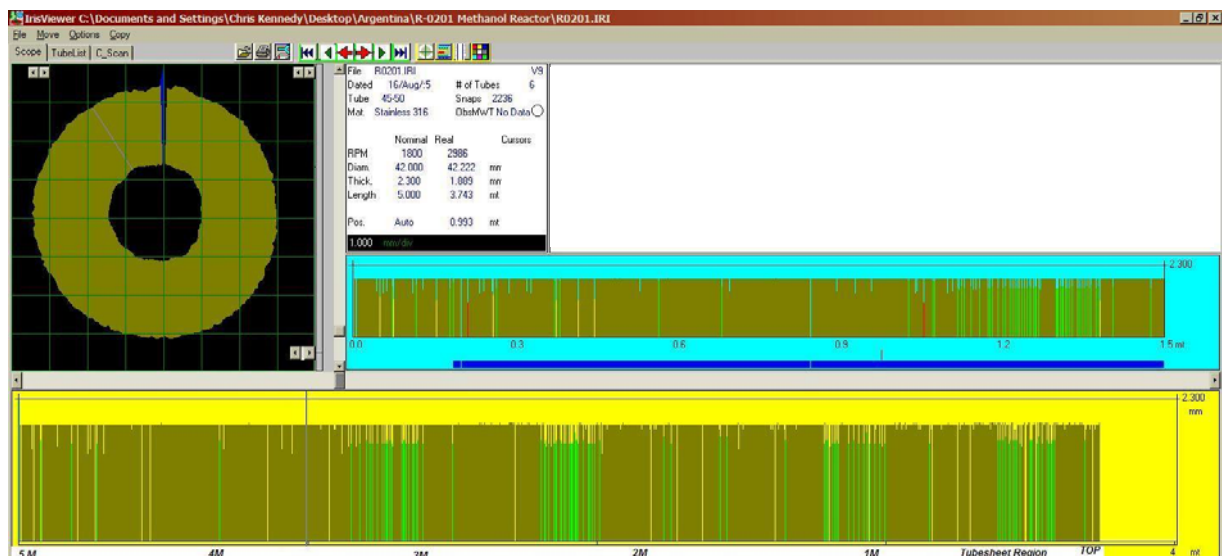


Figura 7. Resultado obtenido con el método IRIS

Por otro lado, la inspección visual con videoscopía no permitió observar daños en el interior de los tubos.

La significativa diferencia entre los resultados obtenidos con las distintas técnicas, sumado a la grave consecuencia que implicaba asumir los resultados, derivó en la decisión de extraer 2 tubos que presentaran un severo daño según el diagnóstico del RFT, y examinarlos visual y metalográficamente.

Una vez extraídos los mismos, se procedió a realizar su inspección. *Los tubos no presentaban daños apreciables, mostrando su superficie exterior un correcto aspecto, sin evidencia de pérdida de espesor.* La zona en la cual el ensayo RFT indicaba el daño, no manifestaba daños visibles, sólo se notó una marca anular, como consecuencia de un contacto con la placa espaciadora, sin afectar el buen aspecto exterior. Se observaron los tubos con varios aumentos, no identificándose fisuras en la superficie exterior.

A los tubos extraídos se les realizó nuevamente el ensayo RFT, obteniéndose resultados similares a los obtenidos en la inspección original, es decir, una zona próxima a la primer placa espaciadora con una pérdida de espesor importante, lo cual se contraponía al estado real de los tubos.

Los resultados de la inspección visual permitieron afirmar que los tubos se encontraban en correcto estado en lo que a integridad respecta, contrario a lo que los ensayos no destructivos llevados a cabo mostraron. De esta forma, se continuó con la anulación de los tubos extraídos, quedando el equipo en condiciones operativas.

El buen estado que presentaron los tubos extraídos del reactor desestimó los resultados conseguidos con el ensayo RFT. No obstante, es motivo de investigación el porqué del diagnóstico erróneo obtenido con el método. Existen estudios¹ llevados a cabo con aceros inoxidable dúplex UNS S31803, en los cuales se observa un deterioro en las propiedades mecánicas del material, manifestado por un aumento en el endurecimiento y la fragilización del mismo, así como una ligera modificación en algunas de las propiedades magnéticas por efecto de la temperatura. Otros², han observado un cambio en las constantes elásticas de ciertos grados de aceros inoxidable dúplex como consecuencia de una fragilización del material por efecto de la temperatura.

Esto podría indicar que el material de los tubos del reactor R-0201 pudo haber visto modificada alguna de sus propiedades, producto de la exposición a una temperatura superior a la prevista por el diseñador, produciendo como resultado una lectura errónea del método RFT.

Conclusiones

- La técnica RFT demostró ser inapropiada para la detección de defectos o discontinuidades en los tubos del Reactor R-0201.
- A partir de la inspección visual y metalográfica se comprobó que los tubos del reactor se encuentran en condiciones satisfactorias para la operación.
- El método IRIS, si bien fue utilizado en forma complementaria, permitió obtener resultados más confiables que el RFT.
- Se realizará un análisis más profundo a los tubos extraídos, con el objeto de determinar el origen de la lectura errónea del método RFT, así como también poder evaluar un posible deterioro en las propiedades del material de los tubos y en tal caso como podría verse afectada su integridad en el futuro. Dicho análisis incluirá ensayos mecánicos de tracción, dureza, tenacidad al impacto, y estudios metalográficos, entre otros.
- No hubo evidencias de corrosión bajo tensiones, ni corrosión por picado. Esta información realimenta el análisis de Inspección Basada en Riesgo existente, permitiendo disminuir el valor de *Probabilidad de Falla*.
- Se solicitará un estudio ó simulación para corroborar el perfil de temperaturas real en los tubos del reactor

Bibliografía

¹ “475 °C Embrittlement in a Duplex Stainless Steel UNS S31803”. *S.S.M. Tavares^{a*}, R.F. de Noronha^a, M.R. da Silva^b, J.M. Neto^c, S. Pairis^d*, Brasil

² “Change in the elastic constants with thermal embrittlement of duplex stainless steel”. Tetsu ICHITSUBO, Masakazu TANE, Hirotsugu OGI, and Masahiko HIRAO, Japón.