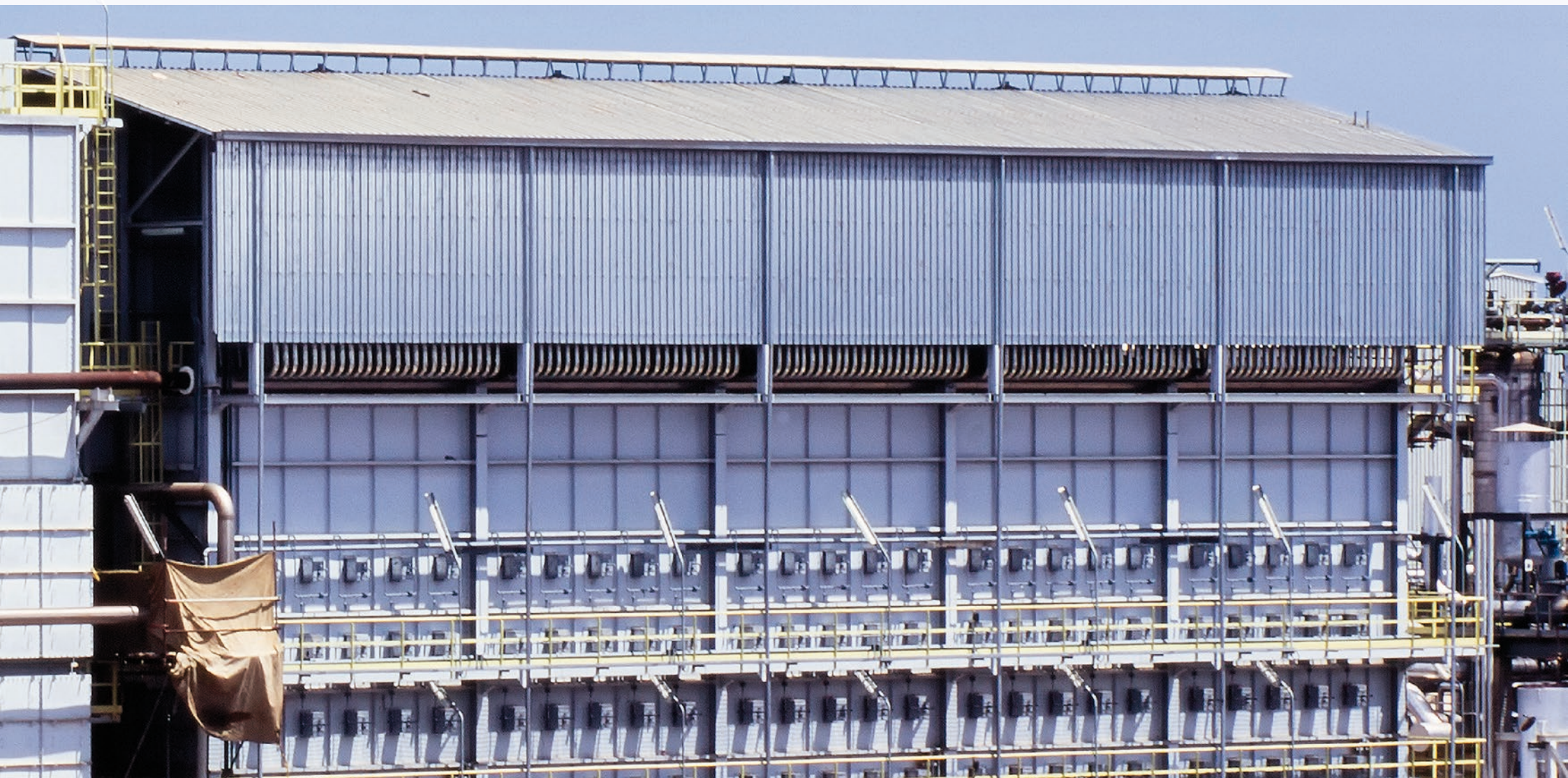
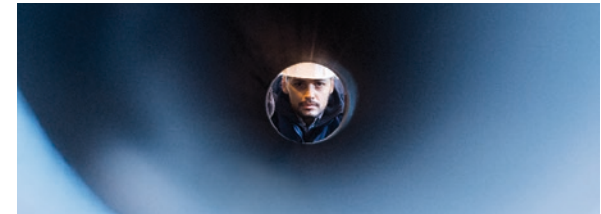
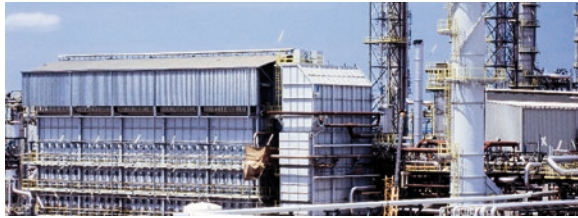


# TUBOS Y COMPONENTES DEL REFORMADOR

Servicios integrales de inspección de tubos reformadores.



<b>Inspección de los tubos de reformadores</b>	4 – 5
<b>Inspección externa de los tubos (LEO-Scan)</b>	6 – 9
<b>Inspección interna de los tubos (LEO-iScan)</b>	10
<b>Medición del pigtail de salida</b>	11
<b>Inspección del extremo superior</b>	12 – 13
<b>Evaluación de vida remanente (RLA)</b>	14 – 15
<b>Tecnología</b>	16
<b>Torre de prueba FOERSTER</b>	17
<b>En todo el mundo</b>	18 – 19



### Nuevo nombre, misma misión

Un servicio crítico para garantizar que las plantas petroquímicas operen de manera segura y eficiente es el ensayo no destructivo de los materiales utilizados – especialmente los tubos catalíticos de fundición centrífuga y sus componentes asociados. Durante muchos años, los dos líderes en este campo han sido la empresa alemana Magnetische Pruefanlagen (MP) y, al otro lado del mundo, la empresa estadounidense US Thermal Technology (USTT). MP era una subsidiaria de propiedad total y parte esencial del Grupo FOERSTER, una empresa global con sede en Reutlingen, Alemania; USTT fue el socio a largo plazo de MP para las inspecciones de tubos en el hemisferio occidental desde 1989 hasta 2020, cuando fue adquirida directamente por FOERSTER. En 2021, MP

se integró al Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG. Finalmente, a fines de 2021, FOERSTER Group completó la adquisición de la unidad de negocios de Gas de Síntesis de Quest Integrity. Esta transacción incluyó al personal técnico de la unidad de negocio y sus tecnologías de inspección LOTIS y MANTIS.

Ahora unidos bajo el paraguas de FOERSTER y conocidos como la Unidad de Negocios (BU) “Inspección”, estos socios expertos continúan juntos el importante trabajo en el que el sector ha confiado durante más de 30 años. Si bien los nombres han cambiado, la misión sigue siendo la misma: brindar servicios integrales para todas sus necesidades de prueba de tubos reformadores.

### Haciendo visible la calidad

El Grupo FOERSTER desarrolla, fabrica y distribuye instrumentos y sistemas para ensayos no destructivos de materiales utilizando, entre otros métodos, la tecnología de corrientes eddy (EC). FOERSTER también produce sondas de corrientes eddy altamente especializadas y personalizadas para detectar grietas y realizar pruebas microestructurales.

Los resultados de las pruebas se pueden mejorar notablemente mediante el empleo de sensores personalizados que están diseñados específicamente para las geometrías complejas de los componentes bajo prueba. Para calibrar los sistemas de prueba, FOERSTER fabrica defectos de prueba artificiales que difieren en profundidad, ancho y largo, junto con piezas de calibración estándar.



Planta química El Dorado, El Dorado, Arkansas;  
parte de Industrias LSB



Parent Company of MP and USTT  
Owner of LOTIS and MANTIS Technology



Pruebas de tubos reformadores con LEO-Scan

NUESTROS SERVICIOS

## Prueba de tubo reformador





Un enfoque importante de la Unidad de Negocios "Inspección", es proporcionar a sus clientes servicios integrales relacionados con las pruebas de tubos de reformadores de gas. Esta prueba se realiza en plantas de amoníaco, metanol, reducción directa de hierro (DRI) e hidrógeno en todo el mundo.

Las pruebas automatizadas son realizadas por nuestros inspectores de pruebas no destructivas (NDT) altamente capacitados, que están calificados de acuerdo con EN ISO 9712. Estos inspectores son ingenieros graduados con numerosas certificaciones técnicas de Nivel 2 y Nivel 3 en varias disciplinas, incluyendo corrientes eddy. Debido a que diseñamos, construimos y especificamos los componentes utilizados, la prueba de los tubos catalíticos del reformador se puede ejecutar de manera confiable incluso en condiciones que requieren experticia tecnológica.

Es recomendable que todos nuestros clientes utilicen el paquete completo de técnicas de inspección aplicables y apropiadas que ofrece FOERSTER para garantizar un monitoreo rentable y confiable de todo el activo. Este enfoque exhaustivo garantiza que los

tubos del reformador y sus componentes se prueben regularmente a intervalos apropiados durante toda su vida útil. Cuando lo indiquen los resultados de la inspección, se pueden tomar medidas correctivas inmediatas para maximizar la producción, eliminar el tiempo de inactividad y proporcionar un lugar de trabajo más seguro.

#### Los servicios incluyen

- Escaneo de línea base de los tubos del reformador (cuando son nuevos, antes de la puesta en servicio)
- Escaneo regular, a lo largo de su vida útil (cada 2 a 4 años), de los tubos catalíticos de fundición centrífuga del reformador
- Evaluación de la vida remanente (RLA) de los tubos del reformador utilizando métodos no destructivos
- Pruebas destructivas, a través de laboratorios de terceros, de los tubos del reformador utilizando tubos de muestra seleccionados
- Inspección de pigtails de salida para determinación de deformación y permeabilidad magnética
- Inspección del diámetro interno con corrientes eddy en los extremos superiores
- Servicios de soporte según sea necesario

LEO-SCAN

## Inspección desde el exterior del tubo (LEO-Scan)



Con el fin de inspeccionar los tubos catalíticos de fundición centrifugada utilizados en los reformadores de metano con vapor, FOERSTER ha desarrollado, construido y patentado el sistema 'LEO-Scan', una inspección realizada desde el exterior de los tubos, utilizando la técnica de corriente eddy y láser.

Todo el sistema LEO-Scan está montado en una unidad de escalado de tubos. La construcción especial de este equipo, transporta los sensores, dependiendo del diseño del reformador, desde el piso del horno hasta el techo. Esto incluye el área debajo de la parte superior de los túneles de recolección de gases de combustión, si los hay. Las sondas y los láseres están montados cerca de la parte inferior de la unidad de escalado, lo que permite tomar lecturas en las áreas más críticas típicas del reformador de flujo descendente, ya que se considera la parte más caliente del tubo. El equipo también está diseñado para probar reformadores con holguras de tubo a tubo tan estrechas como 20 mm (0,79 in). Esto permite la inspección de diseños de hornos con holguras muy estrechas desde el diámetro exterior. También hay disponibles otras configuraciones de unidades de escalado y sondas para probar reformadores de flujo ascendente. No se requiere limpieza de los tubos.

El sistema de corrientes eddy (EC) es calibrado con un tubo reformador de fundición centrifugada de 0,4 m

(15,75 pulgadas) de largo, cortado longitudinalmente, y tiene una muesca de mecanizado por descarga eléctrica (EDM) en el diámetro interno, que sirve como grieta inducida artificialmente. La calibración prueba tanto la identificación del defecto como la penetración del espesor total de la pared.

El dispositivo LEO-Scan utiliza un sistema láser de doble eje para medir el diámetro exterior (OD) de los tubos en toda su longitud dentro de la cámara de combustión. La medición de OD, aunque no es la herramienta de inspección principal, es una prueba secundaria importante para identificar la fluencia. El uso de

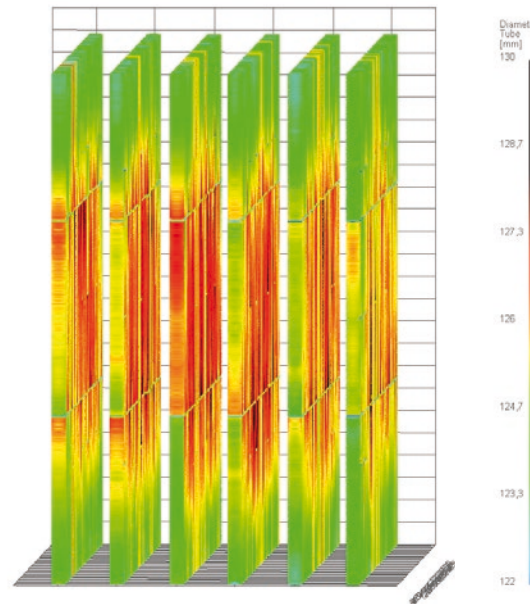


Figura 1: Resultados típicos de la inspección

láseres para esta inspección garantiza la repetibilidad y permite registrar digitalmente el diámetro del tubo en toda la longitud del tubo dentro del reformador.

Esta técnica puede detectar tendencias en el perfil de combustión del horno y ayudar a identificar áreas con problemas de carga del catalizador o con la condición del catalizador. Los problemas con el flujo de gases de combustión también se pueden determinar utilizando estos datos. Los resultados de OD y las lecturas de EC se toman y muestran simultáneamente, lo que facilita esta interpretación.

Este es el único sistema EC probado en uso hoy en día que penetra completamente el espesor de la pared del tubo hasta 24 mm (0,95 in). A medida que la unidad de escalado asciende por los tubos, las sondas EC de diseño exclusivo registran las señales para su evaluación. El sistema no solo registra las variaciones en la permeabilidad magnética, sino que, lo que es más importante, el sistema la procesa y la monitorea continuamente, lo que permite que el sistema EC detecte grietas y defectos dentro de la pared del tubo y en las superficies del OD y del ID. Dado que el sistema funciona electrónicamente, LEO-Scan no requiere medio de acoplamiento (por ejemplo, agua), lo que hace que todo el examen sea absolutamente repetible.

La repetibilidad del ensayo es un elemento clave para este tipo de pruebas. Permite superponer los resultados de cada inspección y compararlos directamente de un año a otro. Cualquier desviación en las señales se correlaciona con daños en la pared del tubo. Esto contrasta marcadamente con las pruebas con ultrasonido: la variación en la fuerza de acoplamiento elimina la repetibilidad y la dificultad para penetrar estos materiales, por ejemplo, debido a la aspereza de la colada y los grandes tamaños de grano grueso (alta disipación/amortiguación), hacen que el ultrasonido sea una mala elección para las pruebas de tubos colados centrífugamente.

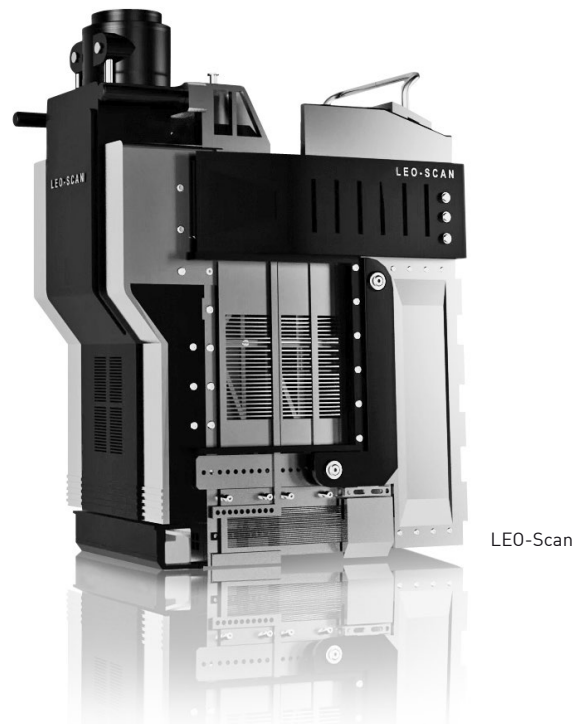
Usando hasta cuatro láseres (dependiendo de las holguras de tubo a tubo), el LEO-Scan mide el diámetro exterior al mismo tiempo que realiza la prueba de EC. Los láseres permiten la máxima precisión y repetibilidad. Las mediciones del diámetro del tubo, tomadas como un procedimiento secundario que tiene la capacidad de revelar la fluencia normal, también pueden ayudar a señalar las condiciones probables que causaron el daño.

### Hay tres escenarios a través de los cuales se pueden producir daños en los tubos del reformador

- Es posible que se formen grietas sin crecimiento diametral como resultado de perturbaciones operativas, problemas con el catalizador o incidencia de llama (sobrecalentamiento a corto plazo), problemas de distribución del flujo de gases de combustión y choque térmico.
- El crecimiento diametral puede formarse sin agrietamiento (sobrecalentamiento a largo plazo).
- Una combinación de ambos.

LEO-Scan tiene la capacidad de exponer defectos tan complejos debido a su combinación de pruebas EC y mediciones láser, lo que lo convierte en uno de los sistemas más completos y efectivos del mercado.

Si se justifica, según los resultados de la inspección o el envejecimiento del material, se puede recomendar una evaluación de la vida remanente (enfoque no destructivo basado en la deformación). Proporcionará cálculos de vida restante basados en la experiencia y el juicio de expertos para las decisiones de aptitud para el servicio (FFS), la estrategia de reemplazo y el soporte de la gestión de compras en la vida útil del tubo. El resultado final de este análisis proporciona a nuestros clientes una evaluación API-579 nivel II de aptitud para el servicio.



LEO-Scan



La figura 2 muestra la superposición de varios años de inspecciones realizadas desde el exterior del tubo. Idealmente, estos gráficos comienzan con una inspección de línea base, que luego se superponen a los demás con cada inspección sucesiva. Esto hace que los cambios en las señales OD y EC sean inmediatamente evidentes y sencillos de evaluar. Este gráfico muestra claramente los cambios (crecimiento) en el OD cerca del lado izquierdo del gráfico, que representa la parte inferior del tubo.

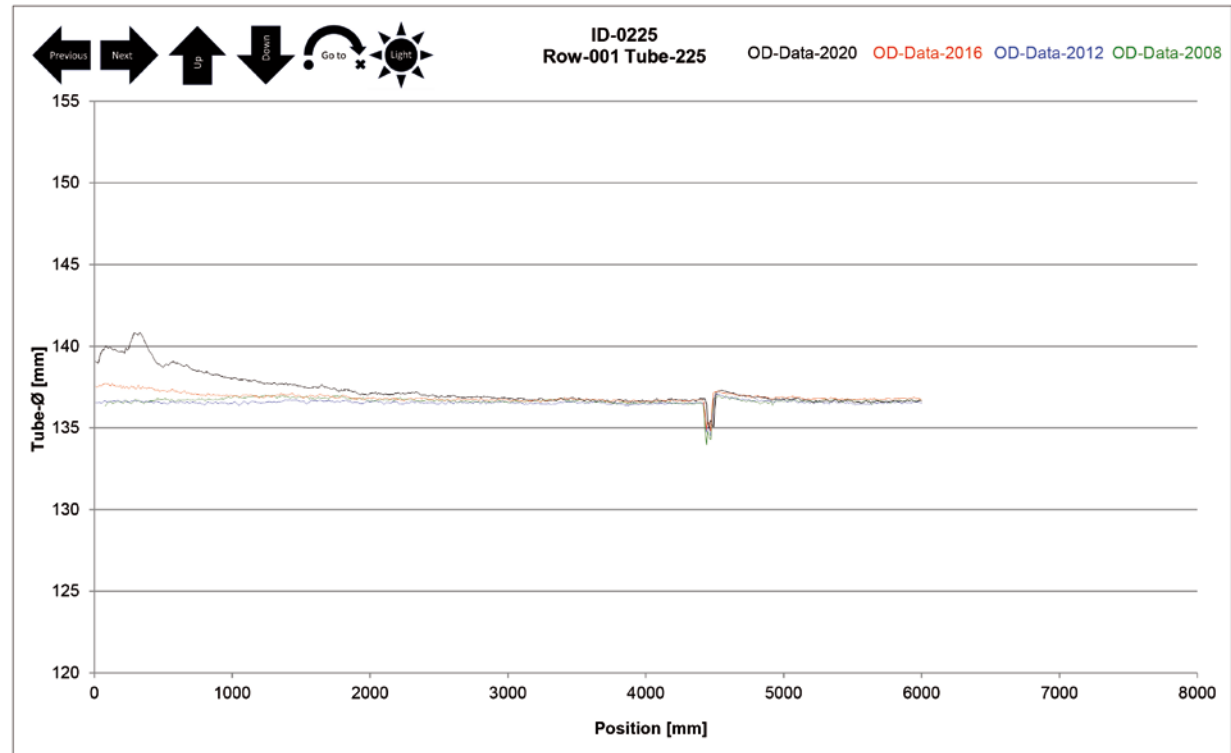
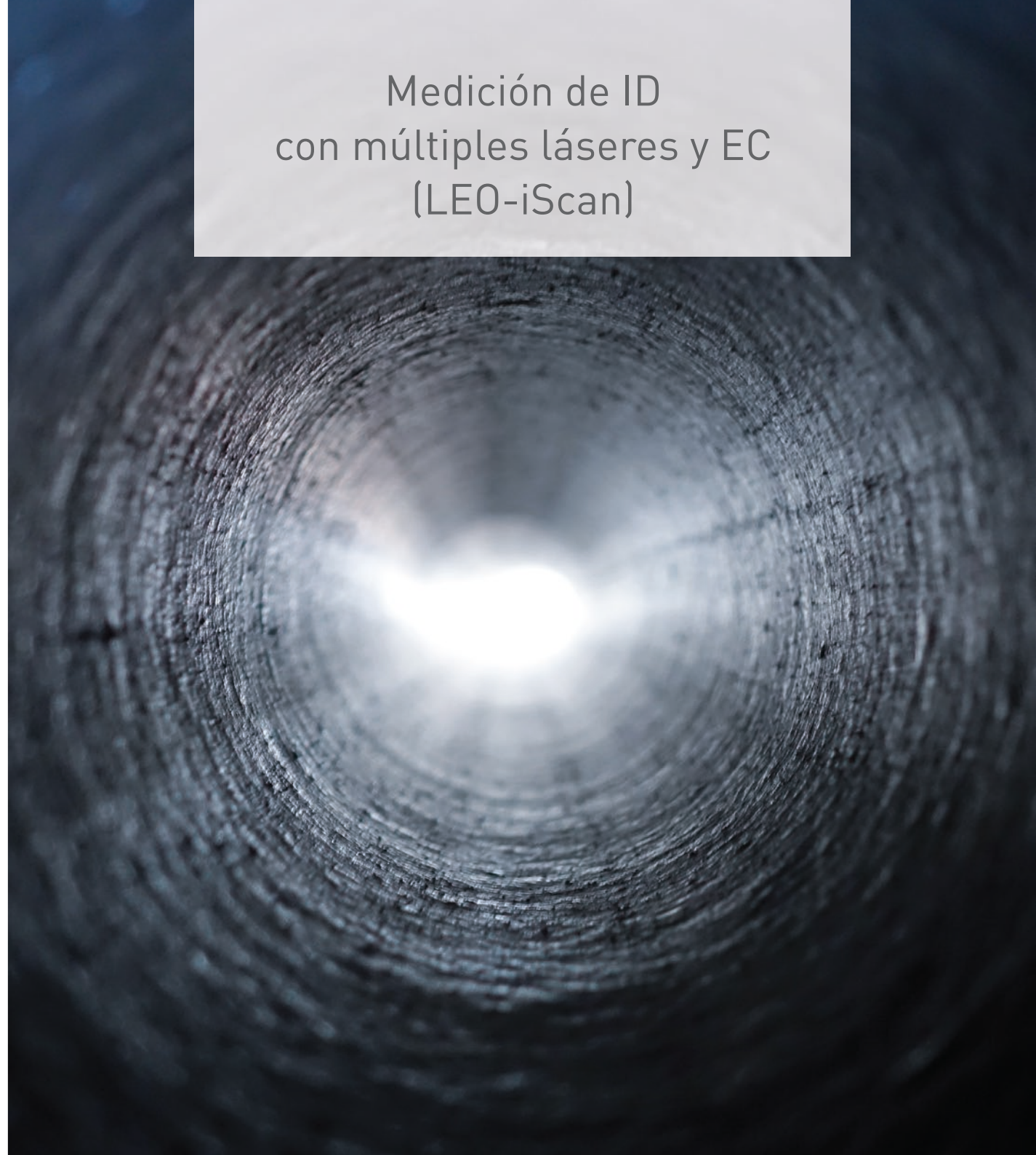


Figura 2: Se superponen cuatro inspecciones del diámetro exterior de un tubo reformador para mostrar cambios a lo largo del tiempo (línea de base tomada en 2008 e inspecciones en 2012, 2016 y 2020)

Ya está disponible un nuevo y sofisticado dispositivo desarrollado por BU "Inspección": LEO-iScan. Habiendo demostrado su robustez y fiabilidad en el uso de campo, incluye una potente unidad láser que mide con gran precisión el diámetro interno (ID) combinado con un sistema EC. La inspección se lleva a cabo comenzando en la parte superior de la brida del tubo y continuando hasta la rejilla de soporte del catalizador. Esto es posible solo cuando los tubos se someten al reemplazo del catalizador. Dado que las superficies internas de los tubos del reformador están maquinadas, estas lecturas muestran fácilmente un crecimiento de la fluencia incluso en ausencia de datos previos (de línea base). El sistema utiliza ocho láseres configurados en cuatro ejes para obtener una imagen completa del ID del tubo. Una ventaja de usar EC para inspeccionar desde el interior es la proximidad de las sondas al sitio de daño potencial por fluencia, que generalmente comienza aproximadamente a 1/3 de la superficie del ID.

El sistema fue desarrollado para hornos que pueden requerir monitoreo de daños por deslizamiento debajo del piso, o para tubos que se tocan entre sí debido a una curvatura significativa, lo que los hace inaccesibles desde el exterior. También se puede utilizar como control secundario para verificar la condición de fluencia de un tubo. Los resultados muestran el diámetro del tubo en una vista 3D de 360°. Esta información se puede presentar para tubos individuales, filas individuales o todo el reformador.

# Medición de ID con múltiples láseres y EC (LEO-iScan)



# Monitoreo del estado de los pigtails de salida



Los pigtails de salida son componentes críticos que necesitan una inspección rigurosa debido a su ubicación y función prevista. Para la identificación y determinación de la fluencia, hemos desarrollado un dispositivo único para medir pigtails diametralmente desde la salida del tubo hasta el colector. Las medidas se toman en dos ejes; esta configuración permite la evaluación del crecimiento diametral tanto de las secciones rectas como de las curvas del pigtail, teniendo en cuenta las diferencias de diámetro inherentes (y normales) debidas al proceso de curvatura. En comparación con las pruebas manuales de empleo de una galga, este nuevo sistema es muy rápido, confiable y repetible. También proporciona un perfil de diámetro preciso en toda la longitud del pigtail, lo que da como resultado una evaluación de la fluencia en forma digital que se puede utilizar para futuras evaluaciones.

También es posible medir la permeabilidad del pigtail de salida utilizando el MAGNETOSCOP de FOERSTER. Esto es especialmente importante cuando se trata de aplastar los pigtails en caso de falla del tubo: aquí, es importante determinar que el material esté en condiciones adecuadas, es decir, con suficiente ductilidad, para permitir el aplastado. El procedimiento se puede emplear en línea, sin necesidad de parar la planta para aislar los tubos con fugas. Recientemente, muchas plantas han requerido un paro, o al menos una reducción del flujo del proceso a sólo vapor, para permitir el aplastado.

INSPECCIÓN DE EXTREMO SUPERIOR

# Inspección de extremos superiores



Históricamente, el estándar aceptado para inspeccionar los tubos en servicio del reformador de metano con vapor (SMR) ha sido inspeccionar la longitud del tubo expuesta a la llama dentro del horno. Sin embargo, las tendencias recientes han cambiado esa perspectiva, debido al descubrimiento de defectos internos y daños en partes del tubo no inspeccionadas hasta ahora en los extremos superiores en algunos diseños de plantas. Se han encontrado defectos en dos arreglos de diseño completamente diferentes: un diseño de flujo descen-

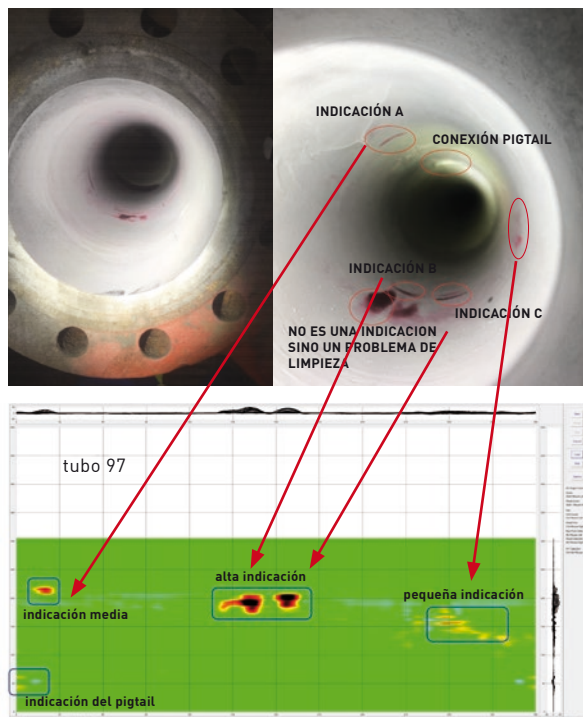


Figura 3: Escaneo representativo del extremo superior que muestra defectos



Figura 4: Extremo superior típico

dente con quemadores en el techo; y un diseño de flujo ascendente con quemadores en el piso. En ambos, el culpable fue un mecanismo de daño conocido como "fatiga térmica".

Es necesario recalcar que estos defectos de grietas se inician en el interior y se propagan hacia el exterior, sin dar aviso hasta que una falla inesperada interrumpe el servicio. También es importante saber que estas grietas generalmente no muestran una fluencia medible. Por lo tanto, una inspección efectiva de los extremos superiores debe detectar grietas en lugar de daños por fluencia.

Cuando ocurren fallas de este tipo, pueden causar daños catastróficos al activo, cortes de producción e infracciones de seguridad. Esto se debe a que un incendio en los extremos superiores de los tubos del reformador, que ocurre en un área que no se visita con frecuencia, puede arder sin ser descubierto durante bastante tiempo. Las tapas de los tubos adyacentes, los pigtails de entrada y el acero estructural pueden sobrecalentarse, desencadenando una cascada de fallas adicionales.

La BU "Inspección" ha desarrollado una técnica confiable y un dispositivo especializado para revisar estas áreas superiores de los tubos para evitar tales desastres. Una sonda de corriente de eddy especialmente diseñada escanea los extremos superiores en busca de grietas y otros signos de fatiga térmica. La identificación oportuna de estas fallas contribuye a la operación segura y confiable del reformador y puede prevenir incendios que pueden resultar en pérdidas significativas. La Figura 3 muestra un escaneo típico del extremo superior del tubo del reformador, mostrando grietas en la pared del tubo que se propagan hacia afuera desde la superficie interior. El cliente verificó las grietas con pruebas de penetración (PT). La detección rápida de dichos defectos puede aumentar la confiabilidad y proteger el valor del activo al tiempo que garantiza la seguridad.

¿Cuál es la vida útil remanente  
de sus tubos?



Un software patentado desarrollado en un esfuerzo mancomunado, TubeLife fue creado expresamente para cerrar la brecha en la evaluación de la vida útil remanente de los tubos reformadores: antes, no había códigos o prácticas disponibles públicamente que abordaran formalmente la complejidad del comportamiento de vida útil de los tubos reformadores. TubeLife logra esto al integrar datos de deformación y tamaño de grietas en su modelo patentado.

En el pasado, las estimaciones de este importante valor se basaban en los principios y elementos de los estándares posteriores a la construcción, como API 571, API 579, R5 y/o BS7910. Sin embargo, la aplicación de esos estándares es menos que ideal, ya que no reflejan

directamente la complejidad de los mecanismos de daño que afectan la longevidad de los tubos reformadores. Un modelo Dyson modificado incorporado en TubeLife evalúa la tensión acumulada durante un período de tiempo determinado como medio para proyectar la degradación del material y calcular la vida útil restante. Además, el análisis pondera cualquier medida de corriente eddy que indique daño en la pared, ya que las grietas generalmente inician el modo de falla del tubo.

El software también se basa en los datos diametrales del láser para la medición de la deformación, junto con la información del proceso y el historial de paradas.

El modelo emplea varios mecanismos de degradación que se sabe que ocurren en los tubos del reformador. Estos incluyen el envejecimiento/ablandamiento térmico, el ablandamiento por deformación, el engrosamiento de la estructura del grano (especialmente los carburos secundarios) y aumentos en la densidad de dislocaciones móviles, formación de vacíos por fluencia/cavitación y crecimiento. La integración de múltiples tipos de degradación permite estimaciones realistas de la vida útil remanente en función de la acumulación de tensión durante la vida útil del tubo, junto con una evaluación precisa de la formación de grietas a través de las señales de EC. Esta técnica de evaluación ha sido ejecutada con éxito para muchas empresas en todo el mundo.

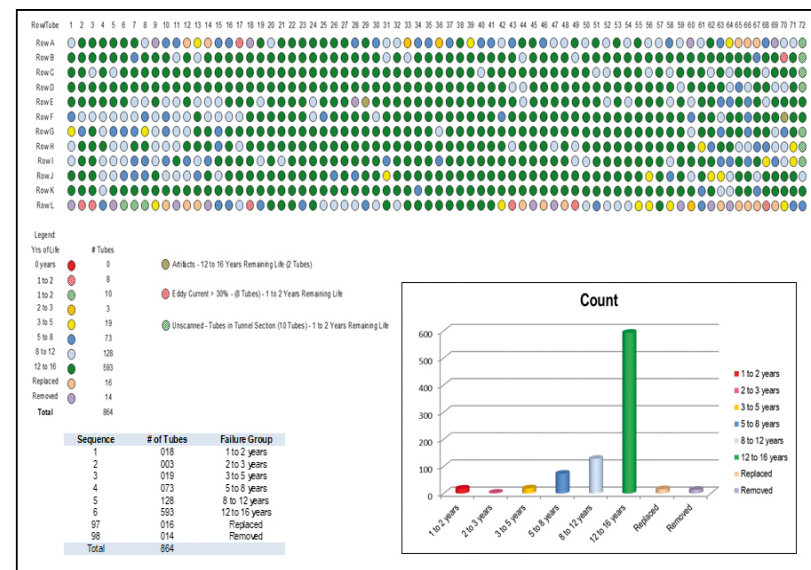


Figura 5: Reporte típico para la evaluación de vida remanente

## Prueba de grietas con corrientes eddy

### Ensayos no destructivos utilizando el método de corrientes eddy

Actualmente, la gran atención que se presta a la calidad, sin mencionar los riesgos asociados con la responsabilidad del producto, requiere cada vez más inspecciones al 100%. El método EC según DIN EN ISO 15549 es un método no destructivo y sin contacto para el ensayo de materiales. Revela defectos como grietas, poros, cavidades y artefactos materiales, y funciona de forma rápida, fiable y económica, sin necesidad de utilizar líquidos de acoplamiento.

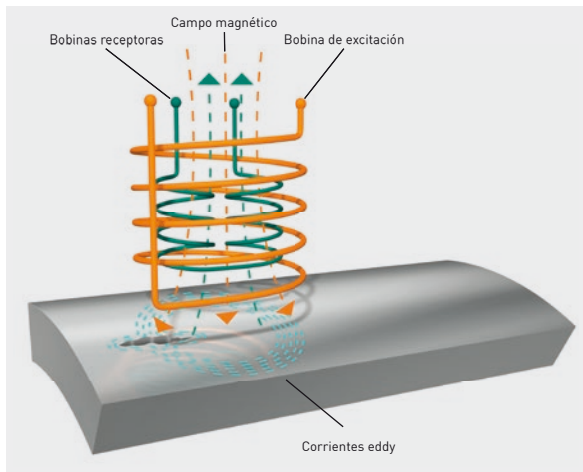


Figura 6: El principio detrás de la prueba de corrientes eddy

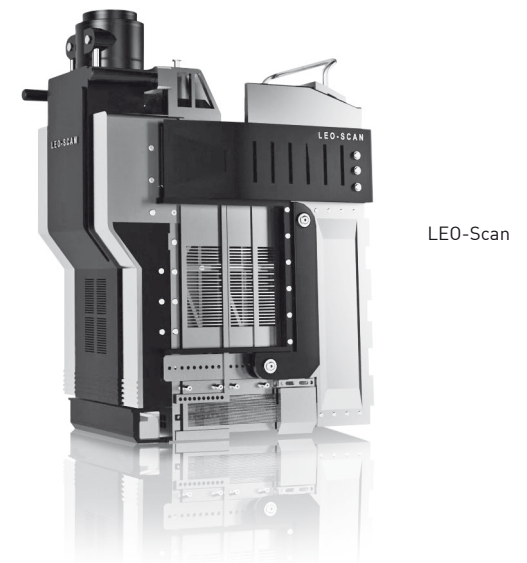
Un campo magnético es generado por una bobina de excitación, que induce corrientes eddy de alta frecuencia en el material. La señal resultante generalmente se registra con una bobina de medición diferencial. Esta señal recibida se evalúa contra la amplitud y el cambio de fase en relación con la señal del excitador, exponiendo incluso los defectos más pequeños en el material.



Figura 7: Microfotografía ampliada de fisura por fluencia

## Prueba de grietas

Para la detección de grietas, la sonda de corriente eddy se mueve a lo largo de una muestra estacionaria. Siempre que no haya daños en el material, las corrientes eddy fluyen uniformemente, porque la resistencia eléctrica es homogénea. Pero dondequiera que haya una grieta, la densidad de la corriente eddy se muestra diferente a la de una parte no dañada. Este cambio se registra y se muestra como una señal de error. La penetración depende de las frecuencias en uso: mientras que las frecuencias más altas se concentran más cerca de la superficie, las frecuencias más bajas penetran más profundamente en el material. El tipo de sonda, el tamaño de la sonda y la frecuencia de prueba se eligen según el tipo de prueba deseada y el material bajo prueba.



LEO-Scan



**La torre de prueba FOERSTER: nuestra instalación de prueba real para poner a punto los equipos de prueba**

La torre de prueba recién instalada, que contiene varios tubos en su extensión vertical original (incluida la brida superior), es una representación perfecta de una fila de tubos de catalizador en un reformador de metano con vapor. Esta configuración permite condiciones de escaneo realistas para probar nuevos desarrollos u optimizar prototipos y modificaciones; ahora está disponible para experimentos con sistemas automatizados de escaneo externo (OD) e interno (ID). Además, es ideal para probar el lado del software en términos de aplicación de programas de control y recopilación de datos en tiempo real cuando se utiliza instrumentación móvil EC avanzada.



EN TODO EL MUNDO

En casa en todo el mundo:  
arraigado en Reutlingen,  
Alemania



### **Operando en todo el mundo, en cualquier momento y en cualquier lugar.**

Desde el principio, el Grupo FOERSTER ha trabajado para desarrollar su red mundial de expertos para operar de manera eficiente y prudente en los mercados globales. Dondequiera que surja la necesidad de realizar pruebas de tubos de reformadores en el mundo, nuestra BU "Inspección" está ahí para usted, lista para responder a sus necesidades y requerimientos.

### **Sede**

- Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG, Alemania

### **Filiales**

- FOERSTER Instruments Inc., América
- FOERSTER (LOTIS & MANTIS), América
- US Thermal Technology Inc. (USTT), América
- FOERSTER (Shanghai) NDT Instruments Co., Ltd., China
- FOERSTER Japan Ltd., Japón
- FOERSTER France SAS, Francia
- FOERSTER Italia S.r.l., Italia

### **Representantes**

- Hydro Kleen Systems do Brasil Limpeza Industrial Ltda, Brasil, Argentina
- Middle East Star (MES) – Tragency Oriente Medio, Egipto
- Compañía de suministro de tuberías LLC. (India), India
- PT. Profluido, Indonesia
- NDT Corrosion Control Services Co. (NDTCCS), Reino de Arabia Saudita, Bahrein
- Calibre Petroquímica SDN. BHD., Malasia
- Leap Engineering Solutions, Pakistán
- Marant Polska SP z o.o., Polonia
- Arsenal Group Co. Ltd, Rusia
- Safetech Co., Ltd., Corea del Sur
- Compañía de suministro de tuberías LLC. (PSC), Sultanato de Omán



**FOERSTER**

Parent Company of MP and USTT  
Owner of LOTIS and MANTIS Technology

**Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG**

In Laisen 70 | 72766 Reutlingen | Alemania

+49 7121 140 0 | m +49 160 9461 7857

inspection@foerstergroup.com

[foerstergroup.com](http://foerstergroup.com)

**U.S. Thermal Technology Inc.**

**A FOERSTER Group Company**

140 Industry Drive | Pittsburgh, PA 15275

+1 412 788 8976 | m +1 713 806 6561

inspection@foerstergroup.com

Kara Ellis

**FOERSTER INSTRUMENTS INC.**

**(LOTIS & MANTIS)**

906 Geneva Street, Shorewood, IL 60404

C: 815-979-3238

[kara.ellis@foerstergroup.com](mailto:kara.ellis@foerstergroup.com)