

INSPECCIÓN BAJO SOPORTES CON ONDAS GUIADAS TRANSVERSALES HORIZONTALES GENERADAS POR EMAT

Víctor García Benavides, Carlos Boyero Molina

Innerspec Technologies Europe, S.L. Avda. Madrid, km 27.2 nave 8, Alcalá de Henares, Madrid. vgarcia@innerspec.com; cboyero@innerspec.com

RESUMEN

La detección de corrosión bajo soportes o camisas de refuerzo en tuberías es actualmente un proceso problemático debido a la carencia de técnicas de ensayos no destructivos capaces de detectar las zonas defectuosas. Las ondas guiadas de medio alcance de ultrasonidos generadas por EMAT se presentan como una solución a este problema, ya que permiten llegar a zonas inaccesibles y aprovechan todas las ventajas de esta tecnología, que se basan en el hecho de que los ultrasonidos EMAT se originan directamente en el material a inspeccionar, de modo que no se requiere acoplante y se puede trabajar a mayores temperaturas con piezas pintadas, recubiertas y sin necesidad de una limpieza previa. Innerspec Technologies presentará la técnica de las ondas guiadas de medio alcance y se centrará en el trabajo con las ondas guiadas transversales horizontales para la detección de corrosión bajo soportes en tuberías en refinerías, petroquímicas y otras industrias.

ABSTRACT

Corrosion detection under supports is currently a problematic process due to the lack of NDT techniques able to detect the defective areas. Medium-Range Ultrasounds generated by EMAT are presented as a solution to this problem, as they permit inspecting non-accessible zones and make use of the advantages of this technology, which are based on the fact that the EMAT ultrasounds are generated in the material to be inspected. For this reason, no couplant gel is required and the work can be done at high temperatures, with painted or coated parts and without an exhaustive cleaning. Innerspec Technologies will present the medium-range guided waves technique and will focus on the work with the shear horizontal guided waves for corrosion detection under supports in refineries, petrochemical plants and other industries.

Palabras clave (Keywords): EMAT, ondas guiadas, corrosión, inspección bajo soportes. (EMAT, guided waves, corrosion, inspection under supports)

1. INTRODUCCIÓN

La detección de pérdida de espesor en tuberías es una de las inspecciones más habituales debido a su evidente peligro en algunas industrias. En algunos casos,

las áreas que han de ser inspeccionadas no son accesibles y las opciones de END son muy limitadas. Uno de estos casos es la zona situada entre las tuberías y los soportes o refuerzos, especialmente porque son las principales zonas donde se localiza la corrosión.

Existen varios métodos de END actualmente en uso para este tipo de inspección, y todos ellos tienen ventajas e inconvenientes, siendo seleccionados en función de los requisitos y el ambiente de la aplicación.

Las ondas guiadas de baja frecuencia (≈ 50 kHz) y largo alcance (LRUT), son capaces de detectar defectos a distancias muy elevadas (hasta 50-100 m), pero tienen una zona ciega de hasta 3 m y sus resultados son deficientes ante soportes soldados.

Recientemente se están desarrollando métodos cuantitativos de Tomografía, basados en técnica Multi-Skip o en el análisis del tiempo de vuelo de ondas guiadas. Aunque son técnicas prometedoras, todavía no han demostrado ser métodos válidos para su uso en condiciones de inspección en campo.

Las ondas guiadas de medio alcance (MRUT) trabajan a mayores frecuencias (0,1 – 1,5 MHz) que las de largo alcance, obteniendo mayores grados de sensibilidad en la detección de defectos. Dichas ondas guiadas MRUT pueden ser tanto de tipo Lamb como de tipo transversal horizontal (SH), siendo las primeras las que tienen un uso más extendido y que han demostrado ser muy adecuadas para la inspección de tuberías y tanques, incluso en áreas sin acceso como zonas bajo soportes y tuberías parcialmente enterradas. Sin embargo, estas ondas pueden verse afectadas por la presencia de soldaduras en su recorrido.

En el caso de las ondas guiadas transversales horizontales, éstas no presentan conversión de modo y su modo fundamental SH_0 no es dispersivo, por lo que no se ven afectadas por la presencia de soldaduras en su trayectoria, demostrando ser una técnica muy adecuada para la inspección de áreas bajo soportes soldados.

2. COMPARATIVA ENTRE ULTRASONIDOS GENERADOS POR TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS Y EMAT

El uso de la técnica de ultrasonidos está muy extendido en el mundo de la inspección y su fiabilidad ha sido demostrada. La técnica que más prevalece para la generación de ultrasonidos es el uso de transductores piezoeléctricos que, aunque son altamente eficientes y versátiles, necesitan ser acoplados a la pieza a inspeccionar bien mediante alta presión obligando a realizar una inspección estática, bien a través de un medio líquido que limita el posicionamiento y la velocidad de trabajo y puede producir interferencias con la propagación de la onda.

EMAT es una técnica de ultrasonidos que genera el sonido en la pieza a inspeccionar en lugar de hacerlo en el propio sensor. Un transductor EMAT

induce ondas de ultrasonidos en la pieza deseada con dos campos magnéticos distintos. Un campo de relativamente alta frecuencia (campo RF) generado por bobinas interactúa con un campo estático o de baja frecuencia generado por imanes, creando una fuerza de Lorentz de una manera similar a un motor eléctrico [1].

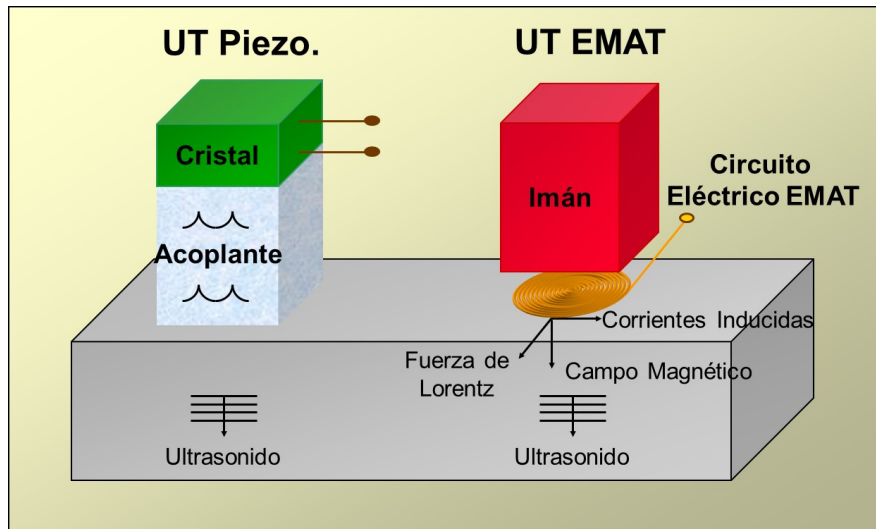


Figura 1. Comparativa entre la técnica convencional de UT y EMAT.

Esta perturbación produce una onda elástica. De modo inverso, la interacción de ondas elásticas en presencia de un campo magnético induce corrientes en las bobinas receptoras EMAT. En materiales ferromagnéticos la magnetostricción produce fuerzas adicionales que aumentan la señal a niveles muy superiores a los que se conseguirían solamente con el efecto de la fuerza de Lorentz. Numerosos tipos de ondas pueden ser generados utilizando diferentes combinaciones de bobinas e imanes.

Debido a que el ultrasonido se genera en la pieza a inspeccionar y no en el transductor, EMAT ofrece las siguientes ventajas respecto a los convencionales transductores piezoeléctricos:

- Inspección en seco. EMAT no requiere acoplante para la transmisión del sonido, por lo que esta técnica es idónea para la inspección a muy altas y muy bajas temperaturas, así como en la integración en ambientes automatizados.
- Inmune a condiciones superficiales. EMAT puede inspeccionar a través de recubrimientos y no se ve afectado por contaminantes, óxidos o rugosidad.
- Fácil disposición de los sensores. No es necesario el uso de cuñas o acoplante, y la ley de Snell no se aplica. El ángulo del sensor no afecta a la dirección de propagación.
- Capacidad de generar modos SH. EMAT es la técnica más práctica y efectiva de generar ondas transversales con polarización horizontal sin necesidad de presión y sin uso de acoplantes de baja densidad que impiden el escaneo de la pieza.

- Selección de modo. La construcción tipo antena de la bobina EMAT combinada con una excitación multiciclo otorga una gran precisión en el dominio de frecuencias, aparte de una selección precisa del modo de onda de interés, lo cual es de gran importancia en la generación de ondas guiadas y su interpretación [2].

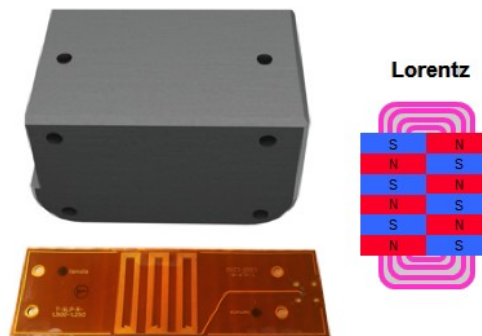


Figura 2. Configuración de imán y bobina utilizados para la generación de ondas guiadas SH.

3. ONDAS GUIADAS

La tecnología EMAT ofrece numerosas opciones de selección de ondas ultrasónicas, entre ellas las ondas guiadas. El desarrollo de este tipo de ondas y sus mejoras ha propiciado su uso en diversas aplicaciones que requieren de inspección volumétrica.

Al contrario que las ondas transversales en ángulo, las ondas guiadas se propagan a lo largo de una pieza de forma paralela a su superficie. Los tipos más habituales de ondas guiadas son de tipo volumétrico (Lamb o SH) que llenan todo el espesor del material, o de tipo superficial (Rayleigh) que siguen el contorno de la pieza inspeccionada. Entre las geometrías que se pueden inspeccionar con ondas guiadas se encuentran barras, tuberías, planchas o raíles, entre otros.

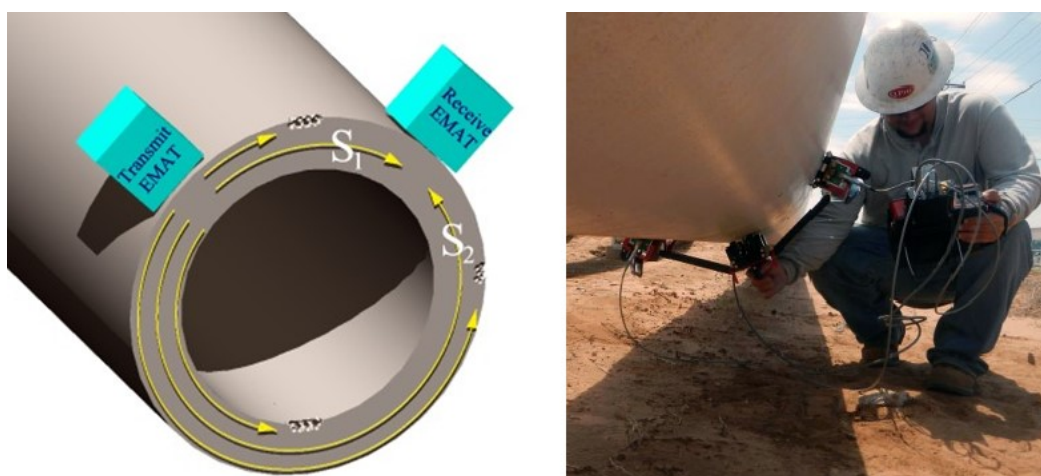


Figura 3. Esquema de configuración axial e inspección de tubería con ondas guiadas MRUT.

Tanto las ondas de Rayleigh como las de Lamb siguen un patrón elíptico con un movimiento de partícula horizontal y vertical. Sin embargo, mientras que una onda superficial tiene la mayor parte de su energía concentrada en la región más superficial con una profundidad igual a una longitud de onda, los modos Lamb permiten penetrar varias longitudes de onda y llevar a cabo una inspección volumétrica completa del material [3].

Ambos tipos de onda pueden viajar largas distancias. Sin embargo, debido a su movimiento en el plano vertical, pueden verse atenuadas por la presencia de líquidos o recubrimientos sobre las fronteras del material sujeto a la inspección. Las ondas de Rayleigh y de Lamb son usadas frecuentemente tanto en la inspección de productos durante su fabricación como en aplicaciones en servicio.

Las ondas transversales se componen de partículas cuyo desplazamiento es perpendicular a la dirección de propagación de la onda, con diferente polarización en función de su mecanismo de generación. Los transductores piezoeléctricos se fundamentan en la refracción de la energía longitudinal para generar ondas transversales verticales, las cuales son polarizadas a 90 grados desde el ángulo de entrada. Utilizando acoplante de alta presión o inducción electromagnética (EMAT) es posible la generación de ondas transversales horizontales (SH) que viajan paralelamente a la superficie de entrada. Como ondas guiadas, los modos SH son, en ocasiones, la mejor opción para la inspección de tuberías y otras estructuras donde los líquidos, abrazaderas o recubrimientos podrían atenuar otros modos de ondas ultrasónicas.

2.1. Ecuaciones de las Ondas Guiadas

Aunque las ondas en ángulo y las ondas guiadas son fundamentalmente diferentes, ambos tipos son gobernados por las mismas ecuaciones diferenciales [4]. Matemáticamente la principal diferencia es que, en el caso de las ondas en ángulo, no existen condiciones de contorno que han de ser cumplidas por la solución propuesta. Sin embargo, la solución al problema de una onda guiada debe satisfacer tanto las ecuaciones que la gobiernan como las condiciones de contorno.

Para las ondas de Rayleigh y de Lamb, las ecuaciones de frecuencia para modos simétricos son:

$$\frac{\tan(qh)}{\tan(ph)} = -\frac{4k^2pq}{(q^2 - k^2)^2} \quad (1)$$

Y para modos antisimétricos:

$$\frac{\tan(qh)}{\tan(ph)} = -\frac{(q^2 - k^2)^2}{4k^2pq} \quad (2)$$

Los valores de p y q se obtienen según:

$$p^2 = \left(\frac{\omega}{C_T}\right)^2 - k^2 \quad \text{y} \quad q^2 = \left(\frac{\omega}{C_T}\right)^2 - k^2 \quad (3) \text{ y } (4)$$

Siendo k igual a:

$$\omega / C_p \quad (5)$$

Donde C_p se corresponde a la velocidad de fase del modo de onda Lamb y ω es la velocidad angular. La velocidad de fase está relacionada con la longitud de onda por la siguiente fórmula:

$$C_p = (\omega / 2\pi) \lambda \quad (6)$$

De las ecuaciones para ondas transversales se puede despejar la velocidad de fase C_p en función del producto frecuencia espesor fd (donde $d = 2h$ y $\omega = 2\pi f$). El resultado es:

$$C_p(fd) = \pm 2C_T \left\{ \frac{fd}{\sqrt{4(fd)^2 - n^2 C_T^2}} \right\} \quad (7)$$

Cuando $n = 0$ (correspondiente al modo simétrico SH_0) se tiene $C_p = C_T$, una onda menos dispersiva a la velocidad de onda transversal C_T . Todos los otros modos SH (para cualquier $n \neq 0$) son dispersivos.

4. INSPECCIÓN BAJO SOPORTES, CASO PRÁCTICO

Encontrar un método fiable de END para la detección de corrosión bajo soportes sin tener que retirarlos es todavía un asunto pendiente. Actualmente diferentes tipos de soportes o refuerzos pueden encontrarse en campo, siendo los de tipo soldado los que presentan más dificultades para su inspección, ya que las soldaduras afectan negativamente a los resultados obtenidos por diferentes técnicas, como se ha descrito anteriormente.

La prueba descrita a continuación fue realizada sobre una tubería pintada de 7 mm de espesor con ocho refuerzos soldados de forma cuadrada de 300 mm de lado, con distintos niveles conocidos de corrosión bajo los mismos, excepto uno de ellos que se fijó sobre una zona en buen estado.

Para esta inspección la configuración de transmisor y receptor separados (pitch-catch) fue seleccionada, utilizando una frecuencia de 500 kHz. Dicha configuración consiste en un transmisor que induce las ondas guiadas transversales horizontales a un lado del refuerzo y un receptor situado al otro lado del mismo que recoge la cantidad de energía ultrasónica que llega desde el emisor después de atravesar la zona bajo el refuerzo.

En caso de existir discontinuidades bajo el refuerzo, se reducirá la cantidad de ultrasonidos que alcanza al receptor, existiendo una relación entre dicha disminución y la severidad de los defectos.



Figura 4. Sensores de transmisión y recepción posicionados a ambos lados de un refuerzo.

Para realizar la calibración del equipo, dos zonas no defectuosas fueron estudiadas, una de ellas se situó en un área de tubería desnuda y la otra bajo un refuerzo soldado.

En el primer caso, el transmisor y receptor se posicionaron a una distancia de 300 mm entre sí, coincidiendo con la anchura de los refuerzos. Una vez colocados los sensores, la ganancia del sistema se reguló hasta obtener una amplitud de la señal en el receptor de entre 70 y 90% del fondo de escala, para evitar la saturación de la señal en diferentes puntos sin defectos.

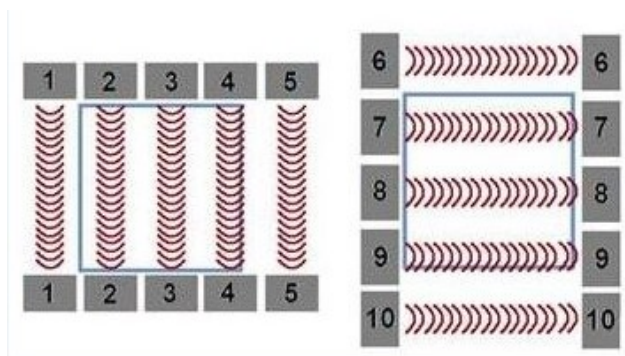


Figura 5. Disposición de los sensores durante la inspección de los refuerzos soldados.

En el segundo caso, los sensores se posicionaron a ambos lados del refuerzo, utilizando los mismos parámetros de la situación anterior, obteniendo un nivel de amplitud de señal de entre 70 y 90% del fondo de escala en distintos puntos.

A la vista de estos resultados, se pudo afirmar que la soldadura no tenía efectos sobre la propagación de las ondas guiadas transversales horizontales, por lo que se procedió a analizar el resto de refuerzos siguiendo el mismo procedimiento descrito. Los sensores fueron situados en diferentes puntos a ambos lados de los refuerzos para inspeccionar el área bajo los mismos. En cada uno de estos puntos se registró un nivel determinado de atenuación de la señal, obteniendo una estimación de la pérdida de espesor.

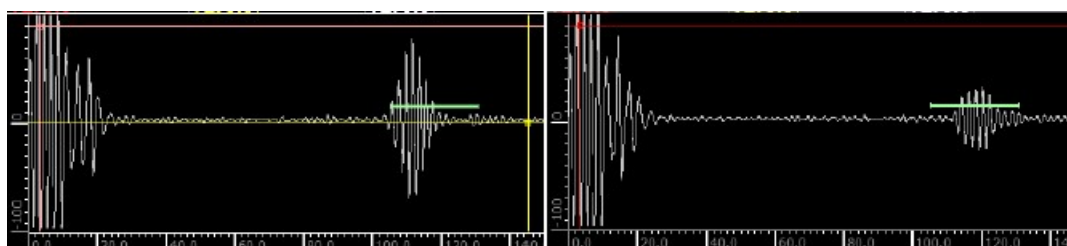


Figura 6. Imagen de osciloscopio con un área libre de defectos (izquierda) y con una zona defectuosa en la trayectoria de las ondas guiadas transversales horizontales (derecha).

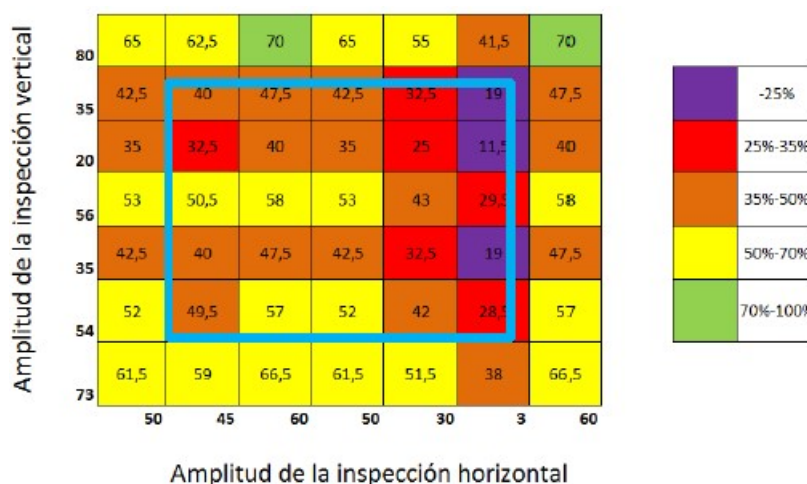


Figura 7. Estimación de severidad de daño bajo uno de los refuerzos.

Una vez realizado el estudio del estado de todas las áreas bajo los refuerzos, se procedió a comparar los resultados obtenidos con los datos reales adquiridos antes de añadir los refuerzos, verificando la existencia de una elevada correlación entre ambos.

4.1. Análisis y discusión de resultados

De este caso práctico se pueden extraer las siguientes afirmaciones:

- Las soldaduras no afectan a los resultados de la inspección.

- Sencilla interpretación de los resultados respecto a otros tipos de ondas guiadas, gracias a la fácil selección del modo de onda que permite EMAT y a la característica no dispersiva del modo SH_0 .
- Las ondas guiadas permiten una estimación de la severidad de los defectos, pero no pueden dimensionarlos con exactitud.
- No es necesaria una minuciosa preparación superficial de la pieza a inspeccionar.
- Elevada sensibilidad a la distancia entre el transductor y la pieza (lift-off), siendo 1 mm la máxima distancia admisible para obtener resultados satisfactorios.
- Reducido tiempo de inspección, aproximadamente 10 minutos para un refuerzo de 300 mm x 300 mm.

5. CONCLUSIONES

Las ondas guiadas transversales horizontales generadas por EMAT son una opción interesante para la inspección bajo soportes y refuerzos soldados.

Se ha demostrado que la soldadura no tiene efectos negativos sobre la amplitud de la señal, debido principalmente a que el movimiento de las partículas carece de componente vertical, a diferencia de otros tipos de ondas de ultrasonidos. Gracias a ello, las ondas guiadas transversales horizontales son menos sensibles a factores externos como la presencia de soldaduras.

La misma técnica descrita en este trabajo se puede aplicar a otros casos similares, como la inspección bajo placas de refuerzo en uniones en T, habituales en la industria nuclear [5].

Las ondas guiadas están creciendo en popularidad debido a su alta sensibilidad a defectos superficiales e internos, y a su capacidad de cubrir largas distancias con un número limitado de sensores.

Innerspec Technologies ha desarrollado una gran variedad de sensores acústicos electromagnéticos que permiten la generación de todos los tipos de ondas de ultrasonidos, beneficiándose de todas las ventajas inherentes a la tecnología EMAT.

REFERENCIAS

- [1] V. García, "Transductores acústicos electromagnéticos (EMAT). Los ultrasonidos sin acoplante. Aplicaciones y desarrollos" Revista AEND nº 62
- [2] B. López, "Surface and Thin Volumetric Inspections with EMAT"
- [3] B. Lopez, "Inspection Trends June 2004".

- [4] J. Rose, "Ultrasonic Waves in Solid Media" páginas 101-245.
- [5] T. Uchimoto, T. Takagi, T. Ichihara, S. Xie, "Evaluation of Wall Thinning in Doubled Layer T-Joints by SH-wave Electromagnetic Acoustic Transducers"