

Tecnología de Ultrasonido por EMAT, influencia en el Mantenimiento Avanzado y la Gestión de Activos Industriales

Jorge Alejandro García Díaz

Innerspec Technologies LATAM

Eje Central Lázaro Cárdenas 795, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, 07700

E.mail: agarcia@innerspec.com

Ciudad de México – México.

Resumen

Objetivo del trabajo

Este trabajo tiene como objetivo demostrar el valor estratégico de la tecnología EMAT como un habilitador clave del mantenimiento avanzado y la gestión inteligente de activos industriales, a partir del análisis de sus fundamentos físicos y operativos, la exposición de aplicaciones reales en entornos industriales exigentes y la evidencia de su impacto directo en la confiabilidad operacional, y la seguridad de los activos, posicionándola como una solución tecnológica de alto impacto para la toma de decisiones en la industria moderna.

Introducción

La evolución del mantenimiento industrial ha impulsado la adopción de tecnologías de inspección no destructiva END capaces de ofrecer mayor confiabilidad, eficiencia operativa y capacidad de análisis en tiempo real. En este contexto, el ultrasonido mediante Transductores Acústicos Electromagnéticos EMAT se ha consolidado como una solución avanzada para la evaluación de la integridad de activos críticos, ya que permite la generación de ultrasonido, sin la necesidad de utilizar piezoeléctricos.

Dentro de este marco, la detección de pérdida de espesor en tuberías constituye una de las inspecciones más habituales debido al elevado riesgo que representa en numerosas industrias. Esta problemática se agrava cuando las zonas a inspeccionar no son accesibles, como ocurre en las áreas situadas entre las tuberías y sus soportes o refuerzos, donde además suele concentrarse la corrosión. En estos casos, las

opciones de END disponibles son limitadas, por lo que la selección del método adecuado resulta crítica y depende tanto de los requisitos de la inspección como de las condiciones ambientales.

Actualmente existen diversos métodos de END aplicados a este tipo de evaluaciones, cada uno con ventajas y limitaciones específicas. Las técnicas de ondas guiadas de baja frecuencia y largo alcance LRUT, que operan alrededor de 50 kHz, permiten detectar defectos a grandes distancias, alcanzando hasta 50 – 100 m. No obstante, presentan una zona ciega de hasta 60 cm y su desempeño se ve comprometido.

Por otra parte, las ondas guiadas de medio alcance MRUT operan a frecuencias más elevadas, comprendidas entre 64 y 128 kHz, lo que se traduce en una mayor sensibilidad para la detección de defectos. Estas ondas pueden ser de tipo Lamb o transversales horizontales SH. Las ondas Lamb son las más utilizadas y han demostrado una alta efectividad en la inspección de tuberías y tanques, incluso en zonas de difícil acceso, como áreas bajo soportes o tuberías parcialmente enterradas; sin embargo, su propagación puede verse afectada por la presencia de soldaduras. En contraste, las ondas guiadas transversales horizontales no presentan conversión de modo y su modo fundamental SH0 es no dispersivo, lo que las hace insensibles a las soldaduras en su trayectoria. Esta característica las convierte en una técnica especialmente adecuada para la inspección de áreas situadas bajo soportes soldados.

Fundamentos de la tecnología EMAT.

La técnica de ultrasonidos se encuentra ampliamente extendida en el ámbito de la inspección no destructiva, y su fiabilidad ha sido demostrada a lo largo del tiempo. Tradicionalmente, la generación de ultrasonidos se realiza mediante transductores piezoeléctricos, los cuales, si bien son altamente eficientes y versátiles, requieren un acoplamiento directo con la pieza a inspeccionar. Este acoplamiento se logra mediante la aplicación de alta presión —lo que limita la inspección a condiciones estáticas— o mediante el uso de acoplantes líquidos, los cuales restringen la velocidad y el posicionamiento del sensor, además de poder introducir interferencias en la propagación de la onda.

En contraste, la tecnología de Transductores Acústicos Electromagnéticos EMAT representa una alternativa avanzada, ya que permite generar el ultrasonido directamente en el material inspeccionado en lugar de hacerlo en el propio sensor.

EMAT se basa en principios electromagnéticos, fundamentalmente en la fuerza de Lorentz y, en materiales ferromagnéticos, en el efecto de la magnetostricción. En este proceso, un campo magnético alterno de alta frecuencia generado por bobinas interactúa con un campo magnético estático o de baja frecuencia producido por imanes, dando lugar a una fuerza electromecánica similar a la de un motor eléctrico, la cual induce una perturbación que se propaga en forma de onda elástica. De manera inversa, la interacción de las ondas elásticas con el campo magnético induce corrientes eléctricas en las bobinas receptoras EMAT. La contribución de la magnetostricción en materiales ferromagnéticos incrementa significativamente la amplitud de la señal respecto a la obtenida únicamente por la fuerza de Lorentz [1].

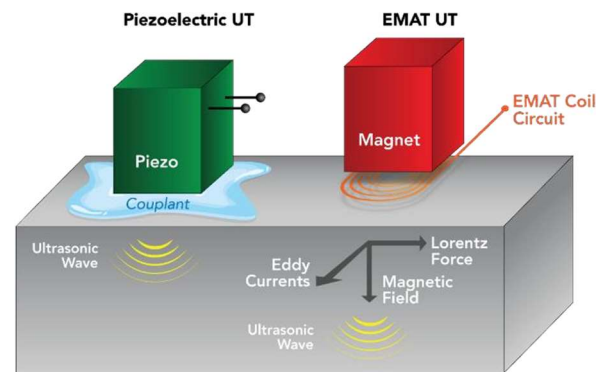


Fig. 1 Comparativa entre las técnicas de ultrasonido convencional y EMAT

Gracias a la flexibilidad en el diseño de bobinas e imanes, EMAT permite la generación de diversos modos de onda, incluyendo ondas guiadas, ondas de corte y, de forma destacada, ondas transversales horizontales SH. Dado que el ultrasonido se genera directamente en la pieza inspeccionada, esta tecnología presenta ventajas significativas frente a los transductores piezoeléctricos convencionales. Entre ellas se destacan la posibilidad de realizar inspecciones en seco sin necesidad de acoplantes, lo que la hace especialmente adecuada para aplicaciones a temperaturas extremas y para sistemas automatizados; la inmunidad frente a condiciones superficiales adversas, permitiendo inspeccionar a través de recubrimientos, óxidos o superficies rugosas; y la facilidad en la disposición de los sensores, ya que no se requieren zapatas ni se aplica la ley de Snell, por lo que el ángulo del sensor no condiciona la dirección de propagación de la onda.

Adicionalmente, la configuración tipo antena de las bobinas EMAT, combinada con excitaciones multiciclo, proporciona una elevada precisión en el dominio de la frecuencia y una selección controlada del modo de onda de interés. Esta capacidad resulta especialmente relevante en aplicaciones de ondas guiadas, donde la correcta selección modal es fundamental para la interpretación fiable de los resultados y para evaluaciones avanzadas de integridad estructural [2].

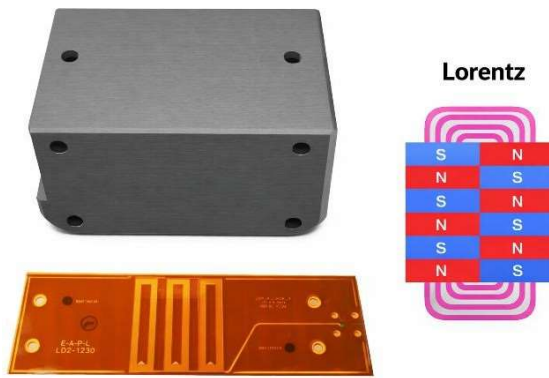


Fig. 2 Configuración de imán y bobina utilizados para la generación de ondas guiadas SH.

Aplicaciones en mantenimiento avanzado.

En el contexto del mantenimiento avanzado, la tecnología EMAT se posiciona como una herramienta de alto impacto para la detección temprana y confiable de mecanismos de daño críticos, tales como corrosión generalizada y localizada, pérdida de espesor, grietas por fatiga y degradación. Su capacidad para operar sin interrupción de los procesos productivos permite la inspección eficiente de tuberías, recipientes a presión, intercambiadores de calor y estructuras críticas en condiciones operativas reales. Esta característica transforma el enfoque tradicional de inspección, habilitando estrategias de mantenimiento predictivo basado en condición con mayor precisión y cobertura.

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 que cuentan con soldadura en su perímetro los que presentan más dificultad para su inspección, ya que las soldaduras afectan negativamente los resultados.

La prueba descrita a continuación fue realizada sobre una tubería 9 mm de espesor con soporte

soldado de forma rectangular de 300 mm, 350 mm de lado, con distintos niveles conocidos de corrosión bajo el mismo.



Fig. 3 Pieza de interés con soporte totalmente soldado.

Para esta inspección la configuración utilizada fue pulso-eco con ondas SH utilizando una bobina con una frecuencia de 128KHz y un enconder, el cual registrara la posición de la bobina a lo largo del área inspeccionada. Dicha configuración consiste en una bobina que induce las ondas guiadas transversales horizontales (SH) a través del área de interés (área bajo soporte soldado) considerando que para esta prueba también se utiliza una cinta magnetostrictiva (Fe - Co) la cual nos permite la propagación del ultrasonido en el material de interés.

Se colocó una cinta magnetostrictiva de 500 mm de longitud a una distancia de 460 mm de forma paralela al soporte (área de interés), la longitud de la cinta cubre en su totalidad el área bajo el soporte y se coloca de tal manera que se tenga un excedente de área que no está bajo el mismo soporte, con la finalidad de tener una señal comparativa entre área que no está bajo el soporte y área que, si lo está, esto es importante ya que de esta manera la interpretación de la señal resultante es más eficiente.



Fig. 4 Posición de la cinta magnetostrictiva y escaner con bobina para inspeccionar debajo del soporte totalmente soldado

En los resultados obtenidos, se pudo afirmar que la soldadura no presenta interferencia sobre la propagación de las ondas guiadas transversales horizontales SH. En este caso se procedió a realizar una clasificación de las discontinuidades localizadas con respecto a la atenuación de la señal obtenida, así como el posicionamiento de cada indicación en el área bajo el soporte.

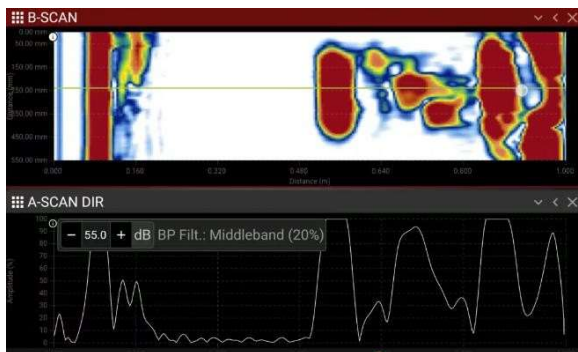


Fig. 5 A-Scan y B-Scan obtenido de la inspección realizada.

En los resultados, el encoder proporciona la posición de las indicaciones mostradas en el barrido B-Scan, con esta información y para tener mayor claridad se procede a sobreponer la imagen del barrido B-Scan sobre la una imagen del espécimen de interés, observando claramente que las señales coinciden con el inicio y final de la muestra, así como, el inicio y final de la soldadura del soporte (soldaduras perpendiculares a la incidencia del ultrasonido), mientras que también nos muestra reflexiones de indicaciones que no son visibles y a las cuales no tenemos acceso por la naturaleza del soporte, sin embargo, se pueden categorizar dependiendo el nivel de atenuación de la reflexión de dicha discontinuidad.



Fig. 6a Vista superior de pieza inspeccionada, 6b Vista superior de pieza inspeccionada con superposición de barrido B-Scan de ondas guiadas de mediano alcance MRUT.

EMAT y gestión de activos.

Desde la gestión de activos, EMAT aporta datos confiables y repetibles que fortalecen la toma de decisiones estratégicas, permiten priorizar intervenciones y optimizar la vida útil de los activos, integrándose eficazmente a modelos de Asset Performance Management.

Conclusiones.

Del caso práctico se ha demostrado que la soldadura no tiene efectos negativos sobre la amplitud de la señal, a diferencia de otros tipos de ondas de ultrasonido. 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 [3].

Desde la perspectiva de gestión de activos, la aplicación de EMAT permite reducir incertidumbre, priorizar intervenciones y soportar estrategias de mantenimiento basado en condición.

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] T. Uchimoto, T. Takagi, T. Ichihara, S. Xie,
“Evaluation of Wall Thinning in
Doubled Layer T-Joints by SH-wave
Electromagnetic Acoustic Transducers”

Jorge Alejandro García Díaz es Ingeniero en Metalurgia y Materiales, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Cuenta con experiencia en ensayos no destructivos y control de calidad industrial, desempeñándose como especialista en NDT, inspector y formador técnico. Ha participado en la implementación y ejecución de técnicas avanzadas de inspección como ultrasonido convencional y avanzado (PAUT, TFM/FMC), corrientes inducidas (ET, ETPA), MFL y VT, así como en el desarrollo de protocolos de inspección y procedimientos de calidad. Su trayectoria incluye proyectos de integridad de activos, evaluación de corrosión y mantenimiento basado en condición en sectores automotriz, metalmecánico y energético, contribuyendo a la confiabilidad operativa y a la toma de decisiones técnicas en gestión de activos.

Datos de contacto del autor

Nombre: Jorge Alejandro García Díaz

Correo electrónico: agarcia@innerspec.com

Ciudad: Ciudad de México

País: México