

AVANCES EN LA INSPECCIÓN DE CORROSIÓN POR PHASED ARRAY EN CODOS: ¿ES POSIBLE UTILIZAR ESTA TÉCNICA PARA ESTE TIPO DE GEOMETRÍAS?

Martín Chimenti, ARO S.A., m.chimenti@aroline.com.ar

Sinopsis:

Las tecnologías de inspección por Ensayos No Destructivos (END), como por ejemplo el Phased Array, continúan evolucionando a un ritmo vertiginoso, y esto conlleva un notable crecimiento en la productividad de los ensayos, en la probabilidad de detección (POD), y en la confianza que arrojan sus resultados. Además, su uso no implica riesgos para la salud de las personas ni su entorno, por lo que es sustentable en términos sociales y medioambientales. En este trabajo se presenta una solución completa, eficiente y eficaz para la inspección de corrosión en codos y en tanques esféricos (esferas ASME) por Phased Array, realizada con el equipo OmniScan X3 de la marca Olympus (ahora Evident Scientific). Además de conducirnos a importantes mejoras técnicas, esta solución evita posibles accidentes en comparación con los métodos de inspección, anteriores al Phased Array, utilizados para estas aplicaciones. Una correcta selección del tipo de transductor y del escáner a utilizar, la posterior creación de un plan de escaneo, el proceso de inspección semiautomatizado y la capacitación y formación en los END avanzados para llevar a cabo una correcta inspección, son aspectos fundamentales a la hora de lograr un mapeo de corrosión exitoso del 100% de la superficie que se necesita controlar. Todo esto facilita el trabajo de los inspectores de campo y la toma de decisiones del personal de integridad.

1. Introducción:

La primera aplicación del Phased Array tuvo lugar en el ámbito de la medicina, específicamente en las ecografías con fines diagnósticos. Más tarde, más precisamente en la década de 1990 / 2000, Phased Array fue introducido en la industria con el mismo concepto que se utilizaba en medicina (Fig. 1): observar el estado interior de diversas piezas y partes críticas de una estructura. Por ejemplo: inspección de soldaduras, localización de fisuras y distintos defectos en ejes, realización de mapeos de corrosión, controles de fabricación en línea y fuera de ella, entre otros usos.

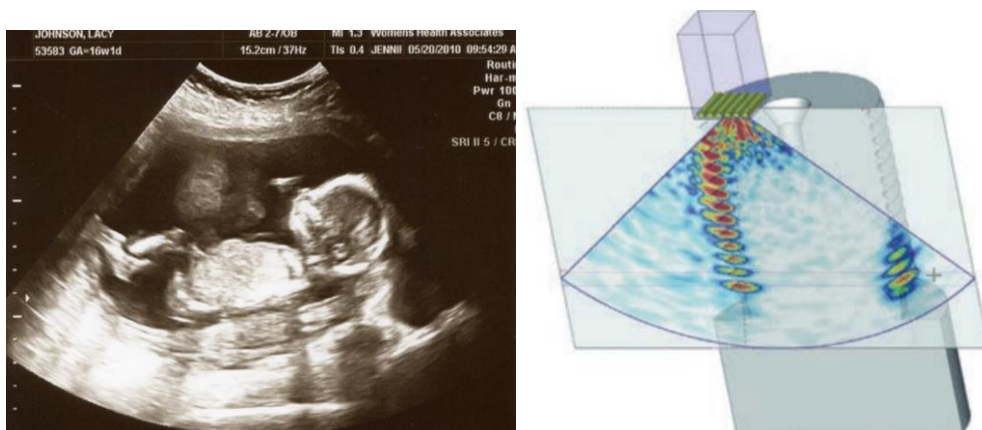


Fig. 1: Diagnóstico médico e industrial.

La técnica Phased Array consiste en un tipo de ensayo no destructivo cuyo principio de funcionamiento deriva del ultrasonido convencional, aunque con ciertas diferencias. Entre ellas, se destaca el hecho de que Phased Array utiliza transductores con múltiples elementos capaces de ser excitados de manera individual, con distintas amplitudes y retardos, generando así un frente de ondas

en la dirección deseada (Fig. 2). Los ecos recibidos por cada uno de los elementos son retardados temporalmente entre sí, para luego ser sumados y producir, como resultado, una sola vista A-Scan para cada ángulo que se utilice. De esta forma, el receptor combina las señales de los elementos generando un conjunto de vistas de la pieza ensayada y, así, se inspecciona el 100% de lo deseado obteniéndose más información que si se inspeccionara con Ultrasonido Convencional.

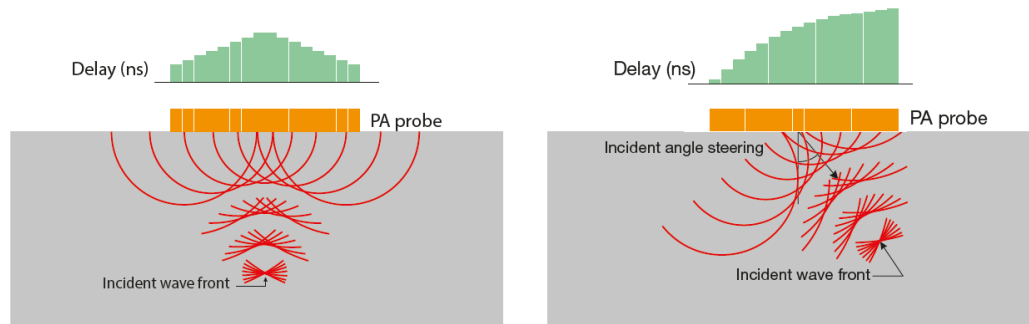


Fig. 2: Ilustración de la dirección del haz en función de los distintos retardos para cada uno de los elementos del transductor.

Al igual que en Ultrasonido Convencional, con Phased Array se pueden localizar discontinuidades y conocer su profundidad. Pero, a diferencia del ultrasonido convencional, con Phased Array es posible indicar las coordenadas en las cuales se encuentra una discontinuidad, y también es posible medirla (en ancho y largo). A diferencia del Ultrasonido Convencional, este ensayo tiene la ventaja de obtener un registro de la inspección realizada y, además, demanda tiempos muy cortos de inspección, lo que posibilita llevarla a cabo a gran velocidad en comparación con otras técnicas no destructivas.

Otra de las ventajas de Phased Array reside en que toda la información que se obtiene es conseguida en tiempo real, lo que permite corregir in situ los defectos que se encuentren sin necesidad de tener que procesar de forma excluyente la información para hacer un diagnóstico fuera de campo; de esta forma, se logra reducir notablemente los tiempos de ensayos. Asimismo, esta tecnología es altamente sustentable desde el punto de vista de la salud de las personas y del medioambiente, ya que no utiliza productos químicos ni nocivos, al margen de que el hecho de no requerir consumibles facilita la reducción de futuros costos constantes.

En el caso de las inspecciones de corrosión, su objetivo es detectar pérdidas de material en el espesor base, para luego estudiar los resultados obtenidos y tomar acciones para reparar el componente que ha sufrido la pérdida de espesor, con el fin de anticiparse a potenciales accidentes que van contra el normal funcionamiento del activo en cuestión, pudiendo perjudicar así a las personas que lo rodean o se desempeñan en la instalación.

Habitualmente, esta tarea era realizada en gran medida con medidores de espesores por Ultrasonido Convencional (Fig. 3), que gracias al cristal piezoeléctrico del transductor emite una señal que atraviesa el material del componente a inspeccionar (onda longitudinal para estas aplicaciones). Así, en la pantalla del medidor de espesores se obtiene, en números, el valor de espesor que se está controlando. Algunos equipos poseen la ventaja de contar con una pantalla A-Scan, en donde se puede verificar que el espesor medido corresponda al eco correcto y no se trate de una señal fantasma. También ciertos equipos disponen de una pantalla B-Scan, que consiste en la obtención de la gráfica del perfil del espesor medido gracias un algoritmo matemático que utiliza los valores que el transductor se encuentra midiendo, o que va midiendo a medida que se lo desplaza (Fig. 4).

Para el caso de medición de espesores de codos, se suele utilizar una grilla o matriz para realizar la toma de espesores, como se muestra en la Fig. 5, que en Ultrasonido Convencional es completada de

manera puntual. Esta matriz ayuda los inspectores a localizar la coordenada de cada punto medido, como así también a asegurarse de que las mediciones sean repetidas y realizadas siempre en un mismo lugar.



Fig. 3: Medición de espesor en codos, con un medidor por Ultrasonido Convencional con pantalla A-Scan.



Fig. 4: Medidor de espesores con pantalla A-Scan y B-Scan.

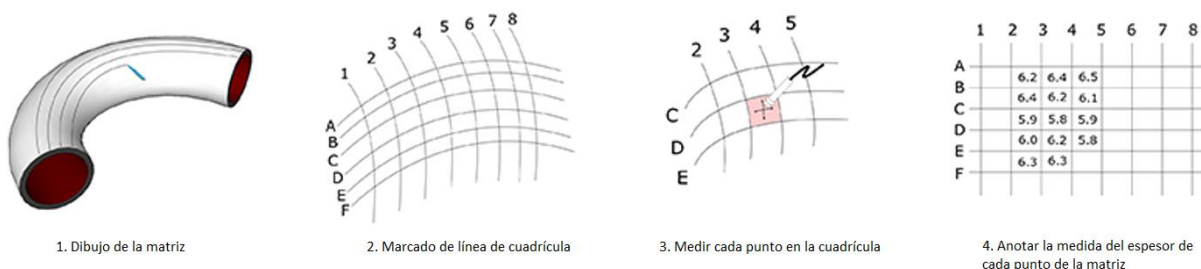


Fig. 5: Ilustración de la una matriz de medición de espesores por Ultrasonido Convencional.

Es importante tener en cuenta que el transductor que se encarga de tomar la medición lo hace en forma puntual, siendo por lo general su diámetro nominal de contacto de entre 9 y 12 mm, por lo que nunca se podrá garantizar la integridad total del componente medido, ya que permanecerán zonas sin

medir. Además, y suponiendo el caso de que se quiera realizar una medición total, la misma no tendrá un registro; adicionalmente, la densidad de la matriz/grilla de medición sería extremadamente grande, haciendo que la inspección insuma demasiado tiempo y, por ende, se convierta en un control no viable de ser realizado.

Con el fin de mejorar las inspecciones de corrosión en codos, puede utilizarse la técnica Phased Array. En este trabajo se abordan las principales características de Phased Array para mapeos de corrosión en codos, los principales pasos para realizar el ensayo y los resultados obtenidos con el equipo OmniScan X3 y el escáner FlexoFORM de la marca Evident Scientific (ex Olympus).

2. Desarrollo

La técnica ultrasónica de Phased Array proporciona grandes beneficios, como datos de alta resolución, una gran cobertura de escaneo y representaciones en alta calidad y definición. Además, Phased Array permite, entre otras cosas, resolver las falencias de los medidores de espesores por Ultrasonido Convencional. Es decir: un ensayo de Phased Array otorga un registro de la inspección realizada, permite obtener un mapeo del 100% de la superficie que se desea ensayar, por lo que no quedan puntos sin inspeccionar, a diferencia del Ultrasonido. Además, Phased Array brinda vistas en todos los planos de inspección de un mismo componente, posibilitando dimensionar las indicaciones de interés en ancho, largo y profundidad.

Sin embargo, a la hora de realizar un mapeo de corrosión en codos, en el pasado una de las limitaciones de Phased Array consistía en que los transductores (rígidos) no podían adaptarse a la forma geométrica de un codo, desde su superficie cóncava en los intradós hasta la convexa en los extradós, ni a la amplia variedad de diámetros de tuberías con codos que debían ser inspeccionadas. Esto dio lugar a que la inspección de codos se viera limitada a usar transductores de Ultrasonido Convencional de pequeñas dimensiones, en forma manual y punto por punto, o en algunos casos a emplear el método de Radiografía Industrial.

2.1 Un avance en la inspección de corrosión en codos: traductor flexible con escáner

A lo largo de la década del 2010, múltiples aplicaciones de mapeos de corrosión comenzaron a cobrar auge utilizando Phased Array, pero una de ellas presentaba un problema geométrico que impedía su utilización: la inspección completa de un codo. Debido a la diferencia en geometría y dimensiones entre el radio interno y externo de un codo, estas inspecciones siempre arrojaban dificultades para poder hacer un mapeo completo, de manera que, dependiendo de las dimensiones, no se podía inspeccionar de forma completa un codo por Phased Array. Hacia mediados de la década del 2010, esto comenzaría a cambiar, en primera medida gracias a la aparición de transductores flexibles (Fig. 6 y 7).

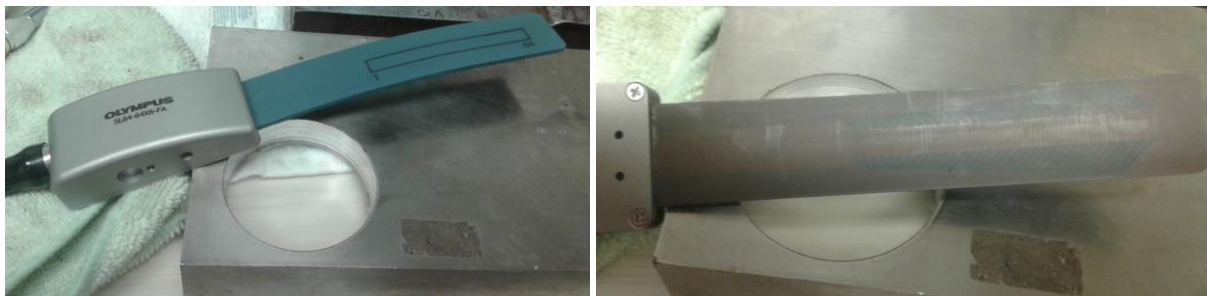


Fig. 6: Transductor de 64 elementos, de array flexible. Vista de su parte externa (izquierda) y del lado de contacto con la superficie a inspeccionar (derecha).

En la Fig. 7 se visualiza parte del potencial de este transductor, apoyado en forma manual sobre una superficie curva correspondiente a una cañería de 4 in de diámetro, obteniendo así el resultado de una corrosión en dicha superficie (Fig. 8).



Fig. 7: Transductor de 64 elementos, 5 MHz de frecuencia y array flexible, sobre una cañería de 4 in de diámetro.

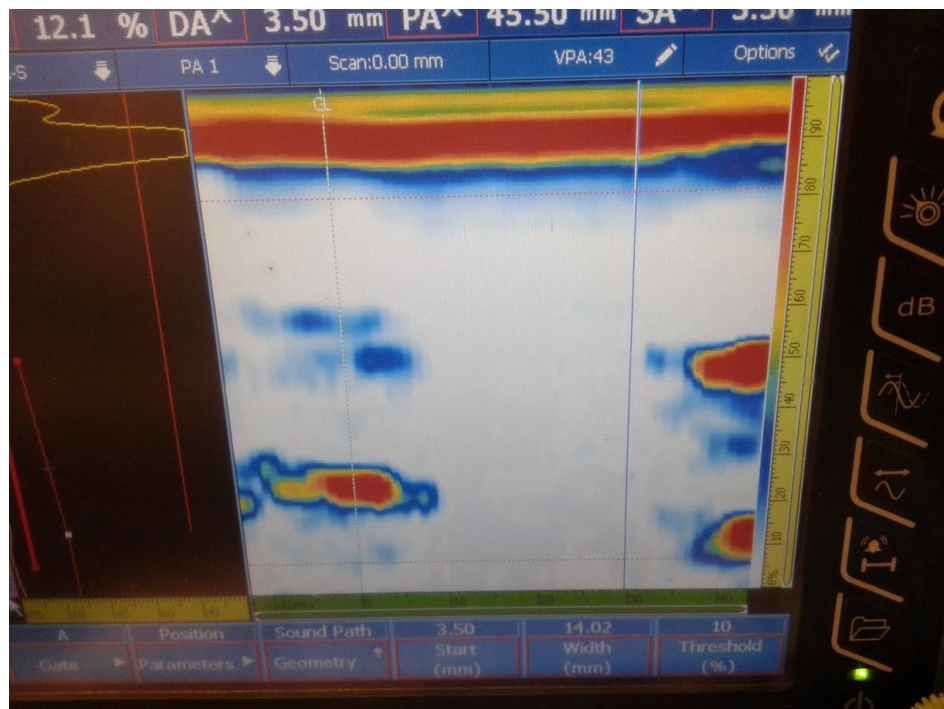


Fig. 8: En color rojo, indicaciones correspondientes a zona muerta de transductor y a corrosión de la cañería inspeccionada en forma manual.

Poco antes del año 2020, este transductor fue tomado como base para formar parte de un escáner semiautomático que permitiera realizar un mapeo de corrosión de una geometría que siempre había generado controversias a la hora de ser inspeccionada en un 100%, es decir de un codo.

Gracias a su diseño, este escáner semiautomático es aplicable para toda la generatriz de un codo, por lo que se puede utilizar para detectar distintos tipos de corrosión. A su vez, permite obtener escaneos de hasta 60 mm de ancho por pasada, y el mapeo completo de un codo se lleva a cabo gracias a múltiples pasadas por acción de un sistema de indexación automático, a cargo del inspector. Cuatro ruedas magnéticas se encargan de reducir el esfuerzo del operador y asegurar la estabilidad en cada pasada de inspección, y un sistema de apertura y cierre de este dispositivo permite adaptarlo a la superficie a inspeccionar, ejecutando así el control del 100% de codos desde 1,3 in de diámetro hasta codos de dimensiones sumamente grandes, considerados como superficies planas dadas sus medidas. Se obtiene un registro del mapeo que tiene una resolución de al menos 1 mm x 1 mm, con lo cual se aumenta notablemente la Probabilidad de Detección (POD), y este registro es posible gracias a un encoder que posee el escáner. Además, entre cada pasada de inspección se solapa 1 mm la nueva pasada con la anterior, con el fin de no perder información en ningún momento.

El transductor flexible y el escáner se conectan al equipo de adquisición de imágenes, y una bomba de agua (manual o eléctrica) se encarga de suministrar agua en forma continua, que tiene como función llenar una columna de agua en la zapata porta transductor, haciendo así de nexo entre el transductor y la superficie a ensayar.

En la Fig. 9 se puede ver el escáner montado en un codo de 8,625 in de diámetro y 8 mm de espesor nominal. Las franjas amarillas dibujadas sobre el codo indican, a modo didáctico, las pasadas que deberán realizarse, es decir la cobertura efectiva del escáner por cada movimiento en dirección de escaneo.



Fig. 9: Escáner FlexoFORM sobre un codo de 8,625 in de diámetro.

El alcance del escáner y sus principales componentes pueden visualizarse, respectivamente, en las Figs. 10 y 11. Es importante destacar que el transductor utilizado en este trabajo técnico, es decir el que posee el FlexoFORM, es de array flexible, con 7,5 MHz de frecuencia, 64 elementos, pitch de 1

mm y elevación de 7 mm. De todas formas, este transductor no es el único que soporta el escáner, es decir que puede emplearse uno distinto, por ejemplo con otra frecuencia.



Fig. 10: Escáner FlexoFORM sobre la parte externa de un codo de 8,625 in de diámetro (izquierda), y sobre un codo de 4,5 in de diámetro sobre el radio interno (derecha inferior) y sobre un codo de 2 in (derecha superior).



Fig. 11: Partes principales del escáner FlexoFORM: piezas fundamentales para realizar mapeos de corrosión en codos.

2.2 Ejemplos de inspecciones

2.2.1 Caso 1:

A continuación, en la Fig. 12 y la Fig.13, se puede apreciar un ejemplo práctico de inspección, sobre un codo con corrosión que tiene 8,625 in de diámetro y 8 mm de espesor nominal, y es de acero al carbono.



Fig. 12: Inspección completa de codo de acero al carbono.



Fig. 13: Inspección completa de codo de acero al carbono. En este caso, el escáner está posicionado en el radio interior.

La línea amarilla realizada en sentido circunferencial, en el centro del codo, indica el cero del eje de escaneo, mientras que las líneas curvadas en sentido longitudinal expresan el ancho de cada

pasada (Fig. 13 y 14). Estas líneas son utilizadas a modo didáctico y a modo de guía, no siendo necesarias emplearlas cada vez que se realiza un mapeo de un codo. La relación entre las líneas de referencia y el resultado obtenido en el ensayo se ilustra en una vista en planta (C-Scan) en la Fig. 15.

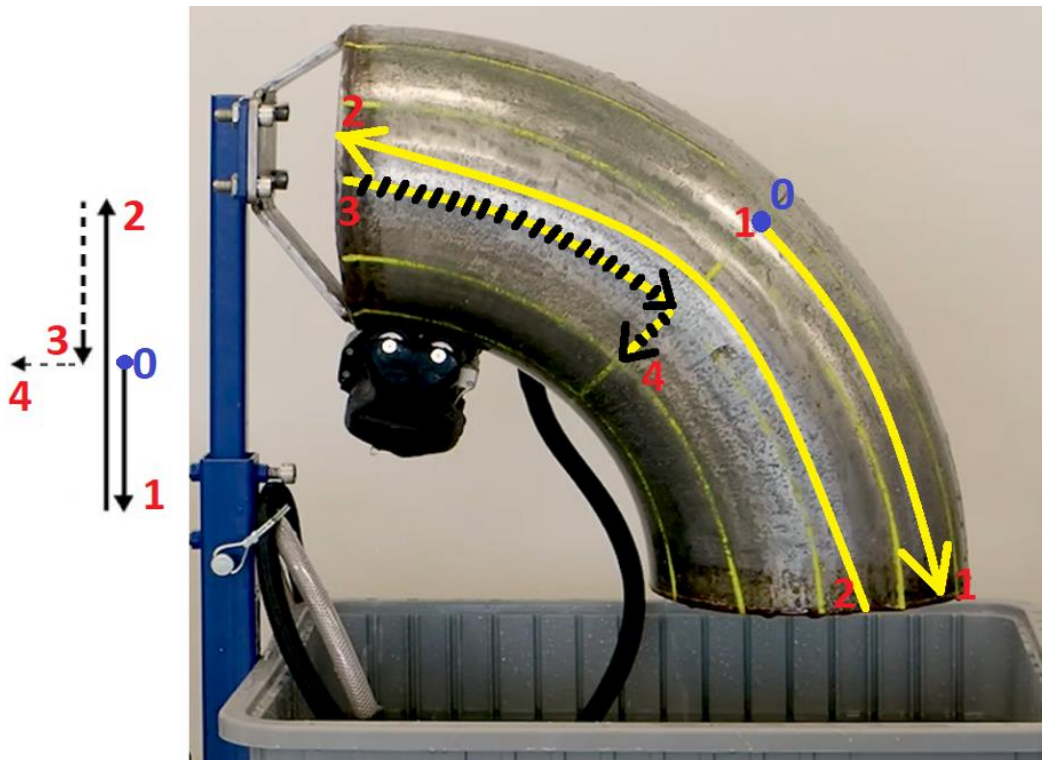


Fig. 14: Trama de escaneo: primer barrido identificado con el número 1, del centro hacia abajo, es decir partiendo de la posición identificada en azul con el número 0. Luego, desde la parte inferior hasta la superior (1-2) (siempre en el mismo eje). Finalmente, sin volver a tomar información, se retorna al centro (línea amarilla-negra punteada con el número 3) para desplazarse en índice (4) y hacer la segunda pasada de escaneo.

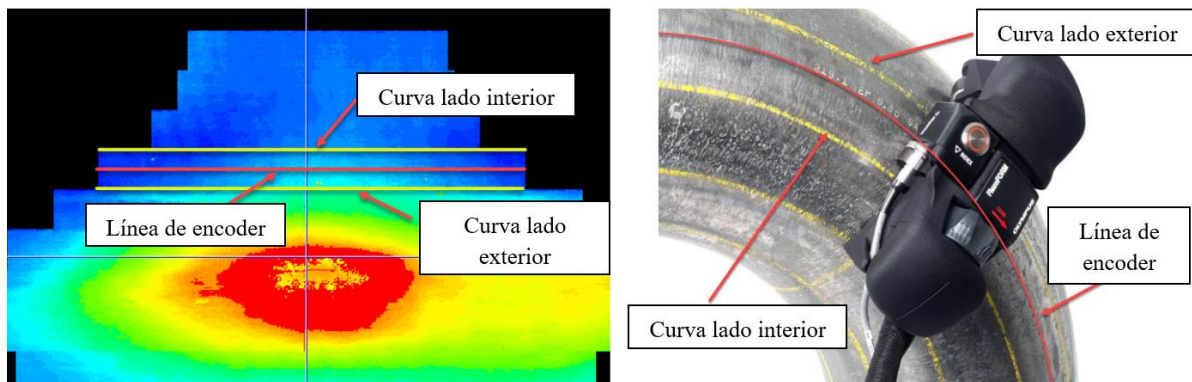


Fig. 15: Interpretación de imagen con respecto a las líneas marcadas en el codo. Cada franja comprendida entre las líneas correspondientes a la curva lado interior y lado exterior corresponden a una pasada en eje de índice, es decir a la cobertura máxima del escáner por pasada.

Para realizar la confección del plan de escaneo (Fig. 16), se utiliza el asistente que posee el equipo de adquisición de imágenes, configurando las dimensiones del codo, el transductor, la zapata y el escáner en cuestión. El haz es focalizado a una profundidad de 5 mm, utilizando 3 elementos (desde el 1 al 64) y un ángulo de 0° en un barrido de tipo lineal. El tipo de onda empelada es longitudinal.

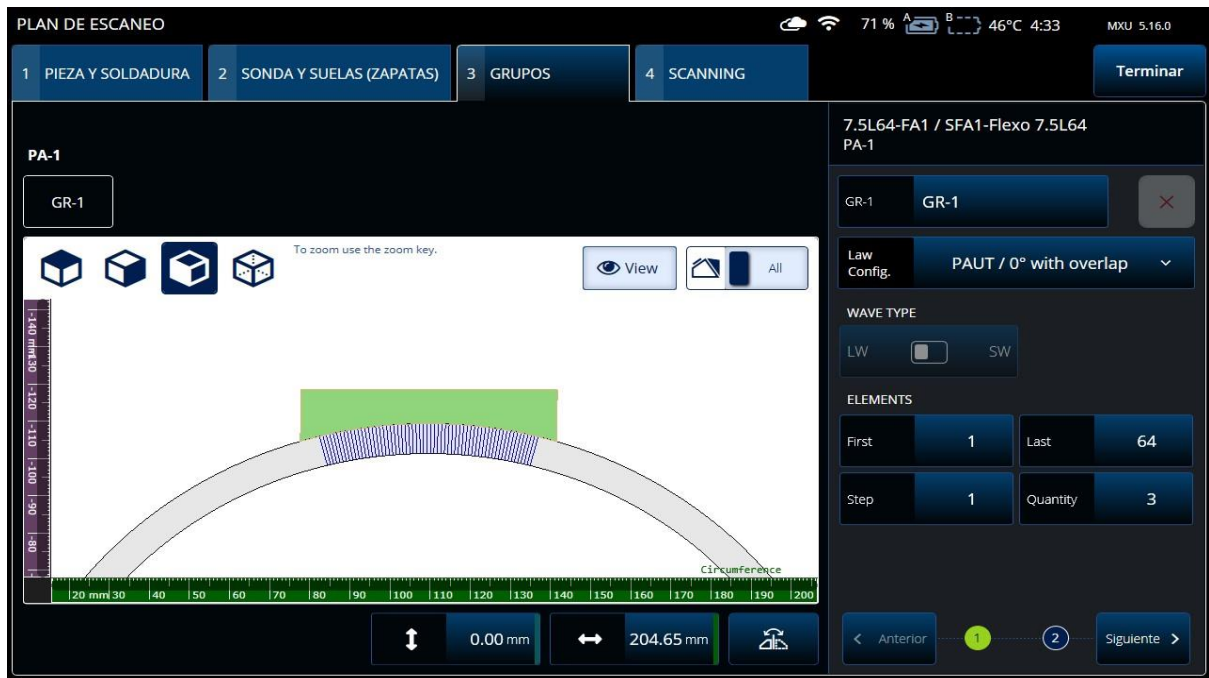


Fig. 16: Plan de escaneo.

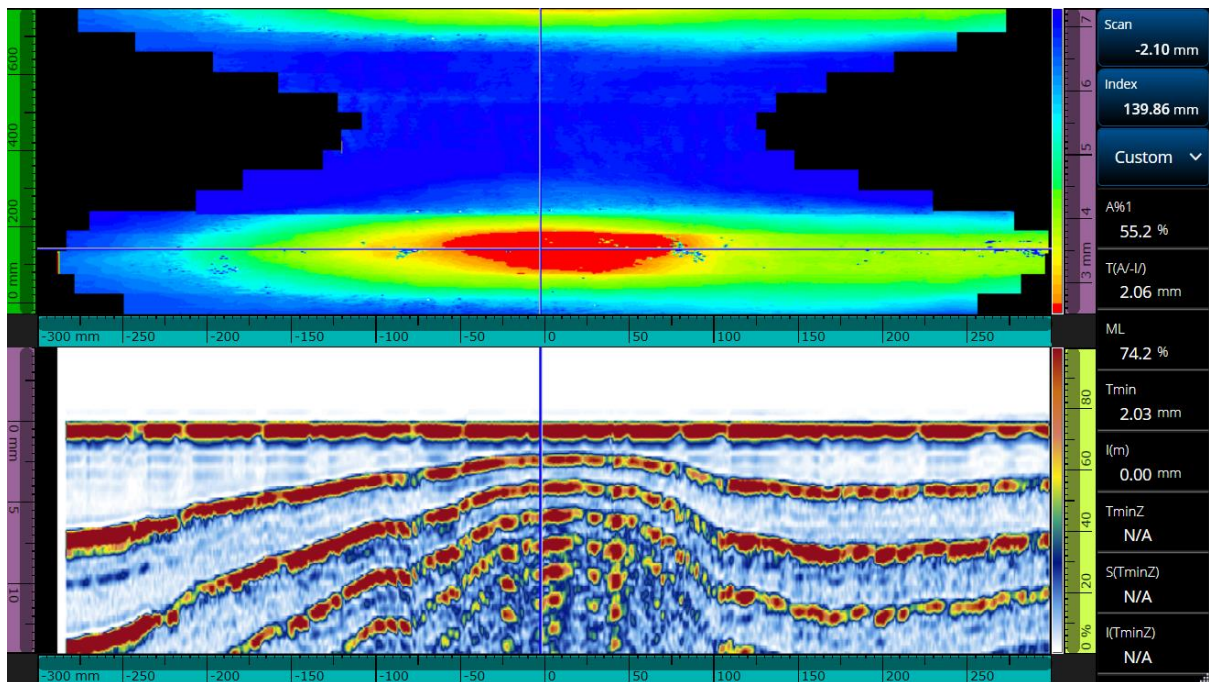


Fig. 17: Corrosión correspondiente a la inspección completa de codo de acero al carbono, gracias a un C-Scan (vista en planta) y un B-Scan (vista transversal). El C-Scan se localiza en la parte superior de la figura, mientras que el B-Scan se sitúa en la parte inferior.

Como consecuencia del plan de escaneo realizado, el resultado del ensayo del codo de las Fig. 12 y 13 que se obtiene una vez que el escáner barre por completo a todo el codo se aprecia en la Fig. 17. Dicho resultado corresponde a un C-Scan en la parte superior de la imagen, y a un B-Scan en la parte inferior. Ambas vistas son el resultado del codo inspeccionado, siendo el C-Scan una vista en planta y el B-Scan una vista transversal en donde la primera línea roja (horizontal) corresponde a la interfase de la columna de agua, la segunda línea roja (curvada), al espesor de pared con corrosión

(motivo por el cual no es recta) y el resto de las franjas rojas son repeticiones del espesor de pared corroída. Como se mencionó anteriormente, la resolución del escaneo es de 1 mm x 1 mm, y el tiempo neto de la inspección de este codo fue de tan solo 4 minutos.

Al analizar el resultado, en la zona más severa de corrosión se encuentra un espesor mínimo de 2,03 mm, lo que representa una pérdida del 74,6% de material. A su vez, el área de esta zona mide 116 mm de ancho y 148 mm de longitud, estando el mínimo espesor en la coordenada -28 mm en eje de escaneo y 153,5 en eje de índice (es decir, se trata de una corrosión en la parte del radio externo). Lo mencionado aquí se puede ver en el cuadro de campos de lecturas obtenido en la parte derecha de la pantalla del equipo OmniScan X3 en la Fig. 18.

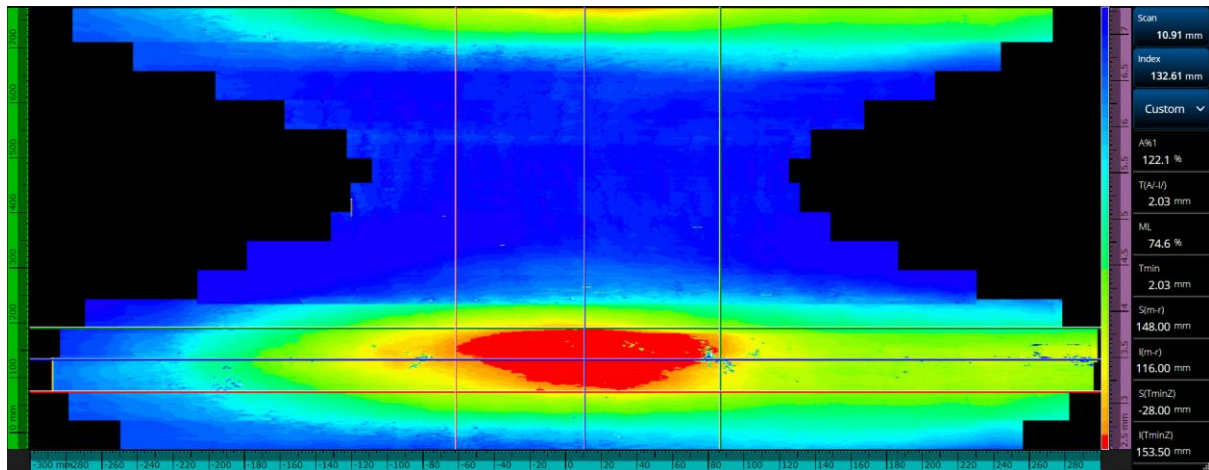


Fig. 18: Dimensionamiento por cursores de la corrosión más severa de todo el escaneo.

Como se puede ver, la inspección del codo por Phased Array no solo permite hacer en 4 minutos una inspección del 100% del codo (algo que no era factible de realizarse por otra técnica), sino que también nos otorgó las dimensiones del espesor remanente de material y las totales de la corrosión que se desee medir, como así también las coordenadas del punto de menor espesor u otro que sea de interés.

Si se hace un análisis visual guiándonos por los colores, aquello que se encuentre en color amarillo representa un espesor de 3,2 a 3,7 mm, mientras que en color verde se representan espesores de entre 3,7 y 4,5 mm y en color azul, de 8 mm, que es el espesor nominal del codo en cuestión.

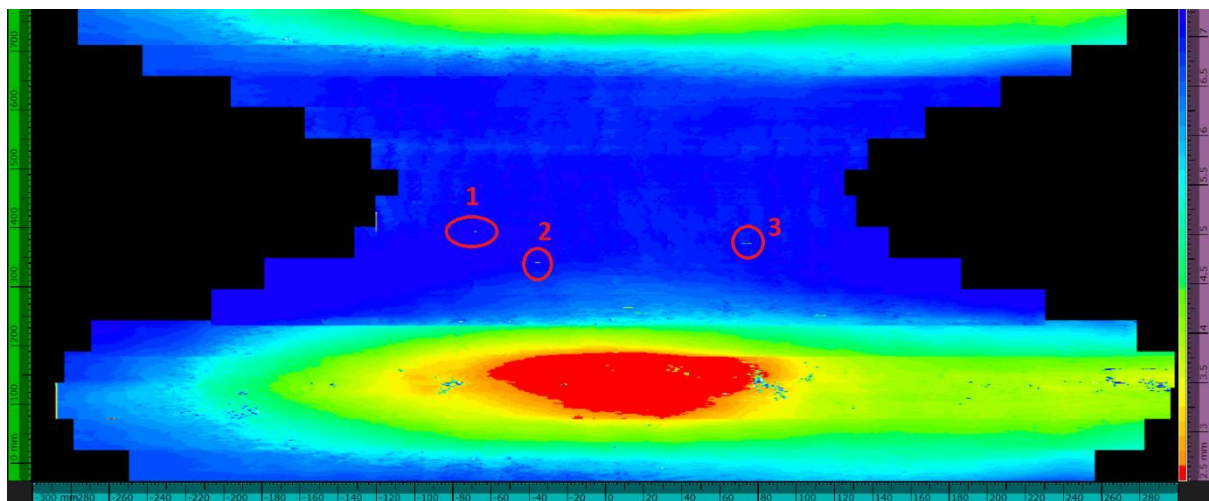


Fig. 19: Análisis de indicaciones en el radio interno.

Se aprecia también que la zona del radio interno no presenta corrosiones severas (Fig. 19), solamente se observan tres indicaciones muy pequeñas. La indicación 1 tiene un espesor mínimo de 2,44 mm y mide 1,06 mm x 1,28 mm (ancho x largo), la indicación 2 mide 1,52 mm x 2,17 mm con un espesor mínimo de 2,68 mm y la indicación 3 mide 1,52 mm x 4,96 mm con un espesor mínimo de 4,18 mm. Estas indicaciones nos permiten apreciar de forma gráfica la alta resolución mínima de escaneo. A modo de ejemplo, a continuación en la Fig. 20 se amplía la indicación 2; gracias a los cursores de medición se llegan a los valores antes indicados.

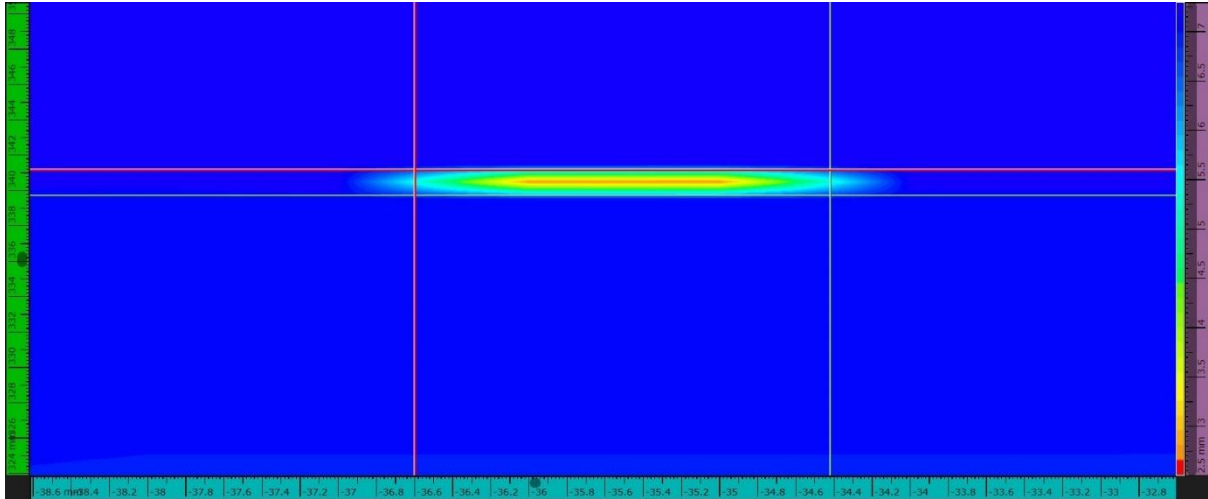


Fig. 20: Realización de zoom para ampliar la indicación “2” del radio interno y poder así dimensionarla gracias a los cursores de medición.

2.2.2 Caso 2:

Otro ejemplo de inspección fue realizado en un codo de acero al carbono, como el del caso 1, pero ahora con un revestimiento interno que consiste en un cladding de soldadura de níquel. El diámetro del codo es de 16 in y su espesor es de 23 mm. En la Fig. 21 se observa el codo cortado a la mitad, con el fin de mostrar las direcciones de las pasadas de soldadura y un defecto en la unión de las dos direcciones de soldadura de cladding.



Fig. 21: Segundo caso de estudio: codo con cladding de soldadura de níquel.

Gracias al transductor flexible con escáner y a la nitidez del equipo de adquisición de imágenes, se puede inspeccionar este codo sin necesidad de retirarlo de servicio, y en tiempos notablemente reducidos a comparación de si, por ejemplo, se empleara Radiografía Industrial o Medición de Espesores para este tipo de inspección.

En la Fig. 22 se observa parte del resultado de este ensayo, donde se puede ver un pitting en la unión de las direcciones de soldadura, y también una falta de fusión en el revestimiento producto de las pasadas de soldadura. Ambos defectos se observan nítidamente en el C-Scan y B-Scan gracias a la alta resolución obtenida en el ensayo por Phased Array con el OmniScan X3.

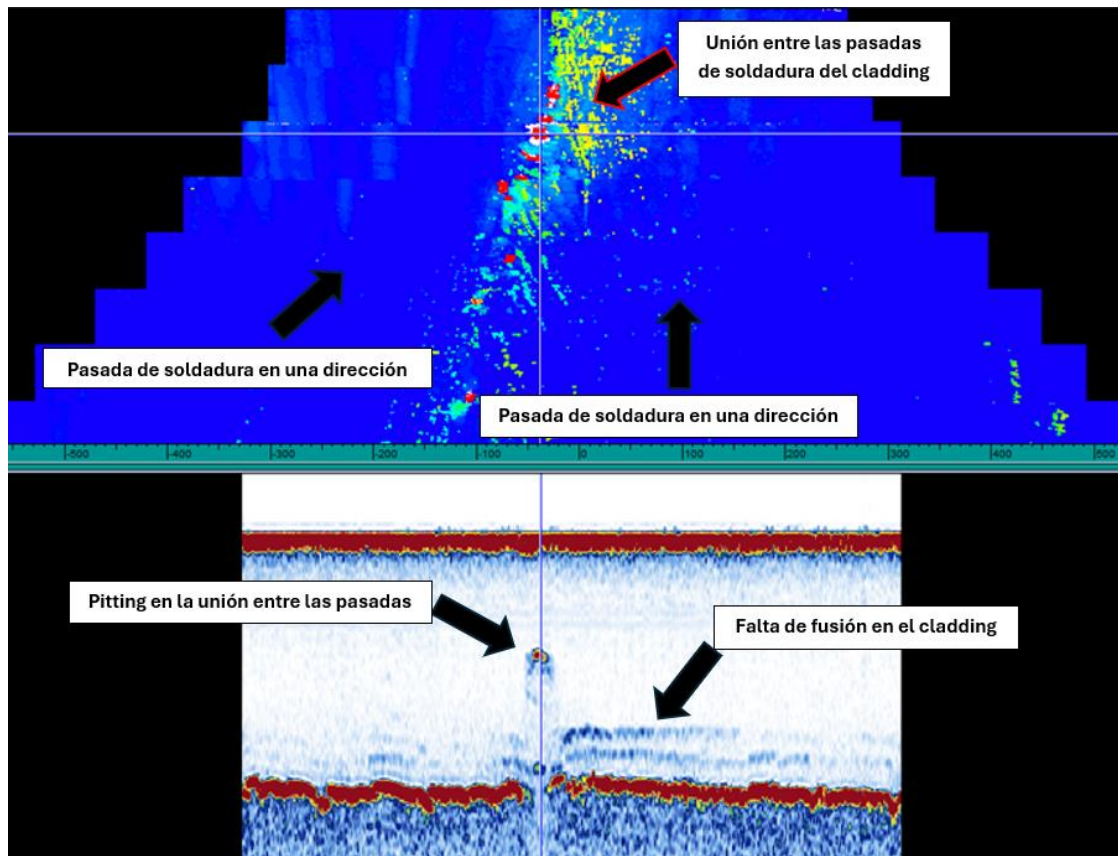


Fig. 22: Defectos localizados en el C-Scan y B-Scan del codo con cladding de soldadura de níquel.

Por último, y si bien existen otros tipos de soluciones para la realización de mapeos de corrosión en otras aplicaciones que no sean codos, se puede destacar el uso de este transductor flexible y su escáner para la inspección de tanques esféricos (conocidos también como esferas ASME), superficies planas y cañerías en sentido axial. En otras palabras, el uso de un transductor flexible no se limita a una aplicación como la abordada en este trabajo, sino que, por el contrario, dada su versatilidad se puede extender a un gran abanico de aplicaciones en el ámbito de Oil & Gas y de industria en general.



Fig. 23: Uso del transductor flexible y dispositivo en inspección de corrosión de cañerías. Para aquellos casos en los que se busca aumentar la productividad, puede ser instalado en un escáner automático.

3. Conclusiones

La técnica de Phased Array para la inspección de corrosión ha sido ampliamente utilizada en la industria desde hace más de 20 años gracias a su alta productividad, su elevada resolución, los reducidos tiempos de inspección, la sustentabilidad desde el punto de vista ambiental y social y el incremento en la Probabilidad de Detección (POD), entre otros factores. Estos aspectos dan cuenta del potencial de la técnica en comparación con un ensayo de Ultrasonido Convencional e incluso de Radiografía Industrial.

La limitación que se observaba en el uso de Phased Array para ciertas aplicaciones, como por ejemplo la inspección de corrosión en codos, se veía fundamentalmente asociada a la utilización de transductores rígidos que no se podían adaptar tanto al radio externo como al radio interno de un codo, y que sí lograban hacer un buen contacto en el radio externo no lo hacían en el interno. Sin embargo, los avances en los desarrollos de los productos asociados al Phased Array permitieron, con el paso del tiempo, resolver estas limitaciones. Esto se puso de manifiesto, a lo largo de este trabajo técnico, mediante el empleo de un transductor de tipo flexible con escáner que permite mapear en un 100% el codo que es objeto de análisis tanto en el caso 1 como en el caso 2. De esta forma, además, se logra aumentar la productividad y se reduce el tiempo de inspección a fracciones de minutos, lo que hasta hace algunos años era impensado y es, al día de hoy, inigualable por otros métodos de ensayo.

Es de gran importancia destacar que la inspección del 100% del codo con Phased Array reduce notablemente las probabilidades de accidentes. En cambio, cuando se utilizaba Ultrasonido Convencional, quedaban partes sin inspeccionar ya que la medición se hacía mediante una grilla de inspección y tomando puntos de espesores. En consecuencia, no se podía garantizar la integridad del codo en toda su superficie y volumen. Por ejemplo, no se podía asegurar que entre punto y punto medido (celdas de la grilla) no existiera un pitting u otro tipo de corrosiones que dieran lugar a pinchaduras en el codo y a posteriores accidentes graves con pérdidas monetarias.

Además, con Phased Array no solo se obtiene el mapeo del 100% de la superficie del codo, sino que también se mejora la trazabilidad de la información al obtener un registro en forma de C-Scan y B-Scan (entre otras vistas).

Para lograr una adecuada inspección, es fundamental la correcta selección del transductor utilizado en este trabajo, como así también la del escáner y el equipo de adquisición de datos, con su adecuado plan de escaneo. Haciendo esto en forma correcta, se obtienen resultados de gran relevancia y, fundamentalmente, de extrema confianza. Por último, otro de los factores clave es la capacitación y la formación de los inspectores de campo en los Ensayos No Destructivos Avanzados. Todo esto facilita su trabajo y contribuye a la toma de decisiones por parte del personal de integridad.

4. Bibliografía

1. OLYMPUS. Advances in phased array ultrasonic technology applications. Olympus, 2017.
2. OLYMPUS NDT INC. Phased Array Testing. Basic Theory for Industrial Applications. Olympus NDT, 2012.
3. Evident Scientific sede Houston. Comunicación personal.
4. Evident Canada Inc. OmniScan X3: OmniScan MXU Software. User's Manual. Software Version 5.16. Evident document Number: 10-001244-01EN – Rev. 10 – Canadá, April 2024.
5. Evident Canada Inc. FlexoFORM Scanner. User's Manual. Evident document Number: 10-003591-01EN – Rev. 6 – Canadá, October 2022.

5. Breve CV:

Título y lugar de estudio: Ingeniero Mecánico – UTN.

Trayectoria: Desde 2011 se desempeña en el rubro de Ensayos No Destructivos en el Departamento de Ingeniería de ARO S.A. Se ha capacitado, en reiteradas ocasiones, en Olympus Houston (ahora Evident Scientific Inc.) en técnicas de inspección como Ultrasonido Convencional, Phased Array, TOFD, FMC / TFM y PCI.

Cargo actual en la empresa: Responsable de línea de Ensayos No Destructivos en Departamento de Ingeniería – ARO S.A.