

ANÁLISIS DE CORROSIÓN EN DUCTOS MEDIANTE INTERACCIÓN DE PHASED ARRAY Y ESCANER 3D

Luis A. Ohara / Mauricio R. Bertotto, Petromark SRL

luis.ohara@petromark.com.ar / mauricio.bertotto@petromark.com.ar

Sinopsis

En el actual contexto de tecnología e innovación, la aplicación e interacción de las diferentes herramientas disponibles, aportan información sobre el estado de los activos analizados. En este caso, la combinación de software para evaluación y la técnica de relevamiento cuantitativa nos permite generar un detalle pormenorizado del estado de un tramo de tubería de manera precisa y rápida.

En los relevamientos sobre un ducto, pueden surgir anomalías en el interior y exterior del mismo. Mediante la aplicación sucesiva de ensayos de USPA (Ultrasonido Phased Array) e IVD (Inspección Visual Digital) permite registrar la pérdida de material de manera cuantitativa. Se hace especial mención en mecanismos de daño exterior, donde podemos encontrar áreas afectadas de difícil acceso para galgas de medición manual. La versatilidad del escaneo digital mediante una matriz láser permite obtener registros con mediciones precisas del estado superficial en cuestión de minutos.

Los datos se almacenan de manera segura en la nube, garantizando la accesibilidad y la integridad de la información.

Desde la nube, un colaborador de integridad colecta la información de las técnicas de USPA y de IVD y se ejecuta en el software de evaluación el análisis por separado de ambas técnicas. A continuación, se enlazan para realizar el análisis por criterios de ASME B31.G y B31.G modificado. Los resultados obtenidos influyen en la planificación de las reparaciones requeridas.

Entre las características más destacadas de la actividad, se pueden mencionar:

- **Enlace de dos técnicas mediante software:** La integración de USPA y de IVD permite un seguimiento preciso de la condición de hallazgos en tuberías, facilitando la identificación de áreas críticas y definiendo parámetros de servicios acorde a la condición.
- **Historial Detallado:** Se obtiene un análisis pormenorizado, que puede brindarse a otros proveedores y enriquecer inspecciones futuras.
- **Presentación de informe de integridad:** Al ser evaluada la información por el sector de integridad, los resultados exhibidos cuentan con la verificación del equipo para no omitir detalles o consideraciones de interés.

Introducción

La ejecución de las actividades de ensayos no destructivos, como complemento de una corrida de ILI (In line inspection) buscan verificar anomalías detectadas por las distintas herramientas empleadas por esta técnica.

Para esto se establecen lineamientos en los que, mediante la ejecución de ensayos cuantitativos de Phased array y escáner 3D, se obtenga información pormenorizada de las anomalías presentes en el ducto. La información obtenida, caracterizada y referenciada correctamente, se evaluará según los códigos y normativas aplicables, para establecer la condición del activo.

El resultado se reporta al propietario del activo, mediante un formato de informe integrado que contendrá las diferentes técnicas empleadas, así como el análisis realizado. Con la información entregada, el propietario determinará las acciones a tomar sobre la sección del ducto analizado.

Descripción

En el marco de los sistemas de gestión de integridad de ductos, una técnica de uso extendido es la ejecución de ILI. La aplicación de esta técnica permite optar por el acople de diferentes herramientas, que brindan información variada en función de las necesidades de la inspección. (Ver Tabla 1)

TIPO DE HERRAMIENTA	GRIETAS	PÉRDIDA DE METAL (Corrosión, pits)	CAMBIOS METALÚRGICOS	CAMBIOS GEOMÉTRICOS	OTROS (Características de uniones soldadas ZAC)
MFL	X	✓	✓	ESPECIALES	ESPECIALES
UT	✓	✓	X	X	ESPECIALES
EMAT	✓	X	X	X	ESPECIALES
ET	✓	X	X	X	ESPECIALES
✓	La herramienta puede detectar este tipo de defecto				
X	La herramienta puede detectar este tipo de defecto				
ESPECIALES	algunos tipos de herramientas permiten detectar este tipo de defecto				

Tabla 1: Disponibilidad de tecnologías de ILI

De la información obtenida en la corrida del ILI sobre un ducto, pueden evidenciarse anomalías en el lado interno y externo del mismo. La ejecución de ensayos de USPA e IVD permiten registrar y cuantificar la pérdida de material de cada indicación reportada.

Cuando se presentan mecanismos de daño exterior, donde podemos encontrar áreas afectadas de difícil acceso para galgas de medición manual, el escaneo digital IVD aporta dinamismo y versatilidad. El principio de funcionamiento de esta técnica radica en obtener registros con mediciones precisas del estado superficial, mediante la aplicación de una matriz láser sobre la superficie dañada. Los datos obtenidos, se almacenan para luego ser procesados.

Para el caso de mecanismos de daño interior, las áreas afectadas pueden extenderse y es crucial la correcta caracterización y ubicación en el ducto. En este caso, se ejecuta el ensayo de USPA que, mediante la aplicación del mapeo de la zona de interés, aportará datos cuantificables y de calidad. Los datos relevados son almacenados, para su posterior análisis y entrega de informe.

A posteriori y desde el sector de integridad, se colecta la información de las técnicas de IVD y de USPA y se ejecuta en el software de evaluación. El análisis de los datos de inspección permite obtener dimensiones del área corroída arrojando valores de profundidad, largo, ancho y la referencia para su ubicación exacta y precisa para los casos en que se requieran reparaciones o seguimiento en planes de inspección.

Las referencias más comunes que se utilizan en estos casos es una soldadura, preferentemente circunferencial y la carga horaria de 12hs. El análisis por criterios de ASME B31.G y B31.G modificado, resulta esencial para el sector de integridad, ya que, en pasos simples y sucesivos, el software evalúa los defectos según los parámetros del ducto versus la pérdida de material e informa la nueva presión de ruptura. Así, con los datos obtenidos, determina la criticidad de las fallas y el tiempo de respuesta que requieren cada una.

Los avances tecnológicos, tanto en equipos como en desarrollo de software, han logrado aplicar los criterios de ASME B31G en la corrosión externa e interna. Para este último caso, se utilizan los registros obtenidos por la inspección USPA. A su vez, si estuviéramos frente a un caso con corrosión externa e interna, se combinan ambos registros IVD y USPA, evaluándose en conjunto bajo una misma condición.

La integración de USPA e IVD permite un seguimiento preciso de la condición de hallazgos en tuberías, facilitando la identificación de áreas críticas y definiendo parámetros de servicios acorde a la condición existente.

Desarrollo

La integridad de los ductos soterrados se evalúa típicamente con las corridas del chanco (PIG).

El proveedor del servicio evalúa la información de la corrida y entrega una lista de indicaciones con los porcentajes de pérdida de material y su localización exacta.

Se establecen las prioridades y se inicia la tarea de excavación con la hoja de información que se dispone luego de la corrida del chanco y permite localizar una anomalía de manera precisa. (Ver Figura 1)

Caso 1. Anomalía Externa.

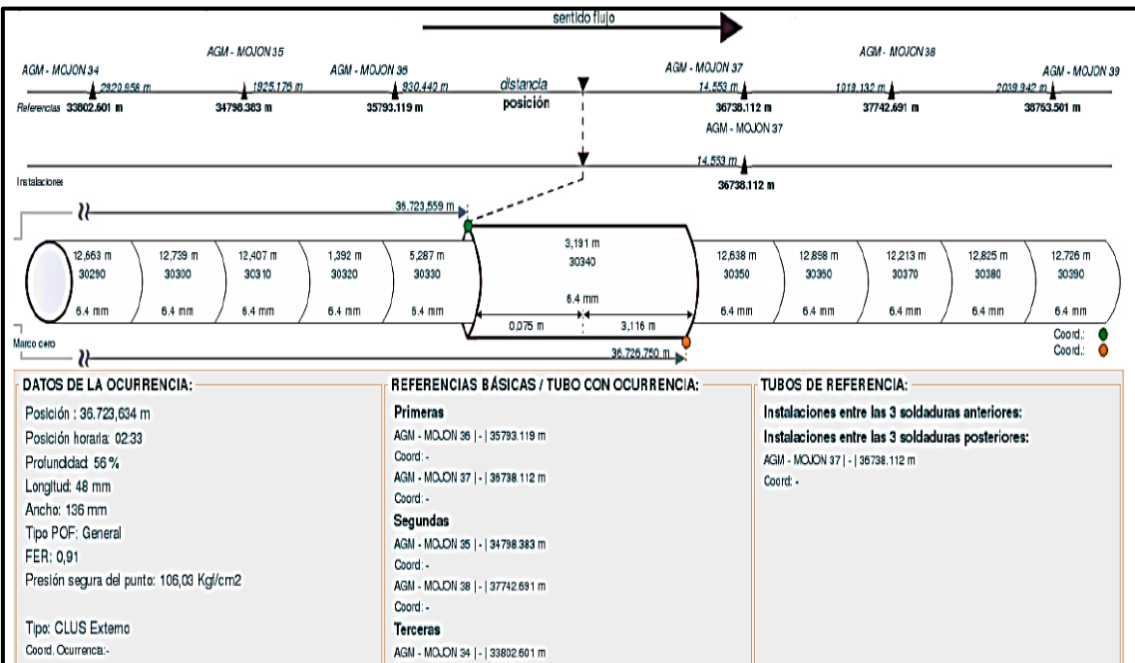


Figura 1. Hoja de anomalías externa en la sección del ducto

En este ejemplo el tipo de anomalía es caracterizada como externa. Luego de la excavación se identifica el área afectada y se retira el recubrimiento para poder acondicionar la superficie, realizando el cepillado y retirando la suciedad adherida. La limpieza realizada debe ser exhaustiva, puesto que el escáner copia toda la superficie sin discriminar elementos no deseados.

En la figura 2 se observa el área corroída donde se realizó el cepillado hasta obtener un brillo metálico.



Figura 2. Preparación superficial y escaneo de área de interés

Luego, se adhieren objetivos reflectivos para iniciar el escaneo de la superficie. El sistema utiliza los objetivos a modo de referencia para triangular su posición y conformar la imagen de toda la superficie a medida que se realizan las pasadas sucesivas.

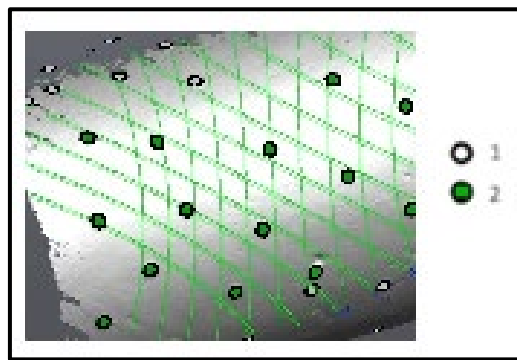


Figura 3. Visualización en Software del área relevada

Las mediciones se adquieren a través de una matriz de láseres y la imagen de la superficie se conforma mediante la toma simultánea de centenas de fotos por segundo.

En el software de análisis se cargan los datos técnicos y de operación del ducto y se evalúa la corrosión. Como resultado del análisis se obtienen los elementos# o grupo# de corrosión generados a partir de la norma B31G. La agrupación de los elementos# se crean a partir de la regla de separación tres veces el espesor del caño (Ver Figura 4).

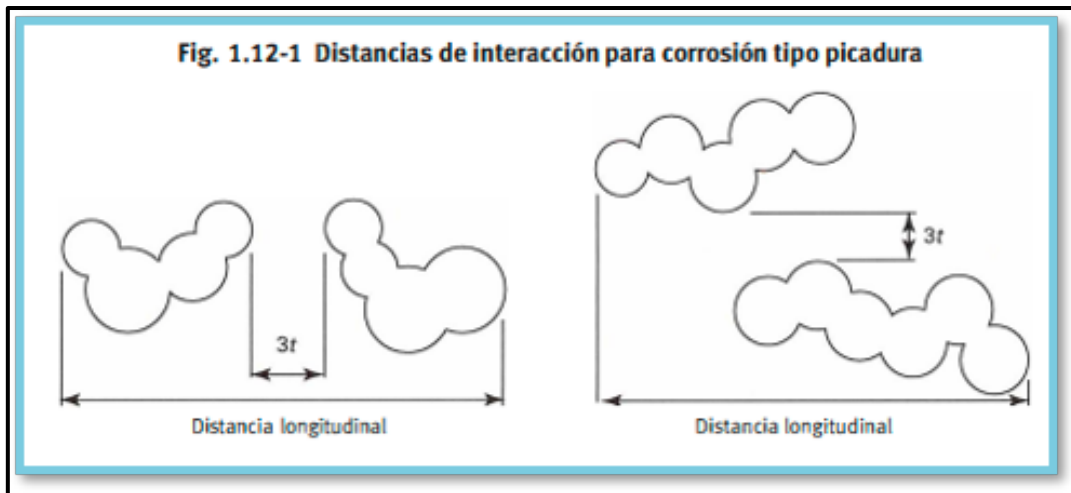


Figura 4. Distancias de interacción para corrosión tipo picadura (ASME B31G Fig. 1.12-1)

Extracto de la norma B31G

1.12 Interacción de defectos

“Los métodos descritos en este documento son aptos para evaluar áreas aisladas con pérdida de metal. La corrosión puede ocurrir de tal manera que múltiples áreas con pérdida de metal se encuentran a distancia longitudinal y transversal corta. Si se encuentran lo suficientemente cerca, las áreas de pérdida de metal pueden interactuar y la tubería puede presentar fallas a una presión Inferior a la esperada según el análisis de las discontinuidades por separado. Se recomienda la siguiente guía en relación con la Fig., 1.12-1, conforme a pruebas y análisis limitados:

(a) Las discontinuidades se consideran como Interactuantes si se encuentran a una distancia longitudinal o circunferencial entre si tres veces el espesor de pared ($3t$). Los defectos Interactuantes deben evaluarse como un defecto simple combinado de todos los defectos que interactúan entre sí.

(b) Los defectos se consideran no Interactuantes si se encuentran fuera del rango definido anteriormente. Estos defectos deberán evaluarse como defectos separados. mínimos de pérdida de metal para la detección y el dimensionamiento confiables, los umbrales mínimos para la generación de informes, y el modo esperado de falla de recubrimiento (por ejemplo, falla localizada en comparación con el desprendimiento en áreas grandes). Los métodos empleados para agrupar las anomalías de las inspecciones en línea deben validarse mediante una verificación en campo del tamaño y de la distancia reales de los defectos.”

A su vez el tamaño del elemento depende del método que se establezca para la interacción entre los clústeres de corrosión.

Los 3 métodos establecidos son:

- 1- Caja de crecimiento.
- 2- Caja de conexión.
- 3- Ajuste a la forma.

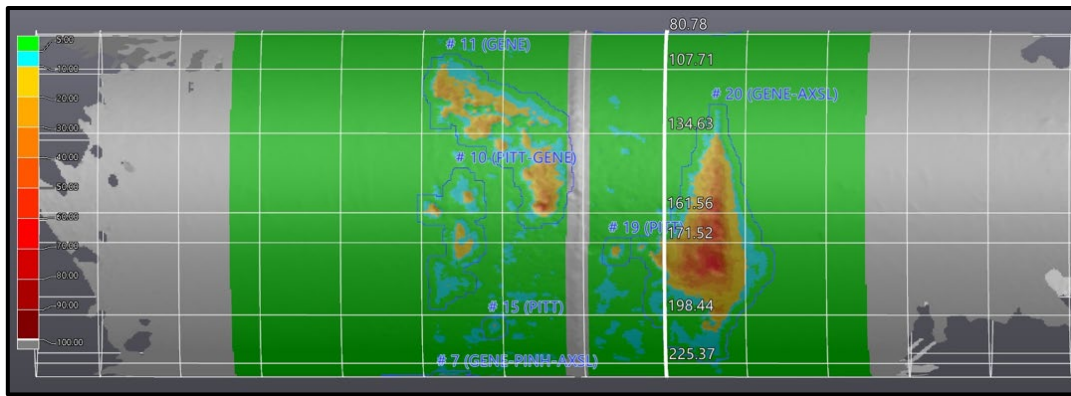


Figura 5. Ajuste a la forma

Para cada elemento evaluado se dispone de la siguiente información:

- Nombre del elemento. Clase de anomalía.
- Longitud axial en mm.
- Ancho circunferencial en grados.
- Profundidad máxima con su posición axial y circunferencial.
- Volumen total del material perdido.
- Detalles de presión B31G.
- Detalles de presión B31G modificada.
- Detalles de presión por área efectiva

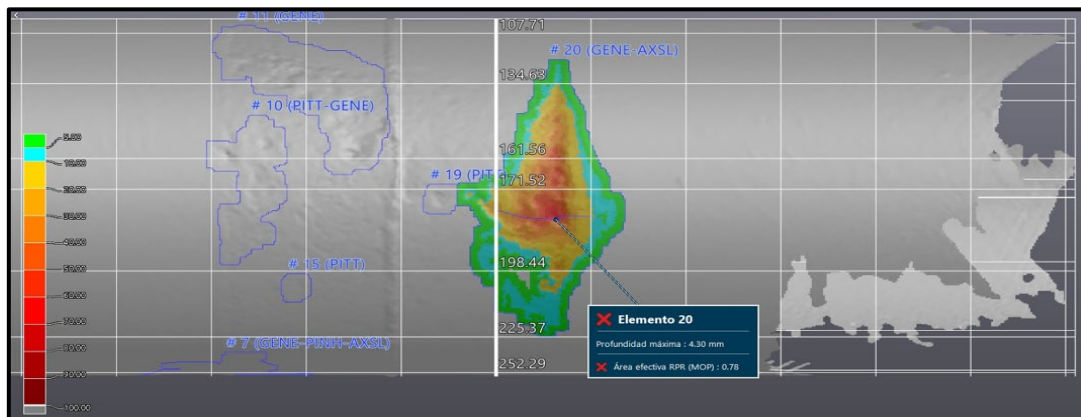


Figura 6. Información del elemento evaluado

ASME B31G menciona 4 niveles para la determinación de la resistencia remanente de tuberías corroídas. (Ver Tabla 2)

	Usuarios	Modo de aplicabilidad
NIVEL 0	Reservado para el uso de campo, sin necesidad de	Tablas de longitudes y profundidad de defecto para
NIVEL 1	Reservado para inspectores de campo con conocimientos técnicos en	Cálculo de pérdidas de presión y condiciones individuales.
NIVEL 2	Reservado para realizarlo un ingeniero que conozca	Se hacen mediciones más detalladas del perfil (B31G área efectiva)
NIVEL 3	Reservado para ser realizada por un técnico especialista	Se hacen mediciones detalladas de los defectos que se han producido en tuberías y sus efectos de falla.

Tabla 2: Nivel de análisis para tuberías corroídas

El software de análisis soporta la evaluación hasta el nivel 2.

La evaluación por nivel 3 requiere otro cálculo más sofisticado, como por ejemplo el uso de software para cálculo de elemento finito.

Perfil de corrosión (River Bottom path)

Para obtener el «perfil de corrosión real», utilizando el método manual, se debe tomar el punto más profundo de cada rejilla. Cuanto más pequeña sea esta rejilla, más preciso será el perfil de corrosión (normalmente de 7 mm (0,25 ") a 25 mm (1 ") para este método). Luego se traza un camino a través del punto más profundo creando el perfil de corrosión real, normalmente denominado "perfil del peor caso".

Frente al mapeo digital no se requiere ninguna medición extra. Se dispone de un mapeo milimétrico de toda la superficie.

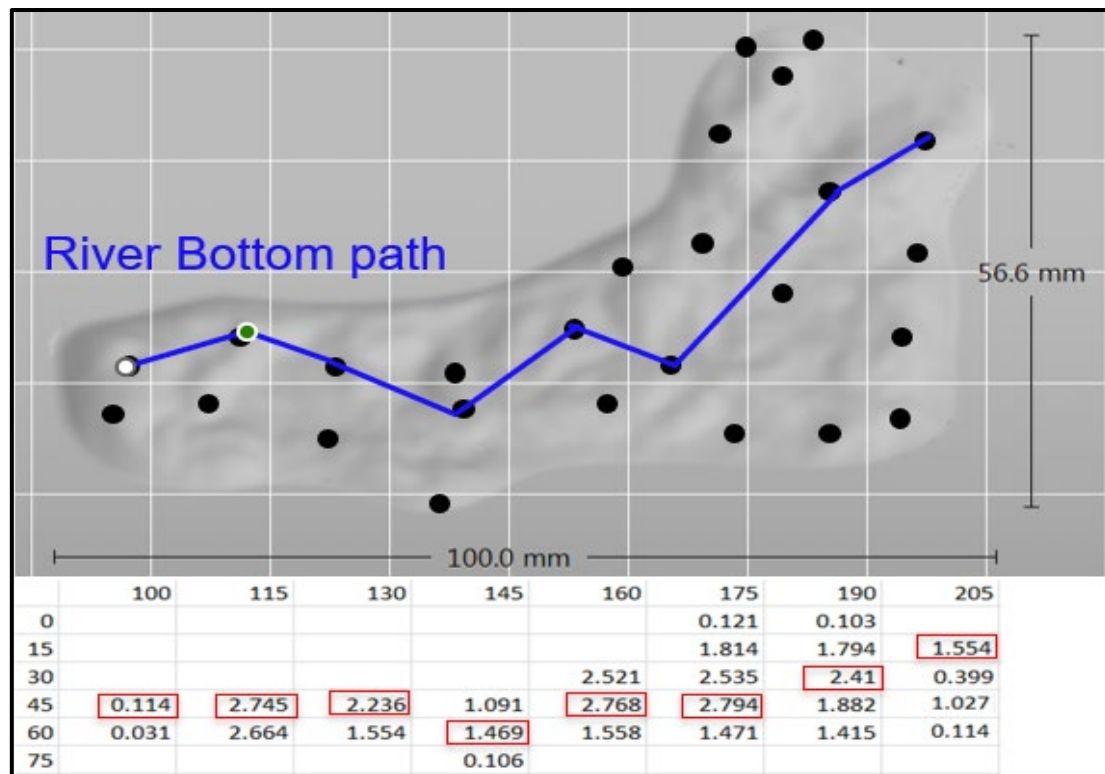


Figura 7. Perfil de corrosión. Worst case

Por ende, para cada elemento# se dispone del perfil del peor caso junto a la grilla de valores medidos. La densidad de puntos depende del tamaño de la grilla que se establece en el software. (Ver Figura 7).

Informe de los elementos# evaluados

Como resultado de la evaluación se informa cada elemento# con los valores considerados más relevantes del ensayo. (Ver Figura 8)

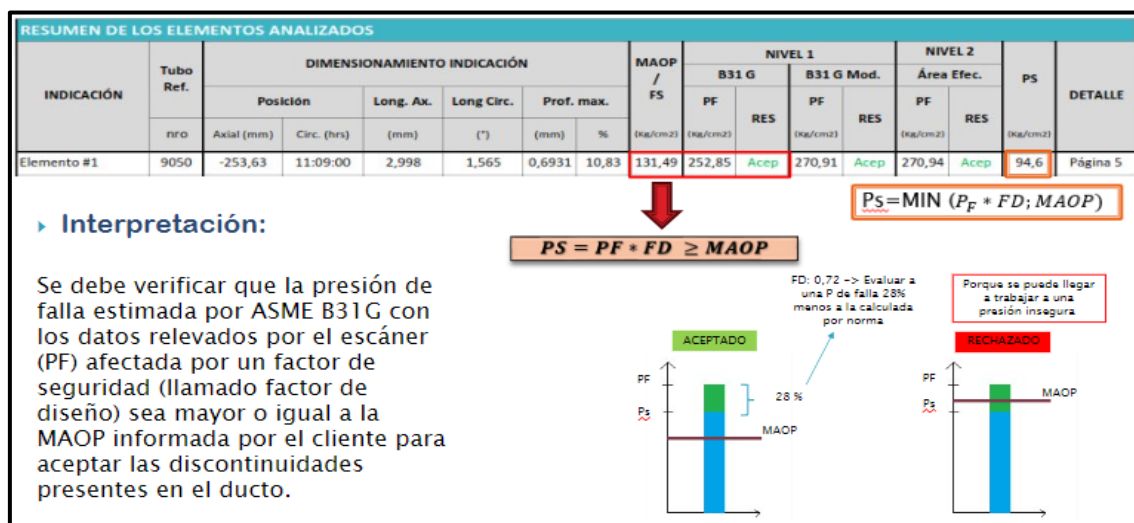


Figura 8. Resumen de elementos analizados

De esta manera, todo lo expuesto hasta el momento, la información evaluada de un elemento se resume en el esquema de la figura 9.

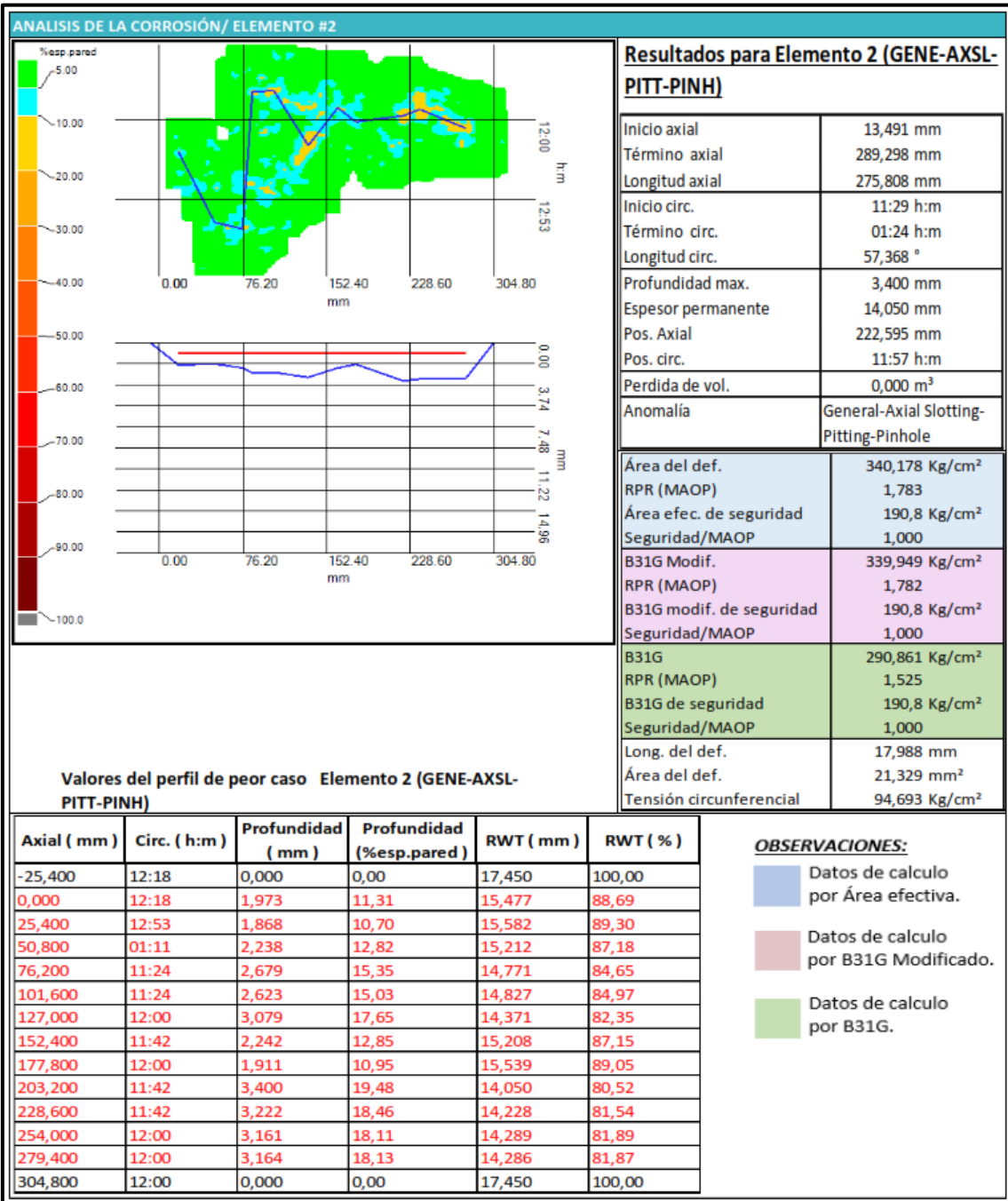


Figura 9. Compendio de información relevada

Caso 2. Anomalia interna.

De igual manera que el caso 1, la tarea de excavación se inicia con la hoja de información que se dispone luego de la corrida del chanco y permite localizar una anomalía de manera precisa. (Ver Figura 10).

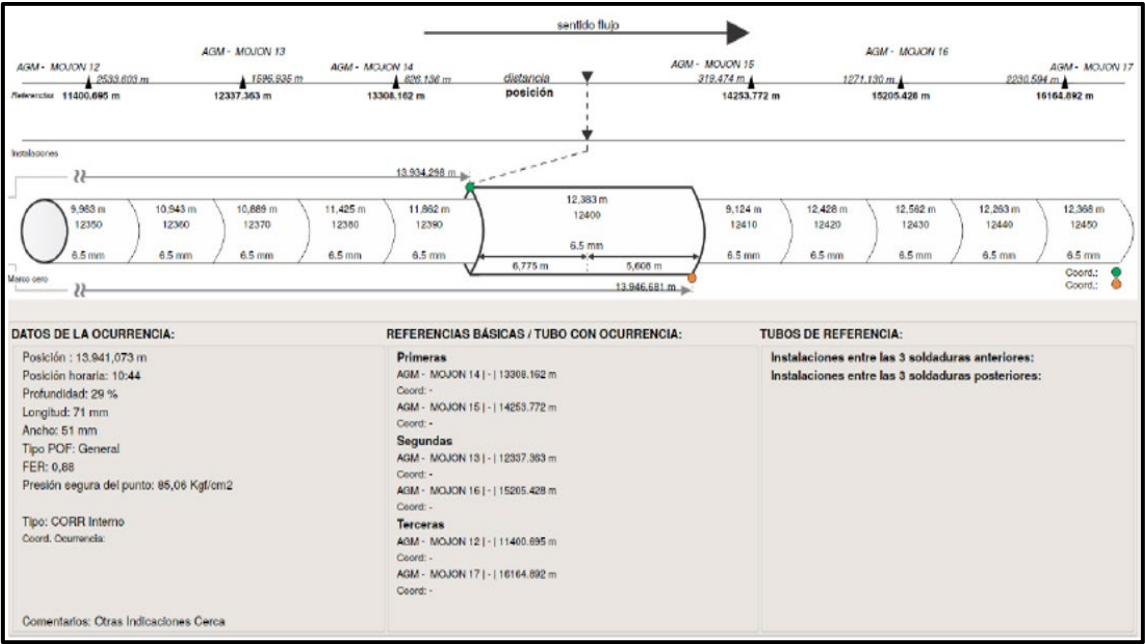


Figura 10. Hoja de anomalías interna en la sección del ducto

En este ejemplo el tipo de anomalía es caracterizada como interna. Luego de la excavación se identifica el área afectada y se retira el recubrimiento para poder acondicionar la superficie, realizando el cepillado y retirando la suciedad adherida. No debe quedar rastros de recubrimiento ya que cualquier imperfección superficial afecta las ondas ultrasónicas durante el mapeo del área afectada. (Ver Figura 11)

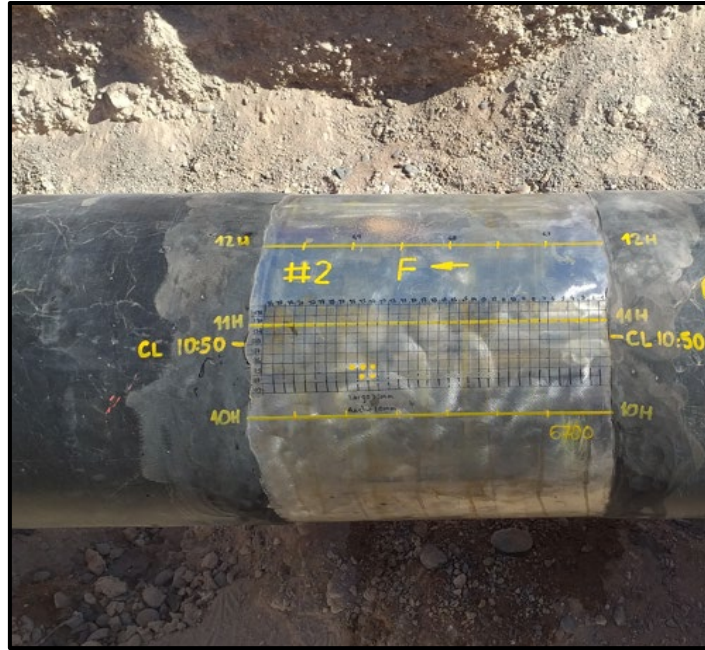


Figura 11. Identificación y demarcación

Previo a la marcación del área a ensayar se localiza la indicación mediante un barrido manual. Una vez localizada la falla se realiza la marcación con las referencias adecuadas acorde a los datos suministrados.

La referencia de la soldadura es la más adecuada para el seguimiento de las indicaciones o para ubicar un parche de reparación. Teniendo en cuenta la zona cepillada se estableció el inicio de mapeo en C+6700 mm y el fin de mapeo en C+6950 mm.(Ver Figura 12)



Figura 12. Referencias consideradas para el seguimiento.

Para realizar el escaneo se utilizó un dispositivo guía con cadena con transductor phased array de 64 elementos. El acople es mediante columna de agua. El dispositivo posee dos codificadores X e Y. Mediante este tipo de dispositivos se logran registros de alta calidad con imágenes nítidas con bajo nivel de ruido. (Ver Figura 13)

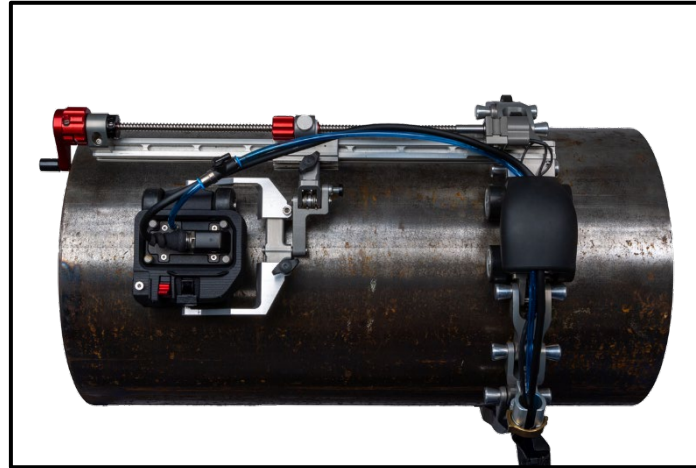


Figura 13. Modelo de transductor empleado en el ensayo.

La inspección mediante la técnica de phased array genera un cubo de información y como consecuencia tendremos distintas vistas. Las distintas vistas se resumen en las siguientes imágenes. (Ver Figura 14 y 15)

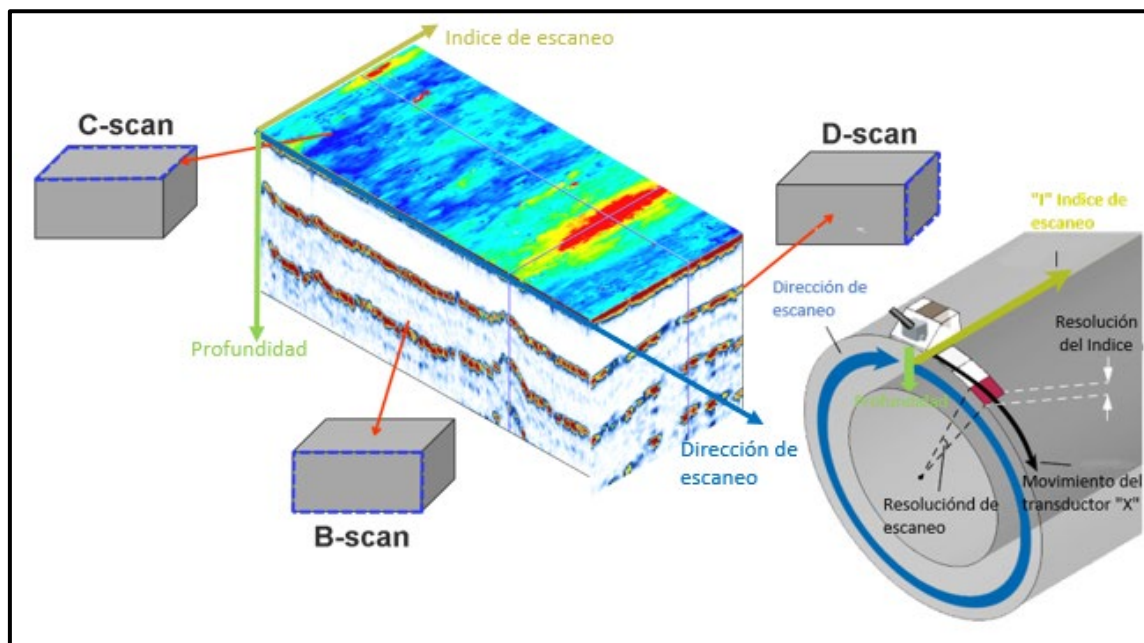


Figura 14. Vistas de la inspección de acuerdo con el cubo de información.

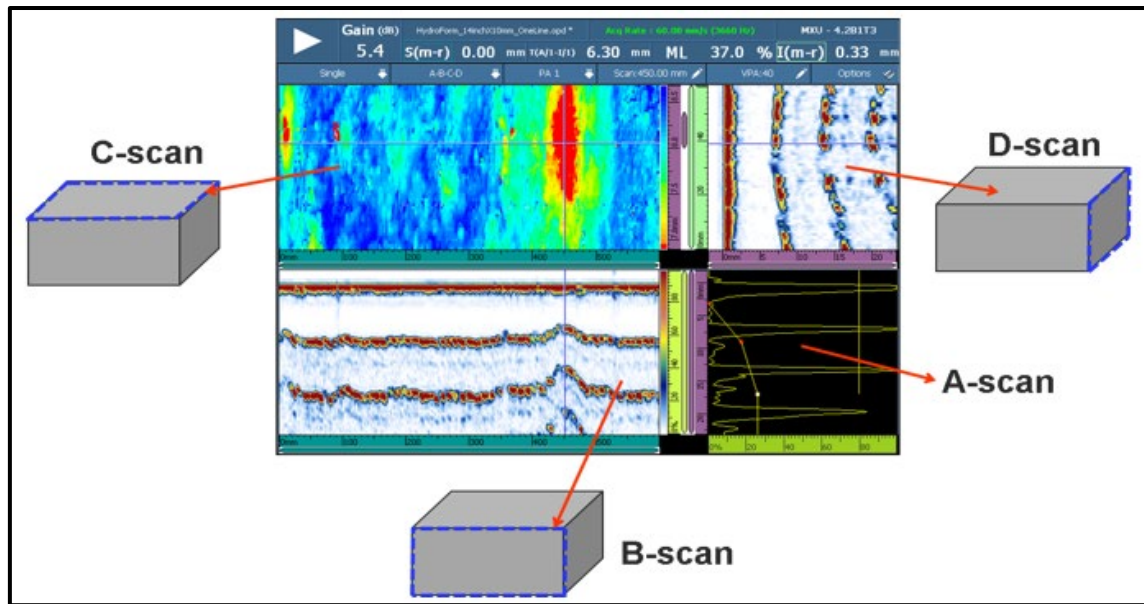


Figura 15. Pantalla del equipo con representación A-B-C-D.

Cada giro de la cadena el transductor registra un ancho de 60 mm. El sentido de avance circunferencial lo denominaremos eje de escaneo (S-scan) y el avance en el sentido axial del caño lo denominaremos Índice. En cada giro se solapa 2 mm para el avance en el sentido Índice y como resultado se obtiene el mapeo completo del área configurada.

En el ejemplo, la posición de inicio de escaneo, o punto cero, se ubicó a las 12hs y 6700 mm desde la costura de referencia. Se calibra el equipo de phased array con el espesor del ducto y se compensa la ganancia con la curva TCG (Time Correction Gain).

Se acomodan las compuertas de medición para obtener los resultados de la inspección. La indicación presenta una pérdida de material de 13,0% calculado sobre un espesor nominal de 6,4 mm. Se localiza sobre el cordón de soldadura longitudinal.

Como dato adicional, los resultados del mapeo C-scan el color azul indica espesor uniforme por lo tanto podemos afirmar un buen estado superficial interno sin presencia de corrosión. (Ver Figura 16).

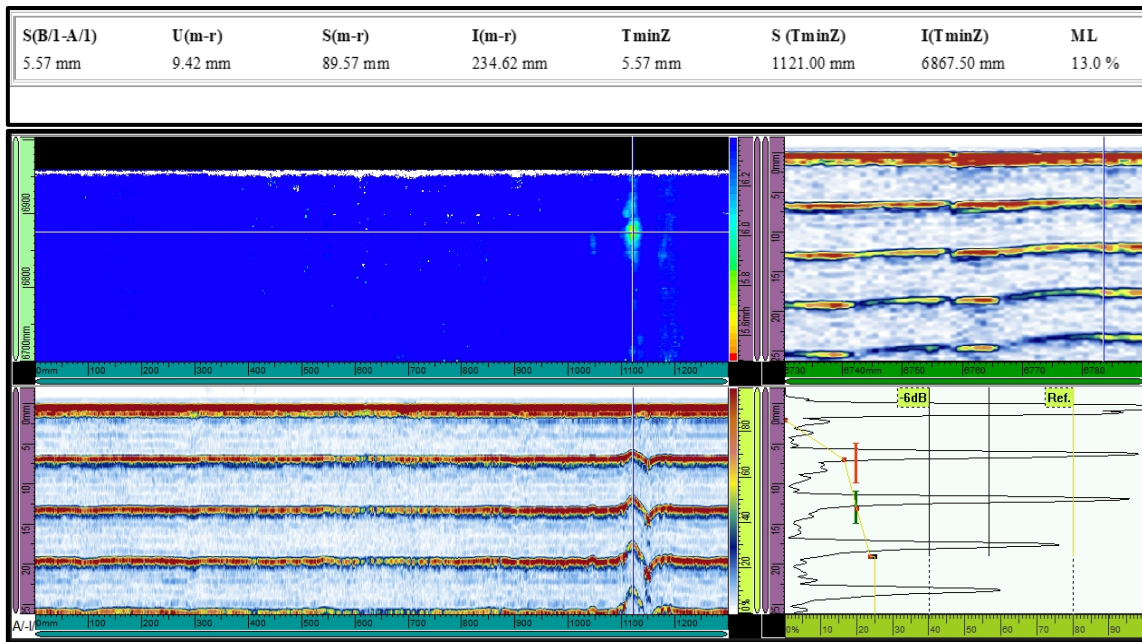


Figura 16. Visualización del display del equipo con los parámetros

El mapa de colores C-scan, se estableció de acuerdo con la escala que se observa en la figura 17 donde se relaciona una gama cromática con la pérdida de material.

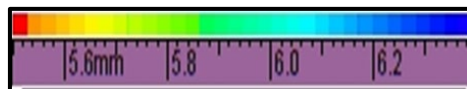


Figura 17. Escala de colores seteada para visualizar pérdida de material

Los registros de inspección de cada cateo se codifican con la progresiva de la anomalía para un posterior control o seguimiento en futuras inspecciones.

Integración de mapeos:

A continuación, se presenta el ejemplo de una inspección que se efectuó en un ducto de 10 pulgadas. Como consecuencia de la corrida de una herramienta ILI, se determinaron zonas de interés a verificar. Estas zonas, debidamente georreferenciadas, fueron relevadas y se obtuvieron 15 mapeos de indicaciones internas y 2 mapeos sobre indicaciones externas. (Ver Figura 18)

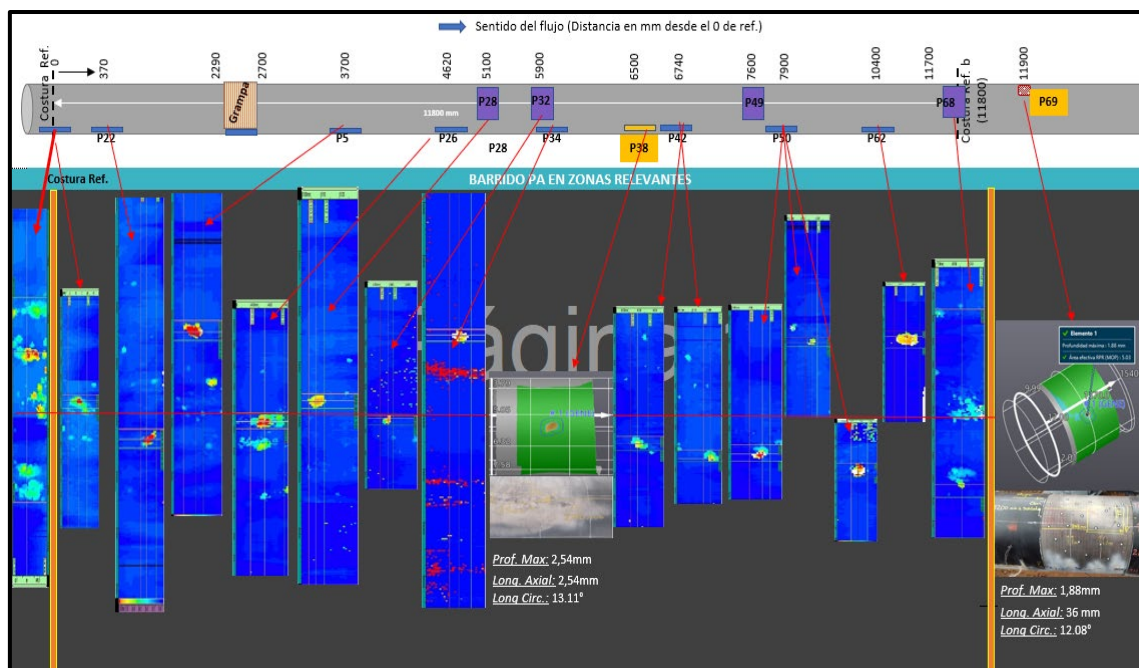


Figura 18. Esquema de zonas relevadas mediante IVD y USPA

En un tramo del ducto donde pueden presentarse un conjunto de anomalías, resulta de gran utilidad presentar las indicaciones de manera integral. De esta manera, se observan patrones de corrosión y se dispone de información útil para programar reparaciones o el seguimiento de las áreas de interés

¿Qué podemos observar?

Las indicaciones se localizan en la media caña inferior, son indicaciones tipo pitting y no hay presencia de surcos. El mayor número de las indicaciones, exhiben gran pérdida de material y la morfología relevada, se corresponde con la morfología de pérdidas de material por ataque bacteriano.

En los casos de las zonas que presentaron indicaciones externas, se evaluó acorde a los parámetros de diseño del ducto y asumiendo que el estado interno del caño se encuentra en buenas condiciones (sin pérdida de espesor interna, fisuración u otro defecto).

Se concluye que las indicaciones encontradas en la zona externa de la tubería identificadas como P38 elemento #1, y P69 elemento #1 son aceptables para la presión de operación. Se establece que la máxima presión de operación (MAPO) podría esta ser incrementada hasta los 93 Kg/cm², sin que se vea afectada la integridad del ducto en los segmentos analizados. (Ver Figura 19)

RESUMEN DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS														
INDICACIÓN	Junta Ref. nro	DIMENSIONAMIENTO INDICACIÓN						B31 G		B31 G Mod.		Área Efec.		DETALLE
		Posición inicio		Long. Axial	Long Circ.	Prof. max.		PS (Kg/cm ²)	RES	PS (Kg/cm ²)	RES	PS (Kg/cm ²)	RES	
		Axial (mm)	Circ. (hrs)	(mm)	(°)	(mm)	%WL							
P38- Elemento #1	s/dato	144,905	5,327	40,973	13,110	2,54	40%	93,00	Acep	93,00	Acep	93,00	Acep	
P69- Elemento #1	s/dato	149,007	12,438	36,002	12,083	1,88	30%	93,00	Acep	93,00	Acep	93,00	Acep	

Figura 19. Elementos relevados mediante IVD

Ante un caso de corrosión interna y externa con indicaciones que podrían interactuar de acuerdo con la condición de que las indicaciones se encuentren a una distancia longitudinal o circunferencial entre si tres veces el espesor de pared ($3t$), entonces, el mapeo de phased array se importa desde el software de análisis de corrosión y se evalúa el ducto con ambos registros (defectos internos y externos) en conjunto.

La velocidad en la adquisición de los resultados es de gran utilidad para los ingenieros de integridad para dinamizar la toma de decisiones y operar el ducto en las presiones seguras, mientras se planifican las reparaciones.

Potencialidades de la interacción de las técnicas:

Existen mejoras a implementar aún no testeadas, como el análisis mediante modelo de elementos finitos, en áreas con anomalías externas. Partiendo del relevamiento mediante escaneo digital y estableciendo las condiciones de borde del problema, se puede ejecutar una discretización o mallado de puntos en la zona de interés. El mallado, se procesa en un software mediante la simulación de distintos estados de carga. El modelo planteado, se ejecuta siguiendo los lineamientos de API 579-1/ASME FFS-1.

Actualmente, desde PMK SRL, se trabaja en un mecanismo de automatización de movimientos del escáner, que busca darle celeridad al relevamiento de las zonas de interés y minimizar el riesgo del operador, disminuyendo el tiempo de exposición en un cateo.

La tecnología podrá ser empleada también en accesorios tipo codos, tees y otros componentes, así como en equipos de almacenamiento tipo tanques y separadores, en donde será posible luego del relevamiento, aplicar criterios de la norma mencionada anteriormente, para determinar la condición de los activos.

Conclusión:

Los avances tecnológicos en distintas áreas nos llevan a estar atentos en aquellas tecnologías aplicables a los END para una mejora continua.

Poco tiempo atrás, las verificaciones de las detecciones por ILI se hacían con ultrasonido convencional y galgas para medir la pérdida de espesor superficial. La implementación de tecnologías de última generación como phased array y escáner 3D, amalgamadas por el software de análisis simplifica el proceso de monitoreo de corrosión de una sección de tubería de interés, reduciendo tiempos de inspección. Los registros de inspección pueden cargarse en la nube puesto a disposición a un especialista en integridad.

La reciprocidad de los ensayos descriptos admite el análisis bajo código ASME, con la configuración de ambas técnicas en simultáneo o de manera independiente.

Por lo expuesto anteriormente, es que concluimos que el avance tecnológico y la interacción de los ensayos mencionados proporcionan información de calidad, reduciendo los tiempos de procesamiento de datos y la posterior toma de decisión de las personas encargadas de mantener la integridad de los activos.

Bibliografía

- ASME B31 G
- ASME B31 G Modificada
- API 579-1/ASME FFS-1.

Curriculum Vitae de los autores:

Ohara Luis

Ingeniero Electrónico, graduado de la Universidad Tecnológica Nacional

Trayectoria:

En el año 2007 inicié las actividades relacionadas con los ensayos no destructivos. Me desempeñe como Ingeniero de aplicaciones en la línea de Krautkramer y luego en la línea de Olympus Industrial, en la técnica de ultrasonido convencional, phased array y corrientes inducidas ofreciendo soluciones en el área de OIL&GAS, automotriz, aeroespacial e industrial.

El año 2018 me radique en Neuquén para desempeñarme como líder técnico en la firma Petromark SRL.

Cargo actual en la empresa:

Líder Técnico

Bertotto Mauricio

Ingeniero Mecánico, graduado de la Universidad Nacional de La Plata

Trayectoria:

En el año 20014 inicié las actividades relacionadas con los ensayos no destructivos, ocupando el puesto de representante técnico en diferentes líneas de negocio de empresa de OIL&GAS. Fueron mis funciones impartir capacitaciones y desarrollar documentos técnicos para el correcto desarrollo de las actividades de END.

El año 2019 me incorporé a Petromark SRL, ocupando el puesto de representante Técnico. Desde el año 2022 ocupo funciones como líder técnico en la firma.

Cargo actual en la empresa:

Líder Técnico