

INSPECCIÓN AVANZADA EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN CON GEOMETRÍAS COMPLEJAS: EVOLUCIÓN DE TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE CORROSIÓN LOCALIZADA EN CAMPO AMAZÓNICO

**Giroshi Reyes Villar, Bernardo Elósegui, Aconcagua Ingeniería,
giroshi.reyes@aconcaguaingenieria.com**

bernardo.elosegui@aconcaguaingenieria.com

SINOPSIS

Presentar la evolución de las técnicas de inspección aplicadas en líneas de producción de pozos ubicadas en un campo petrolero de la Amazonía Peruana, con el fin de mejorar la detección de mecanismos de daño por corrosión localizada tipo pitting, especialmente en zonas con geometría compleja como codos y tees, fortaleciendo así la estrategia de integridad mecánica del sistema.

Inicialmente se emplearon técnicas de UTME como parte del programa de gestión de integridad, priorizando áreas con mayor probabilidad de falla. Posterior se implementó un plan de inspección mediante mapeo de corrosión Scan-C, incrementando la cobertura de inspección al 80% del área superficial del accesorio. A pesar de este avance, se reportaron eventos de pérdida de contención, localizados en zonas de difícil acceso y geometrías complejas, como el radio interno de codos de 90° y la curvatura de las Tee's, donde no era posible aplicar métodos tradicionales. La incorporación de tecnologías especializadas y equipos adaptativos permitió realizar inspecciones precisas en estas zonas críticas incluso bajo condiciones de alta temperatura. Esto logró identificar daños en etapas tempranas, optimizando las acciones de mantenimiento y mitigación.

La detección eficaz de mecanismos de corrosión localizada en accesorios con geometrías complejas requiere la integración de tecnologías de inspección adaptativas, especialmente en entornos con condiciones operativas desafiantes como la Amazonía. El uso combinado de mapeo de corrosión (Scan-C) y equipos adaptativos a la geometría permitió identificar zonas críticas que antes quedaban fuera del alcance de inspección, reduciendo significativamente el riesgo de fallas no detectadas.

Este enfoque representa una mejora sustancial en las estrategias de gestión de integridad, destacando la importancia de adaptar los planes de inspección a la realidad geométrica y operativa del activo, con el objetivo de preservar la confiabilidad y seguridad del sistema productivo.

Introducción

La gestión de la integridad mecánica en las líneas de producción de los campos petroleros de la Amazonía Peruana representa uno de los desafíos más complejos para la industria actual, debido a la combinación de condiciones ambientales extremas y la agresividad de los fluidos transportados. En este contexto, garantizar la seguridad operativa y prevenir impactos ambientales por pérdidas de contención es la prioridad fundamental de cualquier programa de integridad. Tradicionalmente, este objetivo se ha cumplido de manera satisfactoria mediante el uso de la técnica de Ultrasonido Convencional de Medición de Espesores (UTME), la cual ha servido como la herramienta base para establecer líneas de referencia y monitorear el desgaste del metal en puntos críticos predefinidos.

Sin embargo, la naturaleza de los mecanismos de daño en estas líneas ha demostrado ser altamente localizada, presentándose principalmente como corrosión tipo *pitting* (picaduras) el UTME, al ser una técnica de inspección puntual, cumple su función de monitoreo estadístico. Ante la necesidad de avanzar en las campañas de inspección y robustecer la estrategia de detección, se hizo necesaria la transición hacia métodos que permitieran un barrido volumétrico de los componentes, evolucionando hacia la tecnología de Mapeo de Corrosión, conocida como Scan-C.

Esta evolución tecnológica no surge como un reemplazo por ineficacia, sino como una respuesta proactiva para escalar la capacidad de inspección al 80% de la superficie de los activos. El reto adicional aparece en los accesorios de geometrías complejas, como codos de 90° y uniones tipo "Tee", donde las turbulencias internas aceleran los procesos de corrosión localizada en zonas de difícil acceso, como el radio interno de los accesorios.

El presente trabajo expone cómo la integración estratégica del historial de datos obtenido por UTME, sumado al alcance masivo del Scan-C y el uso de equipos adaptativos para geometrías irregulares, permite cerrar la brecha de inspección en zonas críticas. Se demostrará que esta sinergia tecnológica no solo mejora la detección temprana de defectos bajo condiciones de alta temperatura, sino que optimiza las acciones de mantenimiento y refuerza la confiabilidad del sistema productivo en su conjunto.



Desarrollo

La estrategia de integridad mecánica para las líneas de producción en el campo de la Amazonía Peruana ha sido diseñada como un proceso evolutivo, donde la incorporación de nuevas tecnologías responde a la necesidad de aumentar la probabilidad de detección de daños en activos con alta complejidad operativa. Esta evolución se estructura en tres etapas clave:

1. Consolidación y Línea Base con Ultrasonido Convencional (UTME)

La primera etapa de la gestión de integridad se fundamentó en el uso de la técnica de Ultrasonido Convencional de Medición de Espesores (UTME). Esta metodología cumplió una función vital al establecer la línea base de espesores y permitir un monitoreo sistemático en puntos críticos donde se esperaba la mayor tasa de desgaste, el UTME sirvió como una herramienta de supervisión inicial necesaria, pero que requería de un complemento de mayor cobertura para avanzar en la detección de defectos aleatorios.

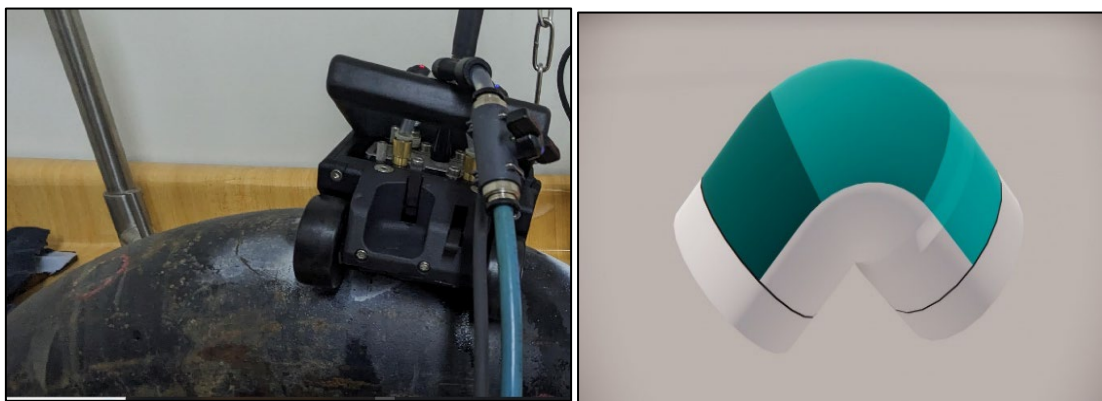


Imagen 1: Inspección mediante medición de espesores UTME.

2. Masificación de la Inspección mediante Mapeo de Corrosión (Scan-C)

Con el objetivo de robustecer la campaña de inspección y complementar la inspección del sistema de tubería, se desarrolló la campaña de inspección mediante Mapeo de Corrosión (Scan-C). Esta transición permitió:

- **Incremento de Cobertura:** Abarcar un área superficial de inspección de hasta un 80% de la superficie de los codos 90° y accesorio tipo “Tee”.



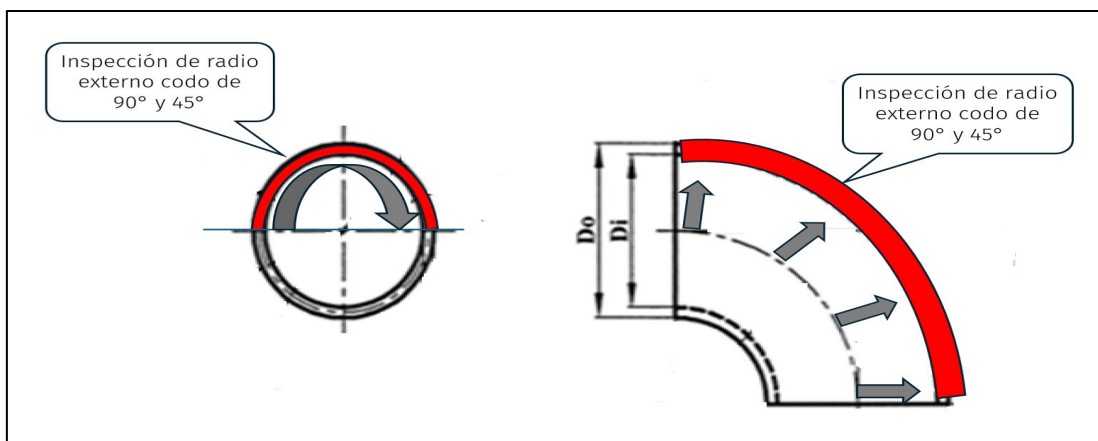


Imagen 2: Superficie de inspección mediante Scan-C.

- **Visualización Detallada:** El uso de Scan-C proporcionó una imagen volumétrica (C-Scan) de los componentes, permitiendo identificar variaciones de espesor como se evidencia en el espectro de la imagen 3.

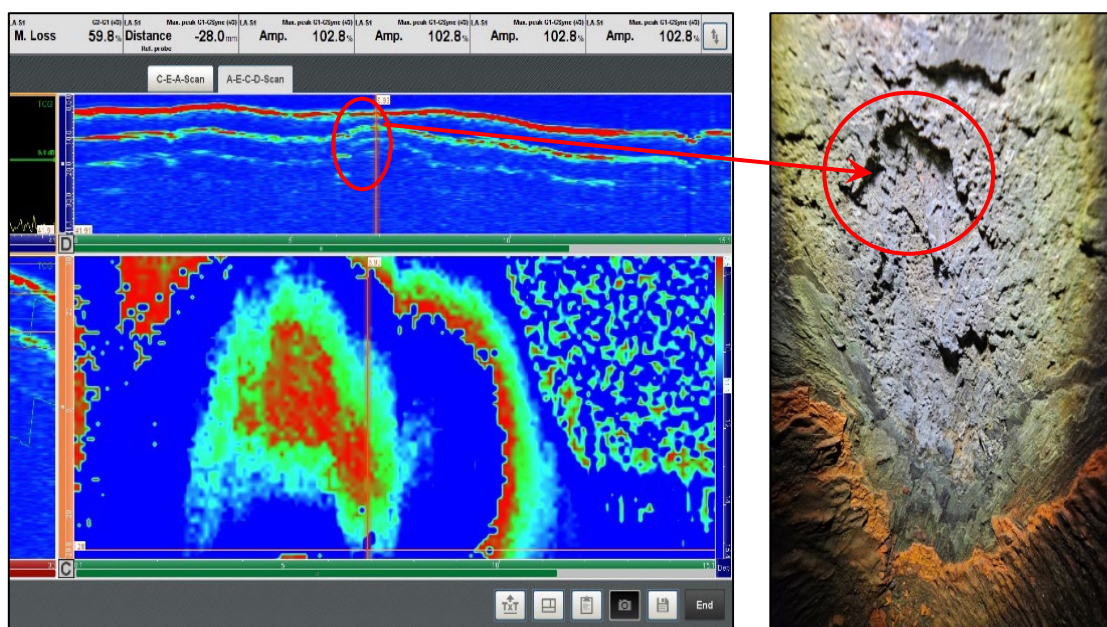


Imagen 3: Espectro en inspección mediante Scan-C.

Durante el año 2024 se inspeccionaron un total de 320 CMLs, de los cuales diecisiete (25) evidenciaron pérdidas mayores al 40% con respecto al espesor nominal. Once (11) de ellos considerados como puntos con alta probabilidad de fuga, presentaron espesores menores a 1 mm de diferencia respecto al espesor requerido, lo que permitió a la empresa operadora de la planta, tomar las acciones preventivas necesarias para evitar potenciales pérdidas de contención en sus instalaciones.

Año	Cantidad de CMLs mediante mapeo de corrosión	CML con peridda mayor al 40%	Puntos con alta probabilidad de fuga
2024	320	25	11

- **Limitaciones en Accesorios:** No obstante, el desafío persistió en los componentes con cambios de dirección. Los escáneres automáticos convencionales, por su diseño rígido, presentaban dificultades de acoplamiento sobre en superficies con radios de curvatura pronunciados, como el radio interno de los codos de 90° y las intersecciones de las Tee's, dejando estas zonas críticas fuera del alcance de la masificación inicial.

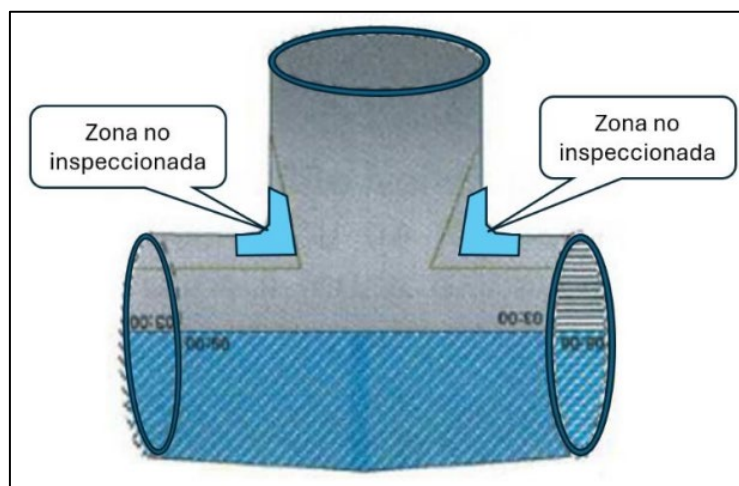


Imagen 4: Zona en accesorio Tee, no inspeccionada por falta de acceso.

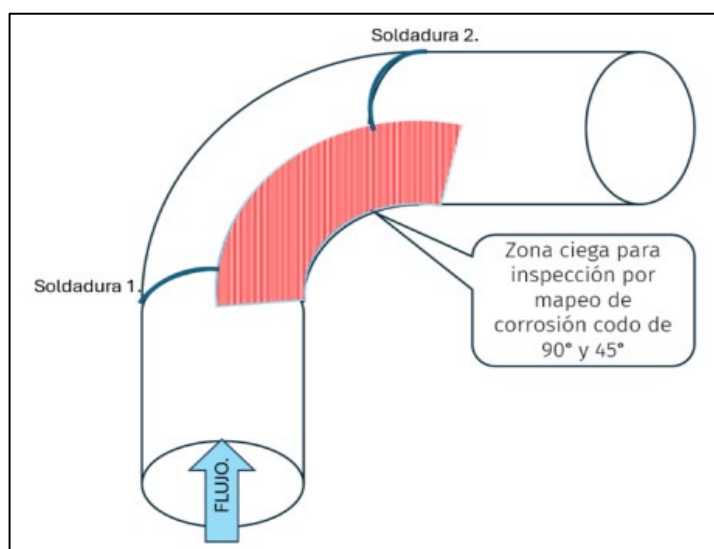


Imagen 5: Zona en codo 90°, no inspeccionada por falta de acceso.

Durante el mismo año 2024 posterior a la campaña de inspección sobre 320 CMLs, se identificaron dos (2) pérdida de contención, ubicados específicamente sobre un (1) codo de 90° y un (1) accesorio Tee. La ubicación específica de las zonas que presentaron pérdida de contención fueron las zonas no inspeccionadas como se especifica en la figura 4 y figura 5.

Año	Cantidad de CMLs mediante mapeo de corrosión	CML con perdida mayor al 40%	Puntos con alta probabilidad de fuga	Perdida de contención
2024	320	25	11	2

Ante estos hallazgos, se determinó la necesidad de ampliar el alcance de la inspección, priorizando la evaluación de zonas de acceso restringido o de difícil intervención. El objetivo se centró en garantizar la integridad estructural en áreas que históricamente no habían sido inspeccionadas, mitigando así riesgos ocultos en sectores críticos del activo

3. Optimización con Equipos Adaptativos en Geometrías Complejas

La fase final de esta evolución consistió en la integración de tecnologías de inspección adaptativas, diseñadas específicamente para superar las barreras físicas de los accesorios.

- **Versatilidad Geométrica:** Estos equipos cuentan con sistemas flexibles que se ajustan a las irregularidades y curvaturas de codos y tees, permitiendo realizar el mapeo de corrosión en las zonas de mayor turbulencia, donde la probabilidad de pitting es más elevada.



Imagen 6: Identificación de pitting en zona de curvatura accesorio Tee.

- **Condiciones Operativas Desafiantes:** Una ventaja técnica fundamental fue la capacidad de estos sensores para operar en condiciones de alta temperatura. En el campo amazónico, donde las líneas de producción operan de forma continua, esta capacidad permitió ejecutar la campaña de inspección sin necesidad de paradas de planta o sistemas complejos de enfriamiento, optimizando los recursos de mantenimiento.
- **Resultados en la Gestión de Integridad:** La sinergia entre el historial del UTME, la masificación del Scan-C y la precisión de los equipos adaptativos permitió identificar daños en etapas tempranas. Este enfoque integral garantiza que no queden "puntos ciegos" en la red de líneas, reduciendo significativamente el riesgo de fallas no detectadas y fortaleciendo la seguridad del sistema productivo.



Imagen 7: Adaptabilidad de equipos de inspección.

Optimización de la Gestión de Integridad mediante Equipos Adaptativos: Como resultado de la fase final de inspección, la implementación de tecnologías adaptativas permitió una mayor precisión en la caracterización del sistema de tuberías. Se registró un incremento significativo en la identificación de Puntos de Monitoreo de Condición (CML) con pérdidas de espesor superiores al 40%. Asimismo, la detección de CML con alta probabilidad de falla (fuga) se triplicó en comparación con métodos anteriores. Estos resultados validan la eficacia de la nueva metodología para identificar riesgos críticos ocultos, estableciendo una base sólida para priorizar los planes de mitigación y seguimiento

Año	Cantidad de CMLs mediante mapeo de corrosión	CML con perdida mayor al 40%	Puntos con alta probabilidad de fuga	Perdida de contención
2024	320	38	30	0

Conclusiones

La implementación de equipos adaptativos en la gestión de inspección marcó un punto de inflexión en la precisión de los datos. El incremento registrado en los CML con pérdidas de espesor superiores al 40%, junto con la triplicación de puntos con alta probabilidad de fuga, demuestra que la metodología anterior presentaba una brecha de detección. Estos resultados validan la necesidad de migrar hacia tecnologías de mayor resolución para garantizar la integridad mecánica de los activos.

La identificación de una mayor cantidad de CML críticos exige una reestructuración del cronograma de seguimiento y monitoreo. Los hallazgos actuales permiten priorizar las intervenciones en los puntos de mayor severidad, optimizando el uso de recursos y reduciendo la probabilidad de eventos de pérdida de contención no planificados.

La gestión de la integridad no es estática. Debemos ser proactivos y flexibles, adaptando nuestros planes de inspección a las particularidades de nuestros activos y a las nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

- ASME Sec. V. Nondestructive Examination
- API STD 570. Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair and Alteration of Piping Systems.
- API RP 571. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.
- API RP 574. Inspection Practices for Piping System Components.

CV: GIROSHI REYES VILLAR

Título y lugar de estudio: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Lima, Perú.

Trayectoria: Mas de cuatro años de experiencia en la industria Oil & Gas, especializado en inspección, evaluación de integridad y diseño de equipos y plantas de proceso. Certificado en API 580 (ID: 622108), Certificado en API 653, e Inspector Nivel II en PT, UT y VT, con experiencia en réplicas metalográficas. Conocimiento en gestión de seguridad y salud en el trabajo bajo ISO 45001 y seguridad de procesos.

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de Integridad.

CV: BERNARDO ELOSEGUI

Título y lugar de estudio: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA, Mar del Plata, Argentina.

Trayectoria: Mas de 18 años de experiencia en el sector Oil&Gas, especialista en evaluación de integridad de activos. Con experiencia en manejo de software especializado en gestión de activos. Inspector certificado API 580 (ID: 56507), API 653 (ID: 42238).

Cargo actual en la empresa: Gerente de Operaciones.