

GESTION DE INTEGRIDAD DE OLEODUCTOS Y GASODUCTOS

A.Pellicano¹, J.P.Rossi²

¹ Sintec S.A. - ap_sintec@speedy.com.ar

² Sintec S.A. - jpr_sintec@speedy.com.ar

1. Sinopsis

Las líneas de transportan petróleo y gas constituyen uno de los sistemas de mayor susceptibilidad a la ocurrencia de fallas originadas principalmente por corrosión y por incidencia de terceros. La elevada ocurrencia de fallas en este tipo de líneas se debe fundamentalmente a la agresividad de los fluidos transportados y del medio externo, a los niveles de presión y temperatura, a deficiencias en los sistemas de mitigación y al nivel de exposición a los daños mecánicos por tareas de instalación, reparación y reemplazo de otras líneas o de instalaciones de superficie.

Dado que existe un gran porcentaje de oleoductos y gasoductos que no están acondicionados para ser inspeccionadas con herramientas inteligentes, es necesario el uso de técnicas alternativas que permitan una adecuada gestión de integridad de estas líneas. Las metodologías ICDA/ECDA proveen una alternativa válida para garantizar la integridad y seguridad de estas cañerías. Aún en aquellas líneas preparadas para la inspección interna, el uso de estas metodologías permite el conocimiento de la morfología y tipo de ataque corrosivo presente, facilitando la selección de una herramienta adecuada para el estudio.

La utilización de técnicas electroquímicas *in situ* permite una mejor estimación de la profundidad de ataque corrosivo presente en las cañerías, así como una identificación temprana de los mecanismos de degradación potencialmente activos.

En este trabajo se presenta la combinación de las metodologías de estudio ICDA/ECDA con mediciones electroquímicas para una mejor definición de las zonas con elevada susceptibilidad al desarrollo del ataque corrosivo interno y externo y una mayor precisión en la determinación de la profundidad de penetración de los diferentes mecanismos de degradación potencialmente activos.

Palabras clave: Gasoductos – ECDA – Gas – ICDA – Integridad – Oleoductos – Petróleo – Gas

2. Introducción

La gestión de integridad de las cañerías permite asegurar la provisión continua del producto de forma segura y confiable. Para esto es necesario contar con un análisis de integridad y riesgo que permita evaluar el estado de las líneas y la asignación de recursos de mantenimiento, inspección, mitigación y monitoreo, para maximizar la seguridad con que se operan las líneas, reduciendo al mínimo la aparición de fallas eventuales.

Las metodologías ICDA/ECDA proveen una alternativa proactiva para el aseguramiento de la integridad en cañerías que no se encuentran preparadas para el estudio mediante inspección interna con herramienta inteligente. Ambas metodologías presentan un proceso sistemático para la detección de zonas susceptibles al desarrollo de ataque corrosivo interno y externo. El estudio de los sectores particularmente afectados por mecanismos de degradación activos permite la reparación temprana de los defectos que pueden comprometer la integridad de las cañerías en servicio y posibilitan la implementación de acciones correctivas sobre las causas que los generaron. Ambas metodologías se encuentran descriptas en el estándar NACE como prácticas recomendadas^{1,2,3}. La utilización de mediciones electroquímicas se encuentra ampliamente difundida para la determinación de la velocidad de corrosión y la identificación de mecanismos de degradación activos. La combinación de las técnicas electroquímicas con las metodologías ICDA/ECDA permitirían una mejor definición de los sectores potencialmente activos a partir de los mecanismos de corrosión identificados y de las velocidades de corrosión medidas en los sistemas bajo estudio.

3. Desarrollo

3.1. Taller de Identificación de Amenazas

Las cañerías en servicio constituyen sistemas sujetos a diferentes riesgos que pueden comprometer la integridad generados por amenazas de distinto origen: diseño, construcción, operación, actividad de terceros, corrosión y amenazas naturales. Estas amenazas pueden desembocar eventualmente en la ocurrencia de una falla, cuya consecuencia se traduce en daños sobre la salud, el medio ambiente, las instalaciones y la operación, generando un impacto directo sobre la reputación de la empresa. Los procesos de identificación de amenazas y el análisis y evaluación de riesgos constituyen un factor fundamental en el aseguramiento de la integridad de las instalaciones en servicio. Su evaluación permite adecuar los programas en base al nivel de riesgo identificado y por lo tanto están optimizados para mitigar y controlar las amenazas principales en cada sistema evaluado. Esta base de funcionamiento proactiva permite asegurar que la gestión de integridad esté adecuadamente soportada desde el punto de vista técnico y que los recursos de mantenimiento se optimicen en función de la mitigación de los riesgos principales.

La metodología de análisis de riesgo cualitativo pondera para la cuantificación de la probabilidad de falla de la cañería por la incidencia en forma separada de distintas amenazas que afectan generalmente la integridad de cañerías en servicio (Tabla 1).

Dependientes del Tiempo	Independientes del Tiempo	Estables en el Tiempo
Corrosión Externa	Daño Mecánico (accidental, intencional, excavación, vandalismo)	Defectos de fabricación (en cuerpo o costura longitudinal)
Corrosión Interna	Movimientos de tierra, factores climáticos y fuerzas externas (deslizamientos, temperaturas extremas, lluvias torrenciales, etcétera)	Defectos de construcción (soldaduras, curvaturas, pandeo, etcétera)
Corrosión Asistida por Factores Mecánicos (SCC – HIC – CFC)	Errores de Operación	Falla de Equipamiento (sellos, dispositivos de control y alivio).
Fatiga		
Erosión		

Tabla 1. Clasificación de amenazas según los estándares internacionales.

Por otro lado, la ponderación del impacto asociado a la ocurrencia de un evento en particular apunta a cuantificar la incidencia del mismo sobre la seguridad de la personas, el impacto al medio ambiente y en los negocios de la compañía, tanto en lo que se refiere al impacto económico directo como a la pérdida de prestigio frente a la imagen pública.

3.2. Metodología evaluación directa de corrosión externa - ECDA

La evaluación directa de corrosión externa¹ permite determinar la aptitud para el servicio de cada línea por incidencia de defectos externos, mediante un análisis sistemático de la información, la utilización de modelos de crecimiento de defectos y la realización de cateos de inspección directa. El proceso conlleva la realización de cuatro etapas:

- Evaluación inicial: consiste en la recolección y el análisis preliminar de toda la información disponible sobre las cañerías en estudio para determinar la aplicabilidad de la metodología, la definición de zonas, y la selección de las técnicas de inspección indirectas.
- Inspección indirecta: esta etapa consiste en ejecución de las técnicas de inspección seleccionadas para identificar y ponderar fallas en el revestimiento, presencia de interferencias, fallas en aislaciones, zonas susceptibles al ataque corrosivo. Como herramientas de inspección indirecta se establecen relevamientos de potencial paso a paso (CIPS) y gradiente de voltaje DC (DCVG).
- Inspección directa: evaluación de la información recogida en la etapa inicial, análisis de la información obtenida en los relevamientos CIPS-DCVG, evaluación de la condición del sistema de protección anticorrosiva (revestimiento – protección catódica) y simulación mediante modelos teóricos la velocidad

de corrosión. El proceso de ponderación teórica del proceso corrosivo fue realizado tomando como base los ensayos electroquímicos efectuados en testigos de monitoreo externo. Estos sistemas que están ubicados en diferentes puntos del yacimiento, permiten la valorización del nivel de agresividad que presenta el suelo en distintas zonas y la identificación de los mecanismos de ataque asociados. Toda la información analizada permitió la determinación de los sectores con mayor probabilidad de desarrollo de corrosión externa y la confección de un plan jerárquico de cateos a lo largo de la cañería bajo estudio. Los cateos efectuados permitieron conocer el estado real de la cañería, mediante la evaluación de la severidad de defectos presentes, la corroboración de los mecanismos corrosivos dominantes, la determinación de la performance del revestimiento y el estado de reparaciones existentes.

- Evaluación final: en esta etapa se integra y analiza toda la información y análisis efectuados en las tres etapas anteriores con el objetivo de evaluar la efectividad del proceso ECDA y determinar los intervalos de análisis posteriores.

El análisis de toda la información obtenida permite establecer el nivel de riesgo de la cañería por corrosión externa y definir las acciones de mitigación, monitoreo e inspección necesarias para poder garantizar el control de los mecanismos externos.

3.3. Metodología evaluación directa de corrosión interna – ICDA

La metodología de evaluación directa de corrosión interna² es similar al proceso ECDA y se basa en la evaluación de combinada de registros operativos, monitoreo, inspecciones, hidrodinámica del sistema, perfil altimétrico e histórico de fallas de la cañería para determinar puntos con mayor probabilidad de desarrollo de corrosión interna. El análisis consiste en las siguientes etapas:

- Evaluación inicial: el objetivo de esta etapa es determinar si el método ICDA es un método de análisis de integridad apropiado para la cañería en estudio. En esta etapa se evalúan los mecanismos de corrosión interna potencialmente activos en la cañería.
- Inspección indirecta: el objetivo de esta etapa es evaluar la probabilidad del desarrollo de ataque corrosivo interno en la cañería. Mediante un análisis de las variables operativas y la altimetría de la cañería se efectúa un estudio (modelado) de las características hidrodinámicas del sistema y de la configuración geométrica de la cañería para evidenciar zonas de potencial acumulación de agua y depósitos y por ende susceptibles al desarrollo al ataque corrosivo interno. El proceso de ponderación del proceso corrosivo interno fue realizado tomando como base los ensayos electroquímicos efectuados en celdas de monitoreo interno, ubicados en puntos específicos de la cañería. Estos sistemas permiten evaluar la agresividad del fluido y la identificación de los mecanismos de ataque asociados. La integración de toda la información analizada permitió la confección de un plan de cateos específicos.
- Inspección directa (“detailed examination”): los objetivos de esta etapa son verificar la presencia de corrosión interna en los lugares indicados como de mayor susceptibilidad en la etapa anterior y establecer la condición real de la cañería a partir de la verificación directa y en análisis de criticidad de los defectos presentes.
- Evaluación final: en esta etapa se integra y analiza toda la información y análisis efectuados en las tres etapas anteriores con el objetivo de evaluar la efectividad del proceso ICDA y determinar los intervalos de análisis posteriores.

El análisis de toda la información obtenida permite establecer el nivel de riesgo de la línea por corrosión interna y la definición de las acciones necesarias para poder garantizar el control de los mecanismos internos.

3.4. Ensayos electroquímicos

En la implementación de técnicas electroquímicas^{4,5,6} se miden parámetros directamente relacionados con el proceso corrosivo: corriente y potencial. Uno de los factores de mayor importancia en estos ensayos es la preparación superficial del material de los electrodos, que debe replicar en lo posible la condición del componente en estudio, aún cuando se trate de sistemas con revestimientos, soldadura o de acoplamiento entre metales disímiles. Las técnicas electroquímicas presentan las siguientes ventajas comparativas con respecto a cualquier otra:

- Permiten la determinación de velocidades instantáneas de corrosión.
- Permiten analizar mecanismos de ataque corrosivo.

- Habilitan la evaluación de performance de sistemas de mitigación en servicio (revestimientos, protección catódica e inhibidores de corrosión).
- Posibilitan el estudio y caracterización de parámetros asociados a películas superficiales (óxidos, biofilm, depósitos, revestimientos, tratamientos superficiales).

3.4.1. Resistencia de polarización (RP)

Esta técnica permite obtener la corriente de corrosión a partir de la medición de la resistencia a la polarización (RP)^{4,5,6}, obtenida de una curva potencial-corriente (figura 1). La ventaja de este método radica en su rapidez para determinar un valor de velocidad de corrosión y en que, al realizar un barrido de potenciales de pequeña amplitud, se puede asumir que la superficie del material bajo estudio no es alterada pudiendo considerarse a esta técnica como no destructiva. Este tipo de mediciones permite obtener la velocidad de corrosión instantánea, lo que permite la detección inmediata de cualquier variación producida en la interfase metal - medio. Las técnicas potenciodinámicas requieren que el potencial de corrosión sea estable y no cambie durante la medida. De otra manera, el potencial y la corriente varían de una manera desconocida a medida que el potencial de corrosión cambia durante las medidas potenciodinámicas. Es más, el barrido potenciodinámico debe ser lo suficientemente lento como para asegura estado estacionario.

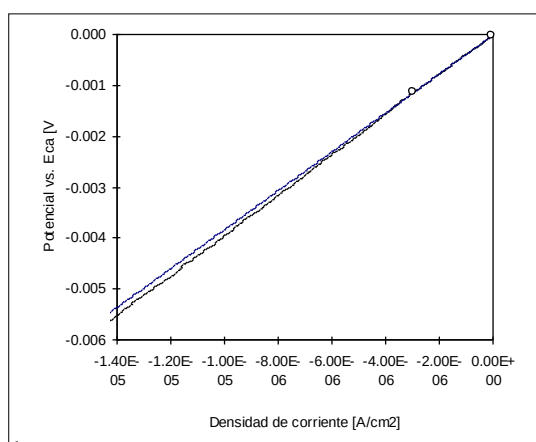


Figura 1. Ensayo de resistencia de polarización.

3.4.2. Impedancia (EIS)

Para evaluar el desempeño de los metales en medios agresivos se utilizan también técnicas de corriente alterna como la espectroscopía de impedancia electroquímica^{4,5} (EIS). El sistema se perturba con una señal sinusoidal de tensión de amplitud pequeña que se superpone en torno a un potencial continuo determinado (figura 2A). La relación entre las señales de entrada y salida permite calcular la impedancia del sistema. Se interpretan los resultados mediante un ajuste de los datos con un circuito eléctrico equivalente de manera de extraer las constantes eléctricas del sistema bajo estudio (figura 2B). Son de particular interés los valores de los componentes individuales del circuito equivalente tales como resistencia de la solución (R_s), resistencia del película superficial (R_{po}) y su capacidad (CPE_c), capacidad de la interfase (CPE_d), resistencia a la transferencia de carga del sustrato (R_t).

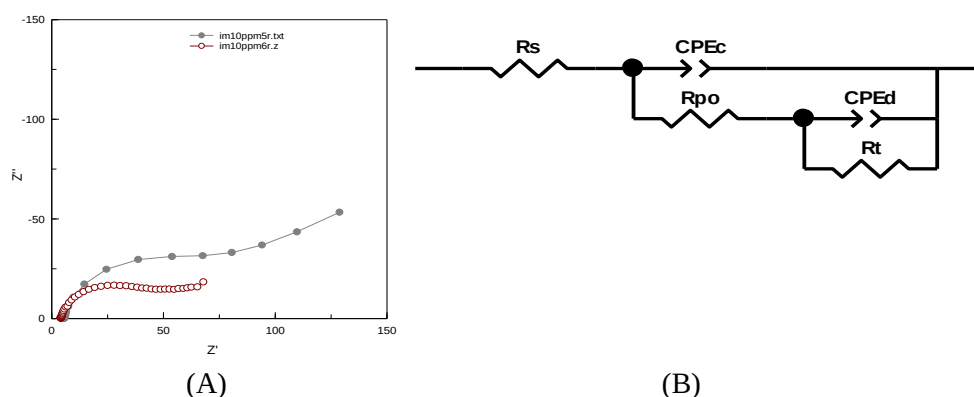


Figura 2. A) Diagramas de EIS de Nyquist y B) Circuito equivalente al proceso electroquímico real.

3.5. Resultados

A título de ejemplo se presentan los resultados obtenidos en una de las cañerías evaluadas.

3.5.1. Identificación Amenazas

El análisis efectuado indicó que las dos amenazas que presentaban mayor probabilidad de ocurrencia eran la corrosión externa y la corrosión interna. Si bien las dos amenazas son dependientes de tiempo, la corrosión interna presentó en el análisis una mayor frecuencia de ocurrencia y una mayor dinámica de desarrollo. La combinación de estos dos factores situó al problema interno como primera amenaza a la integridad, quedando la corrosión externa en segundo lugar.

3.5.2. Evaluación ECDA

En la figura 3 se observan los resultados obtenidos en los estudios CIPS-DCVG efectuados. En la figura 4A se muestran los testigos externos utilizados en los ensayos electroquímicos. En la figura 4B se presenta uno de los resultados obtenidos en las mediciones de resistencia de polarización (RP) efectuadas. A partir de la combinación de toda la información disponible se estimó la profundidad de penetración posible en diferentes puntos de la cañería (figura 5) y se establecieron los puntos de cateo necesarios.

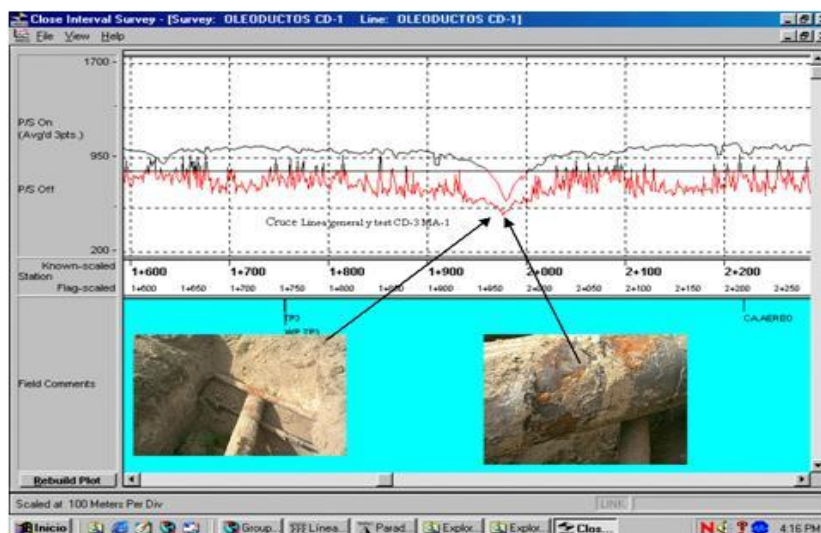


Figura 3. Extracto del relevamiento de potenciales paso a paso (CIPS).

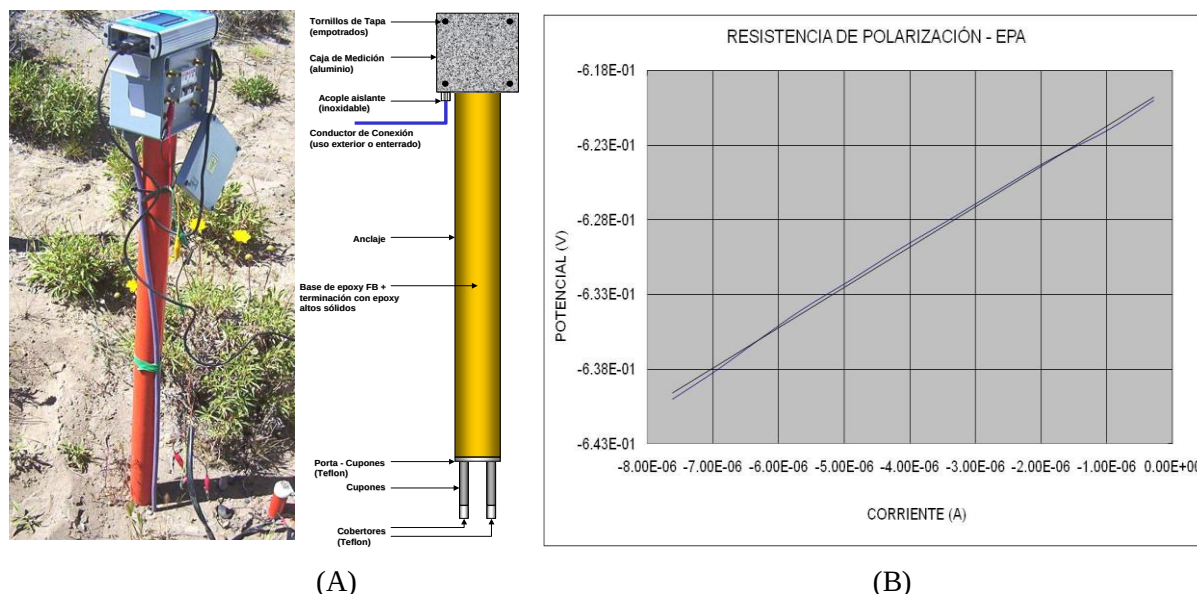


Figura 4. A) Detalle de la celda de monitoreo externo y B) una de las mediciones de R_p efectuadas.

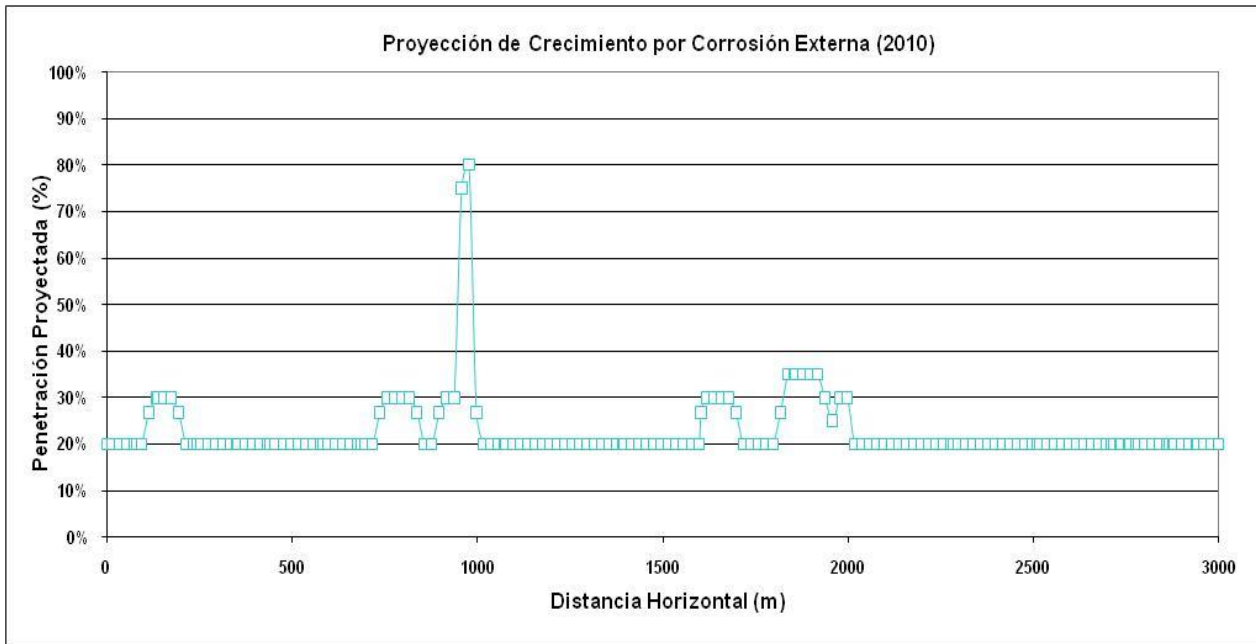


Figura 5. Proyección de la penetración del ataque corrosivo externo en diferentes puntos de la cañería.

3.5.3. Evaluación ICDA

En la figura 6 se observan los perfiles de presión y temperatura a lo largo de la cañería, mientras que en la figura 7 se muestra la velocidad de flujo. En la figura 8A se muestra un detalle de las celdas de monitoreo interno de tres electrodos y en la 8B una imagen de una celda de monitoreo interno retráctil instalada en hora 6. En la figura A) se presenta uno de los resultados obtenidos en las mediciones de RP efectuadas y en la B) el resultado de un ensayo de impedancia electroquímica. Como resultado de los ensayos electroquímicos efectuados se determinó la presencia de ataque corrosivo de origen bacteriano. A partir de la combinación de los resultados se estimó la profundidad de penetración interna probable en diferentes puntos de la cañería (figura 10) y se establecieron los puntos de cateo necesarios, que fueron combinados con los sectores determinados en el análisis ECDA.

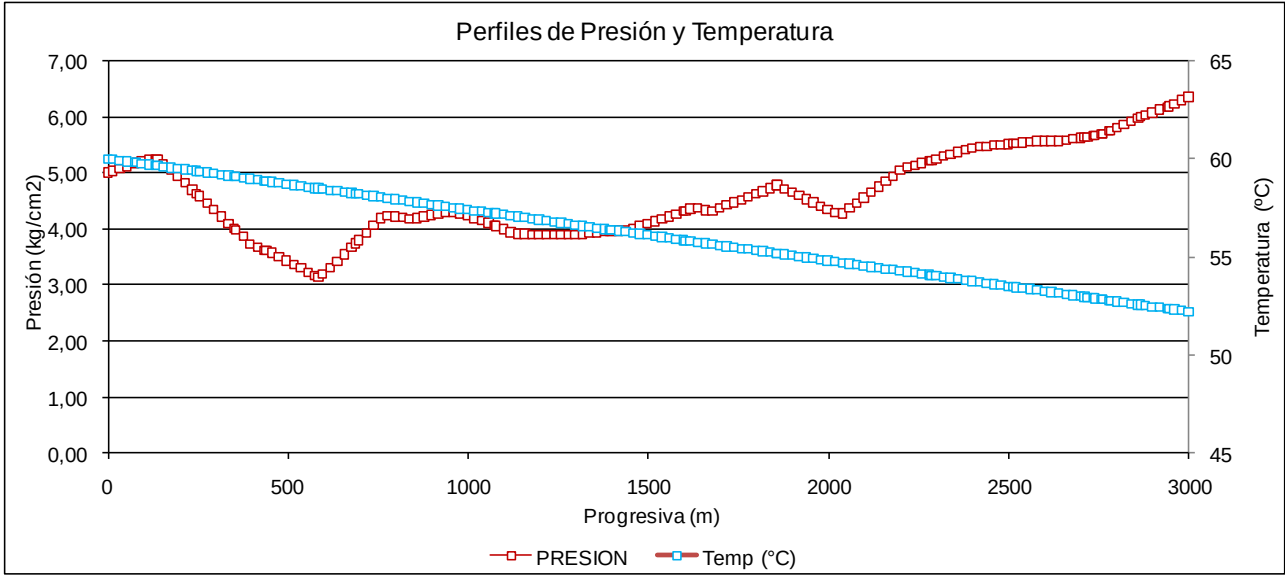


Figura 6. Perfiles de presión y temperatura.

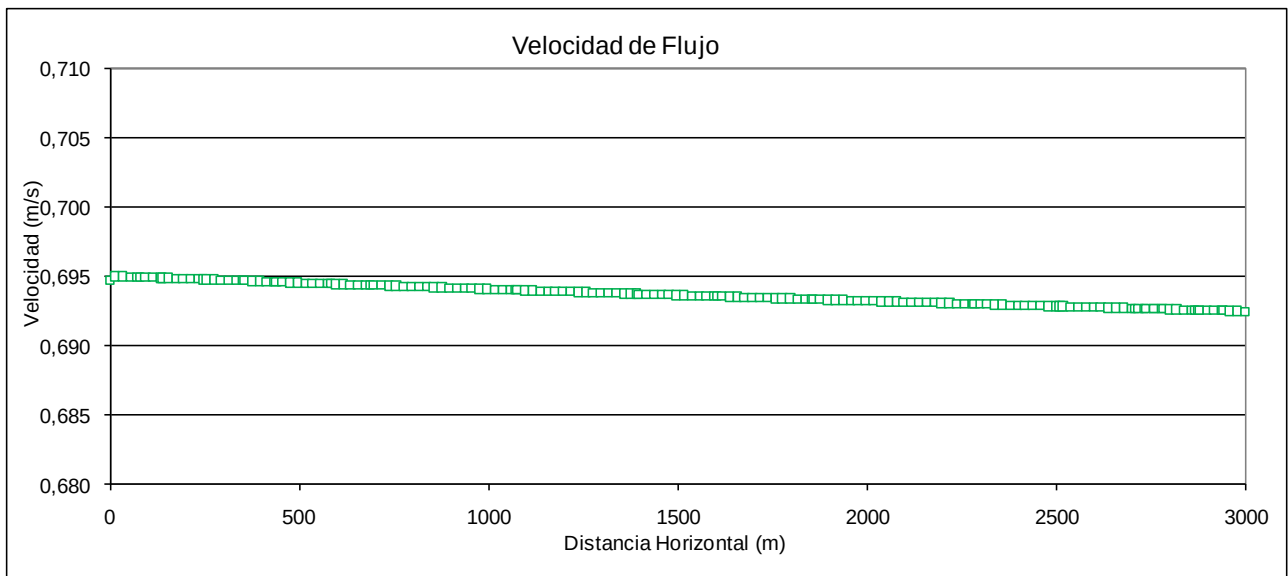


Figura 7. Velocidad de flujo.

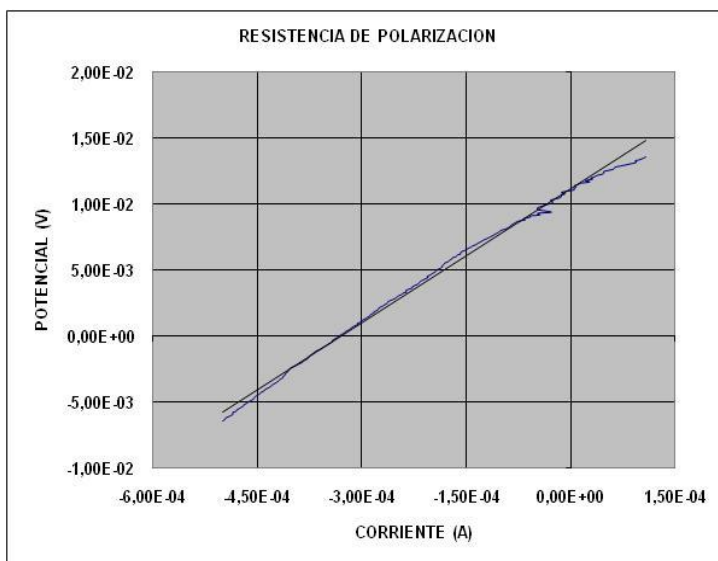


(A)

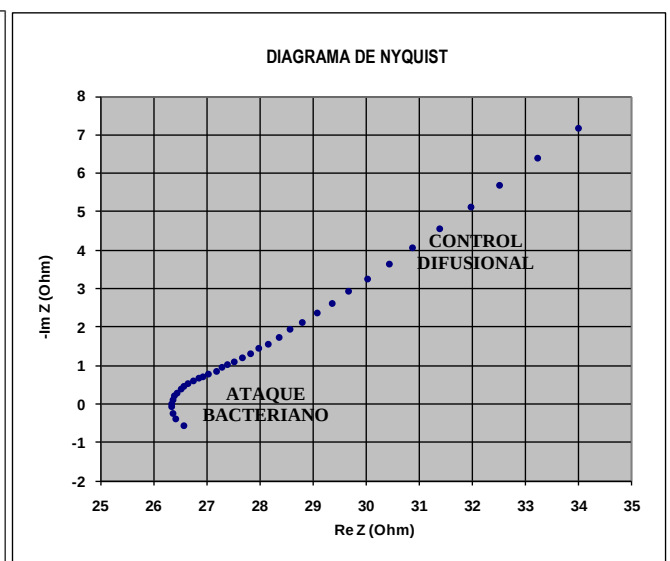


(B)

Figura 8. A) Detalle de las celdas de monitoreo interno de tres electrodos. B) Celda de monitoreo interno retráctil.



(A)



(B)

Figura 9. Resultados de dos de los ensayos de electroquímicos efectuados: A) R_p y B) impedancia.

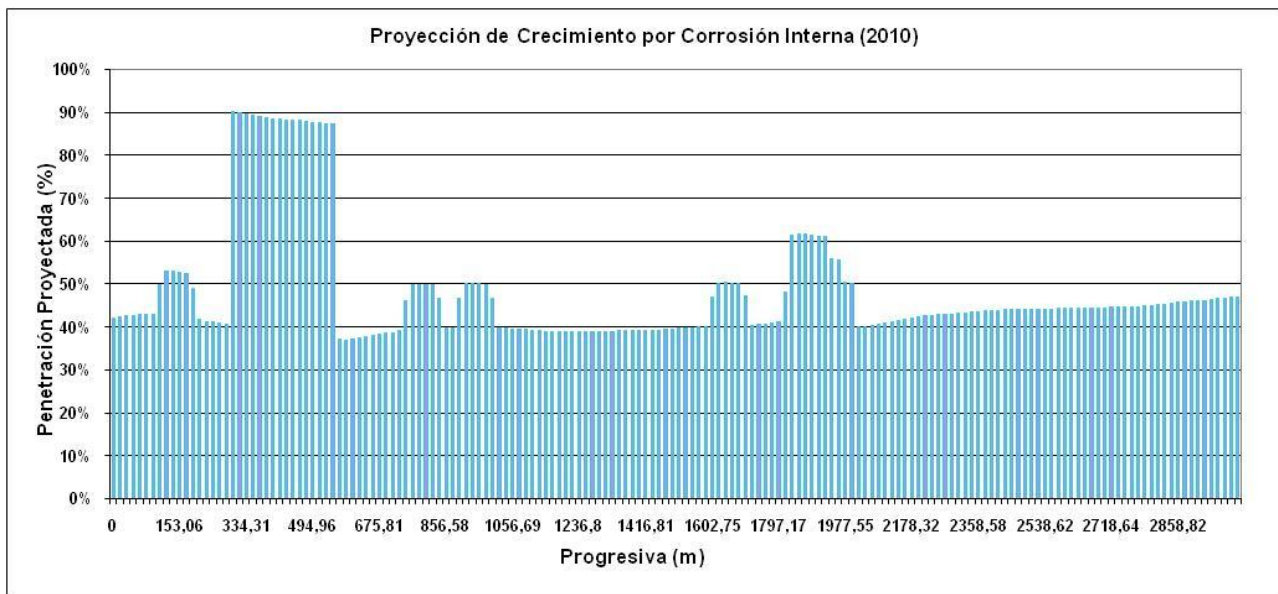


Figura 10. Proyección de la penetración del ataque corrosivo interno en diferentes puntos de la traza.

3.5.4. Cateos de verificación directa

A partir de la ejecución del programa de cateos se recabó la información necesaria para establecer la condición de la cañería en sectores potencialmente afectados por los mecanismos de daño activos. En la Tabla 2 se detallan el total de cateos realizados por cada metodología. El análisis conjunto de toda la información recogida en los cateos permitió establecer el estado real de la cañería en los puntos evaluados y la determinación de un programa de acciones adicionales.

En los cateos efectuados se determinó la presencia de procesos de corrosión activos, internos y externos. El origen de ataque externo se debe a la presencia de zonas de baja resistividad y pH, posiblemente asociado a contaminantes presentes en el suelo. Es de particular importancia la detección en uno de los sectores analizados de ataque de origen microbiano. En los cateos efectuados por ICDA se detectó la presencia de sectores extendidos con disminución del espesor de la cañería en hora 6. No se detectó en ninguna de las mediciones efectuadas ataque localizado de alta severidad. Con el objetivo de evaluar la efectividad del proceso ICDA/ECDA se graficaron los valores de profundidad de penetración obtenidos en campo en forma comparativa con los valores que surgieron del análisis (figura 11). Puede observarse que existió una buena concordancia con los valores estimados por corrosión externa. Si bien los valores estimados por corrosión interna presentan una mayor desviación relativa, debe considerarse la dificultad que se presentan a la hora de ubicar defectos internos mediante medición de espesor por ultrasonido.

	METODO ICDA	METODO ECDA
Ducto en estudio	4 INSPECCIONES	5 INSPECCIONES

Tabla 2. Resumen de las inspecciones realizadas.

Del análisis integrado de toda la información generada en el estudios se establecieron las siguientes tareas específicas:

- Reparación mecánica de puntos con compromiso para la integridad del ducto.
- Se recomienda ajustar el drenaje de corriente de protección una vez acondicionado el revestimiento en los puntos de mayor criticidad.
- Se propone establecer un programa de dosificación químicos para el control de la corrosión interna y la optimización del programa mediante ensayos electroquímicos en campo.
- Se recomienda la realización de cateos adicionales en zonas inicialmente establecidas de susceptibilidad media al desarrollo de ataque corrosivo.

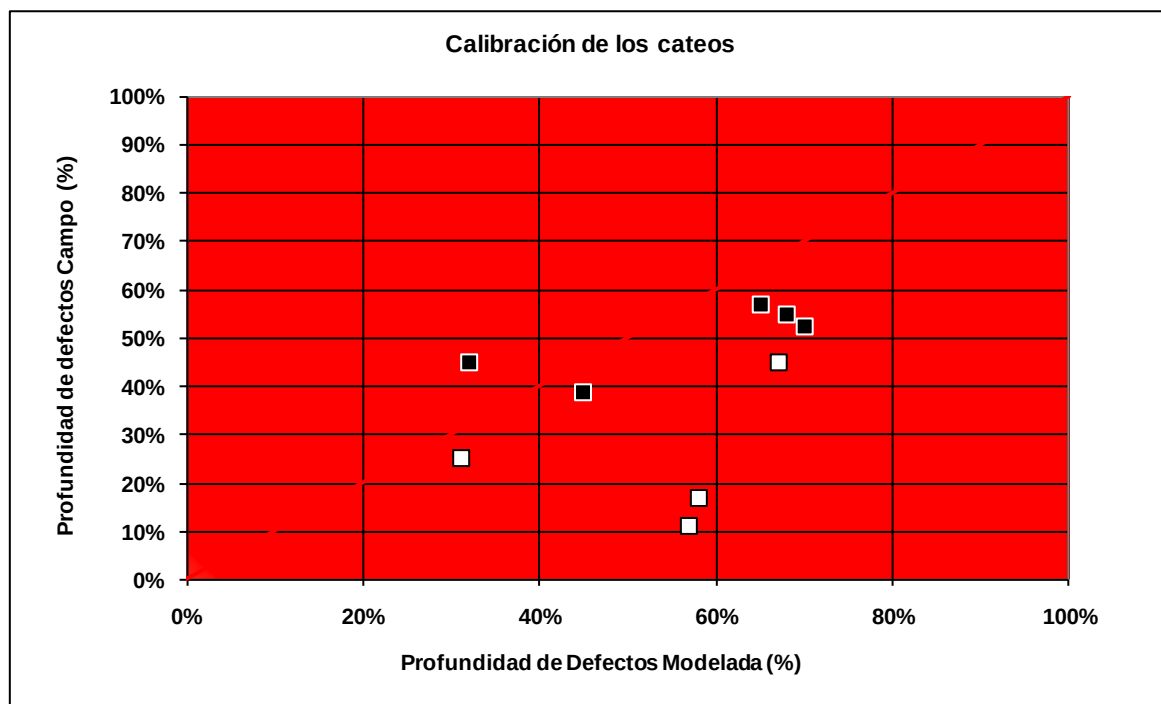


Figura 11. Calibración de los cateos de verificación directa.

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se pueden efectuar las siguientes conclusiones:

- Las metodologías ICDA/ECDA proveen una alternativa válida para la gestión de integridad de cañerías que no pueden ser inspeccionadas con herramienta inteligente. Aún en aquellas cañerías preparadas para inspección interna, el uso de estas metodologías permite un conocimiento de la morfología y tipo de ataque corrosivo presente facilitando la selección de una herramienta adecuada para el estudio.
- La combinación de diferentes herramientas de inspección indirecta junto con información de diseño, construcción, historial de fallas y mantenimiento, monitoreo y mitigación permiten establecer con precisión las zonas de mayor susceptibilidad al desarrollo de corrosión interna y externa.
- La utilización de técnicas electroquímicas *in situ* permite una mejor estimación de la profundidad de ataque corrosivo presente en las cañerías, así como una identificación temprana de los mecanismos de degradación potencialmente activos. Este conocimiento es fundamental a la hora establecer una frecuencia de reanálisis.
- Es fundamental que el operador disponga de un adecuado sistema de recolección, integración y gestión de registros para garantizar y facilitar la disponibilidad de la información.

5. Bibliografía

1. NACE Standard RPO502-2002, "Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology".
2. NACE Standard SP0206-2006 Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Pipelines Carrying Normally Dry Natural Gas, (DG-ICDA)".
3. NACE Standard SP0208-2008, "Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Liquid Petroleum Pipelines".
4. D.A. Jones. Principles and Prevention of Corrosion. Mac Millan pub Company, (1992).
5. D. D. Macdonald, Techniques for Characterization of electrodes and electrochemical processes. R. Varma, and J. Selman Editores. J. Wiley & son Inc, (1991).
6. ASTM G 59 – 97 (Reapproved 2003), "Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements".