

Título: *Monitoreo y análisis de velocidades de corrosión en ductos*

Temario: *Instalación de cupones para monitoreo de potenciales y velocidad de corrosión. Mediciones electroquímicas con potenciostato. Análisis de resultados.*

Sinopsis:

La corrosión externa es el principal mecanismo de daño en ductos enterrados. Por lo tanto es fundamental monitorear su velocidad para asegurar que todas las instalaciones están correctamente protegidas mediante su sistema de protección catódica (PC) y así poder jerarquizar zonas y tomar acciones de mitigación.

OLDELVAL utiliza cupones de corrosión, instalados en sitios clave, para medición de potenciales ON-OFF, potencial libre, corriente de protección y velocidades instantáneas de corrosión por métodos electroquímicos. Se midió velocidad de corrosión instantánea en electrodo de trabajo por método de Polarización lineal y por Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) utilizando potenciostato GAMRY Reference 600+.

De manera complementaria los cupones pueden ser retirados y analizados en laboratorio para caracterizar la morfología de ataque. Se utilizan: caracterización química y por DRX de los depósitos/productos de corrosión, inspección visual y Microscopía SEM/EDS. También se calcula velocidad de corrosión generalizada promedio por pérdida de espesor.

Finalmente los resultados de velocidad instantánea, velocidad promedio y mecanismo de daño se contrastan contra la información proveniente de otros relevamientos, como son resistividad del suelo, Inspecciones internas (ILI), relevamientos CIS-DCVG, para tomar distintas acciones de mitigación como son, reforrado del ducto, instalación de nuevo equipo de inyección de corriente y otras.

Palabras clave: Velocidad de corrosión – Resistencia de Polarización – Cupón de corrosión - Potenciostato

Datos del contacto: Mail: alberto.tobis@oldelval.com

Teléfono: 0299-156721369

MONITOREO Y ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN DUCTOS

Autor: Alberto Tobis, OLDELVAL S.A., alberto.tobis@oldelval.com

Sinopsis:

La corrosión externa es la principal amenaza en ductos enterrados. Por lo tanto es fundamental monitorear su velocidad para asegurar la integridad de las instalaciones.

OLDELVAL utiliza cupones de corrosión, instalados en sitios clave, para medición de potenciales ON-OFF, potencial libre, corriente de protección y velocidades instantáneas de corrosión por métodos electroquímicos. Se midió velocidad de corrosión instantánea en electrodo de trabajo por método de Polarización lineal y por Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) utilizando potencióstato GAMRY Reference 600+.

De manera complementaria los cupones pueden ser retirados y analizados en laboratorio para caracterizar la morfología de ataque. Se utilizan: caracterización química y por DRX de los depósitos/productos de corrosión, inspección visual y Microscopía SEM/EDS. También se calcula velocidad de corrosión generalizada promedio por pérdida de espesor.

Finalmente los resultados de velocidad instantánea, velocidad promedio y mecanismo de daño se contrastan contra la información proveniente de otros relevamientos, como son resistividad del suelo, Inspecciones internas (ILI), relevamientos CIS-DCVG, para tomar distintas acciones de mitigación como son, reforrado del ducto, instalación de nuevo equipo de inyección de corriente y otras.

INTRODUCCIÓN

Oleoductos del Valle (Oldelval S.A.) comienza la operación del Sistema de Oleoductos el 12 de abril de 1993. El Estado Nacional, a través de YPF S.A, cedió el 70% de su participación accionaria a una sociedad concesionaria formada por los más importantes productores de petróleo de la cuenca Neuquina.

El objetivo de esta empresa es transportar hidrocarburo de los distintos Clientes hasta los puntos de entrega.

El Sistema de Oleoductos colecta el hidrocarburo proveniente de las zonas de Rincón de los Sauces, Catriel, Plaza Huincul, Challacó, Centenario y Allen, transportándolo a diferentes destinos como la Terminal de embarque Oiltanking EBYTEM S.A. de Puerto Rosales en la Costa Atlántica, en el descargadero de camiones propiedad de YPF S.A en Challacó y en el Complejo Industrial Plaza Huincul de YPF S.A, ver Figura 1.



Figura 1. Ubicación geográfica del sistema de oleoductos

Actualmente Oldelval S.A. tiene instalados más de 1700 Km de cañerías de diámetros de 4", 10", 14" y 16" de diámetro y son API 5L X46, con costura longitudinal ERW y un promedio de 50 años de servicio. El revestimiento original es asfáltico bituminoso. Se cuenta con protección catódica por corriente impresa para controlar la corrosión. Se dispone de una potencia instalada de 146.330 HP sumando turbinas y motores eléctricos y una capacidad de almacenamiento transitoria de petróleo de 173.000 m³.

Dada la antigüedad de las instalaciones la protección catódica es una herramienta clave para la integridad de las mismas, ya que la corrosión externa representa más del 70% de las causas de pérdidas o roturas. Actualmente se cuenta con 60 equipos rectificadores de corriente impresa, más 12 equipos de refuerzo proyectados, para proteger los ductos enterrados, y 16 plantas de bombeo.

Para controlar la corrosión externa (principal amenaza) estableció una Estrategia de Integridad que implica distintas acciones de **monitoreo** (relevamientos ON-OFF, mediciones en cupones de corrosión), de **inspección** (inspección interna, MFL, UTCD, TFI, GEO, inspección CIS-DCVG),

de **mitigación** (plan de reforrado, cambios de tramo, reparaciones y protección catódica) y de **prevención** (plan de prevención de daños).

El presente estudio se basa en el uso de distintas herramientas para monitorear la velocidad de corrosión externa y su control mediante protección catódica (PC). Como criterio general de protección se siguen los lineamientos de la norma NACE SP 0169-2013. Para generar los indicadores de desempeño del área se toman los criterios de -850 mV OFF y 100 mV de polarización.

Se presentarán mediciones de campo y estudios de laboratorio que se utilizan para poder tomar decisiones que optimizan la utilización de los recursos existentes con el objetivo final de mantener bajo control la corrosión en el 100% de las instalaciones.

DESARROLLO

Introducción

En la siguiente figura se muestra la composición histórica de las roturas en oleoductos de transporte, donde se observa que el 76% corresponde a daños por corrosión externa. Una tendencia similar se verifica en estaciones de bombeo en las cuales la corrosión externa implica un 49% de las fallas totales.

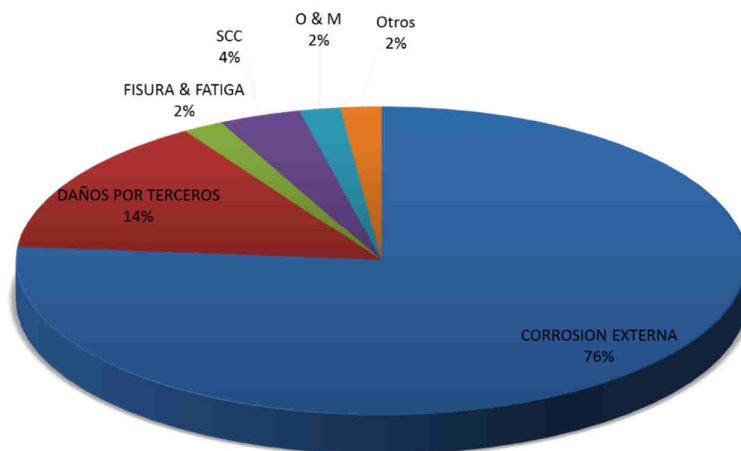


Figura 2. Acumulado histórico de roturas y pérdidas por causa.

Dadas estas estadísticas se hace indispensable mantener la corrosión externa bajo control. Para esto se realizan distintas acciones de monitoreo (relevamiento de potenciales, mediciones de velocidad de corrosión), inspección inteligentes de línea (ILI) y mitigación (protección catódica, reforrado). La combinación de las distintas metodologías y no solo una de ellas deriva en una comprensión de la problemática más completa y una mejor toma de decisiones.

Monitoreo e Inspección

La principal forma de monitorear el funcionamiento de la PC es relevando los potenciales electroquímicos en mojones de medición colocados cada un kilómetro aproximadamente. Se interrumpen los rectificadores con el fin de medir potenciales ON y OFF, es decir libre de caída

óhmica. A continuación se muestra un gráfico típico de los potenciales medidos en un tramo de oleoducto (entre dos estaciones de bombeo).

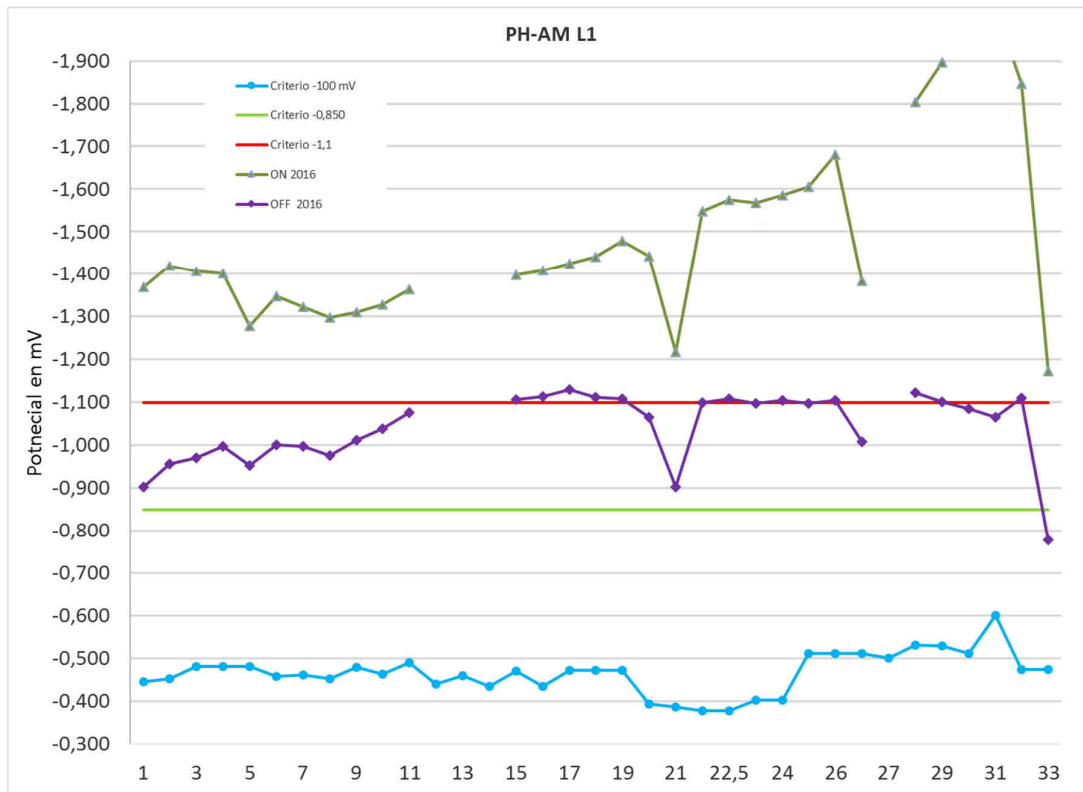


Figura 3. Gráfico típico de potenciales ON-OFF de un tramo de oleoducto.

Para conocer el estado de protección entre mojones de medición se complementa con relevamientos CIS (Close Interval Survey) utilizando tiempos de ciclado menores (750 ms ON/250 ms OFF) a los empleados en los ON-OFF regulares (7 s ON – 3 s OFF), obteniéndose los potenciales ON-OFF cada un metro. Con esta herramienta se pueden detectar interferencias y zonas desprotegidas localmente por daño en el revestimiento. En la siguiente gráfico se observa la representación de los potenciales entre dos mojones usando la técnica de CIS.

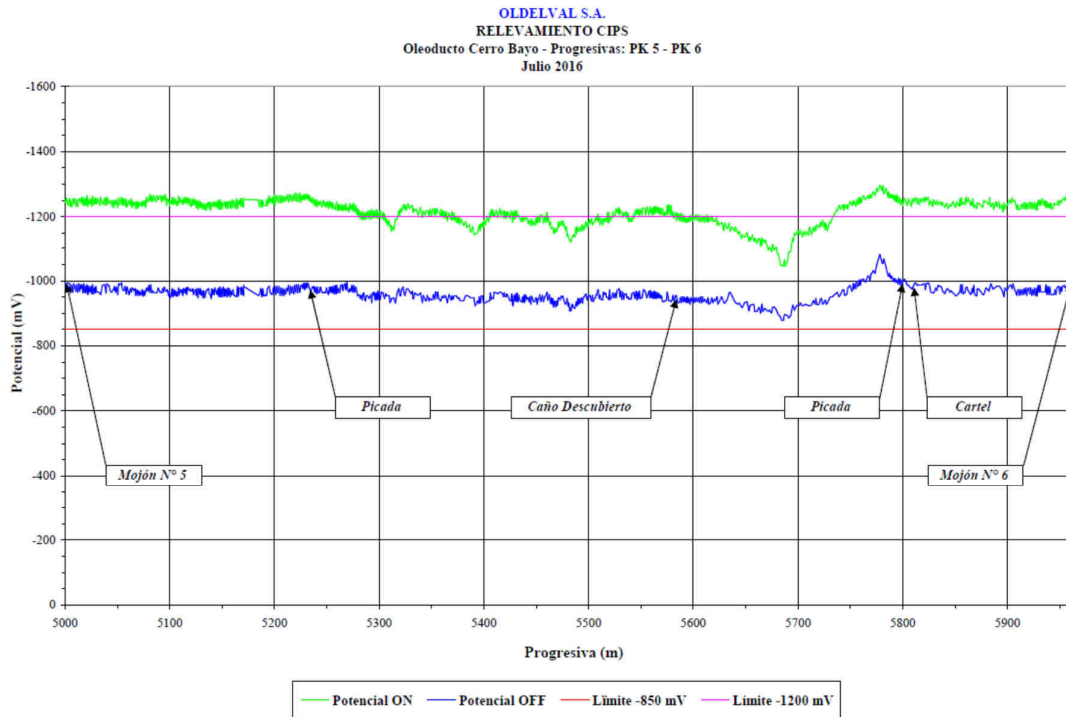


Figura 4. Gráfico típico de potenciales CIS entre postes de medición

De manera complementaria se realizan estudios DCVG (Direct Current Voltage Gradient) que permiten cuantificar las fallas de revestimiento y conocer si la cañería se comporta de forma anódica, catódica o neutra. Se muestra un informe típico de DCVG.

OLDELVAL
Localización de Fallas de Revestimiento - Técnica DCVG
Oleoducto L1 CE-CO

Punto Inicial		Punto Final	
- Lugar:	Scraper Lanzadora / Receptora	- Lugar:	Mojón 68
- Progresiva en metros:	0,0	- Progresiva en metros:	246,60
- Potencial On Inicio en (-mV) :	1137	- Potencial On Fin en (-mV) :	876
- Potencial Off Inicio en (-mV) :	722	- Potencial Off Fin en (-mV) :	668
- Amplitud de señal Lateral (mV):	0	- Amplitud de señal Lateral (mV):	393
- Amplitud de señal total (mV):	415	- Amplitud de señal total (mV):	601

Falla N°	Prog. Parcial (m)	Ampl. Señal Falla (mV)	Severidad (% IR)	Longitud de Falla	Falla	Severidad	Gravedad	Observaciones
1	21,15	397	92,1%	Puntual	C / C	Categoría 4	Grave	
2	60,68	388	84,2%	Puntual	C / C	Categoría 4	Grave	
3	88,00	308	64,0%	Puntual	C / C	Categoría 4	Grave	
4	111,40	486	97,4%	Puntual	C / C	Categoría 4	Grave	
5	140,10	496	95,3%	Puntual	C / C	Categoría 4	Grave	
6	170,15	271	49,9%	Puntual	C / C	Categoría 3	Moderado	

Figura 5. Informe típico DCVG de un tramo entre postes de medición

Las indicaciones obtenidas de esta metodología son ponderadas según su gravedad, la cual depende del % IR y del tipo de falla (Catódica-Catódica, Catódica-Anódica, Catódica-Neutra, Catódica-Anódica). Las fallas Categoría 4 o de condición anódica son enviadas a reparación inmediata.

Inspección interna

Las herramientas de flujo magnético (MFL, Magnetic Flow Leakage y TFI, Transverse Field Inspection) aportan abundante información respecto a la condición del ducto en relación al daño por corrosión externa. La primera herramienta es muy buena para dimensionar defectos volumétricos y la segunda para detectar defectos orientados axialmente. Dicha información es procesada y analizada por los especialistas de la contratista de inspección inteligente y entregada bajo la forma de Reporte de Inspección Inteligente. Se utiliza un procedimiento interno basado en la Res 1460/06 para determinar el criterio de reparación, ya sea que el defecto se encuentra en la costura o en el cuerpo del caño.

En el siguiente gráfico se muestra un gráfico típico de distribución de defectos externos en un tramo de oleoducto. Esta información puede contrastarse con la distribución de velocidades de corrosión medidas en el tramo, mediciones de resistividad de suelo, relevamientos de potenciales, etc., con el fin de tomar acciones de mitigación.

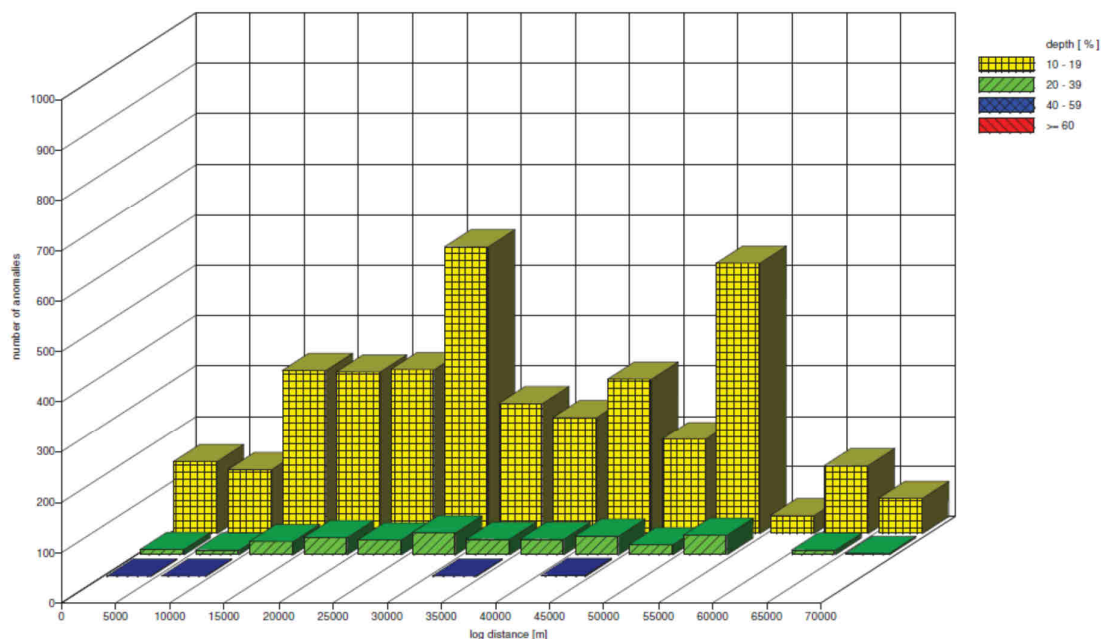


Figura 6. Distribución de defectos externos en un tramo de oleoducto utilizando herramienta de inspección MFL

Análisis de Riesgo

Tanto los reportes de Inspección interna como las verificaciones directas y monitoreo de potenciales electroquímicos, sirven como información de entrada en el Análisis de Riesgo del oleoducto y en la selección de los tramos a reforzar. Se analizan dos criterios para dicha selección:

Criterio A basado en la densidad de defecto por segmento de ducto de 500 m.

Criterio B basado en densidad de defectos por segmento más consecuencia de falla asociada.

En la siguiente figura se muestra la distribución de defectos externos activos en tramos de 500 m. Dicha información se dispone también en formato tabla el cual se combina con información geográfica y de servidumbre para tomar la decisión final del sector que se revestirá.

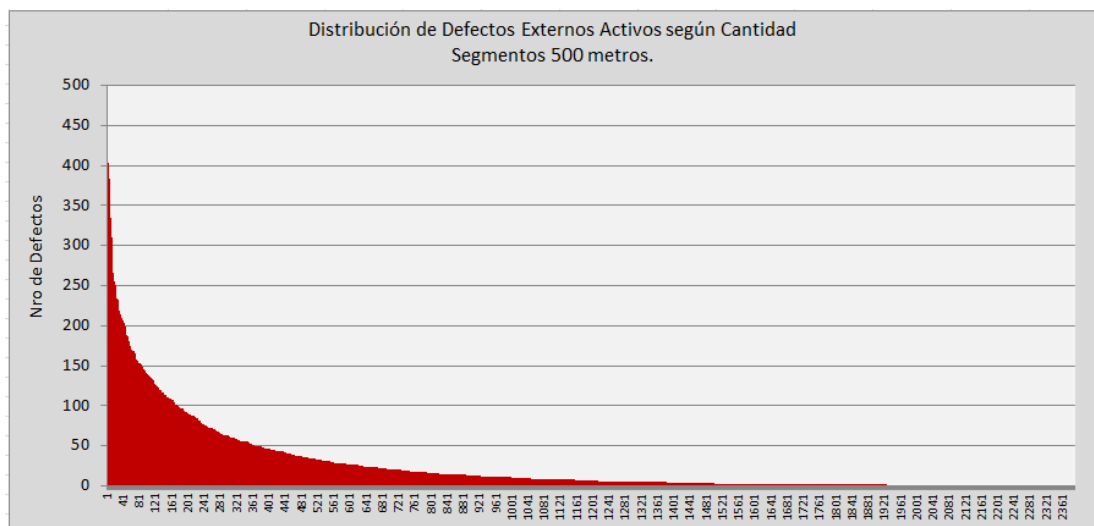


Figura 7. Distribución de defectos activos en tramos de 500 m

Metodologías de monitoreo de corrosión

Dada la antigüedad de las instalaciones la condición del revestimiento en general es pobre, por lo cual se tienen zonas de alto consumo de corriente de protección para lograr cumplir los criterios de protección catódica. Con el fin de monitorear las regiones más críticas del oleoducto se dispone de cupones de corrosión que permiten medir: potenciales ON, OFF y libre, corriente de protección y velocidad de corrosión instantánea.

Los cupones de corrosión son dispositivos que simulan un defecto de revestimiento del caño con el fin de evaluar su estado por métodos electroquímicos o dimensionales. A partir de ellos se puede medir velocidad instantánea con un potencióstato o velocidad promedio por medio de mediciones dimensionales una vez extraídos los mismos. La extracción permite observar también el mecanismo de daño predominante y estudiar productos de corrosión.

Los cupones constan de 4 electrodos: 2 electrodos de trabajo (del mismo material del ducto) con protección catódica, 1 electrodo sin protección y un electrodo de cobre (referencia). Los cupones se conectan al oleoducto por medio de un mojón de medición, tal como se muestra en la Figura 5. Estas. Se dispone de 267 cupones instalados en todo el oleoducto.

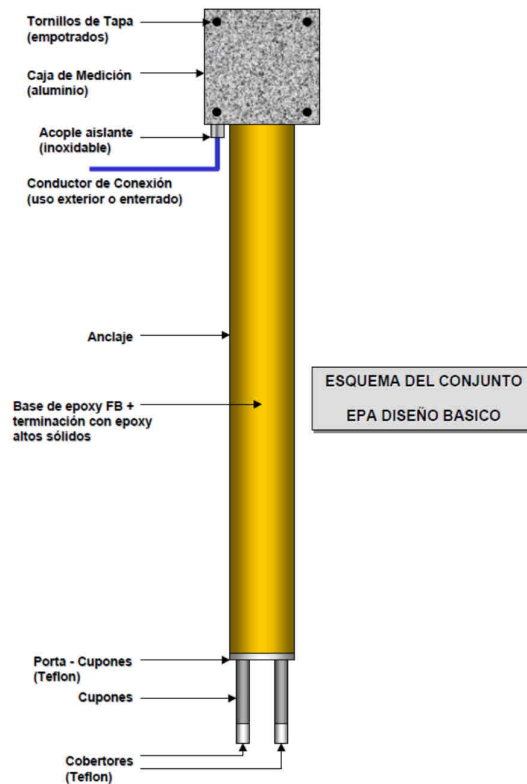


Figura 8. Esquema de cupón de corrosión

Los cupones se controlan anualmente relevando potenciales ON, OFF, libre y corriente de protección. Recientemente se agregó la medición de velocidad instantánea de corrosión con potencióstato, por el método de Resistencia de Polarización, RP (Método de ASTM G59). Dicha medición se realiza solo en algunos sitios seleccionados dado que la medición no es simple y requiere equipamiento especial. Para elegir los puntos de medición se tomó aquellos que se sospecha pueden tener las mayores velocidades de corrosión externa debido a su potencial electroquímico.

Método de Resistencia de Polarización (RP)

Partiendo de la ecuación de Butler-Volmer para la variación de la corriente con el potencial en el estado estacionario:

$$i = i_{corr} \left(e^{\frac{2,303}{b_a} \eta} - e^{-\frac{2,303}{b_c} \eta} \right)$$

Siendo i_{corr} la corriente de corrosión, b_a y b_c las pendientes de Taffel anódica y catódica respectivamente, $\eta = E - E_{corr}$

Si se define la Resistencia de Polarización (RP) como la tangente de la curva $i - E$ en el potencial de corrosión, E_{corr} :

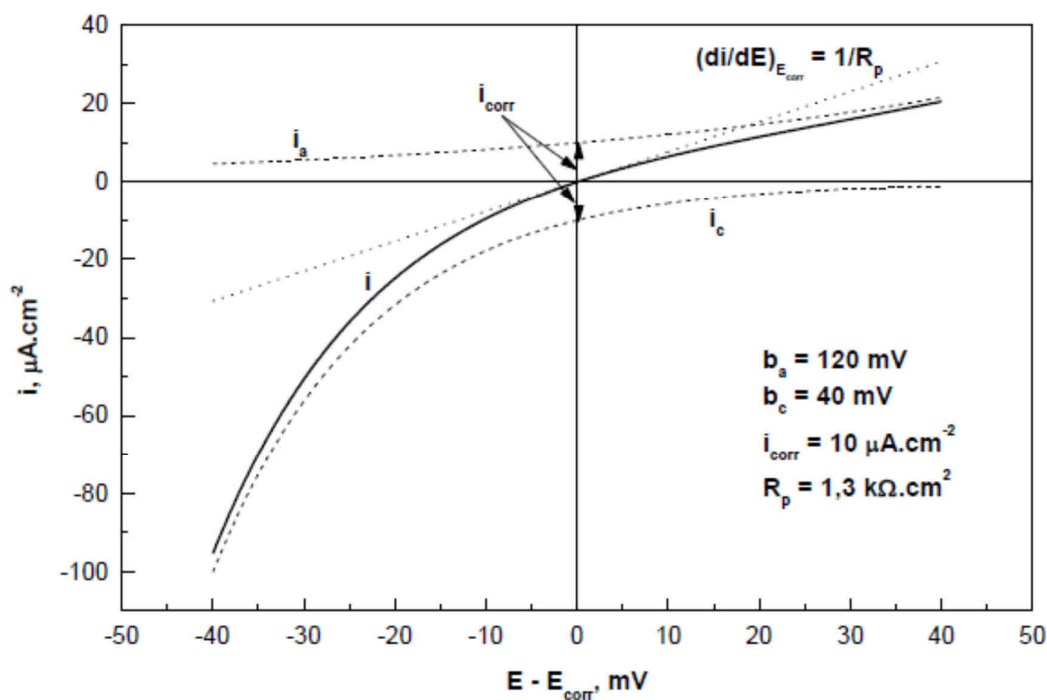


Figura 9. Curva E vs i con la traza de la pendiente en E_{corr} . i_a e i_c son las densidades de corriente parcial anódica y catódica respectivamente.

$$R_p = \left(\frac{dE}{di} \right)_{E_{corr}}$$

Sin entrar en el detalle del desarrollo matemático se puede llegar a que la corriente de corrosión se expresa por la ecuación:

$$i_{corr} = \frac{b_a b_c}{2,303(b_a + b_c)} \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p}$$

Utilizando la ley de Faraday se puede calcular la velocidad de corrosión en términos de penetración:

$$CR = \frac{K_1 i_{corr} EW}{\rho}$$

CR: velocidad de corrosión (mm/año)

$K_1 = 3,27 \cdot 10^{-3}$ mm.g/ μ A.cm.año

ρ : densidad en g/cm³

EW: peso equivalente (27,92 para el acero)

Así se encuentra que la velocidad de corrosión es inversamente proporcional a la Resistencia de Polarización. La constante de proporcionalidad B dependerá sólo del mecanismo de las reacciones anódicas y catódicas en el potencial de corrosión.

Para medir RP es suficiente con trazar la curva de polarización potencioestática en un entorno reducido de potenciales (20mV) alrededor de E_{corr} , en zonas tanto anódicas como catódicas. La resistencia de polarización se obtiene de la tangente a la curva en E_{corr} . Este método evita la mayoría de los problemas asociados con la excesiva polarización ya que sólo se aplican potenciales cercanos a E_{corr} .

Es importante resaltar las suposiciones sobre las que está basado el método:

1. Ecuaciones tipo Tafel para las reacciones anódica y catódica.
2. No hay caídas óhmicas en el electrolito ni en las películas superficiales.
3. No hay control mixto: por difusión y transferencia de carga.
4. El potencial de corrosión no está cerca de los potenciales reversibles de las reacciones anódica o catódica.
5. El metal todo funciona simultáneamente como cátodo y ánodo en lugar de ser un mosaico de áreas catódicas y anódicas separadas.
6. No hay reacciones electroquímicas anódicas secundarias que no estén relacionadas con la corrosión del metal.
7. No se producen cambios significativos en el metal por las fuertes polarizaciones anódicas y catódicas

En la siguiente imagen se muestra a modo de ejemplo una pantalla del software utilizado para el análisis de los datos obtenidos con el potencioestado y como se muestran los resultados de resistencia de polarización, corriente de corrosión, potencial de corrosión y velocidad de corrosión. Se asumen pendientes de Tafel de 120 mV/década, con lo cual la velocidad de corrosión es calculada con un factor de precisión de 2.

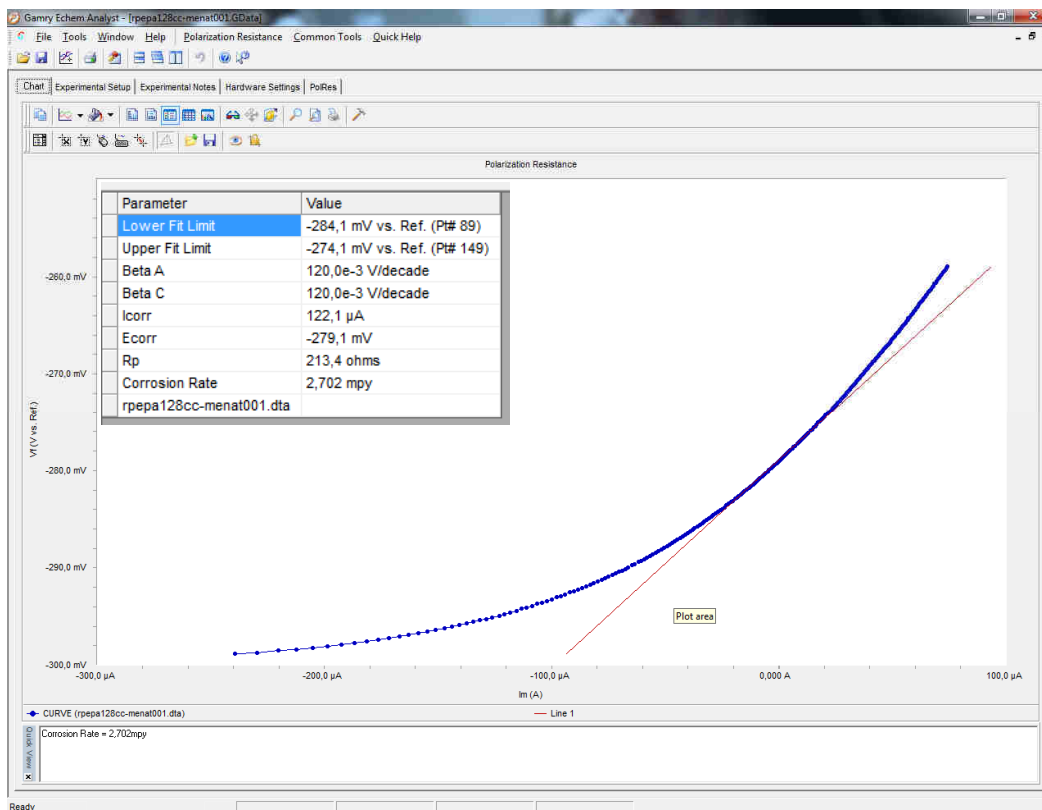


Figura 10. Pantalla del software utilizado para el cálculo de velocidad instantánea por método de polarización lineal.



Figura 11. Fotografía de medición en campo con potencióstato.

En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos con el potencióstato en distintos puntos del oleoducto, seleccionados por ser aquellos sitios con mayor dificultad para elevar los potenciales de protección o por tener historial de reparaciones. Se mide en suelos con valores de resistividad desde 500 Ohm.cm hasta 10000 Ohm.cm.

N°	pk	ON	OFF	Nat	Criterio 100 mV	Vel corr mpy	Vel corr mm/año	Fecha
1	128	-1010	-821	-301	-401	2,70	0,06858	05/10/2016
2	130	-2046	-1082	-425	-525	1,70	0,04318	05/10/2016
3	EPA N°1	-1727	-870	-335	-435	2,50	0,06350	05/10/2016
4	100	-734	-723	-254	-354	1,30	0,03302	04/10/2016
5	84	-870	-750	-648	-748	2,15	0,05461	23/08/2016
6	89	-1250	-1090	-480	-580	2,37	0,06020	23/08/2016
7	78	-1319	-953	-191	-291	4,30	0,10922	23/08/2016
8	74	-1156	-444	-257	-357	0,50	0,01270	30/01/2017
9	500	-741	-511	-376	-476	0,12	0,00305	04/01/2017
10	5	-884	-440	-253	-353	0,13	0,00330	30/01/2017
11	68	-576	-392	-329	-429	0,48	0,01219	30/01/2017
12	520	-931	-494	-141	-241	0,05	0,00127	12/01/2017
13	541	-567	-537	-357	-457	5,16	0,13106	12/01/2017
14	6	-655	-488	-591	-691	1,18	0,02997	30/01/2017
15	400	-468	-425	-367	-467	1,32	0,03353	19/01/2017
16	362	-633	-422	-360	-460	1,38	0,03505	19/01/2017
17	252	-520	-460	-414	-514	5,14	0,13056	30/01/2017
18	611	-914	-662	-436	-536	0,23	0,00584	01/09/2016

Tabla 1: Velocidades de corrosión y potenciales ON-OFF (en mV) medidos en distintos puntos del oleoducto.

El cupón N° 5 fue medido también por el método de **Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS)**. Dicho método tiene la ventaja de poder calcular la caída óhmica del electrolito (fenómeno que no tiene en cuenta el método de Resistencia de Polarización) y poder restarla de la Resistencia de polarización medida para obtener su valor verdadero. Se muestran los resultados experimentales (diagrama de Nyquist) en la siguiente pantalla del software utilizado. Se destaca una curva típica de un sistema con control por difusión debido a la formación de una capa de óxido en la superficie del metal que dificulta el paso de las especies reactivas para dar lugar al proceso corrosivo.

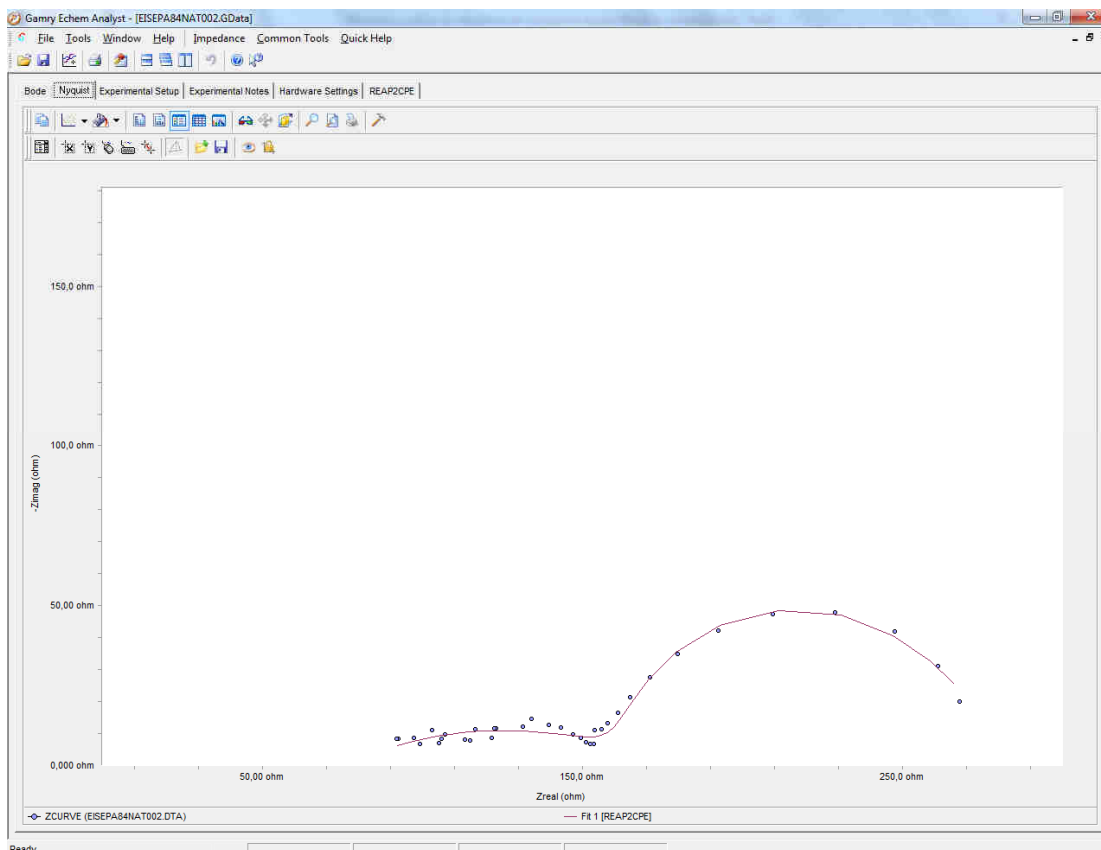


Figura 12. Pantalla del software utilizado para medición de velocidad de corrosión por medio del método de Espectroscopía de impedancia electroquímica.

R electrolito: 75 Ω

R total: 270 Ω

R polarización: 195 Ω

Con lo cual que obtiene $R_p = 4027 \Omega \cdot \text{cm}^2$ y $CR = 2,95 \text{ mpy}$

Es decir, que la medición por el método de RP arroja un valor de velocidad de corrosión algo menor (2,15 mpy) pero ambos métodos dan resultados muy similares.

Estudio de cupones en laboratorio

Las mediciones electroquímicas se complementan con el análisis de los cupones en laboratorio externo. Los cupones se retiran luego del período recomendado de dos años y se envían a un laboratorio contratado donde se estudia los productos de corrosión, la morfología de ataque y su variación dimensional en el tiempo de servicio. Se calculan velocidades de corrosión promedio y máxima en los electrodos de trabajo (con protección catódica) y electrodo a potencial libre.

La mayor velocidad observada en el electrodo a potencial libre respecto del electrodo de trabajo indica la influencia de la protección catódica en este último.

Los resultados muestran velocidades de corrosión del mismo orden de magnitud que las obtenidas por los métodos potenciométricos encontrándose una buena concordancia entre ambas técnicas.

Se observan velocidades de corrosión a potencial libre 3 veces más altas, en promedio, que las velocidades de corrosión en electrodo protegido.

Cupón	Electrodo de trabajo					Electrodo a potencial libre			
	Diámetro original (mm)	Diámetro actual prom (mm)	Velocidad de corrosión promedio (mm/año)	error %	Velocidad de corrosión máxima (mm/año)	Diámetro actual prom (mm)	Velocidad de corrosión promedio (mm/año)	error %	Velocidad de corrosión máxima (mm/año)
1	9,4	9,10	0,027	27	0,035	8,05	0,123	11	0,136
2	9,4	8,90	0,042	20	0,050	7,95	0,121	10	0,133
3	9,4	7,70	0,155	18	0,182	6,74	0,242	5	0,253
4	9,4	9,10	0,023	13	0,026	8,09	0,101	4	0,105
5	9,4	8,50	0,082	24	0,102	8,08	0,120	12	0,135
6	9,4	9,18	0,016	32	0,021	8,74	0,047	3	0,049
7	9,4	9,22	0,014	22	0,017	9,18	0,017	9	0,018
8	9,4	9,15	0,019	12	0,022	8,16	0,095	11	0,106

Tabla 2. Resultados de laboratorio en cupones extraídos.



Figura 13. Fotografía de cupón con productos de corrosión..



Figura 14. Fotografía de cupón limpio.

Caracterización de los depósitos / productos de corrosión

Mediante raspado se tomaron muestras de los depósitos presentes en cada una de las EPA, para su caracterización mediante análisis químico y/o DRX.

- Análisis Físico-Químico

Se efectuó un análisis químico de los depósitos y/o productos de corrosión presentes en las muestras para medir la concentración de cloruros, sulfatos, pH, temperatura.

- Difracción de rayos X

Se identificaron las fases presentes en los depósitos, detectándose, según la ubicación del cupón, distintos productos de corrosión tales como, cuarzo (SiO_2), carbonato de calcio (CaCO_3), magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), goetita (FeOOH), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

- Microscopía

Se analizaron las superficies de las muestras mediante microscopía en la zona de ataque corrosivo para identificar la morfología de ataque presente en los diferentes electrodos.

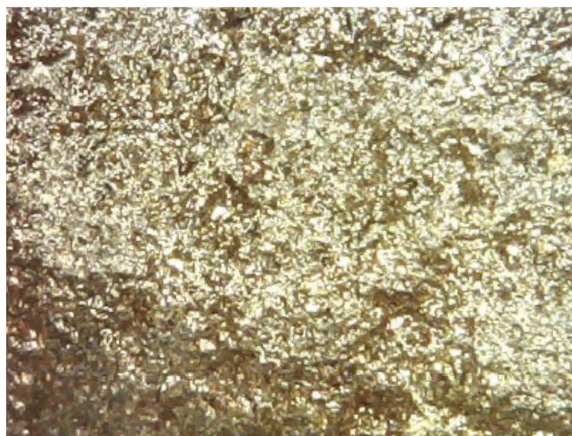


Figura 15. Micrografía EPA #554 AO-SA. Morfología de ataque uniforme leve de estructura regular

- **Determinación del mecanismo de daño activo**

El ataque corrosivo en la muestra de acero se genera por la presencia de suelo con diferentes niveles de agresividad en contacto directo con metal. La corrosividad del medio está condicionada por factores tales como: contenido de agua, presencia de oxígeno disuelto, concentración de sales, presencia de contaminantes, presencia de bacterias, temperatura.

En función de los estudios realizados y de la morfología de ataque observada se establece que el mecanismo de ataque se puede representar con las siguientes reacciones:

Reacciones anódicas:

- $2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$
- $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-$
- $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO}(\text{OH}) + 3\text{H}^+ + 3\text{e}^-$

Reacciones catódicas:

- $4\text{H}_2\text{O} + 2\text{O}_2 + 8\text{e}^- \rightarrow 8\text{OH}^-$
- $2\text{O}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}$

Las muestras extraídas de los cupones muestran la presencia de óxidos de hierro. No se observó presencia de sulfuros en ninguna de las muestras analizadas.

El origen del ataque se debe a la presencia de un suelo agresivo en contacto con la superficie metálica de los cupones. No se observó ataque de origen bacteriano en ninguna de las muestras analizadas. La formación de celdas de concentración diferencial pudo favorecer el desarrollo de un ataque localizado.

Análisis de resultados

Cabe destacar que para medir velocidades instantáneas por el método de RP debe dejarse despolarizar el electrodo para medir en el potencial de corrosión. La velocidad más alta medida con esta técnica fue de 5,14 mpy, que si la afectamos por la relación de velocidades entre electrodo protegido y desprotegido correspondería con una velocidad de 1,71 mpy con protección catódica. Por lo tanto se obtuvieron velocidades bajas si se toma como referencia el límite dado por NACE SP0169-2013 de 1 mpy.

Existe una buena concordancia con los resultados obtenidos en laboratorio vía mediciones dimensionales de los cupones. Sin embargo, debe considerarse que las velocidades calculadas vía mediciones dimensionales son promedio en el período analizado por lo cual pueden comprender períodos de desprotección de las instalaciones que hayan elevado la velocidad de corrosión. Esto explicaría que estas velocidades son algo mayores a las obtenidas por RP.

Además la velocidad medida se asocia a una pérdida de metal uniforme en la superficie (corrosión uniforme). Dados los análisis de los mecanismos de ataque en los cupones se tiene evidencia de corrosión tipo pitting o macrocelda, tipos de corrosión en los que las zonas anódicas no se corresponden con el 100% del área del activo.

Conclusiones

Los relevamientos de potenciales paso a paso (CIS), inspecciones inteligentes (ILI), reportes de intervenciones (reparaciones), cateos de verificación directa y mediciones en cupones de corrosión en laboratorio proporcionan una visión ampliada de una problemática que es compleja: la corrosión.

La Estrategia de Integridad se apoya en el uso de distintas metodologías para controlar el estado de oleoductos y estaciones de bombeo. En particular, el uso de cupones, tanto para mediciones electroquímicas como para análisis dimensional, se utilizó para determinar el verdadero nivel de protección de las instalaciones, observando una buena concordancia entre ambos métodos. Las mediciones de velocidad de corrosión se usaron para realizar ajustes en los niveles de protección (set point de equipos rectificadores).

Se sabe que la relación entre corriente de protección y velocidad de corrosión es logarítmica, por lo que el primer aumento de la corriente de protección catódica genera la mayor disminución de la velocidad de corrosión. Por este motivo es necesario dosificar solo la energía necesaria para polarizar la estructura y evitar aumentar innecesariamente la corriente de protección, con todo lo que ello significa: mayor consumo energético, mayor desgaste del pozo dispersor y posible desprendimiento de revestimiento por sobreprotección.

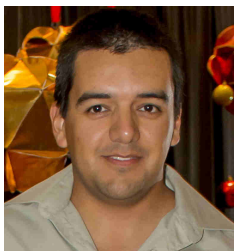
Por lo tanto, la Estrategia implementada apunta tanto al mantenimiento de la integridad de las instalaciones como al uso eficiente de los recursos para dirigir las energías de mantenimiento en aquellos puntos donde más se requieren.

Lista de acrónimos

ILI: in-line inspection
MFL: Magnetic Flux Leakage
PC: Protección catódica
UTCD: Ultrasonic crack detection
TFI: Transverse Field Inspection
CIS (Close Interval Survey)
DCVG (Direct Current Voltage Gradient)
RP: Resistencia de Polarización
EIS: Espectroscopía de Impedancia Electroquímica
DRX: Difracción de rayos X
mpy: milésima de pulgada por año

Bibliografía

Norma NACE SP0169-2013
Res 1460/2006
Ricardo M. Carranza, TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN, 2006

CV del Autor

Título: Ingeniero Químico. Egresado de la Universidad Nacional del Comahue.

Trayectoria: Se desempeñó en Control de Calidad en las Industrias Juguera (Jugos del Sur) y Farmacéutica (Laboratorio Austral).

Se desarrolló como Ingeniero de Producción en la Planta de Agua Pesada (PIAP - ENSI) de Neuquén.

Ingresó a Oldelval S.A. en 2014 como Ingeniero de Integridad especializándose en corrosión, realizando cursos NACE CP1 y CP2, API 653.

Cargo actual: Ingeniero de Integridad