

DE BARRERA A RIESGO: CORROSIÓN INTERNA POR INTERFERENCIAS EN PROTECCIÓN CATÓDICA

Janine Booman¹, Andrea Moneta¹, Emanuel Marinaro², Cynthia Salvatierra¹, Jose Luis Otegui¹

¹ GIE GROUP S.A.

² PLUSPETROL

1. Resumen

Durante el estudio de interferencias para detección de corrientes fugitivas se detectó una pérdida de producto en la unión con una brida soldada en una pierna muerta en un oleoducto API 5L X52 de 8" instalado en 2019. Desde meses antes de la falla el condesando transportado era de la EPF, fuera de especificación, sin desalar y con bajo contenido de agua. Los activos protegidos por el conjunto rectificador - dispersor en el área se encontraban interferidos, a su vez, con otro sistema de protección catódica.

El asiento de la brida se encontraba corroído preferencialmente cerca de la soldadura, sobre la superficie interna, con pintura desprendida. Observaciones en SEM, espectroscopía EDS y Difracción de Rayos X (DRX) caracterizaron los depósitos y pits. Se detectó Cloro (hasta 2%) y trazas de azufre, y un amplio espectro de morfologías en los productos de corrosión fuertemente adheridos. El análisis metalográfico confirmó corrosión preferencial en metal de soldadura. La morfología resultó compatible con daño debido a interferencia por cortocircuito a través del fluido. El ducto estaba conectado al sistema de protección catódica y el tramo del caño con brida estaba conectado a puesta a tierra. El mecanismo fue catalizado por iones cloruros, concentrados en la fase acuosa del fluido.

Las propuestas para mitigar este mecanismo incluyen instalar desacopladores de corriente (PCR) entre las puestas a tierra de las instalaciones de aéreas y el ducto, implementar modificaciones en la configuración de la cañería para evitar piernas muertas, y mejorar la gestión del cambio para garantizar que las áreas de ingeniería, producción e integridad participen en el diseño de modificaciones futuras. En el caso de protección catódica, que existan protocolos de ensayos para detectar interferencias generadas por cada cambio realizado.

2. Introducción y línea de tiempo

Este artículo se enfoca en el análisis de una fuga en una unión de un oleoducto de 8" con una brida soldada, en lo que se denomina pierna muerta, detectada durante campaña de detección de fugas. Durante la reparación se observó corrosión severa localizada en la zona aledaña, con *pittings* de 50% del espesor. No se observaron daños en la zona diametralmente opuesta, en el resto del *spool* ni del otro lado de la junta dieléctrica.



Fig. 1. defectos internos por corrosión en el asiento de la brida

La cañería API 5 – SMLS Gr. X52 de 8” y ½” de espesor fue instalada en 2019. Las condiciones de diseño y operación se muestran en la **Tabla 1**. Seis meses antes de la falla, el condesando transportado se encontraba sin desalar y probablemente con un muy bajo contenido de agua.

Tabla 1. Condiciones de operación.

Presión de operación	35-70 kg/cm ²
Presión de diseño	99 kg/cm ²
Temperatura de operación	20-40°C
Caudal de producción	170 m ³ /h
Corte de agua*	0.005%

Desde su instalación el tramo se protegió con un rectificador IMASTECH ubicado en el Área 200 (**Fig. 2**). El resto de las cañerías del área 300 se protegen desde el rectificador KMT del área 310, al igual que el tramo II del oleoducto. Un año antes de la falla se puso en marcha el Sistema de Protección Catódica (PC) del área 310. Seis meses antes de la detección de la fuga se puso en marcha una derivación, la modificación en la cañería transformó el tramo que falló en una pierna muerta.

Durante el estudio de interferencias para detección de corrientes fugitivas ⁱ se detectó la fuga. Se reportó que los activos protegidos inicialmente por el conjunto rectificador -dispersor en A200 se encontraban interferidos con el sistema de PC instalado en A310, al igual que la puesta a tierra de la soportería y los alambrados en A300. Durante el tiempo ON se detectó potenciales más positivos que en OFF en los ductos de A300, comportándose algunos sitios como superficie anódica. Los ductos no cumplían con el criterio de NACE SP0169-2024 de potencial *instant* OFF <-850 mV. Se vincularon los cátodos para mitigar las interferencias detectadas. A partir de esto se incrementó el diferencial de potencial entre ambas caras de las Juntas dieléctricas instaladas.

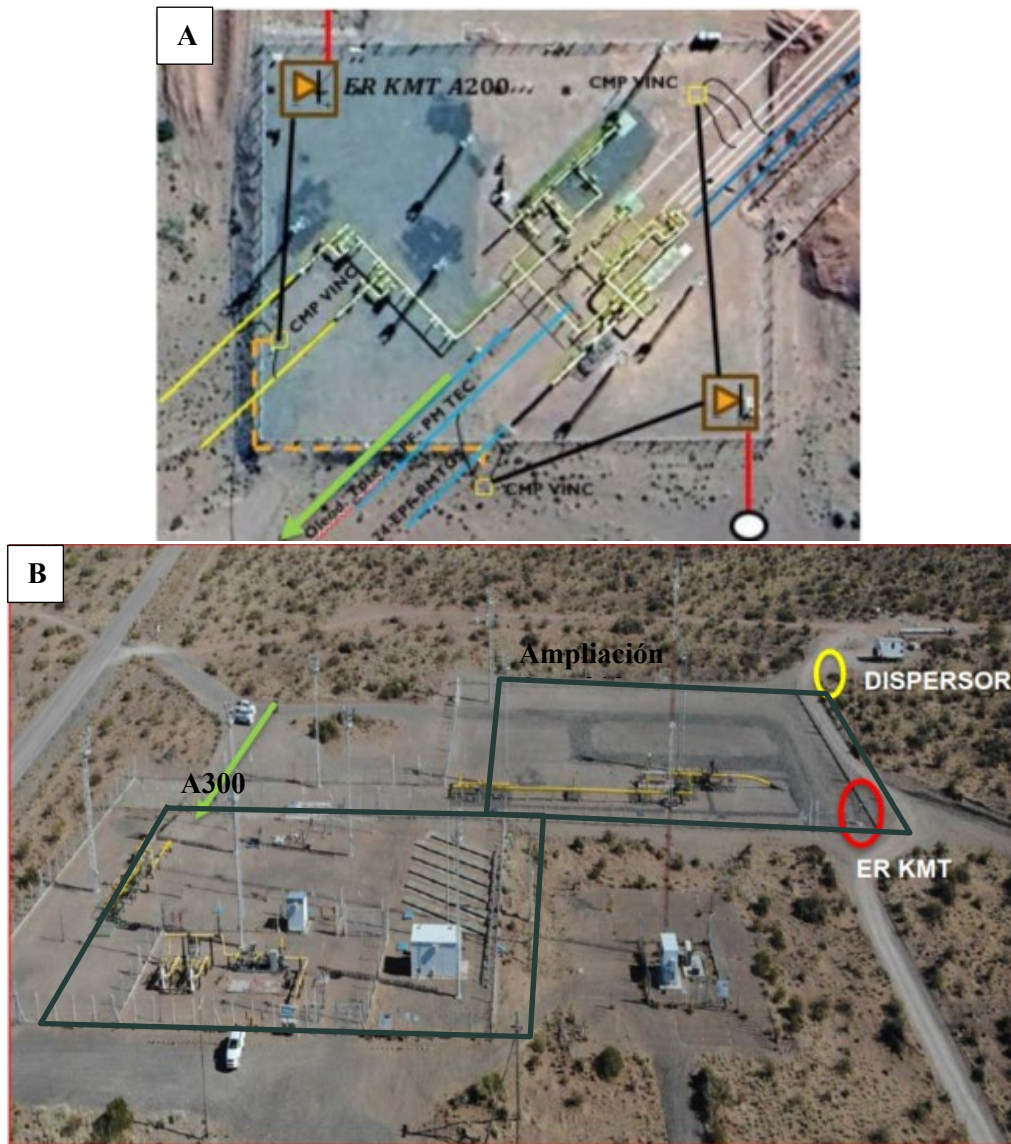


Fig. 2. Detalle de PC Oleoducto 8" y Tramo II. A) A200. B): A300.

El análisis fisicoquímico del fluido semi-estanco en el caño reportó luego de la falla un contenido de cloruros de 27.000 ppm.

3. Análisis de falla

El asiento de la brida se encuentra corroído preferencialmente (**Fig. 3**), los *pits* se concentran cerca de la soldadura, y se observa desprendimiento de pintura sobre la superficie interna de la brida.



Fig. 3. Borda. Pitting sobre borde interno. Corrosión localizada en el asiento de la brida.

En un corte longitudinal del conjunto caño-brida los *pits* de corrosión se encuentran sectorizados sobre una de las medias cañas, del lado caño (Fig. 4). El tamaño de los *pits* aumenta hacia la soldadura, tanto en diámetro como en profundidad. Sobre los defectos de mayor tamaño se distingue una morfología de cavidades tipo cuenco con bordes irregulares

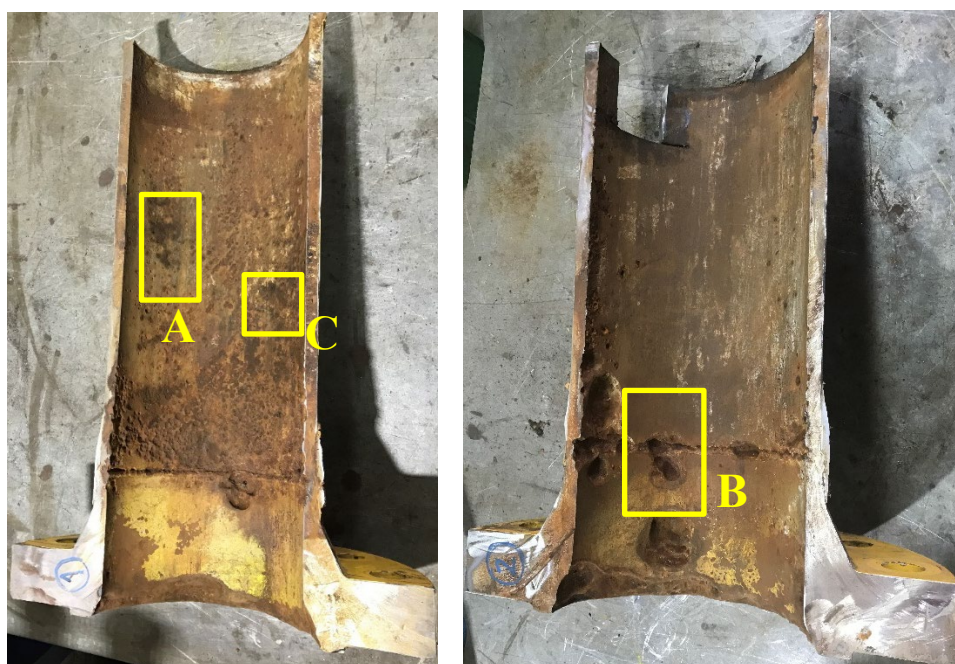


Fig.4. Vista interna. Pits de corrosión sobre el lado caño, y ataque tipo zanja sobre soldadura. A) y B) defectos de mayor tamaño y ataque preferencial sobre soldadura (detalle en 5). C) Defecto pasante (detalle en 6).

El ataque preferencial sobre la soldadura forma un zanjeado profundo del lado caño, esto es, arriba de la brida (A y B Fig. 4, detalle en Fig. 5). Sobre la brida se observan los defectos de mayor tamaño, con una morfología similar. El defecto pasante de diámetro 4 cm, sobre la soldadura del lado brida, está formado por la unión de 2 pits de morfología tipo cuenco, con bordes redondeados (C en Fig. 4, detalle en Fig. 6).

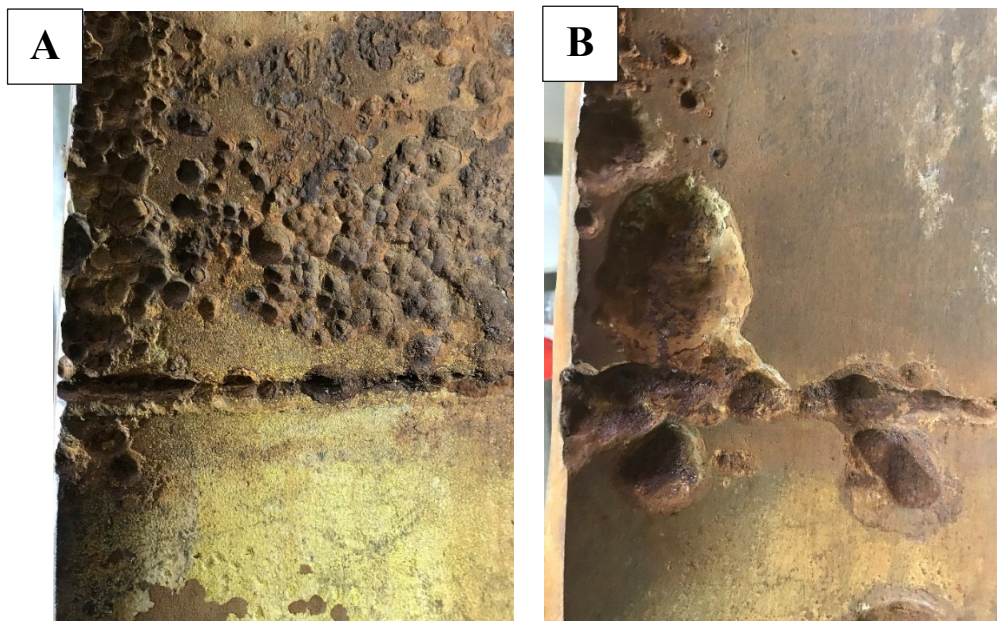


Fig. 5. Pittings de corrosión. Ataque preferencial sobre el caño y la soldadura.



Fig. 6. Defecto pasante que ocasionó la fuga. Corrosión interna localizada.

Se observó la formación de pequeñas gotas anaranjadas sobre la superficie interna de la muestra, principalmente en el interior de los pits. Luego de ser removidas estas gotas volvían a formarse en cuestión de días.

Se realizaron observaciones en microscopio electrónico de barrido, análisis químicos por espectroscopía de energía dispersiva (EDS) y Difracción de Rayos X (DRX) para caracterizar los depósitos en el pit pasante y otro pit ubicado en la soldadura. La EDS identifica los elementos químicos, mientras que el ensayo DRX identifica compuestos en fase cristalina presentes en más de 5%. En ambas muestras se detectó Cloro (hasta un 2%) y trazas de azufre (**Fig. 7**). En ambas muestras analizadas se encontró un amplio espectro de morfología en los productos de corrosión.

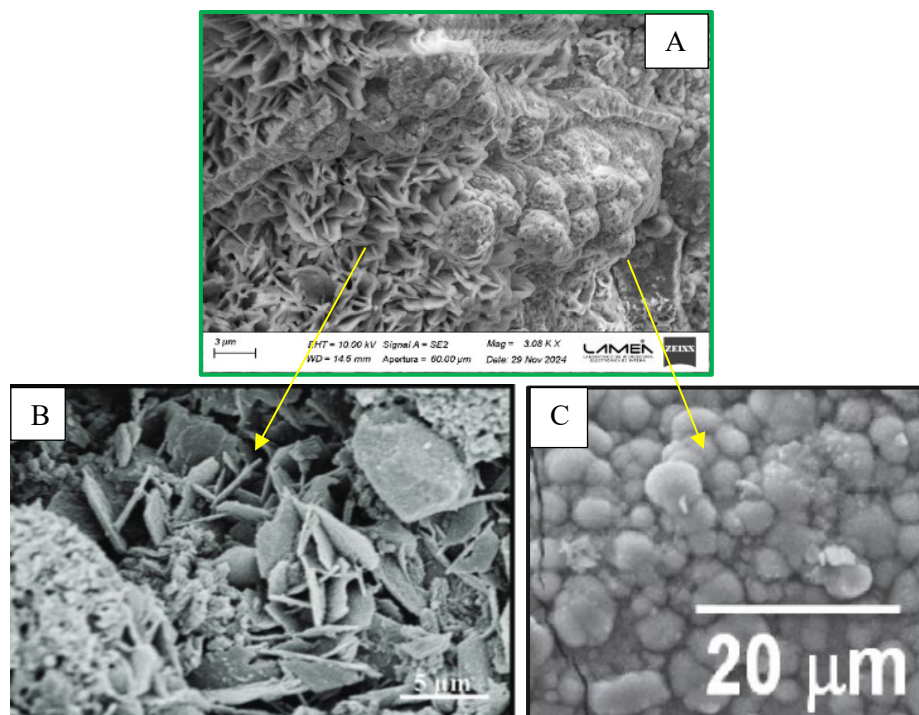


Fig.7: A) Productos de corrosión hallados en el interior de uno de los pits, Fig. 19. B) Lepidocrocita en morfología de pétalosⁱⁱ. C) Goetita en forma de bolas de algodónⁱⁱⁱ.

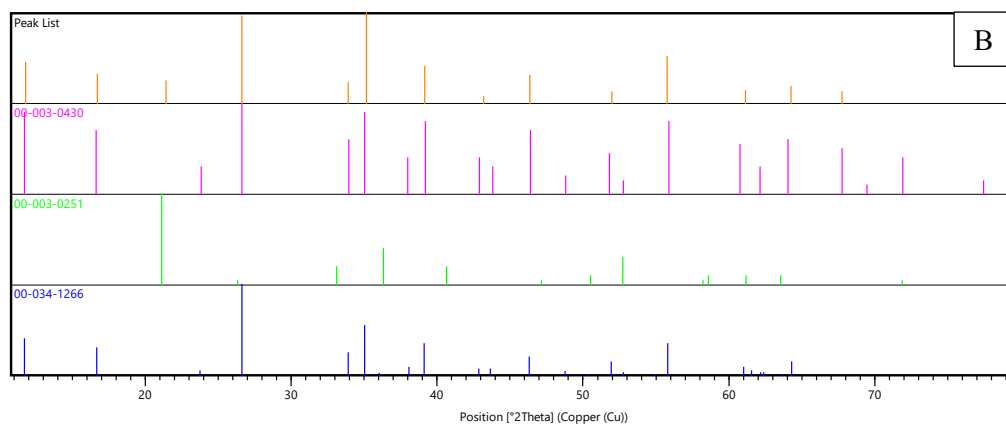
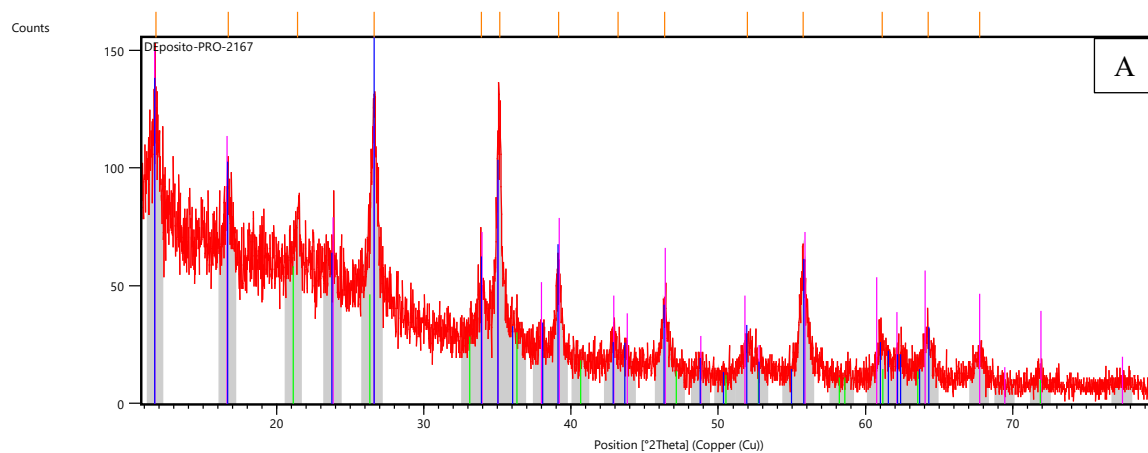


Fig. 8. Difractograma de los productos de corrosión. Comparación con picos de Akaganeita, Goetita y Hidróxido $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

El ensayo de DRX se llevó a cabo utilizando radiación $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 0,1542 \text{ nm}$) a un voltaje de 40 Kv, con una corriente de 30 mA y un rango angular de barrido 2θ de 10° a 80° . Las fases cristalinas identificadas, en orden decreciente en intensidad difractada, fueron Akaganeita $\text{FeO}(\text{OH})$ (Verde), Goetita $\text{FeO}(\text{OH})$ (Azul) y un Oxido Hidróxido hidratado $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Rosa) (**Fig. 8**).

En la **Fig. 9**, corte longitudinal, se observa corrosión preferencial en metal de soldadura, y un pequeño poro entre pasadas de metal aportado. Los productos de corrosión se encuentran fuertemente adheridos sobre la superficie interna de la brida, (Detalle A). En la **Fig. 10**, corte circunferencial del lado caño, se observan productos de corrosión sobre los pits y en el interior de un poro. El metal base del caño (**Fig. 11**) y el de la brida presentan una estructura ferrítico-perlítica. En el caño se observa el bandeo típico del proceso de laminación en caliente.

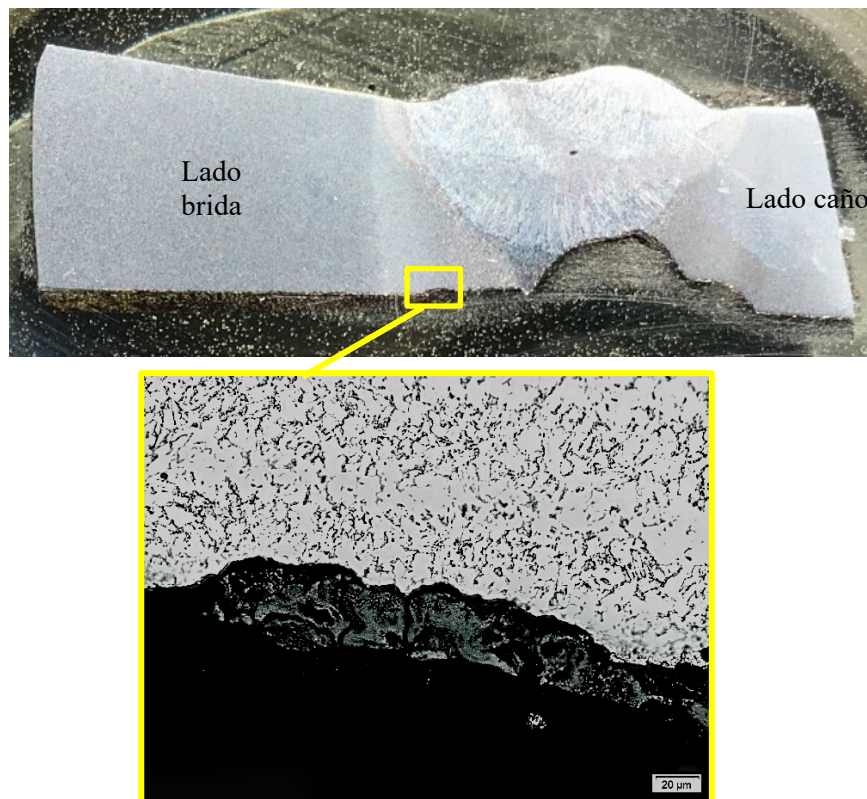


Fig.9. corte longitudinal sobre unión entre caño y brida. A) Superficie interna de la brida con productos de corrosión adheridos. Microscopía óptica 500x. Nital 2% Microscopía óptica 500x. Nital 2%.

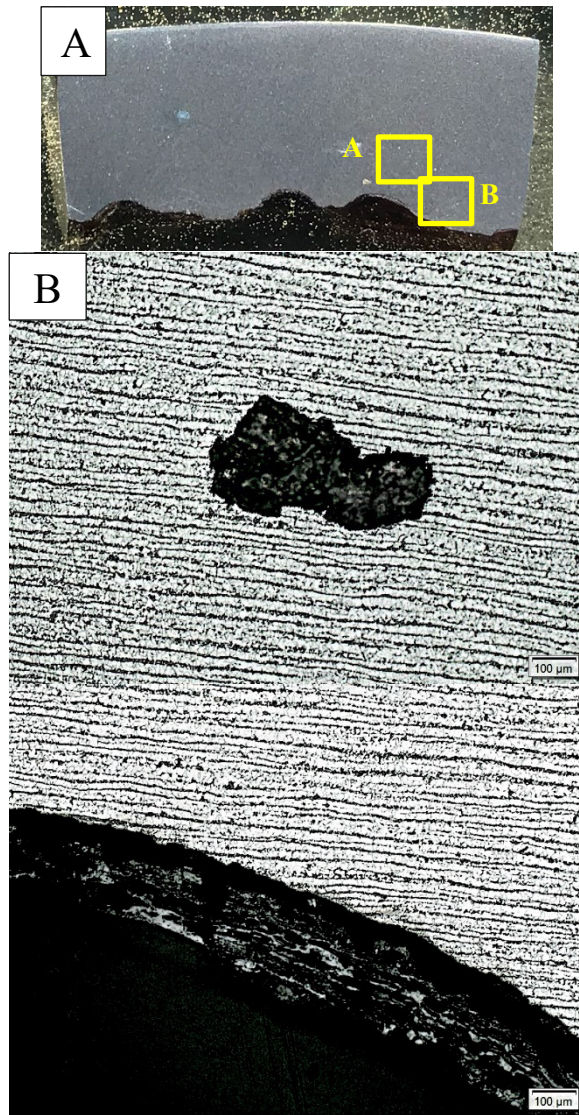


Fig.10. Probeta metalográfica de corte circular sobre pits de lado caño. A) Poro con productos de corrosión en su interior. Microscopía óptica 100x. Nital 2%. B) Superficie de pit con productos de corrosión adheridos. Microscopía óptica 100x. Nital 2%.

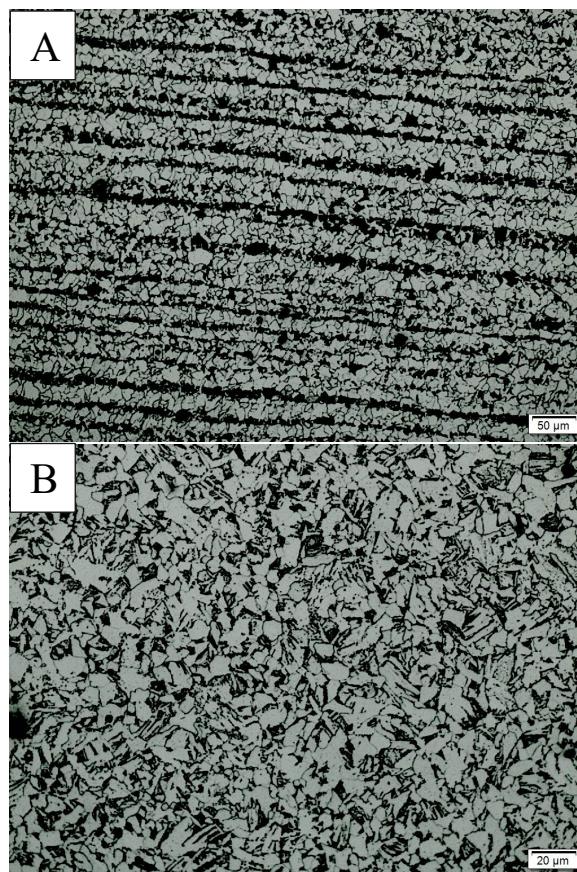


Fig 11. A) Metal base del caño. Se observa bandeo típico del proceso de fabricación. Microscopía óptica. 200x. Nital 2%. B) Metal base brida microestructura de acero colado. Microscopía óptica. 500x. Nital 2%.

En las **Tabla 2** y **Tabla 3** se muestran los resultados de ensayo químico y ensayo de tracción; las propiedades son compatibles con lo especificado.

Tabla 2.Composición química del metal base.

	Elemento (%)									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
Metal base caño	0.18	1.10	0.20	0.016	0.007	0.15	0.01	0.01	0.02	0.038
API 5L Gr. X52	<0.24	<1.40	-	<0.025	<0.015	-	-	-	-	-

Tabla 3. Propiedades mecánicas.

	Tensión de fluencia (MPa)	Tensión de rotura (MPa)	Alargamiento (%)
Tubo– ensayo probeta transversal	406	565	35
API 5L Gr. X52	359-531	455-758	>13

4. Discusión de resultados

Resultados experimentales

La composición química y las propiedades mecánicas del material base son compatibles con el material especificado. La fuga ocurrió por corrosión interna localizada. La muestra contenía *pits* de distintos tamaños, además de una corrosión preferencial del metal de soldadura y un ataque localizado en la zona del asiendo de la brida. La corrosión preferencial de la soldadura es un fenómeno bien estudiado que ocurre a menudo en cañerías y se debe a diferencias locales en la composición química y se da en presencia de distintos mecanismos de corrosión. La susceptibilidad de una cañería a este fenómeno depende del medio, la microestructura y la composición del metal de soldadura y ocurre porque el metal de soldadura se vuelve anódico con respecto al metal base ^{iv}.

En el interior de los pits se hallaron productos de corrosión. Mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) se identificaron distintas morfologías. En las **Fig. 7**, **Fig. 12** y **Fig. 13** se comparan con referencias bibliográficas, lo que permitió identificar Akaganeita y Goetita, también la presencia de Lepidocrocita y Magnetita.

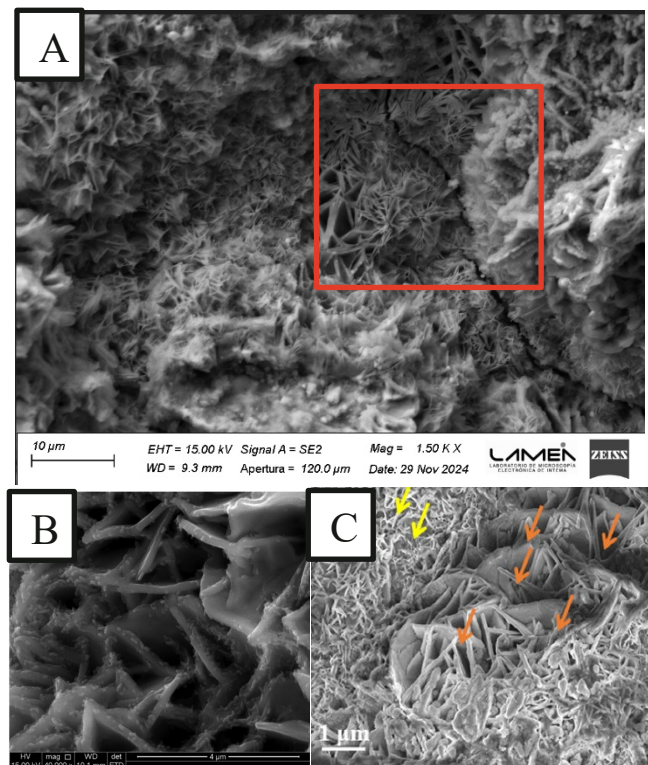


Fig.12: A) Productos de corrosión Fig. 19.B) y C) Lepidocrocita con morfología de nido (^v, ^{vi}).

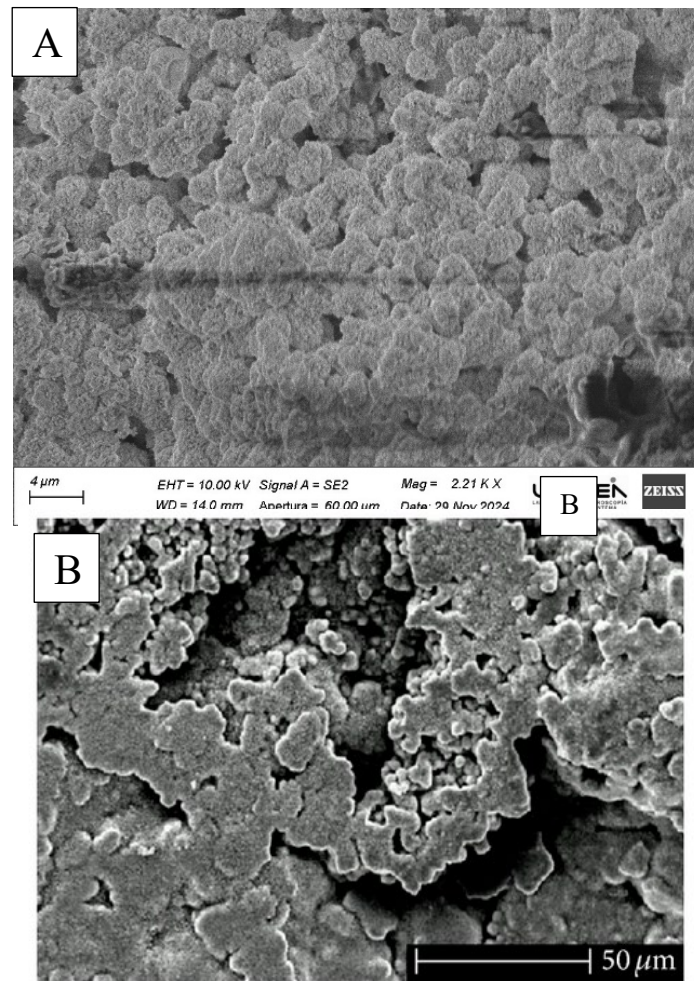


Fig. 13: A) Productos de corrosión Fig. 19. B) Magnetita ^{vii}.

Cuando el hierro se encuentra en contacto con agua, ocurren una serie de reacciones químicas en las que se van formando hidróxidos sucesivamente, hasta llegar a los estados más estables. Típicamente, la Lepidocrocita ($\gamma\text{-FeO(OH)}$) se forma primero, pero luego se transforma en Goetita ($\alpha\text{-FeO(OH)}$), que es más estable.

Por otra parte, cuando hay altas concentraciones de iones cloruro, se forma Akaganeita ($\beta\text{-FeO(OH)}$), la cual se forma únicamente en presencia de Cl^- (L. Selwyn, 2004), cuya existencia en el caso que nos ocupa fue corroborada mediante EDS. Cabe destacar que no es posible obtener Akaganeita en condiciones de laboratorio con $\text{pH} > 5$, por lo que se deduce que, localmente, el pH era mayor al medido en la muestra obtenida luego de detectada la falla. La Akaganeita puede transformarse tanto en Goetita como en magnetita (L. Selwyn, 2004), lo cual es compatible con lo observado en el SEM.

Si bien el difractograma obtenido mediante rayos X confirmó la presencia de Akaganeita y Goetita, no detectó Lepidocrocita ni Magnetita. No obstante, la Lepidocrocita es inestable, lo que podría explicar que no se detectara, y la magnetita sólo se detectó en un sitio muy puntual de todos los analizados, por lo que si se encontraba en un porcentaje inferior al 5% en peso de la muestra analizada, no sería detectable por la técnica de DRX.

La formación de gotas anaranjadas en el interior de los pits es compatible con la presencia de cloruros de hierro. Dichos cloruros son higroscópicos y forman distintos tipos de sales en

presencia de humedad. Cuando la humedad relativa es elevada, las sales se disuelven y forman gotas anaranjadas^{viii}.

El análisis de los productos de corrosión indica que el mecanismo de daño es compatible con corrosión ácida, probablemente por ácido clorhídrico, muy concentrado en la pequeña proporción de fase acuosa presente en el fluido y catalizado por la presencia de iones cloruro que rompen la capa pasivadora. Sin embargo, la cañería en la zona alejada de la junta no presenta el mismo nivel de daño, a pesar de estar expuesta a prácticamente las mismas condiciones (con posibles variaciones menores debidas a la decantación del agua). Macroscópicamente se observa que el daño se encuentra localizado cercano a la junta y presentando 3 morfologías diferentes.

- 1) Corrosión preferencial en la soldadura, tipo canaleta, más severa del lado tubo (lado de arriba, ver Fig. 14).
- 2) Corrosión en el asiento de la brida (ver Fig. 10)
- 3) Corrosión por picado, no uniforme, con hoyos profundos con bordes afilados y un desarrollo localizado.

Lo anterior es compatible con el daño típicamente observado debido al fenómeno de interferencia a través del fluido, el cual genera corrosión interna al cortocircuitar la junta. Este fenómeno ocurre cuando

1. Existe una junta aislante, que impide el flujo de corriente a través del ducto
2. Existe una diferencia de potencial significativa, debido a la existencia de la junta, entre el metal a ambos lados de ésta.
3. El fluido en el interior del ducto es conductor.

Las condiciones 1 y 2 se comprueban en el caso bajo estudio debido a la existencia de la junta aislante y a que el ducto estaba conectado al sistema de protección catódica mientras que el tramo del caño con brida que se corroyó se encontraba conectado a una puesta a tierra cercana.

Con respecto a la condición 3, se deduce que existía presencia de cierta cantidad de agua acumulada en la zona de la brida debido a:

- Que los óxidos hallados en el interior de los pits son óxidos hidratados.
- Que si bien el corte de agua reportado era muy bajo, debido a la ubicación del tramo muerto en forma vertical, el agua tendería a acumularse precisamente en la zona de la falla.
- Que el daño en algunas zonas de la soldadura está localizado del lado de arriba, en donde más se acumularían pequeñas gotas de agua debido a la sobremonta de la soldadura
- Que se detectó presencia de cloruros en el fluido analizado, los cuales elevan la conductividad del agua.

El fenómeno de corrosión interna por interferencia

De acuerdo con el funcionamiento normal de un sistema de protección catódica, la corriente de protección circula desde el ánodo, a través del electrolito (tierra) en forma iónica hasta la superficie metálica del ducto, donde se lleva a cabo la reacción catódica convirtiendo la corriente iónica en corriente electrónica. Luego, esta corriente circula a través del ducto hasta alcanzar nuevamente el rectificador y cerrar el circuito. La corriente circula por todos los posibles caminos hacia su fuente y es inversamente proporcional a la resistencia de cada camino.

En tuberías con poca antigüedad y bien recubiertas, la corriente encuentra un obstáculo para alcanzar la superficie metálica en el revestimiento, quedando a disposición únicamente las pequeñas fallas que puedan existir en el mismo. Por otra parte, las instalaciones superficiales

asociadas a la tubería se encuentran vinculadas eléctricamente a una puesta a tierra para asegurar el aterramiento de las estructuras por motivos de seguridad. Estas puestas a tierra se encuentran diseñadas con el objetivo de disminuir la resistencia entre la instalación de superficie y la tierra, poniendo a disposición grandes áreas de metal desnudo, usualmente de cobre.

Para aislar la puesta a tierra del sistema de protección catódica, se utilizan juntas aislantes. Las juntas aislantes separan eléctricamente la zona protegida de la tubería de la instalación de superficie y su correspondiente puesta a tierra. Sin embargo, en los casos donde el fluido que circula por la tubería posee una elevada conductividad, puede producirse un pasaje de corriente a través de la junta aislante por medio del fluido. En la **Fig. 14** se ejemplifica el fenómeno sobre el esquema de una junta monolítica, pero que aplica también para cualquier tipo de junta.

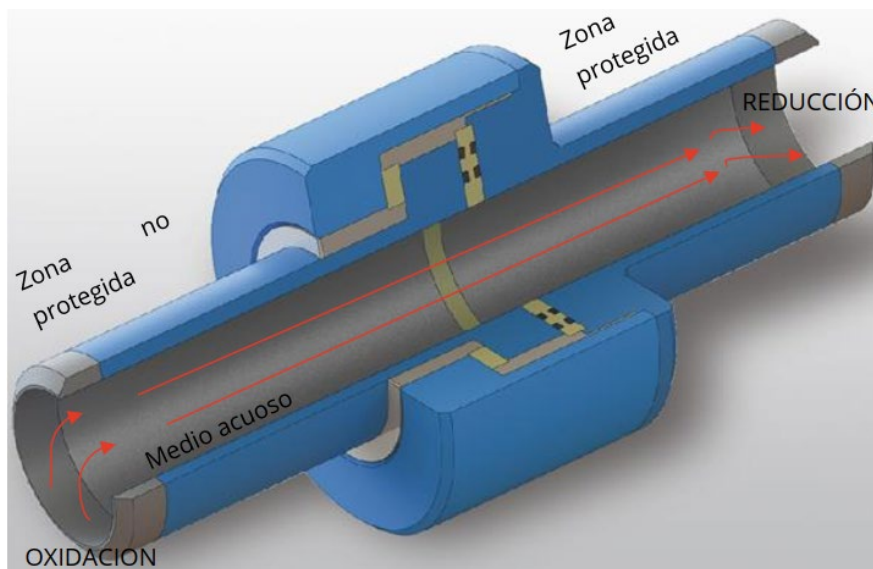


Fig. 14 Esquema de circulación de corriente a través de junta aislante.

A partir del camino electrolítico dispuesto por el medio acuoso a través de la junta aislante, se genera un nuevo camino para que la corriente, que es entregada por la cama dispersora, retorne al rectificador. El circuito de este paso de corriente se completa desde la cama dispersora, el terreno, la puesta a tierra, el ducto metálico correspondiente a la instalación de superficie, el fluido interno de la línea para “saltar” la junta aislante y finalmente el retorno por la tubería hacia el borne negativo del equipo rectificador (**Fig. 15**).

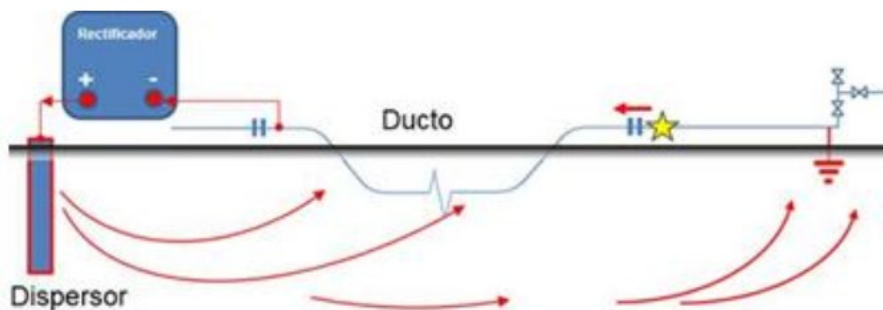


Fig.15. Esquema del circuito de la corriente de interferencia.

La morfología de este tipo de daño por corrientes de interferencia es muy característica. Se presentan pits de apariencia circular que se ubican sobre la zona del ducto más cercana a la junta aislante, del lado “no protegido” donde no existe recubrimiento interno. Hay casos reportados en la bibliografía^{ix} similares al caso en estudio con coincidencias en la morfología de los pits de

tamaños irregulares, y corrosión preferencial de la soldadura y del asiento de la brida. Una característica de la corrosión interna por interferencia es que el ataque se localiza cercano al punto de aislación sobre la cañería, pero solo de un lado.

Estimación de la corriente de corrosión

Para tener una idea aproximada de la corriente de corrosión en el pit que circulaba cortocircuitando la junta y que ocasionó la falla, se aplica la Ley de Faraday. La cantidad de material perdido en un componente metálico por circulación de corriente es una función del peso atómico del metal, la cantidad de electrones transferidos y la corriente transferida. Esta relación fue desarrollada por Michael Faraday en 1833. La relación obtenida por Faraday se resume en la siguiente ecuación:

$$W_t = \frac{M}{nF} tI$$

Donde:

W_t = pérdida total de peso en el ánodo o peso del material producido en el cátodo (g).

n = cantidad de cargas transferidas en la reacción de oxidación o reducción.

I = corriente (A).

F = constante de Faraday de aproximadamente 96.500 Culomb por peso equivalente del material (donde peso equivalente = M/n).

M = el peso atómico del metal que se está corroyendo o de la sustancia que se produce en el cátodo (g).

Operando con la ecuación de la ley de Faraday se obtiene:

$$r_{corr} = \frac{M}{nF} \times \frac{i}{d}$$

Esto indica que la pérdida de metal por unidad de tiempo (es decir, la velocidad de corrosión) de cualquier metal es directamente proporcional a la corriente descargada desde la superficie metálica al electrolito.

Considerando que el mecanismo de corrosión estuvo activo desde el 23/09/23, perforando la totalidad del espesor (12.7 mm) el 09/10/24 y generando un pit de aproximadamente 4 cm de diámetro, la corriente necesaria se estima en 13.14 mA.

La experiencia muestra que hasta una corriente continua tan baja como 1 mA es suficiente para causar una alta velocidad de pérdida de metal en puntos localizados y este efecto puede darse tanto en aceros al carbono como en inoxidable^x. Las velocidades de corrosión interna por interferencia pueden ser muy altas (por ejemplo, mayores a 5 mm/año), siendo típicamente mucho mayores que la de cualquier otro posible mecanismo de corrosión.

Alternativas de mitigación

Este fenómeno podría haberse evitado si, al momento de realizar la modificación del diseño, se hubiera desvinculado totalmente el tramo evitando la existencia de una pierna muerta. Por otro lado, se considera que la instalación de un nuevo rectificador y dispersor cercano al ducto y a su puesta a tierra en el A310 es lo que generó las corrientes parásitas de magnitud suficiente como

para generar el proceso de corrosión. Previo a este evento, debido a la distancia con el área con el dispersor del área 200, se asume que el fenómeno era despreciable.

Otro punto para destacar es que el conjunto de aislación comprende no solamente la junta dieléctrica sino también la zona interna revestida de la brida. La tasa de corrosión no solo dependerá de la resistividad del electrolito presente sino también de la longitud del paso que suma resistencia (por ejemplo, cuanto más larga es la longitud interna revestida en el kit aislante). Es importante entonces, que se asegure la calidad de ese revestimiento (adecuada preparación de superficie y espesor final), para optimizar la aislación.

Desde la etapa de diseño es frecuente buscar un aumento adicional de resistencia en los puntos de aislamiento. El objetivo de esta actividad consiste en aislar la fase acuosa de la pared interna de la tubería mediante el uso de un recubrimiento no conductor en una longitud lo suficientemente grande para aumentar la resistencia de este paso. Cuanto mayor sea la distancia que la corriente deba “viajar” a través del electrolito, mayor será la resistencia por vencer y, a igual voltaje, menor será la corriente que tome este camino.

Para lograr este fin, una práctica frecuente es la inserción de un *spool* internamente recubierto y con una brida aislante de modo tal que la corriente que normalmente recorría un tramo corto a través del fluido ahora tenga que recorrer toda la longitud del *spool*. El objetivo es encontrar una resistencia tal que atenúe o suprima el salto de corriente. El *spool* utilizado puede estar conformado en su totalidad por un material no metálico dependiendo de las condiciones de operación. Mientras mayor sea la longitud del *spool* insertado, los resultados esperados serán mejores, pero esto siempre está limitado a la geometría de la tubería y a las posibilidades de fabricación. El *spool* debe instalarse del lado “protegido” de la junta aislante. Esto se debe a que en el caso de colocarlo del lado “no protegido” y existir un pequeño defecto en el recubrimiento interno, toda la corriente de interferencia se drenará por esta pequeña área, generando una muy elevada densidad de corriente y por ende una muy alta velocidad de pérdida de metal.

Para evitar que la corriente de protección ingrese a la estructura aislada por la conexión de puesta a tierra, una práctica recomendada es incorporar en la misma un dispositivo desacoplador de corriente continua. Este dispositivo permite el paso de corriente alterna pero bloquea el camino para la corriente continua de bajo voltaje.

Los dispositivos de desacoplamiento de corriente continua más fiables, que son también los más utilizados hoy en día, son dispositivos de estado sólido. Estos dispositivos tienen una impedancia de corriente continua muy alta y una impedancia de corriente alterna muy baja. Esto permite el paso de corriente alterna de estado estable, como descargas eléctricas y corrientes de falla.

Los desacopladores de corriente continua de estado sólido tienen una tasa de falla muy baja; sin embargo, si uno falla, lo hará en el modo de cortocircuito. De esta forma, ante una falla del equipo, la corriente alterna seguirá circulando sin comprometer la seguridad de las instalaciones de puesta a tierra.

La gran efectividad de instalación de estos equipos es la eliminación de la puesta a tierra como punto de captación de corriente. Esto impacta en el sistema de dos maneras, por un lado, aumenta la resistencia a experimentar la corriente de interferencia y por otro, aumenta los potenciales del lado “no protegido” de la junta, eliminando al cobre que posee potenciales naturales más electropositivos que el acero.

Otra forma de evitar este fenómeno en los casos en que se transportan fluidos multifásicos que contienen un porcentaje significativo de agua es de considerar instalar la junta de aislamiento en una sección vertical o en ángulo. Esto permite evitar que se forme una fase de agua continua dentro del ducto y se convierta en una fuente de corrosión interna. En el caso de la falla bajo estudio, se trataba de una sección vertical, pero al momento en que se la transformó en pierna muerta, se la volvió susceptible del ataque por este mecanismo.

En este caso particular, se identificaron varias oportunidades de mejora:

- Evitar, desde el diseño, la existencia de piernas muertas ya que son un punto débil para la amenaza de corrosión interna en cualquier tipo de sistema.
- Mejorar la Gestion del Cambio Implementando los procedimientos necesarios para garantizar que todas las áreas involucradas participen en el diseño de modificaciones futuras: ingeniería, producción, integridad.
- Instalar desacopladores de corriente (PCR) entre las puestas a tierra ide las instalaciones de aéreas y el ducto
- Implementar modificaciones en la configuración de la cañería para evitar pierna muerta, **Fig. 16.**

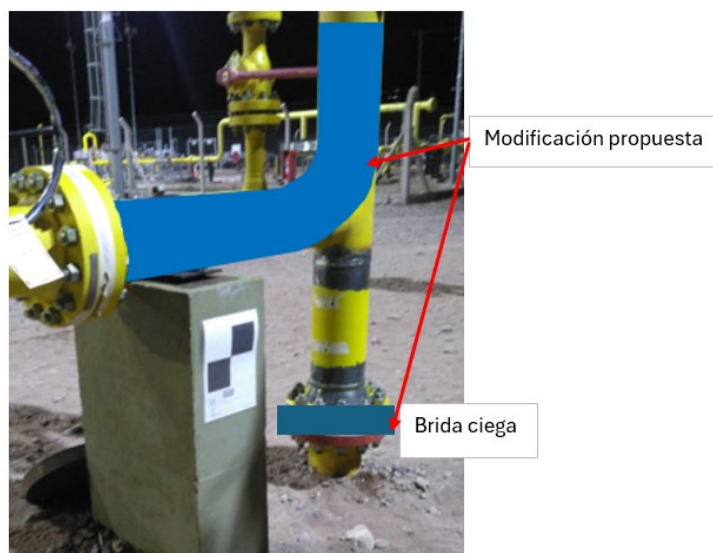


Fig. 16: Propuesta de modificación de diseño para evitar pierna muerta.

5. Conclusiones

- La falla ocurrió por corrosión interna debido a corrientes parásitas que ingresan por las puestas a tierra desde el sistema de protección catódica y que circulan a través del fluido debido a su conductividad y a la diferencia de potencial entre el lado protegido y el lado no protegido de la junta de aislación.
- La incorporación del nuevo rectificador para proteger el área 310 sumó corriente favoreciendo significativamente el proceso de corrosión por corrientes parásitas en la junta.
- Si bien el conexionado que se hizo de las estructuras en el mes de junio era oportuno y necesario para evitar el riesgo de corrosión externa, no afectó significativamente al fenómeno que ocasionó finalmente la falla.

- La composición química, las propiedades mecánicas y la microestructura del caño es compatible con un API 5L Gr. X52
- Se recomienda Instalar desacopladores de corriente (PCR) entre las puestas a tierra de las instalaciones de aéreas y el ducto, e implementar modificaciones en la configuración de la cañería para evitar pierna muerta.

6. Referencias

- ⁱ “2024-10-10-0335- 23-IF-00 Corrientes parásitas A300”
- ⁱⁱ Kunal Kupwade-Patil et Al., “Corrosion Mitigation in Reinforced Concrete Beams via Nanoparticle Treatment”, ACI MATERIALS JOURNAL, Title no. 109-M60
- ⁱⁱⁱ P. Dhaiveegan et. Al., “Weathering Steel in Industrial-Marine-Urban Environment: Field Study”, DOI: 10.2320/matertrans.M2015345
- ^{iv} J. M. Race, “Management of Corrosion of Onshore Pipelines”, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering Shreir's Corrosion, Volume 4, 2010, Pages 3270-3306
<https://doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00169-4>
- ^v Sandra Travassos et Al., “Non-destructive thickness measurement as a tool to evaluate the evolution of patina layer formed on weathering steel exposed to the atmosphere”, DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.11.010
- ^{vi} Turin Datta, “Fractal behavior of surface oxide crack patterns on AISI 4140 high-strength low-alloy steel exposed to the simulated offshore environment”, DOI: 10.1016/j.apsadv.2021.100110
- ^{vii} Renato Altobelli Antunes et. Al., “Characterization of Corrosion Products on Carbon Steel Exposed to Natural Weathering and to Accelerated Corrosion Tests”, <https://doi.org/10.1155/2014/419570>
- ^{viii} L. Selwyn, “Overview of archaeological iron: the corrosion problem, key factors affecting treatment, and gaps in current knowledge”, Proceedings of Metal 2004 National Museum of Australia Canberra ACT, 4–8 October 2004, ABN 70 592 297 967.
- ^{ix} Oscar Arias (YPF) y Walter Morris (YTEC). “Corrosión Interna en Oleoductos. Interferencia de Protección Catódica externa”. III JORNADAS DE CORROSIÓN E INTEGRIDAD - "Desafíos Convencionales y No Convencionales" IAPG 2019.
- ^x CORROSION AT ISOLATING JOINTS DUE TO CATHODIC PROTECTION, Dr David Buxton, PhD, MICorr, Intertek Production & Integrity Assurance, Manchester Technology Centre, Units 12-15, Longwood Road, Manchester M17 1PZ

7. CV de los autores

Janine Booman

- Ing. Mecánica egresada de la UNMdP.
- Más de 15 años de experiencia en la industria del petróleo y el gas en diversidad de proyectos y posiciones: Análisis de falla, RCA, Análisis de Materiales, Pericias, Diseño, Inspección y Mejora de Procesos de Soldadura de Recipientes

a Presión (ASME VIII) y estructuras, calificaciones de procedimientos y soldadores, ensayos no destructivos no-convencionales. Posee estudios de posgrado en fractomecánica, soldadura y propiedades mecánicas. Profesora Universitaria de Tecnología de los Materiales (FCEIA-UNR), es Inspectora de soldadura Nivel 3 (IRAM IAS) y Diplomada en Corrosión e Integridad de Equipos Estáticos por la UTN.

- Cargo actual: Especialista y líder del equipo de Respuesta a Fallas de GIE GROUP.

Dr. Ing. José Luis Otegui

- Investigador Superior CONICET y profesor UNMdP y UNAJ, jubilado en 2025.
- Es instructor certificado ASME en Análisis de Fallas, y Miembro del Comité Editorial de la Revista Engineering Failure Analysis (Elsevier). Autor de más de 100 artículos científicos y de 3 libros, el último: Análisis de Fallas: Fundamentos y Aplicaciones en Componentes Mecánicos (en inglés, Springer, 2014).
- Cargo actual: Experto en Integridad de tuberías y Mecánica de Fractura, en la empresa Gie Group, de la que fue socio fundador en 1995.

Andrea Moneta

- Ing. Química egresada de UTN
- Más de 25 años de experiencia en la industria del petróleo y el gas en proyectos de integridad y particularmente corrosión. Certificaciones AMPP CP3 Tecnólogo de Protección Catódica, CIP2 Inspector de Revestimientos Nivel 2, e CI2 Ingeniera Senior en Corrosión Interna.
- Cargo actual: Especialista y líder del equipo de Protección Anticorrosiva de GIE Group.

Emanuel Marinaro

- Ing. de Materiales
- Más de 15 años de experiencia en la industria del petróleo y el gas con certificación AMPP CP1 y Ensayos No Destructivos (END)
- Cargo actual: Ingeniero Senior de Corrosión en Pluspetrol

Cynthia Salvatierra

- Ing. Química. UNMdP
- 3 años de experiencia en la industria de Oil and Gas, enfocada en el análisis de fallas e identificación de mecanismos. Realización de inspecciones utilizando ensayos no destructivos (END).
- Cargo actual: Ingeniera de Integridad y Análisis de Fallas.