

Corrosión bajo tensión. Evaluación y mitigación en TGS

Por *Mariana Córscico, Transportadora de Gas del Sur (TGS)*



El objetivo de este trabajo es mostrar la evolución de la gestión de la corrosión bajo tensión en TGS en los últimos 20 años, en relación con las tecnologías disponibles en el mercado. Además se presentarán los resultados del ILI con tecnología EMAT, las tareas de evaluación, mitigación y reparación en el campo, así como también la correspondencia de los hallazgos con las características del modelo desarrollado.

Transportadora de Gas del Sur (TGS) es una de las empresas de transporte de gas más importante de la Argentina, que opera de manera eficiente y segura uno de los sistemas de ductos más largo de América Latina.

Nuestro sistema de transporte, que conecta las reservas de gas del sur y del oeste argentino, atraviesa siete provincias para abastecer de gas natural a la Ciudad de Buenos Aires, el Gran Buenos Aires, el centro y sur de nuestro país. Transporta más del 60% del gas consumido en el país a lo largo de nuestro sistema de 9.231 km de extensión total. En la figura 1 se muestra el sistema de gasoductos operado por TGS.

Historial de fallas en el sistema de TGS

El sistema de transporte que opera TGS cuenta con líneas que se encuentran en servicio desde 1964. Tenien-

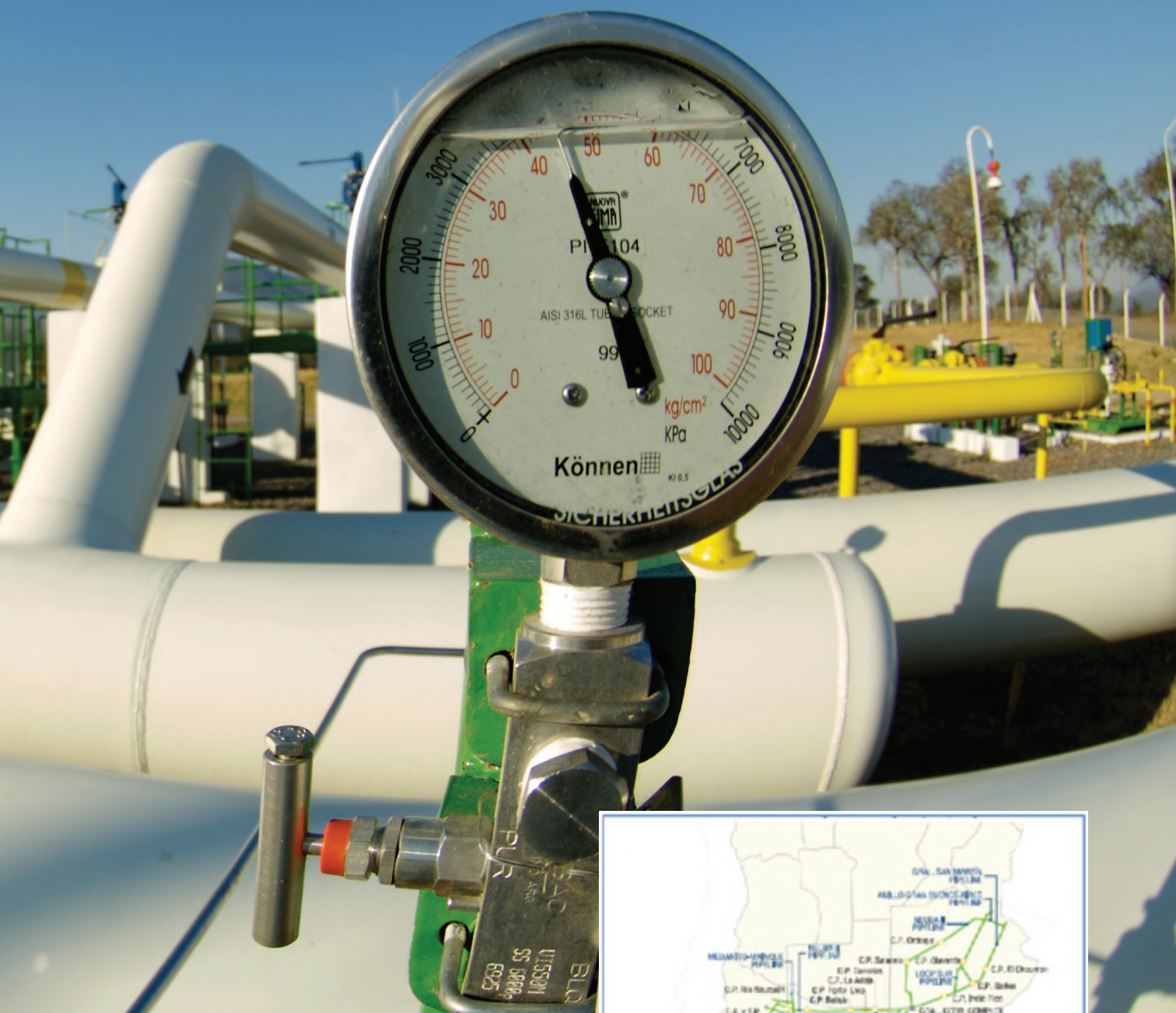


Figura 1. Mapa del sistema de transporte Operado por TGS.

do en cuenta los años de operación del sistema, desde sus inicios en 1964, se han registrado un total de 38 fallas en servicio, de las cuales 19 fueron causadas por corrosión externa, la principal amenaza durante muchos años.

Sin embargo, desde que TGS tomó la operación de los gasoductos en 1992, solo se produjeron 12 fallas en servicio, de las cuales 5 fueron originadas Corrosión Bajo Tensión (SCC), considerándose esta la principal causa de falla en los 29 últimos años de operación.

En la figura 2 se muestran los eventos ocurridos por cada amenaza según el historial de los últimos 29 años.

Teniendo en cuenta que la Corrosión Bajo Tensión es una de las amenazas principales a la integridad del sistema de transporte de TGS, dentro del plan de gerenciamiento de la integridad se realizan diferentes tareas para comprender, evaluar y mitigar esta amenaza.

En los siguientes puntos se mostrará la evolución de

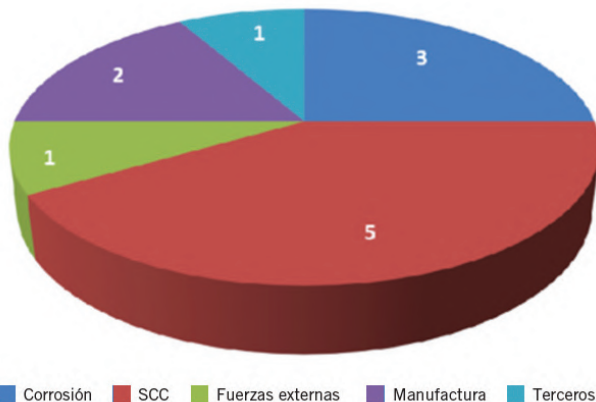


Figura 2. Historial de falla de TGS.

la gestión de esta amenaza en los últimos 23 años en TGS en relación con las tecnologías disponibles en el mercado.

Historia de SCC en el sistema de TGS

El fenómeno de corrosión bajo tensión (SCC) apareció por primera vez en el sistema de gasoductos TGS en 1998 con una ruptura en servicio del gasoducto de 24" Nueva I-Oeste. Unos meses después, volvió a ocurrir otra falla en servicio en la misma línea a pocos kilómetros del primer evento.

Dada la magnitud de estos dos eventos, se realizaron varias tareas entre 1999 y 2002 sobre el gasoducto Neuba I-Oeste.

Se realizaron tests de fluencia (prueba hidráulica al 110% del límite elástico) en tres sectores de cañería, se probó en una longitud total de 134 km del gasoducto. Durante estas pruebas se produjeron tres rupturas en dos sectores.

Se aplicó un modelo de susceptibilidad canadiense, para ello se realizaron 140 excavaciones de verificación, se encontraron 7 lugares con indicaciones de colonias de SCC.

De 2003 a 2010, en base a estudios de suelo, el área de trabajo se amplió para incluir el gasoducto LGSM Sur.

Se realizaron trabajos de recobertura aguas abajo de 7 plantas compresoras, se encontraron dos fisuras críticas en el gasoducto San Martín Sur.

Se desarrolló un modelo de susceptibilidad de corrosión bajo tensión dependiente de variables de operación,

características del terreno y análisis de suelos, con la asistencia de institutos nacionales de investigación y empresas privadas.

Con la aplicación del modelo desarrollado en TGS, se realizaron 150 excavaciones de verificación entre 2004 y 2008, se evaluaron 11 áreas susceptibles pertenecientes a los gasoductos Neuba I Oeste y San Martín Sur, se encontraron 10 lugares con fisuras tipo SCC en 5 de las 11 áreas. Todos clasificados como subcríticos.

Entre 2005 y 2010 se realizaron trabajos junto con una empresa de inspección interna rusa y se realizaron distintas corridas.

- 2005-2006: corridas con una combinación de herramienta de flujo magnético transversal y longitudinal (TFI y MFL) a lo largo de 280 km. No se encontraron SCC mediante este método.
- 2007: se corrió una herramienta EMAT en fase de desarrollo a lo largo de 445 km. No se encontraron SCC mediante este método.
- 2009-2010: se corrió una herramienta EMAT de segunda generación a lo largo de 610 km. Se encontraron algunas indicaciones de SCC en dos sectores.

En enero de 2011, se produjo otra falla en servicio por SCC en el gasoducto San Martín, en Buenos Aires. Esto llevó a un replanteo del plan, el cual se ejecutó entre 2012 y 2019.

Se mejoró el proceso identificación y definición de zonas susceptibles al generar gráficos de datos alineados correlacionando distintas variables.

Entre 2013 y 2014, con estos gráficos se analizaron 610 km del gasoducto LGSM Buenos Aires, se identificaron 7 áreas susceptibles. Se ejecutaron 29 excavaciones de verificación y se encontraron signos de SCC en 9 de ellas. Todo subcrítico.

En 2017 se analizó el gasoducto austral, se seleccionaron 25 sitios para evaluación directa aguas abajo de la estación de cuatro compresores. No se encontró SCC.

Se realizó test de fluencia a 92,5 km en 4 sectores del gasoducto considerados de alta prioridad. No se produjeron rupturas derivadas de SCC.

En 2012 se comenzó a inspeccionar el sistema con tecnología EMAT con mayor desarrollo y efectividad comprobada en el mercado, se corrieron 365 km sin hallazgos. En-



Fotos 1 y 2. Falla en servicio 2019.

tre 2017 y 2020, con nueva tecnología, se inspeccionaron 2,935 km de gasoducto con EMAT. Se han informado más de 500 anomalías, de las cuales se han verificado y reparado más de 400, y se han encontrado múltiples hallazgos.

Se continua con el plan de recobertura a la descarga de las principales plantas compresoras.

Auditoría del programa-2018

En 2018, TGS decidió comparar su plan de integridad con otros operadores de la industria a nivel mundial, para

ello realizó una auditoría. A continuación, se presenta un resumen de los resultados para SCC.

- TEST DE FLUENCIA
 - * Menos que otros operadores. Sin embargo, la razón por la cual normalmente no se aplica esta prueba es la falta de alternativas operativas.
- ILI
 - * Consistente y por encima del promedio de la industria.
 - * Proactivo en la prueba de nuevas tecnologías.
- SCC DA

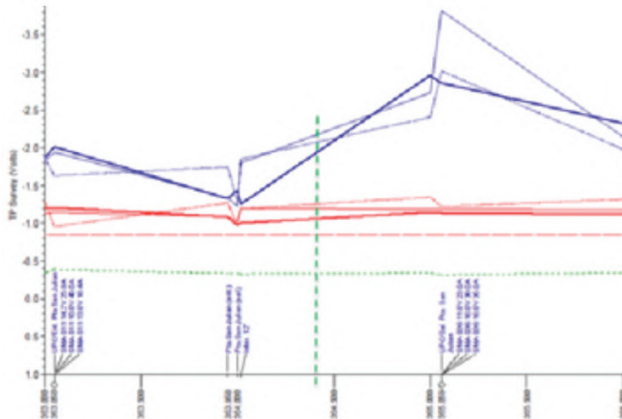


Figura 3. Potenciales.

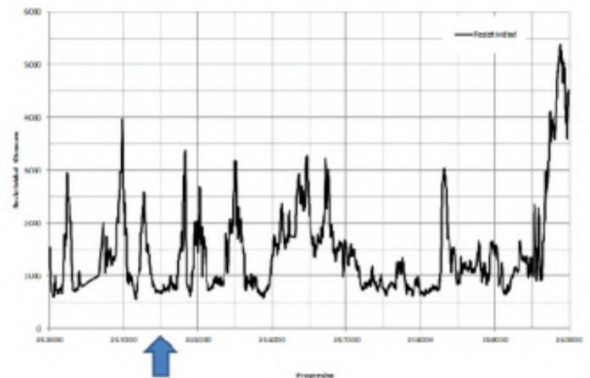


Figura 4. Resistividad.

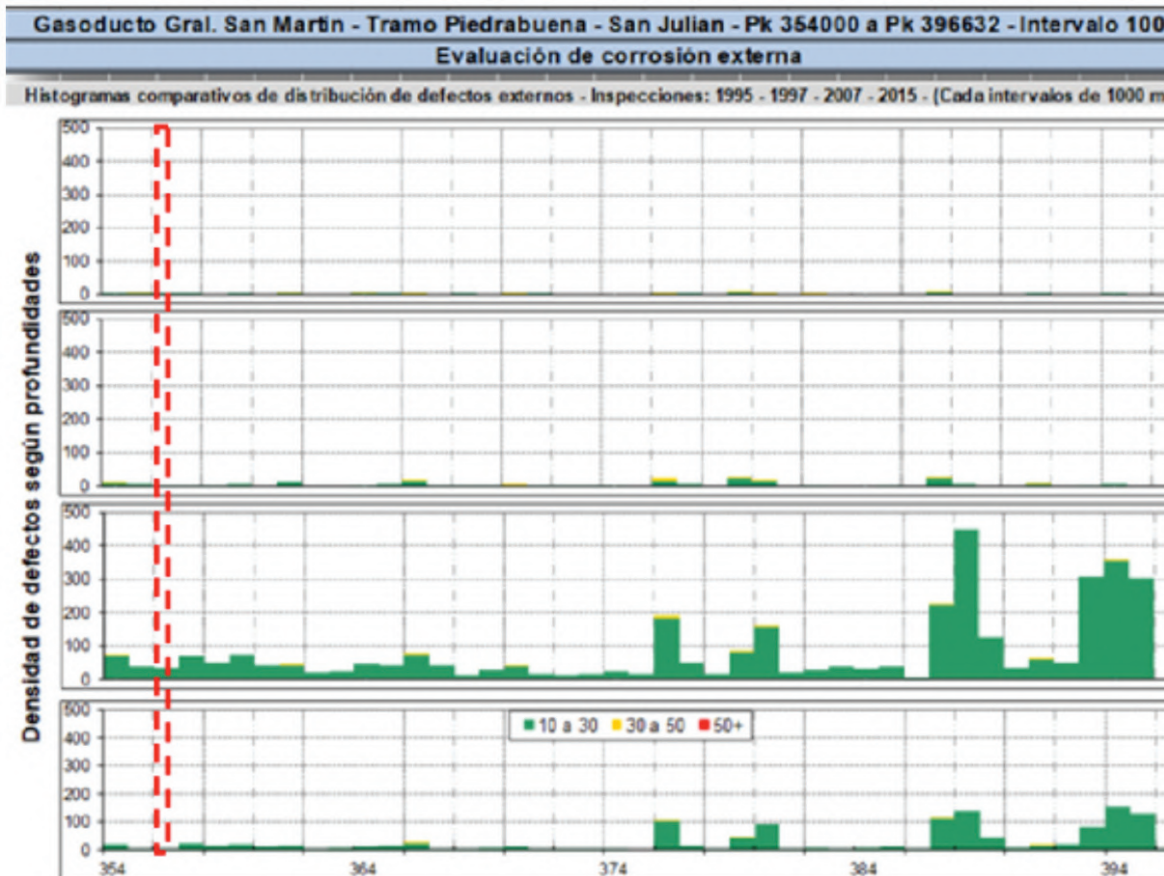


Figura 5. Histograma de fallas informadas por ILI.

- * Consistente y por encima del promedio de la industria.
- * El modelo mejorado está aumentando la tasa de éxito.
- * DA es aplicable para identificar susceptibilidad, pero no es apropiado para administrar la integridad de los segmentos donde se encuentran fallas en servicio o fallas en pruebas hidráulicas.

2019-El evento

A pesar de que todas las actividades ejecutadas para identificar, evaluar y mitigar esta amenaza, en junio de 2019 ocurrió una nueva falla en servicio en la pk 354 del gasoducto Libertador San Martín Austral a 550 m aguas debajo de la Planta Compresora San Julián. En las fotos 1 y 2 se observa el evento.

Antecedentes del tramo

A continuación, se resumen los principales antecedentes del tramo en la zona de falla.

Potenciales y resistividad

Los relevamientos de potenciales anuales indican que la cañería se encontraba protegida con el criterio de - 850 mV OFF, la zona está influenciada por dos equipos rectificadores (Figura 3).

En la figura 4 se grafica la medición de Resistividad continua de la zona de falla, que arrojó valores de entre 600 y 700 ohm-cm, lo que clasifica el suelo como corrosivo.

Inspección Interna

El tramo contaba con 5 inspecciones internas con tecnología de alta resolución, 4 de ellas de tecnología MFL (1995, 1997, 2007, 2015) y una de tecnología EMAT (2017). En la figura 5 se muestran los resultados en densidad de fallas de las 4 corridas de flujo magnético, observándose que en la zona del evento hay una baja densidad de anomalías informadas, además son todas menores del 30% de profundidad.

En la figura 6 se muestra la distribución y la severidad en profundidad de las indicaciones informadas por la corrida EMAT que se realizaron en noviembre de 2017.

Los resultados de esta corrida se recibieron en dos etapas, en febrero de 2018 se recibió el reporte preliminar del tramo con 52 anomalías a la descarga de planta, y en mayo de 2018 se recibió el reporte final del tramo con 18 anomalías más.

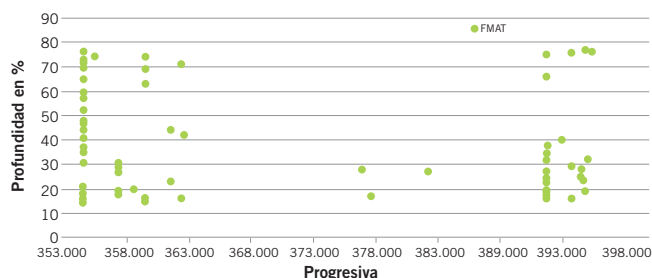


Figura 6. Anomalías EMAT.

Evaluaciones de Campo

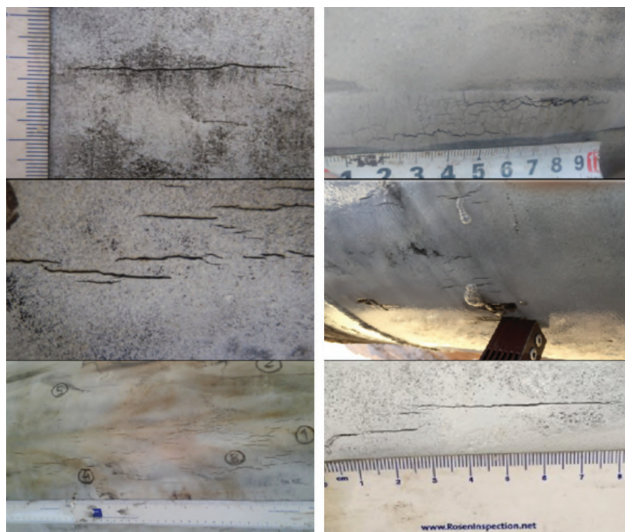
En 2017 se inspeccionó con tecnología EMAT 715 km correspondiente al Gasoducto Libertador General San Martín Sección Austral. Los reportes informaron un total de 206 indicaciones distribuidas entre anomalías tipo fisura e indicaciones en soldaduras longitudinales.

149 Crack like

56 Linear anomaly in longitudinal weld area

Se ejecutaron 174 excavaciones

- 40 verificaciones resultaron anomalías de corrosión/daño mecánico.
- 149 verificaciones resultaron correctamente identificadas por la herramienta.



Fotos 3 a 6. Ejemplo de hallazgos en campo.

Para el caso puntual de la descarga de la Planta Compresora San Julián se informaron 70 indicaciones en 42 km de gasoductos. Entre febrero de 2018 y marzo de 2019 se intervinieron en campo, evaluaron y repararon todas las indicaciones informadas.

Se realizaron dos cambios de cañerías de 60 y 36 m sin evaluar, y se evaluaron y repararon las indicaciones restantes.

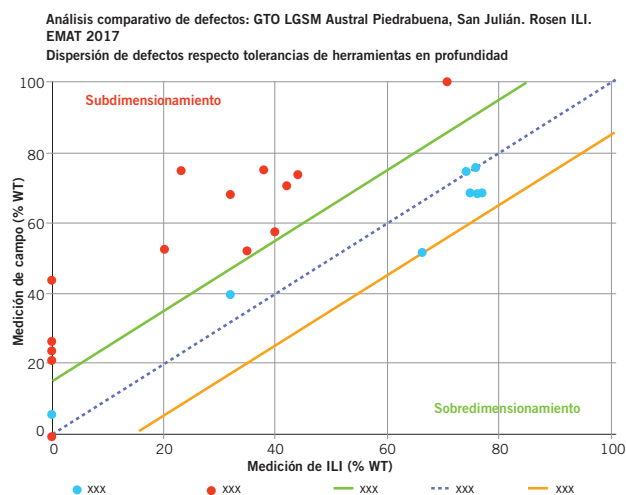
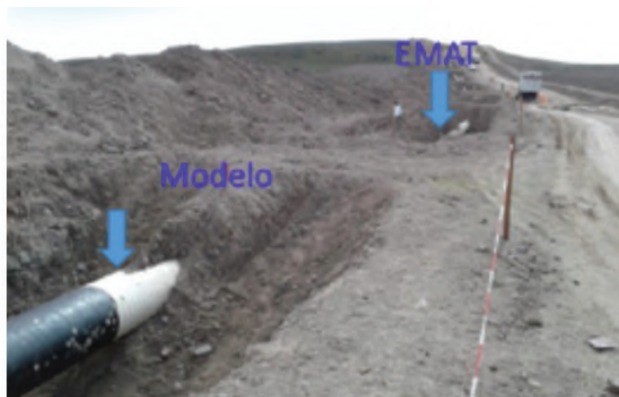


Figura 7. Comparación de resultados de campo versus ILI.



Fotos 9 y 10. Excavación de Modelo y Verificación de ILI.

Al comparar los resultados de campo de 36 indicaciones se observó lo siguiente:

- 14 verificaciones resultaron anomalías de corrosión/daño mecánico.
- 22 verificaciones resultaron correctamente identificadas por la herramienta.

En las fotos 3 a 6 se muestran algunos de los hallazgos de anomalías correctamente identificadas por la herramienta.

Teniendo en cuenta las indicaciones correctamente identificadas, se compararon los resultados de dimensionamiento de campo con la información que brindó la herramienta, observándose una tendencia al subdimensionamiento. En la figura 7 se muestran los resultados.

Con las verificaciones de campo ejecutadas en campo entre 2018 y comienzo de 2019 se pudo observar que existen anomalías que nos son identificadas correctamente y las que son identificadas correctamente pueden presentar desvíos en su dimensionamiento. No obstante, se ha logrado identificar y reparar un gran número de fisuras con esta tecnología.

Comparación de metodologías

SCCDA versus EMAT

Durante 2017, previo a la corrida EMAT, se aplicó SCCDA en el gasoducto LGSM-Austral y se identificó que es susceptible a SCC. Se realizaron 25 excavaciones de verificación directa aguas abajo de 4 plantas compresoras, no se encontraron en campo fisuras de SCC. Luego se realizaron las inspecciones EMAT, los resultados muestran que el mo-

delo es adecuado para la identificación de zonas susceptibles al fenómeno de SCC, pero es difícil identificar los sitios críticos con solo un número reducido de excavaciones.

En las fotos 9 y 10 se muestra una excavación realizada como resultado del modelo y a pocos metros la excavación realizada como resultado de la evaluación de una indicación tipo SCC informada por la herramienta EMAT.

EMAT versus UTPA

La información de las verificaciones de campo está limitada a la metodología de colección de datos. La medición de profundidad por UTPA tiene asociada un error del orden de $\pm 0,25$ mm para grietas aisladas, y para el caso de colonias es mayor. Este error debe ser considerado en la comparación de datos.

Para mejorar información recolectada y, en consecuencia, la comparación de datos de campo *versus* lo informado, se deben relevar perfiles de longitud *versus* profundidad de todas las indicaciones, amolar y realizar partículas magnéticas de algunas indicaciones para confirmar los perfiles relevados con UTPA o realizar rotura de algunas muestras en laboratorio.

Además, para identificar Falsos Negativos Reportable (la herramienta no reporta una indicación y en campo se detecta una anomalía con las dimensiones que excede el umbral de la herramienta) es recomendable la inspección del tubo completo con IPM + UTPA del 100% de la superficie (360°).

Resultado del análisis de falla

Del análisis de causa se determinó que la falla fue debida a Corrosión Bajo Tensión de Alto PH. Se identificó el

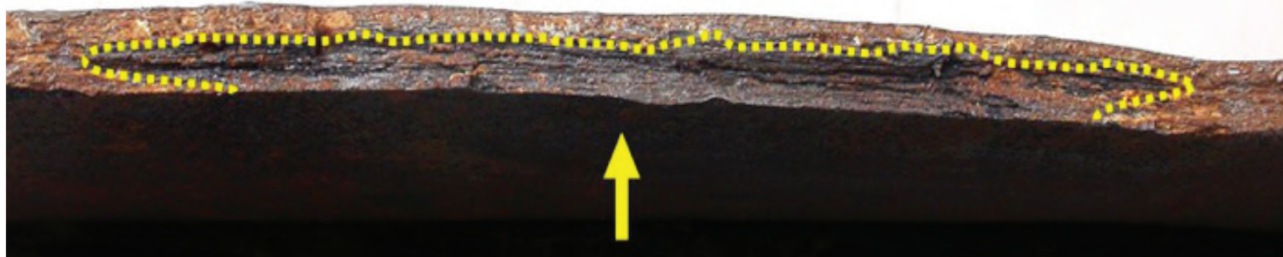


Foto 11. Iniciador de la falla.



Fotos 12 y 13.



iniciador de la rotura como una fisura intergranular de 135 mm de largo y una variación entre 5,4 mm y 7,08 mm de profundidad. La misma se muestra en la foto 11.

Como se mencionó, con la información informada por EMAT se ha logrado encontrar en campo fisuras por SCC de dimensiones más cortas y menos profundas que las fisura que dio origen a la falla. Esto, junto con los parámetros de velocidad y la lectura de la herramienta nos indica que la inspección estuvo dentro de los parámetros de calidad aceptable. Sin embargo, la anomalía que dio origen a la falla no fue informada, del análisis de los datos surge que no hay una señal que refleje la presencia de la misma.

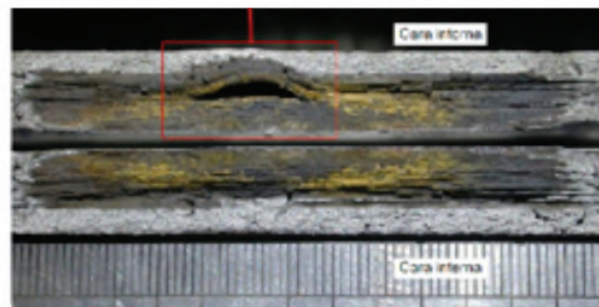
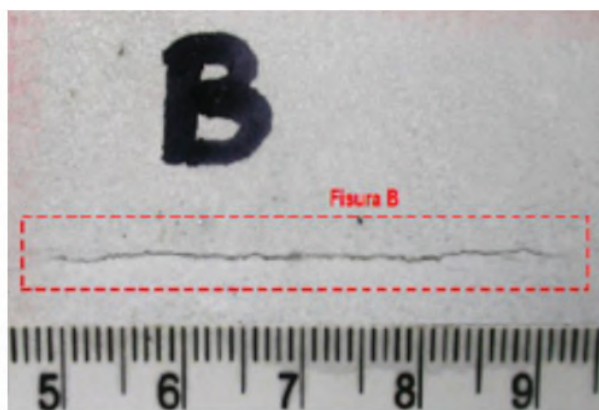
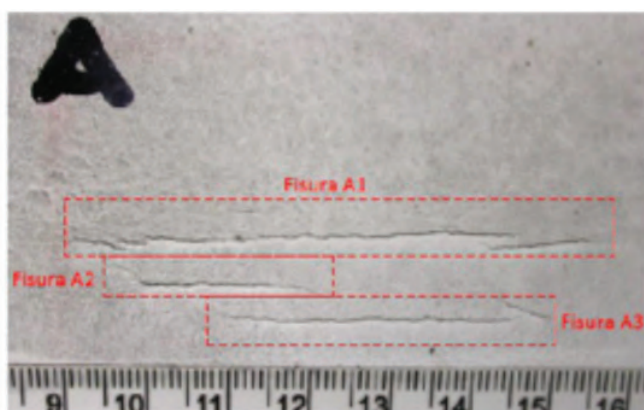
Este resultado llevó a tomar acciones para evaluar posibles anomalías similares en el resto del gasoducto al identificar aquello que representa una amenaza a la integridad. TGS definió llevar adelante una inspección interna con tecnología UTCD a lo largo de un segmento 42 km com-

prendido entre la descarga de la Planta Compresora San Julián y la trampa de recepción de scraper Austral TAD, donde ocurrió la rotura. Dicho proyecto ayudará a mejorar el proceso de inspección y de análisis de datos de la interna con tecnología EMAT.

Inspección con UTCD

En febrero de 2020, a ocho meses de la falla en servicio, TGS logró llevar a cabo una tarea completamente innovadora para líneas de gasoductos, realizó una inspección con tecnología UTCD en bache líquido. En las fotos 12 y 13 se ilustran, a modo de ejemplo, la complejidad de esta tarea. El desarrollo de la corrida, su planificación y su ejecución son descriptos en otro artículo.

Esta corrida fue ejecutada con el fin de conocer los defectos críticos, se empleó una herramienta con alta pro-



Fotos 14 a 17.

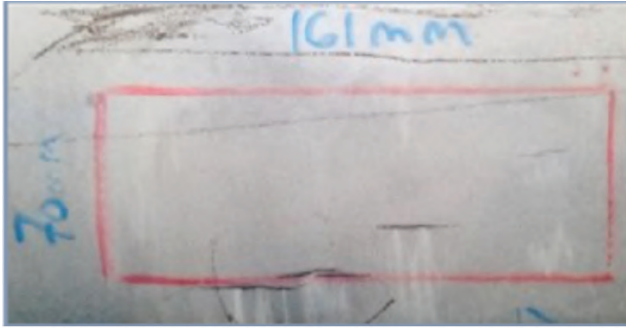


Foto 18. Sitio pk 365,731.

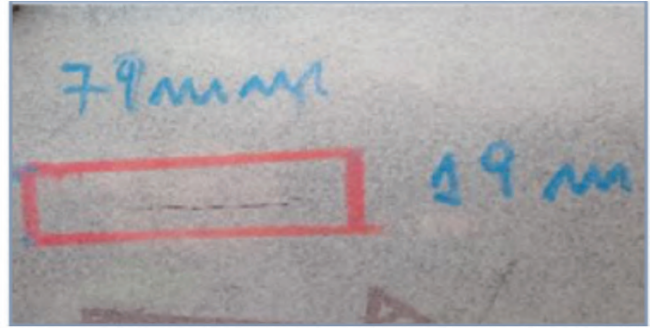


Foto 19. Sitio pk 366,835.

habilidad de detección para este tipo de anomalías en la totalidad del tramo inspeccionado. Además, los resultados serán utilizados para realizar comparaciones entre tecnologías de inspección de grietas (UTCD *versus* EMAT) y validar o identificar limitaciones en el plan de inspección aplicado al sistema de gasoductos para esta amenaza. De ser necesario se deberá realizar el reprocesamiento de la información recolectada en los tramos donde se verificó la mayor densidad de indicaciones Emat.

Reporte preliminar

En mayo de 2020 se recibió el informe preliminar del tramo inspeccionado, En el cual se informaron 4 indicaciones, dos correspondiente a un caño testigo colocado por TGS para verificar y validar la corrida y dos indicaciones nuevas.

En el caso de las indicaciones del caño testigo, las muestras fueron cortadas y se produjo su rotura en frío, estas anomalías habían sido detectadas por EMAT y sacada de servicio en un cambio de cañería. En este caso ambas herramientas identificaron las anomalías, pero EMAT fue más precisa en su dimensionamiento.

Por otro lado, en el caso de las dos indicaciones informadas por UTCD, que no lo habían sido por EMAT previamente, se realizó la verificación en campo, encontrándose en ambos sitios fisuras. UTCD detectó e identificó correctamente estas anomalías.

La tabla resume la información informada por la herramienta UTCD y el resultado de campo en profundidad.

En las fotos 18 y 19 se muestran los resultados de campo de la verificaciones del reporte preliminar.

Comparación UTCD – EMAT

La información de las verificaciones de campo y las muestras de material fueron compartidos con el proveedor de inspección interna, el cual realizó un análisis de las

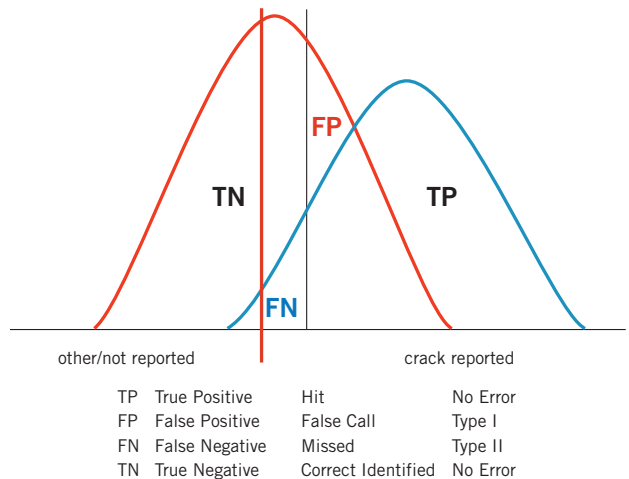


Figura 10. Reanálisis EMAT.

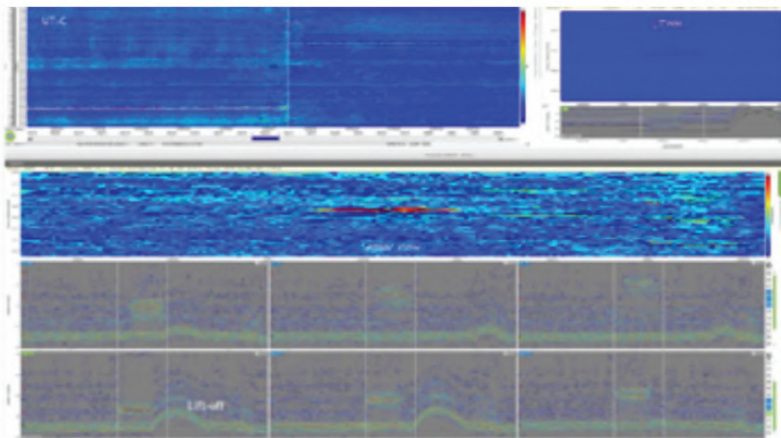


Figura 8. Señal UTCD.

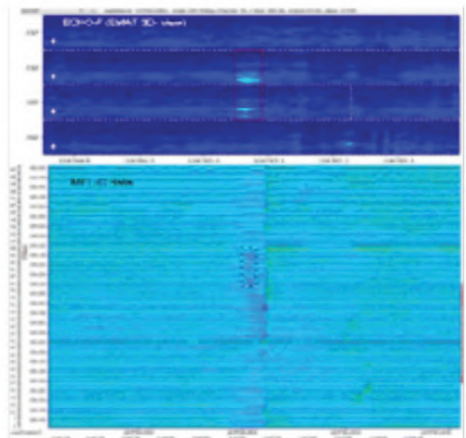


Figura 9. Señal EMAT.

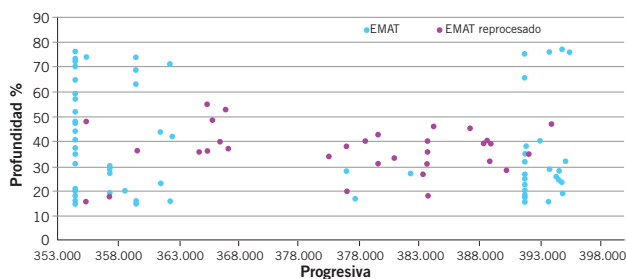


Figura 11. Resultados de EMAT.

UTCD y la comparación de señales, el proveedor del servicio realizó un reanálisis de la corrida EMAT bajando el umbral de detección y reprocesando las señales. Este reproceso, si bien disminuye la probabilidad de Falsos negativos (indicaciones que el proceso de inspección no informa y en campo existen con dimensiones por encima del umbral de detección), aumenta la probabilidad de Falsos Positivos (la herramienta reposta una indicación tipo fisura y no se confirma su existencia en campo). Esto se observa en la figura 10, donde el umbral se pasa de la línea negra a la roja.

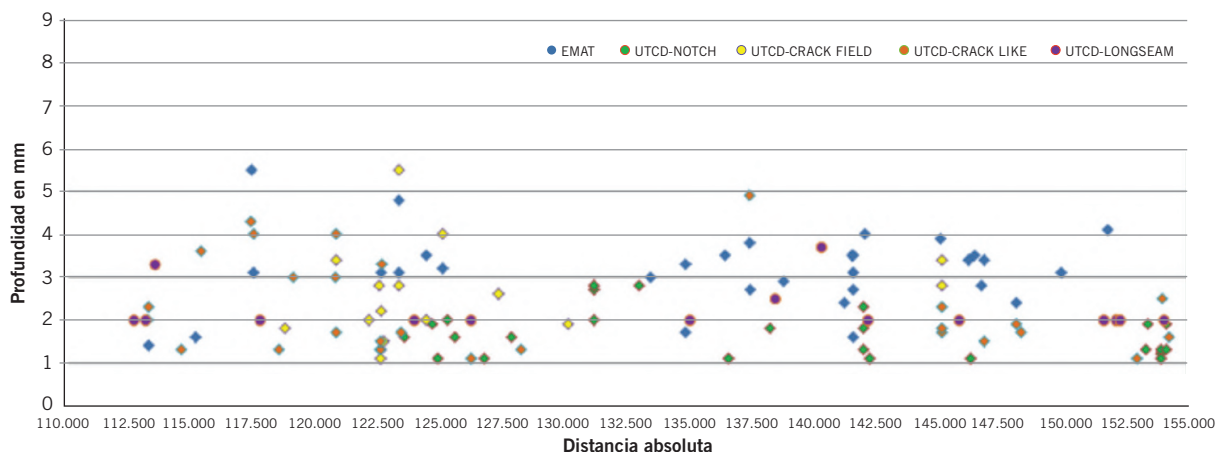


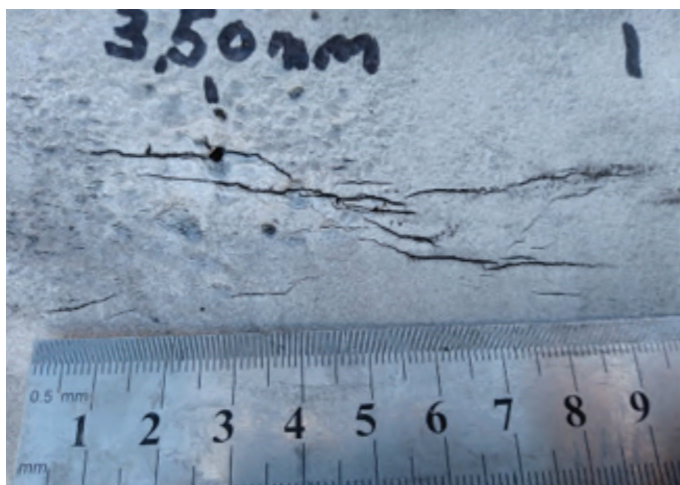
Figura 12. Total de indicaciones descarga de San Julián.

señales EMAT en la zonas donde se encontraron fisuras por reporte preliminar UTCD, se encontró que estas dos indicaciones habían sido registradas por la herramienta EMAT, pero fueron desestimadas en el proceso de análisis por su baja intensidad: a una se la categorizó como pérdida de metal y a la otra como defecto de fabricación. En las siguientes figuras se muestra un detalle de las señales de UTCD y EMAT, respectivamente, para el caso de una de las indicaciones informadas por UTDC.

Con los resultados de campo del reporte preliminar

Informe reprocesado EMAT

Se aplicó el reanálisis de la información y fueron informadas un total de 33 nuevas indicaciones, En la figura 11 se muestra un gráfico de distribución *versus* severidad en profundidad, en el reporte original de 2018, las indicaciones informadas se representaron en celeste y el resultado del reprocesamiento representadas como puntos rojos. Como puede observarse se informaron nuevas indicaciones a lo largo de los 42 km reanalizados.



Fotos 20 y 21. Colonia de SCC reportada por UTCD y EMAT.

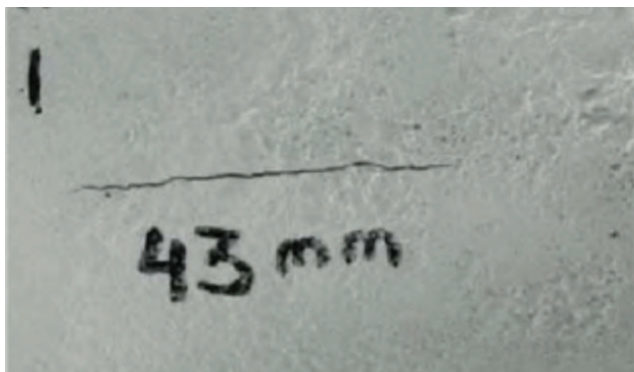


Foto 22. SCC informado por UTCD.



Foto 23. Notch informado por UTCD.

Reporte Final UTCD

En agosto de 2020 se recibió el reporte final UTCD con 86 nuevas indicaciones informadas, de las cuales solo 8 son coincidente con el análisis reprocesado EMAT.

Atento la gran cantidad y dispersión de anomalías, considerando el reporte final UTCD y el reporte reprocesado de EMAT, TGS junto con el proveedor del servicio de inspección interna realizó una selección de estas indicaciones para su verificación en campo. Dicha selección se realizó teniendo en cuenta la clasificación de las indicaciones, si fueron vista por ambas herramientas, las dimensiones informadas (profundidad y longitud), calculo estimado de presión de fallas y cercanía con otras indicaciones, entre otros factores. Se realizó un plan de investigación que contempla la ejecución de 29 pozo que abarcan 44 anomalías informadas.

En la figura 12 se muestra la totalidad de las indicaciones informadas por cada herramienta teniendo en cuenta su clasificación.

Verificación de campo

Entre febrero y abril de 2021 se ejecutaron en campo los 29 pozos de verificación que permitieron evaluar 44 indicaciones informadas, de las cuales 14 corresponden al reporte reprocesado EMAT, 7 al reporte final UTCD + Reprocesado de EMAT y 23, al reporte final UTCD.

Las 7 indicaciones informadas por ambas herramientas como fisuras resultaron Positivos verdaderos en todos los casos, es decir se encontró fisuras de SCC en los 7 casos. Las fotos 20 y 21 muestran algunos hallazgos.

Las 14 indicaciones reportadas solo por el informe reprocesado de EMAT resultaron ser todas falsos positivos, es decir, no se identificaron fisuras de SCC.

De las 23 indicaciones informadas solo por UTCD, se seleccionaron distinto tipos para ajustar su identificación:

9 indicaciones – Notch anomaly

2 indicaciones – Longitudinal weld anomaly 12 indicaciones – Crack like anomaly

En los 23 casos se confirmó que la detección e identificación de estas anomalías fue correcta.

Comentarios y conclusiones

La evaluación y la mitigación de SCC evolucionó a lo largo de los años en función del desarrollo de nuevas tecnologías y del aprendizaje de cada uno de los eventos ocurridos.

A la hora de generar el plan de integridad, se deben tener en cuenta las ventajas y las limitaciones de cada uno de los métodos utilizados para evaluar y mitigar la corrosión bajo tensión.

Se han realizado comparaciones de resultados entre SCCDA e inspección interna con tecnología EMAT, y se encontró que mediante Evaluación Directa se logra priorizar tramos susceptible, aunque es difícil identificar los sitios críticos en excavaciones.

Se han realizado comparaciones entre lo informado por tecnología EMAT y los resultados de las verificaciones de campo, y se encontró que existen anomalías que no son identificadas correctamente. No obstante, se ha logrado verificar y reparar un gran número de fisuras con esta tecnología.

Se han comparado las dimensiones informadas por la herramienta *versus* las mediciones de campo, se han evaluado también las limitaciones del método de dimensionamiento de fisuras UTPA.

A raíz del análisis de falla del último evento, donde se identificó que la rotura fue causada por una indicación que no fue informada por EMAT, se decidió hacer una corrida de inspección interna con UTCD.

Se realizó una comparación de dos tecnologías de inspección interna para detección de defectos planos, y se encontró que existen indicaciones que no fueron informadas por EMAT en el tramo.

A raíz de los resultados de campo se realizó un reanálisis de los datos de EMAT que, si bien aumenta la cantidad de falsos positivos, disminuye la probabilidad de negativos falsos.

En función de los resultados obtenidos en campo TGS se continuará trabajando en conjunto con el proveedor del servicio de inspección interna para mejorar el análisis de las señales de EMAT.