

ANALISIS DE INTEGRIDAD EN COSTURAS CIRCUNFERENCIALES EN CAÑERIAS ANTIGUAS

P. Hryciuk¹, J. Minellono², V. Domínguez³

¹TGN S.A. Jefe de Integridad, pedro.hryciuk@tgn.com.ar

²TGN S.A. Especialista de Integridad, jose.minellono@tgn.com.ar

³Tergo Ingenieria Directora de Integridad, veronica.dominguez@tergo.com.ar

Sinopsis

Durante las tareas de renovación del revestimiento de un gasoducto de transmisión de 24" se produjo una fuga en una de sus costuras circunferenciales. El análisis de falla determinó que la fuga fue originada por un defecto preexistente en la costura, que el mismo no había sufrido evolución en el tiempo y que la situación particular de esfuerzos a los que estuvo sometido el ducto durante la ejecución de la obra, terminó por generar la falla.

A fines de reducir el riesgo de ocurrencia de fallas similares se analizaron en forma individual 26.988 costuras, correspondientes a una longitud de 191 kilómetros de ducto. El análisis comprendió la evaluación de las corridas de inspección interna y las placas radiográficas de las costuras circunferenciales disponibles a partir de la obra de cambio de revestimiento. De esta forma, no solo se analizaron los datos en forma individual, sino que también se realizó una comparación de las distintas fuentes de información a fin de buscar una correlación.

Se clasificaron las indicaciones detectadas en el análisis, en base a su comparación con el defecto que originó la fuga y se priorizaron las indicaciones a intervenir con la finalidad de determinar la presencia de defectos similares a los de la falla. Del total del proceso se han intervenido en campo 399 indicaciones de las cuales se han detectado fisuras en 79 de ellas, y de acuerdo a los criterios de reparación se instalaron 27 refuerzos de unión metálica como reparación definitiva.

Introducción

TGN opera y mantiene un Sistema de gasoductos de más de 7.000 kilómetros de longitud, transporta gas natural a través de Argentina con puntos de abastecimiento en Chile, Brasil y Uruguay (Figura 1). Este sistema atraviesa diferentes ambientes, tales como desiertos, yungas, cordillera, pampas y gran variedad de ríos.

El gasoducto de mayor antigüedad del Sistema es el Norte Troncal con una longitud de 1750 Km, con cabecera en Campo Duran provincia de Salta y finalizando en General Pacheco provincia de Buenos Aires. El gasoducto fue construido en el año 1960, con un diámetro de 24", material API 5L grado X52, con revestimiento exterior del tipo asfáltico aplicado en campo. La MAPO varía a lo largo del Sistema desde 75,5 kg/cm² a 59,8 kg/cm² dependiendo del espesor de los diferentes segmentos de cañería.

En el año 2011 en un Tramo perteneciente al Gasoducto Norte Troncal sufrió una rotura en una costura circunferencial. Dicho evento ocurrió mientras se estaban realizando tareas de tapada de cañería y compactación del terreno en una obra de cambio de revestimiento.

Se realizó un análisis de falla para determinar: las causas de la rotura y las dimensiones críticas de una anomalía para generar una rotura. En análisis de falla arrojó que se debió a defectos preexistentes en costura circunferencial del tipo falta de fusión y fisuras desde el momento de su construcción, en tanto las dimensiones críticas de una anomalía para generar una rotura se estimaron en 191 mm de longitud y 2,85 mm de profundidad para una cañería de 24" diámetro, 7,14 mm espesor, material API 5L X52 y Presión de Operación 61,7 Kg/cm².

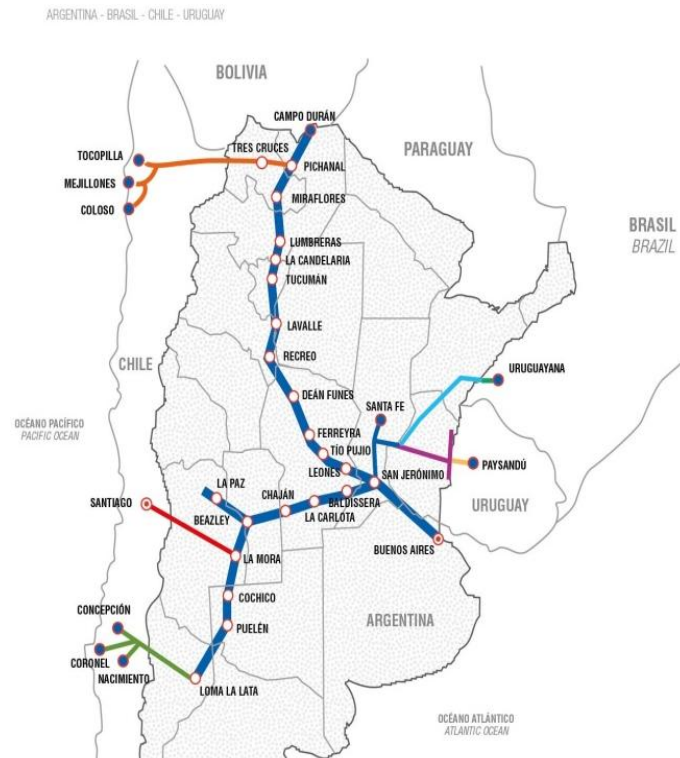


Figura 1 - Sistema de gasoductos de gas natural operado y mantenido por TGN

Con el objetivo de reducir el riesgo de ocurrencia de fallas similares, se llevó a cabo un estudio de integridad el cual consistió de analizar la totalidad de las costuras circunferenciales del Tramo fallado comparando la señal de visualización suministrada por la corrida de inspección interna (ILI) y las placas radiográficas de las costuras circunferenciales disponibles a partir de la obra de cambio de revestimiento, y así poder determinar cuáles de ellas presentan similares características a la costura fallada.

Finalmente se realizaron 54 pozos exploratorios con la finalidad de ajustar el estudio realizado mediante los resultados de ensayos de Radiografía Industrial y Ultrasonido, como así también consolidar el manejo de la integridad de Tramo.

Nomenclatura

ILI: In line Inspection
 MAPO: Máxima Presión de Operación Admisible
 Sr Yielding or collapsed parameter
 Kr Fracture parameter
 END : Ensayos No Destructivos
 RT: Radiografía Industrial
 UT: Ultrasonido (angular)

Antecedentes - Análisis de falla

Como ya se mencionó, la falla se generó en una obra de cambio de revestimiento durante la fase de tapada de la cañería y compactación del terreno.

Los trabajos de cambio de revestimiento consisten básicamente en excavar pozos de 40 metros de longitud dejando tapones intermedios de 25 metros (Figura 2), luego se excava y descalza la cañería, se extrae el revestimiento existente para dar lugar a la fase de arenado. Posteriormente se efectúa la aplicación de pintura epoxi.

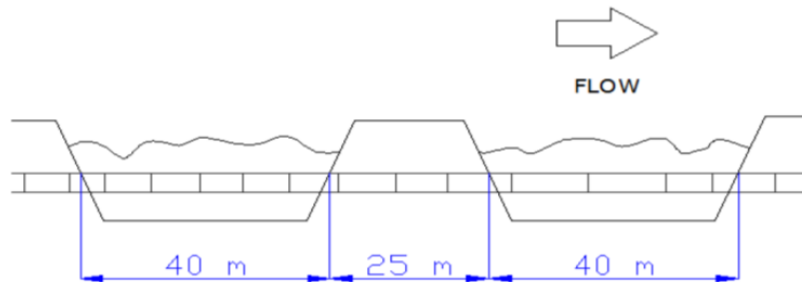


Figura 2 - Configuración de excavaciones en obra de cambio de revestimiento

La tarea de tapada de la cañería consta de depositar tierra a ambos laterales de la cañería, logrando de esta forma que la tierra se deslice por debajo de la misma, hasta superar en nivel del caño. Finalizado este proceso, la compactación se lleva a cabo por medio del carreteo sucesivo de una pala cargadora de gran tamaño.

El Análisis de Falla se enfocó en las caracterizaciones macro y microscópicas de la fractura, fueron realizados ensayos mecánicos y químicos en el material base y cordón de soldadura. Las propiedades arrojadas por los ensayos estaban dentro de los parámetros normales según API 5L [1] para estos tipos de materiales, no detectándose ninguna anomalía.

El análisis fractográfico de la costura fallada permitió identificar la presencia de una fisura en el material de la soldadura circunferencial generada al momento de la construcción del Tramo (1960). La misma se ubica sobre la superficie interior, con una profundidad máxima de 5 mm y un ancho de 180 mm (Figura 3).

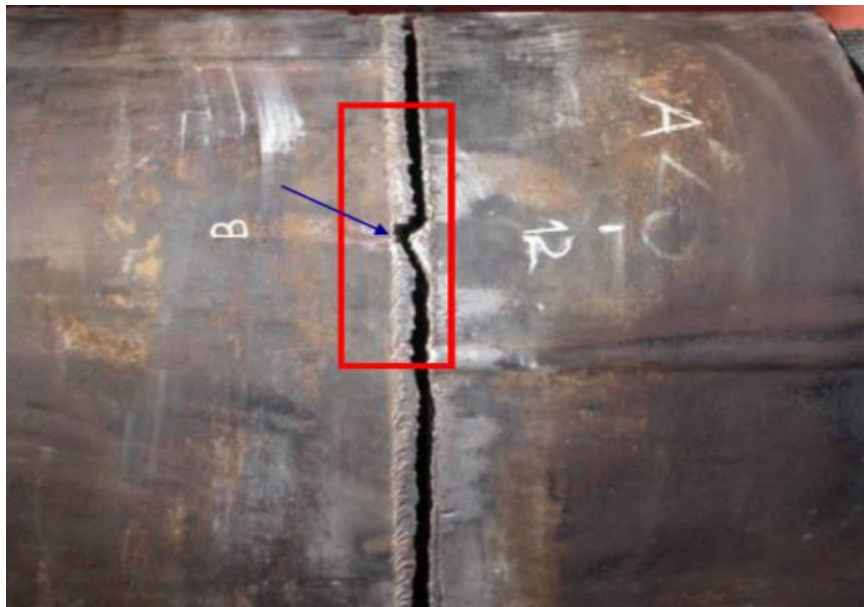


Figura 3 – Costura Circunferencial fallada

En base a las dimensiones de la fisura, se realizó una estimación de la Presión de Falla en base a la iteración de datos en un Diagrama FAD.

En la Figura 4 se identifica con “X” el punto (Kr;Sr) el cual conduce a la Falla del tipo colapso plástico.

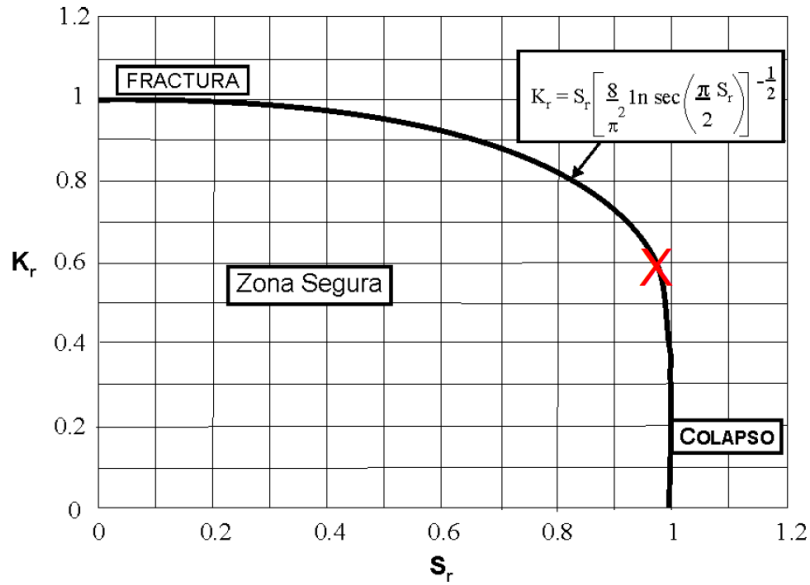


Figura 4 – Diagrama FAD en colapso plástico

La presión de falla calculada es de 317 kg/cm², 5 veces superior a la MAPO del Tramo (61,7 kg/cm²), por lo que se concluye que para la ocurrencia de la falla debieron producirse tensiones en dirección axial adicionales.

Del estudio de Análisis de Falla se pudo concluir que:

- a- La fractura fue originada por un defecto preexistente en la costura.
- b- Este defecto fue generado por un procedimiento de soldadura inapropiado.
- c- El defecto no sufrió propagación en servicio.
- d- No se identificaron anomalías en las propiedades químicas y mecánicas de los materiales involucrados.
- e- Las tensiones alcanzadas en el empotramiento de la excavación al momento de tapar el ducto, generaron el nivel de esfuerzo necesario para romper cordón remanente.

Debido a la necesidad de TGN de continuar con la obra de cambio de revestimiento de la cañería, a modo cualitativo, estudió la distribución de tensiones presentes en una excavación con las siguientes características:

- separación entre apoyos de 40 metros,
- bloque de tierra sobre lomo del caño de 40 metros de largo, 0,609 metros de ancho y 1 metro de alto,
- peso propio de la cañería y
- sustentación “0” por parte de la tierra que se introduce por debajo del ducto

La Figura 5 muestra que si se reduce la distancia entre apoyos a la mitad el nivel máximo de tensiones generado se reduce al 25% de los niveles alcanzados en la viga soportada cada 40 metros. En caso de que la distancia sea cada 10 metros este nivel de tensiones se reduce al 6,25%.

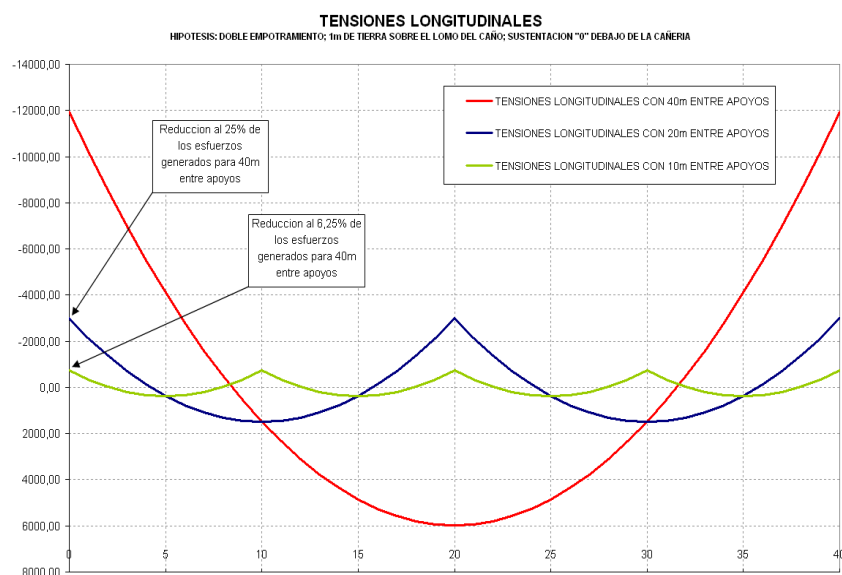


Figura 5 – tensiones Longitudinales en función a la distancia entre apoyos

Por lo tanto, TGN con el objetivo de reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas en costura circunferencial y conforme a lo indicado en el Análisis de Falla inciso e), resolvió como solución definitiva ajustar la longitud de excavación para obras de cambio de revestimiento en 20 metros.

A continuación se detallarán las tareas adicionales desarrolladas por TGN para el manejo de la integridad en costuras circunferenciales basadas en el cruzamiento de información conformado por: Señales ILI MFL (alta resolución) y Registros de campo (Ensayos no Destructivos Radiografía Industrial y Ultrasonido Angular).

Análisis y consolidación de la información.

A partir de la rotura sufrida en marzo de 2011, TGN llevo a cabo las siguientes acciones para dar continuidad a la obra de cambio de revestimiento y asegurar la integridad del Tramo afectado:

- Reducción de la longitud de pozos a 20 metros (40 metros originalmente) y apoyos intermedios para reducir las tensiones en los empotramientos.
- Ensayos de Radiografía Industrial en 345 costuras circunferenciales y Ultrasonido angular en costuras fisuradas.
- Adelantó a noviembre de 2011 corrida de inspección interna MFL (planificada a noviembre de 2012). Se contrató un informe adicional en costuras circunferenciales, para detección de posibles anomalías.

En 2012, se unificó y maximizó el aprovechamiento de la información existente en Base de Datos TGN, Corridas de Inspección Interna, Campaña de END en costuras circunferenciales y Análisis de Falla, conforme a los siguientes 5 puntos de ordenamiento de información:

1. Confección de la base de datos de placas.

Fueron digitalizadas y rotuladas las 345 las placas radiográficas realizadas en la obra de Recoating.

2. Análisis de corridas inspección interna realizadas 2007 (previa a la rotura) y 2011 en búsqueda de indicaciones.

La Tabla 1 indica la cantidad de anomalías detectadas en función de su ubicación, por lo tanto: reportadas como “*anomalía zona...*” prefijo que indica que la misma está en un entorno de +/-50mm del eje del cordón, y reportadas como “*anomalía en...*” prefijo que indica que el defecto esta sobre el eje mismo del cordón de soldadura.

Tipo de Anomalía	Inspección ILI 2007	Inspección ILI 2011
"anomaly in ..."	10	125
"anomaly in area ..."	--	2311
Total		

Tabla 1 – Anomalías en función a su ubicación

3. Comparación entre las 2 fuentes de información (ILI y RT) a fines de buscar una correlación.

De la corrida de inspección interna MFL (alta resolución) 2007, se obtuvo la señal cruda de la costura circunferencial fallada (entre dos tubos de 24” de diámetro y 7,14 mm espesor). La falla tiene una longitud aproximada de 180 mm de ancho. Ver Figura 6.

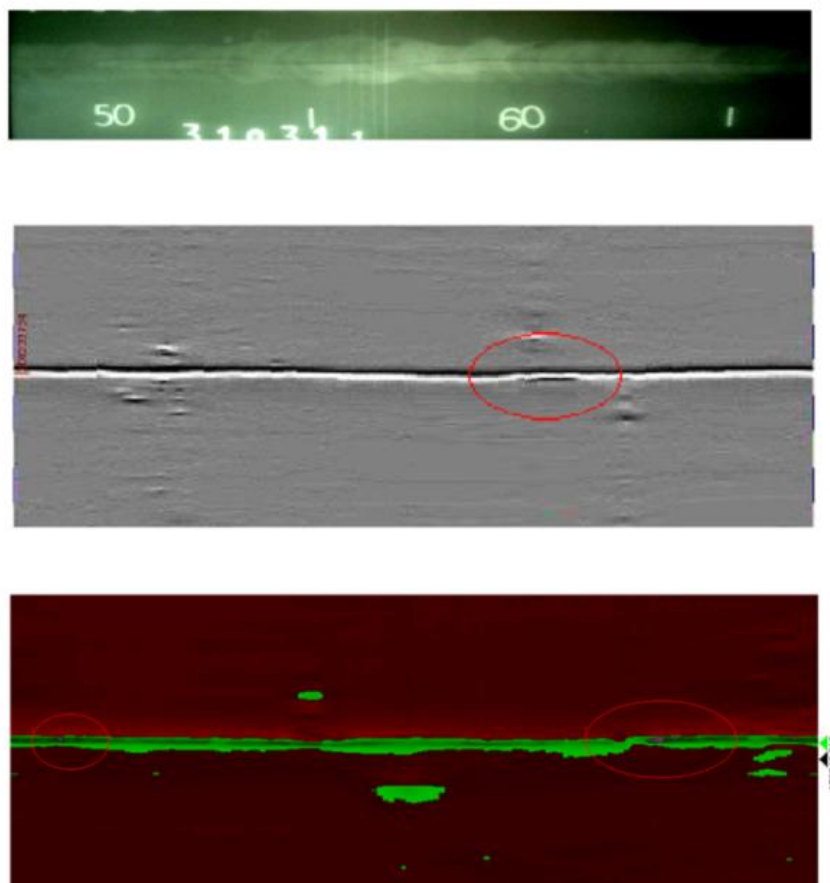


Figura 6 – Señal de costura circunferencial que fallo en servicio 2011

Mediante la utilización del Software de visualización de señales crudas ILI, se analizaron en forma individual un total de 26.988 costuras, correspondientes a una longitud de 191,9 kilómetros.

El análisis de las costuras consistió en comparar la semejanza, conforme a criterios visuales y de acuerdo a la intensidad de surco, de cada una de las señales con la señal patrón (Figura 6).

Los criterios de comparación fueron:

- - Igual
- - Similar
- - Distinto.

Las anomalías clasificadas como "diferentes" también fueron tomadas en cuenta porque implicaban indicaciones de corrosión preferencial en las costuras que no habían sido reportadas por el proveedor ILI. Aunque esta clase de anomalía puede no ser relevante para el programa, era importante que TGN tuviera un registro de ellos para una evaluación adicional.

La información se resume en Tabla 2.

Clasificación	Cantidad	Porcentaje
Igual	61	16,40%
Similar	98	26,43%
Diferente	213	57,26%
Total	372	

Tabla 2 – Clasificación por semejanza

4. Consolidación de Base de Datos de costuras circunferenciales conforme a la información analizada en los pasos anteriores.
5. Análisis y selección de anomalías en costura circunferencial para verificar en campo.

De acuerdo con las 372 anomalías identificadas mediante análisis manual (Tabla 2) y para establecer un plan de evaluación directa, se definieron cualitativamente cuatro niveles de prioridad, teniendo en cuenta la intensidad de la señal del ILI y el ancho de la anomalía (superior a 180 mm considerando la dimensión de la costura fallida).

La clasificación de prioridad se estableció de la siguiente manera:

- **Prioridad 0:** anomalías que a criterio del analista pueden convertirse en anomalías de criticidad alta y que deberían ser verificados de forma inmediata. Morfología similar al defecto de la costura que falló, y presentan un patrón recto en el centro de la costura circunferencial con intensidad de señal alta, lo que puede asociarse a posibles faltas de fusión, fisuras, faltas de penetración. Intensidad de la señal alta.
- **Prioridad 1:** Son anomalías que a criterio del analista pueden convertirse en anomalías de criticidad alta y que deberían ser verificados luego de confirmar las anomalías la criticidad de los Prioridad 0. Intensidad de la señal es moderada – alta.
- **Prioridad 2:** Son anomalías que a criterio del analista deben ser reclasificadas una vez que se hayan corroborado las prioridades anteriores (no se ha tenido en cuenta el ancho de las anomalías). Intensidad de la señal moderada.
- **Prioridad 3:** Son anomalías que a criterio del analista deben ser reclasificadas una vez que se hayan corroborado las prioridades anteriores (no se ha tenido en cuenta el ancho de las anomalías). Intensidad de la señal baja.

La información se resume en Tabla 3.

Prioridad	Cantidad	Porcentaje
0	13	3,49%
1	79	21,24%
2	133	35,75%
3	147	39,51%
Total	372	

Tabla 3 – Priorización

Acciones complementarias

Criterio de aceptación y reparación de costuras circunferenciales.

Con la finalidad de fijar un límite de aceptabilidad para las fisuras relevadas en campo, se analizaron los lineamientos de las normas API RP 579 [2] y CAN/CSA Z662[3].

El criterio de aceptabilidad adoptado se basó en las normas anteriormente citadas, concluyendo que toda fisura con profundidad superior a 2,85 mm ó con ancho superior a 191 μ m deberá ser reparada mediante un Refuerzo de Unión Recta (Figura 7).



Figura 7 - Refuerzo de Unión Recta Tipo B

Resultados de Verificaciones de campo

En total se llevaron a cabo 2 campañas de verificaciones de campo:

La primer campaña fue realizada en 2011, inmediatamente después de la falla, con el objetivo de dar continuidad a la obra de cambio de revestimiento y minimizar la probabilidad de ocurrencia de falla. Un total de 345 costuras fueron verificadas previo a cualquier trabajo de recobertura. Las verificaciones consistieron en:

- Radiografía Industrial al 100% de la costura circunferencial
- Ultrasonido Angular para determinar la profundidad de las fisuras detectadas por RT.

En la Tabla 4 se detalla los resultados obtenidos de las verificaciones realizadas:

Verificaciones en Costuras Circunferenciales - 2011			
345 Costuras Circunferenciales	64 con fisuras	4	profundidad $\geq 2,85$ mm
		17	ancho ≥ 180 mm
		42	con menor dimension a las previamente nombradas
		47	aprobadas
	234 rechazadas sin fisuras		

Tabla 4 – Verificaciones en Costura Circunferencial - 2011

De las 64 costuras circunferenciales con fisuras, se repararon 21 de ellas por medido de la colocación de Refuerzos de Unión Recta Tipo B, de acuerdo a los criterios de reparación definidos previamente.

La segunda campaña se llevó a cabo entre los años 2012 y 2015, basadas en el cruce de información ya descrito en el punto “**Análisis y consolidación de la información**” y Tabla 3.

Por lo tanto, de las 372 costuras circunferenciales propuestas, el departamento de integridad TGN seleccionó las 54 costuras más severas, a continuación en la

Tabla 5 se detallan los resultados obtenidos:

Verificaciones en Costura Circunferencial - 2012 a 2015			
54 Costuras Circunferenciales	10 verificaciones en 2012	6 con fisuras	2 profundidad $\geq 2,85$ mm.
			0 ancho ≥ 180 mm.
			4 con menor dimension a las previamente nombradas .
			4 aprobado
	44 verificaciones en 2015	9 con fisuras	0 profundidad $\geq 2,85$ mm.
			4 ancho ≥ 180 mm.
			4 con menor dimension a las previamente nombradas .
			16 aprobado
		19 rechazado sin fisuras	

Tabla 5 - Verificaciones en Costura Circunferencial 2012 a 2015

Se realizaron en total 54 verificaciones, de las cuales 15 resultaron con fisuras y 6 de ellas fueron reparadas mediante la instalación de Refuerzos de Unión Recta Tipo B, de acuerdo a los criterios de reparación definidos previamente.

Es importante remarcar que del análisis cualitativo de señales ILI y la priorización de anomalías descrito en “**Análisis y consolidación de la información**”, se logró reducir el número de verificaciones a solo 54 de un total de 372, resultando una reducción de excavaciones de un 85%.

La Figura 8 muestra una comparación entre las dos campañas de verificaciones de costuras circunferenciales.

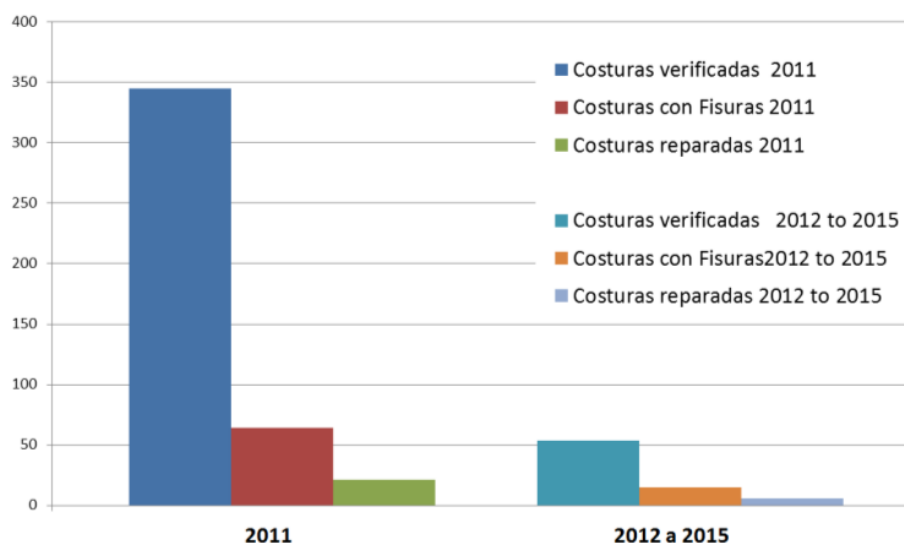


Figura 8 Comparativa entre campañas de verificación de costuras entre 2011 y 2012 a 2015.

Conclusión

El proceso del manejo de la integridad en costuras circunferenciales en cañerías antiguas desarrollado por TGN es considerado satisfactorio ya que permitió la detección y reparación de un total de 27 costuras circunferenciales.

La integración de datos y desarrollo de la base de datos fue sin duda uno de los temas más importantes en el proceso de gestión de la integridad.

El punto de partida fue identificar la causa que produjo la falla y las acciones correctivas inmediatas tales como la reducción de la tensión axial en la tubería durante la excavación y ensayos no destructivos en costuras circunferenciales con anomalías detectadas por el ILI previo a la apertura de zanja en obras de cambio de revestimiento.

Finalmente del análisis cualitativo realizado entre señales ILI y registros RT, resultó que el número total de costuras circunferenciales a ensayar se redujo en un 84%, logrando excelentes resultados, dado que de 54 costuras evaluadas entre 2012 y 2015, 15 de ellas contenían fisuras las cuales 6 fueron reparadas mediante la instalación de Refuerzos de Unión Recta Tipo B.

Referencias

- [1] ANSI/API SPECIFICATION 5L, Specification for Line Pipe, American Petroleum Institute, October 2007.
- [2] API 579-1/ASME FFS-1, Fitness-For-Service, Second Edition, 2007, American Petroleum Institute.
- [3] Canadian Standards Association, CSA-Z662, "Oil and Gas Pipeline Systems," 2003

Breve CV de los autores

Pedro Martín Hryciuk

Ingeniero Mecánico, graduado en la Universidad Tecnológica Nacional. Posgrado de Especialización en Gas del IGPUBA. MBA Universidad Austral. Desde 1999 a 2011

Especialista del Departamento de Integridad de TGN. Desde 2011 a la fecha se desempeña como Jefe del Departamento de Integridad y Responsable de Integridad de TGN.

José Armando Minellono

Ingeniero Electromecánico, graduado en la Universidad Nacional de Mar del Plata. Desde 2006 a 2011 Evaluador de defectos y Ensayos no Destructivos en el área de Ductos en GIE S.A.. Desde 2013 a la actualidad se desempeña como Especialista de Integridad a cargo del análisis de defectos y programación de corridas ILI.

Verónica Domínguez

Ingeniera en Materiales, graduada de la Universidad Nacional de Mar del Plata, con especialización en Confiabilidad Industrial de la Universidad Austral. Trabajó 14 años en YPF desempeñándose en el área de Inspección e Integridad, como Jefe de Inspección de Refinería Plaza Huincul y luego como Jefe de Integridad de Terminales y Ductos de la Dirección Logística. Desde el año 2012 se unió como socia a Tergo Ingeniería, desarrollando el servicio de Integridad en el rubro de petróleo y gas, trabajando principalmente en programas y técnicas de inspección de equipos y ductos, control de corrosión, análisis de fallas e inspección basada en riesgo. Es miembro NACE desde el año 2002 e inspector Certificado API 570 y API 653.