

PRUEBAS HIDRÁULICAS E INCREMENTOS DE PRESIÓN COMO MÉTODOS DE VALIDACIÓN DE MAPO

Fernando Horacio Vazquez. Transportadora de Gas del Norte SA,
fernando.vazquez@tgn.com.ar

SINOPSIS

Las exigencias de la industria en cuanto a transporte de gas, requieren para sus sistemas de cañerías, una operación confiable y segura a la Máxima Presión Admisible de Operación (MAPO). Es por ello, que se precisa que los gasoductos troncales sean aptos para el servicio a sus MAPO, las cuales deben estar vigentes y ser validadas de acuerdo a las normas de aplicación internacionales y nacionales.

Las pruebas hidráulicas son una práctica ampliamente utilizada en la industria para mitigar diversas amenazas a la integridad estructural de las cañerías y para definir las MAPO de las mismas.

Otro de los métodos de revalidación de MAPO de un tramo de cañería es la ejecución de incrementos controlados de presión basados en la Parte K de NAG 100.

El objetivo de este trabajo es describir el programa de pruebas hidráulicas e incrementos de presión que lleva a cabo TGN y la importancia de estas prácticas en el gerenciamiento de integridad de cañerías vintage. A su vez, se presentarán dos ejemplos de aplicación en los cuales estas obras fueron claves tanto para los aspectos de integridad como para el aumento de los caudales transportados por la compañía.

INTRODUCCIÓN

TGN opera y mantiene 6.806 km de cañerías propias y 6171km pertenecientes a terceros, abarcando dos países como lo son Argentina y Chile. En el primer grupo, se hallan las cañerías vintage de 1960 pertenecientes al Gasoducto Norte Troncal, sobre las cuales se llevaron a cabo la mayoría de las obras descriptas en la sinopsis.

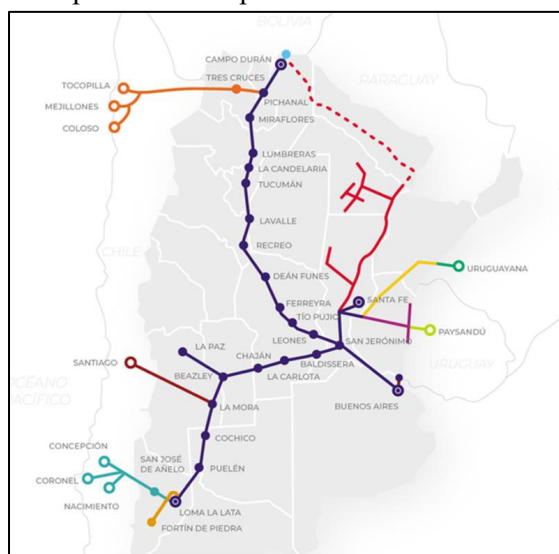


Figura 1. Diagrama de gasoductos de TGN.

Se realizaron alrededor de 560 kilómetros de pruebas hidráulicas en cañerías vintage del Gasoducto Norte Troncal, representando 32% del mismo. A su vez, se llevaron a cabo once incrementos controlados de presión sobre este sistema.

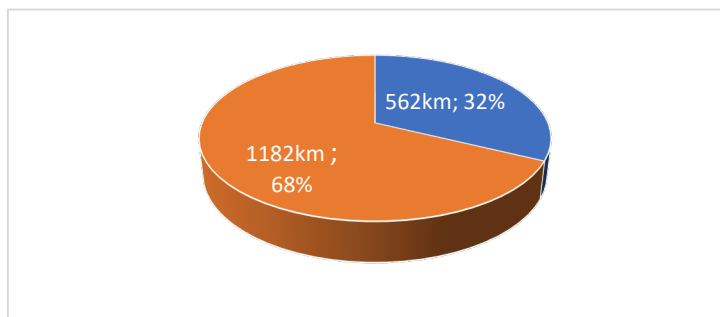


Figura 2. Gráfica que demuestra los km de gasoducto troncal probados hidráulicamente.

DESARROLLO

En esta sección se detallarán los tipos de pruebas hidráulicas, y los racionales de su aplicación. A su vez, se detallarán los requerimientos y análisis necesarios para llevar a cabo los incrementos controlados de presión, como así también las tareas ejecutadas en el transcurso de estos operativos.

Tipos de prueba hidráulica y sus objetivos

El plan de pruebas hidráulicas de TGN se agrupa según los siguientes tipos, con finalidades bien definidas:

- Pruebas hidráulicas para generación de registros: el Sistema Norte Troncal (1960) fue probado de acuerdo a su período de construcción, con un factor de prueba de 1,1 veces su presión de diseño. El Departamento de Integridad de TGN realiza pruebas hidráulicas a un mínimo de 1,25 veces su MAPO, tal lo establecido en las normas de aplicación, para aquellas cañerías que no cuenten con registros de respaldo y aumentando a su vez, su factor de seguridad.
 - Niveles de tensión: 90% al 100% de TFME (tensión de fluencia mínima especificada). Esto equivale a niveles de presión de 1,25 a 1,39 veces la MAPO.
- Pruebas hidráulicas por paralelismo de ruta y áreas de alta consecuencia: siguiendo un estudio llevado a cabo en aquellas locaciones donde la cañería se ubicaba a noventa metros de la ruta, se llevaron a cabo pruebas hidráulicas para incrementar el factor de seguridad en esas áreas. Además, el sector de Análisis de Riesgos del Departamento de Integridad define las áreas sensibles o de alta consecuencia, en las cuales se busca realizar estas pruebas para mitigar los riesgos de la cañería a la exposición de terceros.
 - Niveles de tensión: 90% al 100% de TFME (tensión de fluencia mínima especificada). Esto equivale a niveles de presión de 1,25 a 1,39 veces la MAPO.

- Pruebas hidráulicas por cambio de clase de trazado: estas pruebas tienen por objeto revalidar las nuevas clases de trazado de las cañerías involucradas a cambios de cañería con tales fines.
 - Niveles de tensión: 90% al 100% de TFME (tensión de fluencia mínima especificada). Esto equivale a niveles de presión de 1,25 a 1,39 veces la MAPO para clases de trazados 1 y 2, y 1,5 veces la MAPO para clase de trazado 3.
- Pruebas hidráulicas para mitigación de SCC (Stress corrosion cracking): este tipo de pruebas tipo SPIKE (“pruebas de pico”) reducen el riesgo de roturas por grietas producidas por SCC, plastificando los concentradores de tensión en las puntas de las fisuras.
 - Niveles de tensión: entre 100% y 110% de TFME en una duración de quince minutos.

Tipo de Prueba	Km Probados
SCC- Manejo de Fisuras	439,3
Cambio de clase de trazado	22,1
Áreas de alta consecuencia / Paralelismo de rutas	100,6

Figura 3. Tabla de km probados de Gasoducto Troncal por tipo de prueba.

Caso de estudio. Pruebas Hidráulicas por SCC en el Tramo 13 del Gasoducto Norte Troncal

A raíz de una rotura de cañería en la localidad de San Pedro (Provincia de Buenos Aires) en el gasoducto Troncal Tramo 13 N1T (22”), que sufrió el colapso de una colonia de fisuras, el Departamento de Integridad definió llevar a cabo un programa de pruebas hidráulicas del tipo “spike” en la totalidad del tramo. Para ello se definieron seis secciones de prueba delimitadas por las válvulas de bloqueo de línea del tramo, de acuerdo al siguiente esquema:

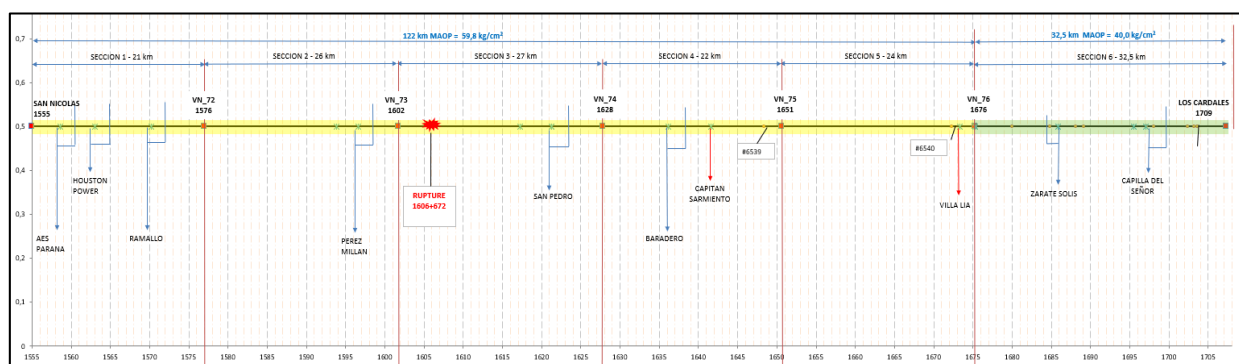


Figura 4. Esquema de secciones de pruebas entre válvulas.

De acuerdo a la Figura 4, cada segmento de prueba cuenta con derivaciones que tuvieron que ser aisladas antes de efectuar las presurizaciones correspondientes. En algunos casos, estas conexiones fueron adecuadas como modificaciones de oportunidad, de manera de adaptarlas a los estándares actuales de la compañía y otorgarle una mayor confiabilidad y flexibilidad a la operación del sistema.

En cada obra, se llevaron a cabo evaluaciones de defectos que pudieran llegar a colapsar a la presión de prueba objetivo, los cuales fueron reportadas por la corrida de inspección interna. Las verificaciones en campo permitieron obtener características dimensionales de cada anomalía, como ser longitudes y profundidades, que permitieron llevar a cabo los cálculos de aptitud para el servicio y así entender si las anomalías seleccionadas eran potenciales sitios de rotura durante la presurización. Estos cálculos permitieron remover anomalías susceptibles a la rotura a las presiones objetivo, de manera de optimizar los tiempos de obra.

En el marco de estos trabajos previos a cada presurización, se efectuaron cortes de oportunidad para adecuar los segmentos de prueba y dejarlos en óptimas condiciones. Ejemplos de estas intervenciones fueron la remoción de parches, medias cañas en tándem, conexiones fuera de servicio, y cualquier tipo de eventos que se consideraban innecesarios para la operación segura de la cañería.

Debe mencionarse que el tramo de cañería cuenta con dos marcas de fabricantes (A.O.Smith-U.S. Steel), de 22” de diámetro exterior, materiales API 5L X52 y espesor 6,35mm. El año de construcción este tramo de cañería fue 1960.

Estos segmentos de cañería, alcanzaron niveles de tensión entre 100% y 110% de la TFME, siguiendo los fundamentos de las pruebas tipo spike. Esto consiste en mantener altas presiones durante un período de quince minutos, seguido de ocho horas de prueba de resistencia (90% de la presión objetivo).

Durante el transcurso de estas presurizaciones, se dieron varias roturas con causas de fallas diferentes. Las mismas fueron reparadas mediante corte de cañería para poder repetir los ensayos y validar las pruebas. A continuación, se detalla el número y tipo de fallas.

Tipo de anomalía	
Fugas	1
Defectos en costura longitudinal	2
Colonias de fisuras	8
Fisura circunferencial en metal base	1

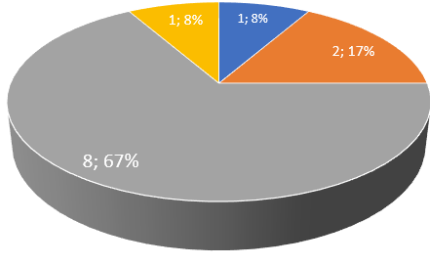


Figura 5. Tabla de distribución de fallas por tipo y gráfica adjunta.

Para cada rotura, se llevó a cabo una evaluación preliminar in situ con especialistas del sector de fractomecánica del Departamento de Integridad, para luego extraer las muestras de cañería y enviarlas a laboratorio para llevar a cabo análisis de fallas.

Estas prácticas permitieron al Departamento de Integridad aumentar el conocimiento de su sistema de cañerías y obtener datos trazables de los mismos, tales como sus propiedades mecánicas, parámetros fractomecánicos, información valiosa para alimentar la base de datos de cañerías y de gran utilidad para ganar precisión en los cálculos de aptitud para el servicio para los defectos de cada sección.

Se concluye que este tipo de pruebas hidráulicas otorgaron un enorme crecimiento al programa de manejo de fisuras mediante la profundización del conocimiento de esta amenaza. A su vez, fue

posible devolverle la MAPO al Tramo 13 que sufrió restricciones preventivas luego de la rotura en servicio citada.

Proceso de validación de MAPO mediante incrementos controlados de presión

Durante el año 2014, ocurrió una rotura de cañería en el Gasoducto Norte Troncal. Desde ese momento se operaron los 1600 km de este sistema con un perfil de restricciones operativas que impactaron sobre once tramos del mismo.

Luego de un período de operación restringida, el Departamento de Integridad propuso recuperar la operación original del sistema para recuperar la MAPO de los tramos impactados por el perfil de restricciones. A su vez, la necesidad de optimizar la capacidad de transporte, mediante la reversión de flujo del gasoducto Norte Troncal, estos incrementos controlados de presión proveen un aumento significativo de la capacidad de transporte de la compañía.

Para la concreción de estos operativos, se realizaron análisis de integridad profundos de cada tramo de cañería, los cuales incluyeron los siguientes temas interdisciplinarios, divididos de acuerdo a los diferentes tipos de amenaza:

Amenazas dependientes del tiempo:

- *Corrosión externa*
- *Corrosión interna*
- *SCC (Corrosión bajo tensión)*
- *Análisis de defectos*

Amenazas independientes del tiempo:

- *Daños por terceros*
- *Geoamenazas y riesgos naturales (Erosiones, cruces de ríos)*

- Histórico de pruebas hidráulicas.
- Histórico de inspecciones internas.
- Comparación de defectos entre corridas de inspección interna.
- Cálculos de tiempos de falla.
- Operaciones incorrectas.
- Análisis de áreas sensibles.
- Verificación de conexiones.
- Historial de fugas y reparaciones.
- Chequeo de cumplimiento de recomendaciones del plan base.
- Registros de detección de fugas.
- Recomendaciones de personal de sección.

De los resultados de este análisis, se desprendieron acciones necesarias a ejecutarse previamente a realizar el operativo de incremento de presión. Las mismas se listan a continuación:

- Evaluaciones de defectos y sus consecuentes adecuaciones.
- Test de funcionamiento del sistema de medición catódica, medición de potenciales y adaptaciones pendientes en los equipos.
- Control del progreso en obras de erosiones y cruces de ríos.

-Mitigación de riesgos en áreas sensibles y adecuación de factor de diseño en cruces de caminos críticos.

Cabe destacar que de manera combinada se definió ejecutar pruebas hidráulicas a algunos tramos antes de realizarle el incremento de presión para garantizar el éxito de estos operativos.

Documento técnico operativo de campo para incrementos controlados de presión

La elaboración de un documento técnico para la aplicación en campo de un operativo de incremento controlado de presión requiere de la participación de varias áreas de la compañía, a saber:

Transporte de Gas y Servicios al Cliente

- Mantenimiento
- Integridad
- Personal de Sección

Tanto las normativas nacionales como internacionales⁷ establecen una guía de ítems a ser contemplados a la hora de diseñar un operativo de estas características. En la Argentina, se aplica la subparte K de la NAG 100, que indica que en el documento técnico se deben analizar y mencionar los siguientes tópicos:

- *Descripción de válvulas de bloqueo*
- *Descripción de válvulas de derivación e interconexión*
- *Diagramas de apertura y cierre de válvulas*
- *Descripción detallada de maniobras de plantas compresoras*
- *Puntos de colocación de registradores de presión*
- *Detalles de rampas de presurización*
- *Planes de contingencia*

Es necesario comentar⁷ que la fuente de presión para esta clase de operativos es una Planta Compresora. A su vez, todos los consumos involucrados al tramo al que se le va a realizar el incremento de presión, deberán estar cerrados y en lo posible conectados a un ducto paralelo, para alcanzar una rampa de incremento continua. Las rampas de incremento de presión rondan entre los 2 a 3 kg/cm² por hora, con períodos de estabilización de media hora y recorrido de chequeos de pérdidas y revisión de instalaciones de superficie que rondan la hora de duración antes de pasar al siguiente escalón de presurización.

Se esquematizan en las siguientes fotografías, diagramas y tablas que aparecen en los documentos técnicos de incrementos controlados de presión:

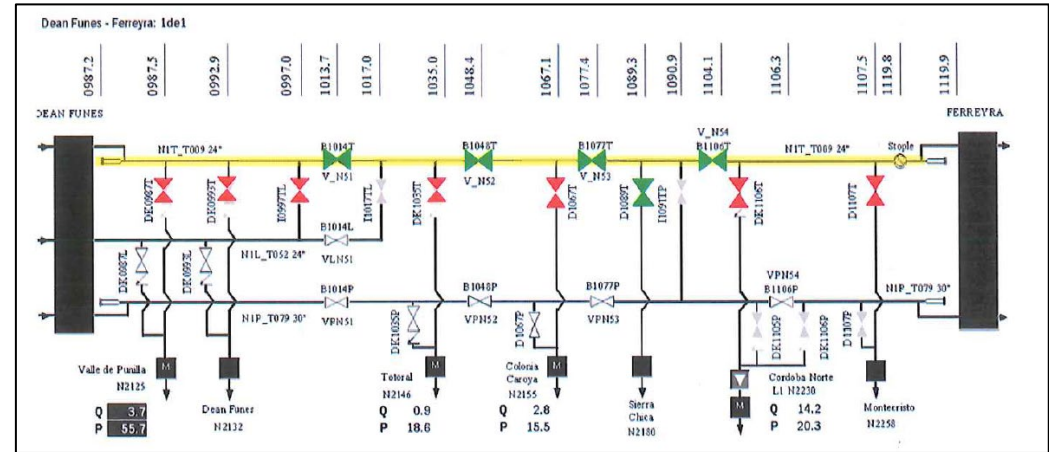


Figura 6. Esquema general de un gasoducto con apertura y cierre de válvulas.

N° Equipo	Identificación	M+m	Posición durante Operativo
654017	XNV-1401 (By-pass Tío Pujio) LUGAR DEL REGISTRADOR	1230 + 1075	Cerrada
654018	XNV-1501 - BY PASS PLANTA TIO PUJIO (paralelo)	1230 + 1075	Abierta
504897	Válvula de succión Troncal Tío Pujio XNV 5001	1230 + 1075	Abierta
504807	Válvula de succión LOOP Tío Pujio XNV 5002	1230 + 1075	Abierta
504898	Válvula de descarga Troncal Tío Pujio XNV 5802	1230 + 1075	Cerrada
504808	Válvula de descarga Troncal LOOP XNV 5804	1230 + 1075	Abierta
650076	(ex N59) / B1239A010	1239 + 15	Abierta
650080	(ex N60) / B1275A010	1275 + 486	Abierta
650084	B1312T Trampa Receptora Monteña / T1312A010	1311 + 600	Abierta

Figura 7. Tabla de detalle de válvulas de bloqueo.

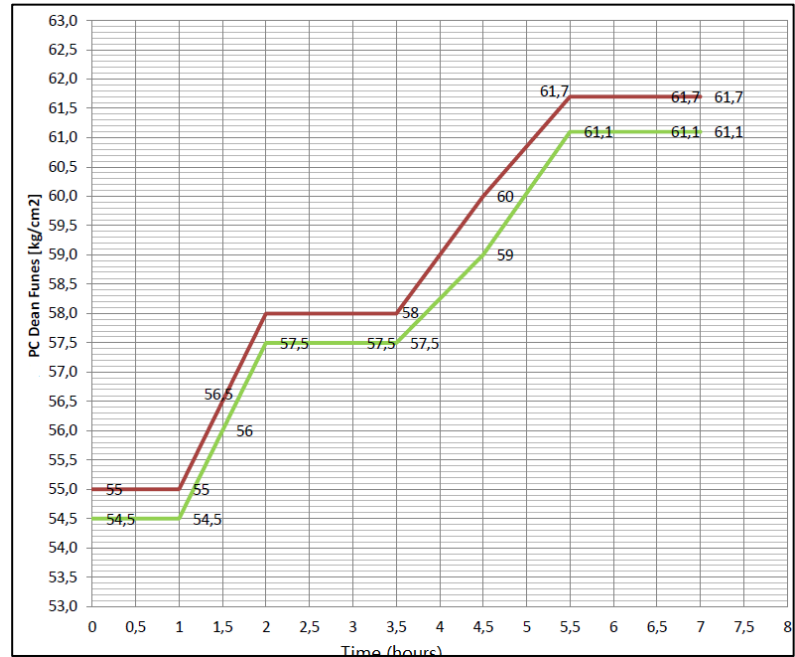


Figura 8. Tabla de detalle de escalones de presión.

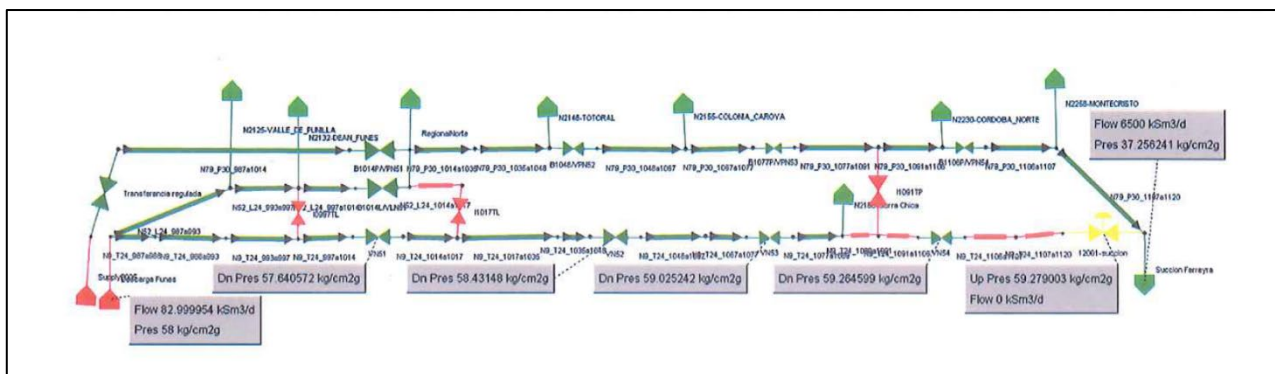


Figura 9. Figura de simulaciones de presión.

Tabla de Valores

Escalón N°1				Escalón N° 2			
Hora	Presión [kg/cm²]	Hora	Presión [kg/cm²]	Hora	Presión [kg/cm²]	Hora	Presión [kg/cm²]
8:35	51.87	12:10	57.88	13:30	57.90	17:10	61.03
9:00	52.95	12:15	57.89	13:50	57.99	17:15	61.09
9:20	53.90	12:20	57.90	14:10	58.44	17:20	61.15
9:23	54.00	12:25	57.90	14:40	59.10	17:25	61.19
9:30	54.13	12:30	57.90	15:00	59.66	17:30	61.24
9:50	54.48	12:35	57.91	15:20	60.11	17:35	61.28
10:10	55.90	12:40	57.91	15:40	60.51	17:40	61.30
10:20	56.06	12:45	57.91	16:00	59.63	17:45	61.32
10:40	56.60	13:00	57.90	16:20	59.60	17:50	61.35
11:00	57.11	13:20	57.90	16:40	60.26		
11:20	57.55	13:30	57.90	17:00	60.84		
11:40	57.79			17:10	61.02		
12:00	57.85						

^{a1} Conexión de Equipo de Medición
^{a2} Inicio Incremento Controlado de Presión 1° Escalón
 Inicio Control Estabilización 1° Escalón 12:10:00 p.m.
 Fin Control Estabilización 1° Escalón 12:40:00 p.m.

Inicio Incremento Controlado de Presión 2° Escalón 13:30:00 p.m.
 Inicio Control Estabilización 2° Escalón 17:10:00 p.m.
 Fin Control Estabilización 2° Escalón 17:40:00 p.m.

Ing. Oscar Sánchez

Figura 10. Registros de incrementos de presión.

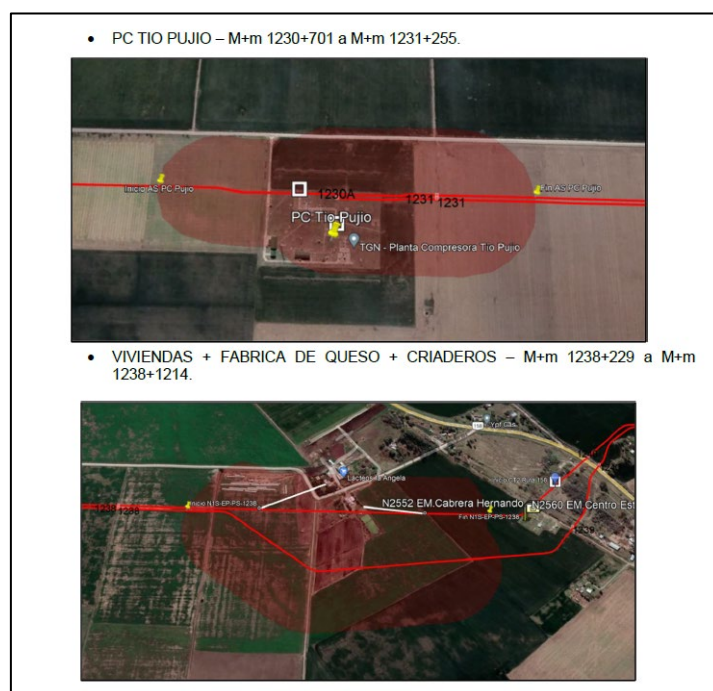


Figura 11. Detalle áreas sensibles.

Conclusiones

Este trabajo muestra dos herramientas muy importantes para validar las MAPOs de una cañería y asegurar su estado de integridad, que son las pruebas hidráulicas y los incrementos controlados de presión.

La ejecución de pruebas hidráulicas no solo aumenta el factor de seguridad de las cañerías sino también contribuye a profundizar el conocimiento de los sistemas de ductos de la compañía, brindando información de utilidad para alimentar la base de datos del departamento y optimizar el manejo de integridad de diversas amenazas.

Los incrementos controlados de presión garantizan una operación segura y confiable de un tramo a su máxima presión de operación y se han convertido en una herramienta útil para incrementar la capacidad de transporte de sistemas, brindándoles a los mismos una gran flexibilidad operativa. A su vez, reafirman la efectividad de los programas de integridad aplicados hasta el momento, lo cual deviene en la confiabilidad del negocio de la compañía.

CURRICULUM VITAE FERNANDO HORACIO VAZQUEZ

ESTUDIOS UNIVERSITARIOS

Ingeniero Mecánico, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo
Especialidad en Gas Natural, UBA, En curso

EXPERIENCIA LABORAL

Transportadora de Gas del Norte SA

Desde enero 2015 a la actualidad

Especialista de Integridad en Análisis de Tensiones

En mis primeros años en el Dpto. de Integridad, me desarrollé en el ámbito de gestión de integridad de instalaciones de superficie, tanto en Plantas Compresoras como en Estaciones de Medición y regulación, mediante la ejecución de cálculos de aptitud para el servicio de componentes, vida remanente de los mismos y diseño de obras afines a esa función, haciendo incursiones en la práctica de RBI.

En paralelo incursioné en el acondicionamiento y manejo de presiones operativas del Departamento, como así también me especialicé en el diseño y aplicación en campo del programa de pruebas hidráulicas de la compañía. A su vez desde mediados de 2019, llevo adelante el programa de Incrementos de Presión en el Gasoducto Norte Troncal.