



LA HERRAMIENTA “PRUEBA HIDROSTATICA DE FLUENCIA” EN GASODUCTOS

Hugo Patitucci, Sergio Rio
Transportadora de Gas del Sur

ABSTRACT

Desde que TGS se hizo cargo de la Operación y Mantenimiento del Sistema Sur de gasoductos troncales de alta presión a fines de 1992 hasta el año 1998 no se habían registrado fallas debidas al proceso de corrosión bajo tensiones (SCC). Con el advenimiento de éste tipo de defectos se realizaron estudios para determinar cuales eran las herramientas más confiables para su mitigación.

El presente trabajo describe como este tipo de ensayo se utiliza para reducir la propagación de fisuras y asegurar la operación de los gasoductos por un mayor periodo de tiempo, operando a valores de Máxima Presión Admisible.

Se realizaron ensayos hidrostáticos, sometiendo a la cañería a tensiones circunferenciales superiores al 100% de la Tensión de Fluencia Mínima Especificada.

Con éste tipo de ensayo destructivo se logró que las fisuras de tamaño crítico colapsen, mientras que en las del tipo subcríticas se produjo una deformación plástica en el extremo de la fisura retardando su desarrollo y propagación. Lo que permitió previo Análisis de Predicción de Sobrevida seguir operando el sistema en un marco de total confiabilidad y seguridad.

INTRODUCCION

Consideraciones teóricas:

Efecto de la presión sobre las fisuras:

Estudios realizados por distintas compañías en el mundo basados principalmente en el AGA NG-18 Report N° 194, reporte éste que analiza el crecimiento dúctil de los defectos en función de varios parámetros de prueba hidrostática, propiedades del material, geometría de los defectos y condiciones de ensayo, demuestran que sometiendo la cañería a tensiones circunferenciales entre el 100% y el 110% de la Tensión de Fluencia Mínima Especificada, genera una propagación de las fisuras de tamaño crítico tal que colapsan en un determinado período de tiempo y antes de alcanzar los valores de presión establecidos, mientras que en aquellas fisuras menores se producen tensiones de plastificación en su extremo inferior que trae aparejado una deformación plástica que origina endurecimiento del área con la consecuente bifurcación en la propagación, lo que retarda notablemente su crecimiento. Fig 1.

Debe tenerse en cuenta que las consideraciones antes planteadas varían según las condiciones normales de operación de cada línea, tipo de acero con que están construidas, características fractomecánicas, etc., por lo que cada operador debe realizar un análisis previo para determinar si los conceptos del AGA NG-18 Report N° 194 son aplicables.

DESARROLLO

Fundamentos de la Prueba de Presión Hidrostática de Fluencia:

A diferencia de una prueba hidrostática de construcción, en éste tipo de ensayos se somete a la cañería a una valor máximo de presión que supera el 100 % de la Tensión de Fluencia Mínima Especificada (TFME), durante un período de tiempo inferior al normalmente establecido, requiriendo además un estricto control de los parámetros intervinientes durante el desarrollo del proceso.

Parámetros Intervinientes:

- Características técnicas de la cañería (diámetro, espesor, calidad, etc.)
- Longitud del tramo en estudio
- Cotas altimétricas
- Temperaturas (cañería, agua y suelo)
- Duración de cada etapa

Metodología de Cálculo:

Etapas de Alta Presión:

Esta etapa tiene como objetivo determinar la integridad del tramo sometido a prueba de la cañería existente. El ensayo se lleva a cabo a una presión tal que produce una tensión circunferencial en la pared de la cañería de entre 100 % y 110 % de la tensión de fluencia mínima especificada (TFME) de la tubería, en el tramo bajo prueba.

$$P_p = 1,1 \cdot \frac{2 \cdot S \cdot t}{D}$$

donde:

P_p = Presión de prueba etapa de alta (psi)

S = Tensión de fluencia mínima especificada (psi)



t = Espesor nominal de cañería (pulg)

D = Diámetro nominal (pulg)

La máxima presión en cualquier punto del tramo bajo ensayo no superará el 110 % de la TFME.

La duración de esta etapa es de una hora, contada a partir del momento en que se alcanza el valor P_p .

Etapa de Baja Presión

La presión de prueba deberá ser suficiente como para mantener una presión mínima de 1.25 de la MAPO en el punto más elevado del tramo sometido a prueba, durante toda esta etapa.

$$P_b = 1,25 \cdot MAPO$$

donde:

P_b = Presión de prueba etapa de baja (psi)

MAPO = Máxima presión admisible de operación (psi)

Las presiones de ensayo durante la etapa de “baja” presión son monitoreadas y mantenidas dentro de una gama de $\pm 2 \frac{1}{2} \%$. Cualquier caída de presión debe ser reconciliada con fluctuaciones de temperatura o pérdida de agua debido a fugas que se hayan detectado.

La etapa de “baja” presión continua hasta que se haya alcanzado y mantenido un periodo de estabilización de presión de al menos dos horas de duración.

Las fórmulas que a continuación se detallan permiten calcular el volumen de agua total para cada tramo en estudio (V_t) y el volumen de agua que será necesario adicionar por cada Bar de diferencia de presión (V_a).

Volumen de agua

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_t$$

donde:

V_t = Volumen total del tramo de prueba

D = Diámetro de la cañería

l_t = Longitud del tramo de prueba

Volumen adicionado por variación de presión

$$V_a = \left(0,87 * \frac{D_i}{2t} + A \right) * \frac{V}{1000 * 0,980665}$$

donde:

V_a = Volumen Teórico de Agua en litros a purgar o añadir por Bar de variación de presión

D_i = Diámetro Interno del caño en milímetros

A = Valor de Compresibilidad del Agua (de Norma GE -124)

V = Volumen de la cañería en m^3

t = Espesor de la Cañería en mm.

0,980665 = Factor de Conversión de Kg/Cm^2 a Bar

Temperatura (°C)	Compresibilidad (A)	Temperatura (°C)	Compresibilidad (A)
1	48,22	11	45,36
2	47,62	12	45,28
3	47,38	13	45,01
4	47,14	14	44,85
5	46,91	15	44,69
6	46,35	16	44,21
7	46,47	17	44,09
8	45,93	18	43,92
9	45,73	19	43,79
10	45,54	20	43,66

Metodología de Ensayo:

Llenado de Agua:

El agua a utilizar deberá cumplir con los requisitos de la Norma GE NI 124, la bomba de llenado deberá permitir un llenado continuo y tendrá una capacidad de 7000 lts/min.

Antes del llenado se instalarán 2 polipigs ó scrapers separados por una bache de agua de 5 m. como mínimo, que viajarán adelante del flujo de agua y se dejará un tercero para el barrido ó transferencia.

Deberá asegurarse que no ingrese aire durante el llenado, dado que esto perjudicaría el trazado del diagrama de fluencia. Para evitar que los polipigs se alejen del flujo de agua y permitan el paso de aire, se deberá ejercer una contrapresión igual al peso de la columna liquida, teniendo en cuenta la pendiente del terreno.

Normalmente es suficiente mantener cerrada la válvula de aguas abajo hasta tanto se alcance la contrapresión necesaria, no obstante, si el tramo tiene una pendiente importante inmediatamente aguas abajo del inicio, se deberá generar la contrapresión necesaria previamente.

El llenado continuará hasta asegurarse que ambos polipigs lleguen al cabezal de aguas abajo.

Estabilización de Temperatura:

La estabilización estará completada cuando la temperatura del agua este próxima a la del terreno (+/- 1 °C) en los puntos de medición. Fig.2

Presurización del Tramo de Prueba:

Al completarse las operaciones de llenado, se eleva gradualmente la presión de prueba hasta alcanzar el 50 % de la Máxima Presión Admisible de Operación (MAPO), y se efectúa una inspección de los cabezales de prueba para establecer si se producen fugas.

Durante la realización de la prueba de fugas a 50 % de la MAPO, se medirá con balanza de peso muerto la presión estática luego de la estabilización en ambos extremos del tramo de prueba para verificar la información relevada. La diferencia entre la carga de presión “h” calculada desde la presión de peso muerto en cada extremo del tramo de prueba debería ser equivalente a la diferencia de cota relevada entre ambos extremos.



Diagrama de tensión de fluencia:

Previo al comienzo de las operaciones de elevación de presión, se debe verificar la precisión del caudalímetro empleado, bombeando para ello a un depósito con capacidad conocida.

Para realizar un diagrama de tensión de fluencia, se comenzará con una presión que genere una tensión circunferencial en el punto de cota inferior del 80 % de la TFME. Valor éste al que se debe arribar gradualmente. Fig 3

La bomba presurizadora debe tener capacidad para aumentar la presión de cualquier tramo de prueba de 0,30 a 0,60 Bar por minuto. Durante todo este proceso deberá mantenerse un caudal de bombeo constante para lo cual se suministrará la cantidad de agua suficiente a fin de completar el diagrama sin pausa.

Se trazará un diagrama del volumen de agua suministrado en función de la presión, desde la presión inicial hasta la presión de prueba predeterminada o hasta que se observe un desvío desde la línea recta, hasta una línea teórica paralela equivalente al 0.1 % del volumen del tramo de prueba. Fig.4

Procedimiento para el Diagrama de Tensión de Fluencia:

125 psig antes de alcanzar la presión de inicio del diagrama de tensión de fluencia, debe regularse el caudal de la bomba presurizadora hasta aproximadamente 5 psig por minuto. Por lo general no debería detenerse la bomba hasta que se complete el diagrama de tensión de fluencia a fin de evitar una sobrepresión que podría afectar la precisión de la pendiente de la curva establecida al inicio del diagrama de tensión de fluencia. Si se detiene el bombeo por un espacio de tiempo determinado, como resultado de lo cual tiene lugar una pérdida de presión, deberá volver a hacerse el diagrama de tensión de fluencia. La escala a utilizarse para el diagrama deberá determinarse antes del inicio del trazado del diagrama de tensión de fluencia. La curva (línea de base) de la región elástica debe trazarse luego de iniciado el diagrama de tensión de fluencia.

La escala vertical del diagrama de tensión de fluencia indicará la presión con incrementos de 50 kPa si se utilizan pesos muertos métricos, o de 5 psig (de usarse pesos muertos imperiales). A fin de establecer la escala horizontal, es preciso primero determinar el volumen que se requiere bombear para obtener un incremento de presión de 50 kPa (ó 5 psig para pesos muertos imperiales), antes de la presión inicial del diagrama de tensión de fluencia. Este volumen puede entonces emplearse para calcular el volumen total necesario para lograr la presión final del diagrama de tensión de fluencia. Es posible lograr volúmenes levemente superiores debido a la fluencia dentro de la tubería (digamos un 10 % más del volumen agregado para la fluencia).

Ejemplo

Presión inicial del diagrama de tensión de fluencia 6555 kPa (950 psig)

Presión final del diagrama de tensión de fluencia 9246 kPa (1.340 psig)

Entre 4209 kPa y 4405,24 kPa (610 a 638,44 psi) se determinó que el volumen requerido para obtener un aumento de 196,24 kPa (28,44 psi) era de 390 litros.

En consecuencia, para una gama del diagrama de tensión de fluencia desde 6555 kPa (950 psi) hasta 9246 kPa (1340 psi) el volumen de agua a suministrar resultará:

$$V = \frac{390 * (1340 - 950)}{28,44} = 5348 \text{ lts}$$



Se deberá tener en cuenta un Volumen adicional del orden del 10% a agregar durante la fluencia; por consiguiente la escala de Volumen Suministrado será: $5348 + 535 = 5883$ lts.

Fig. 4

Deberán tenerse en cuenta las unidades de volumen (vale decir, litros, galones, Barriles de Petróleo estadounidenses).

A fin de fijar la línea de base para el diagrama de tensión de fluencia (pendiente de la región elástica), es necesario trazar una línea recta por los puntos diagramados para las primeras presiones determinadas. El punto en donde comienza a desviarse la línea graficada desde la línea base es la desviación inicial. La desviación final es la diferencia de volumen entre la línea graficada y la línea base en la terminación del diagrama de tensión de fluencia. Fig 4

La presencia de aire en el tramo de prueba provocará que la línea diagramada se desvíe por encima de la línea base fijada. Esto resulta de agregar un mayor volumen de agua mientras el aire se esta comprimiendo. Puesto que la línea base para el diagrama de tensión de fluencia se fija durante este periodo, la pendiente resultante será menor que lo normal. A medida que se vaya comprimiendo más el aire, comenzará a comportarse como un líquido incompresible, y la pendiente de la línea diagramada se corregirá (incremento) hasta llegar a la relación real presión/volumen. Fig 5

Registro de los Valores Tiempo – Presión

Etapas de Alta Presión:

Al completarse la presurización hasta alcanzar los valores correspondientes a la etapa de alta presión, se procederá al cierre inmediato del tramo y se comenzará la prueba. Durante el ensayo, las lecturas de peso muerto se registrarán de la siguiente manera:

- i. A intervalos de 5 minutos desde el minuto 0 hasta el minuto 30.
- ii. A intervalos de 10 minutos desde el minuto 30 hasta 1 hora.

Etapas de Baja Presión:

Al comienzo de la etapa de baja presión, el tramo sometido a prueba deberá estar estabilizado y la presión ajustada correspondientemente. Durante el ensayo, las lecturas de peso muerto se registrarán de la siguiente manera:

- i. A intervalos de 5 minutos desde el minuto 0 hasta el minuto 30.
- ii. A intervalos de 10 minutos desde el minuto 30 hasta 1 hora.
- iii. A intervalos de 15 minutos desde 1 hora hasta completar la prueba.

Los registros de presión durante la etapa de “baja” presión no habrán de comenzar hasta que se haya alcanzado una presión estable, luego de la despresurización desde la etapa de “alta” presión. Fig 6

Desviaciones desde los Límites del Ensayo

Fluctuaciones de Presión:

Si la presión de ensayo excede los límites de tolerancia para la presión, se tomarán los recaudos para retomar a los niveles originales de la presión de prueba. Este ajuste se efectuará únicamente mediante la introducción o descarga de agua.



Toda represurización de la tubería en la fase de prueba dentro de la fase de baja presión será acompañada de un periodo de ecualización de la presión así como con el reinicio de la fase de prueba en cuestión.

Los aumentos de presión mayores de lo estipulado pueden aliviarse mediante el drenaje de agua sin reiniciar la fase de prueba.

Roturas y Fugas durante el Ensayo Hidrostático:

En caso de una rotura o fuga durante el ensayo hidrostático, se detendrá el ensayo y se reparará la rotura o la fuga.

Si la rotura o la fuga ocurrió durante la fase de presión “alta”, se reiniciará el ensayo.

Si la rotura o la fuga ocurrió durante la fase de presión “baja”, dicha fase de efectuará luego de la realizada la reparación.

Drenaje:

Una vez finalizada la prueba, se liberará la presión a un gradiente tal que no ocurran vibraciones, verificando previamente la calidad del agua a disponer a través de ensayos químicos, prestando especial atención a los lineamientos del Estudio de Impacto Ambiental realizado previamente. Las tuberías de drenaje deben estar bien apoyadas y fuertemente aseguradas en la zona de descarga.

A menudo una presión de 700 kPa (100 psig) sumado a la carga hidrostática del tramo de prueba es suficiente para drenar cualquier tramo de prueba de diámetro considerable. Es posible que se necesite una bomba booster para tener suficiente presión. Siempre que sea posible, se deberá mantener una contrapresión de 350 kPa (50 psig) para que el aire que pueda haber quedado atrapado se comprima y ocupe poco espacio.

La eficiencia de un polypig y/o de un chanco depende principalmente de su velocidad y del diferencial en ambos extremos del mismo. La velocidad del polypig y/o del chanco se regula sobre la base de lo siguiente:

Velocidad de suministro/aporte del medio impulsor (aire comprimido)

Tamaño de la línea de descarga

Presión detrás del polypig (chancho)

Presión de descarga (“contrapresión”)

El diferencial de presión se mantiene por el arrastre friccional de la zona de contacto o interferencia del polypig o del chanco y el agua sobre la pared del caño. Una diferencia de 100 - 200 kPa (15 - 30 psig) en ambos extremos de la esfera es suficiente para impulsarla en cualquier tubería de diámetro grande. El método para mantener la velocidad deseada es el siguiente:

Descargar el líquido por medio de una boca de salida de aproximadamente un quinto del diámetro del tramo de prueba.

Mantener una presión detrás del chanco de aproximadamente 700 kPa (100 psig) más la carga hidrostática a vencer.

Secado de la Tubería:

Luego del drenaje, se deberá secar la tubería. Los cabezales de prueba convencionales se quitarán y se instalarán cabezales de prueba multi-uso para las pasadas en seco. Pueden empalmarse varios tramos de prueba hidrostática para reducir el número de tramos a secarse.

Se lanzarán chanchos o polypigs bi-direccionales y chanchos de espuma a lo largo de los tramos de prueba con la suficiente cantidad de aire comprimido como para lograr una pasada fluida.

En la tabla que se muestra a continuación, se brinda un listado de la contrapresión delante del chanco dada una contrapresión inicial, y el porcentaje de la tubería recorrida por el chanco:

Contrapresión vs. Distancia Recorrida

Porcentaje de tubería recorrido (F)	Contrapresión inicial, psig (P _r)								
	0	15	20	25	30	35	40	45	50
10 %	2	18	34	29	35	41	46	52	57
20 %	4	22	29	35	41	47	54	60	66
30 %	6	28	35	42	49	56	63	71	78
40 %	10	35	43	52	60	68	77	85	93
50 %	15	45	55	65	75	85	95	105	115
60 %	22	60	72	85	97	110	122	135	147
70 %	34	84	101	118	134	151	168	184	201
80 %	59	134	159	184	209	234	259	284	309
90 %	132	282	332	382	432	482	532	582	632

Habiendo calculado F, a un tiempo t (horas) para un tramo de distancia total L, la velocidad está dada por:

$$\text{Velocidad} = \frac{F \times L}{t} \text{ [millas por hora o kilómetros por hora según la unidad elegida para L]}$$

Se deberá calcular la velocidad para cada aumento promedio de psig de presión antes de abrir la válvula de descarga a, supongamos, 10 km/h. Se abrirá levemente la válvula de descarga y luego se regulará el flujo durante la pasada para mantener la contrapresión promedio en la válvula que se había logrado justo antes de abrir dicha válvula. El chanco o la esfera completará su recorrido a lo largo de la tubería a aproximadamente la misma velocidad utilizada durante el último aumento de presión (psig), siempre y cuando el caudal de entrada no se haya alterado.

Remoción de Cabezales de Prueba y Empalmes:

Se quitarán los cabezales de prueba multiuso luego de lo cual se realizará el empalme a la línea troncal. Seguidamente se realizará el barrido y presurización del gasoducto para su habilitación.

Equipamiento

Equipo de Llenado:

Tendrá una capacidad de llenado de 7.000 lts/min y contará con un caudalímetro calibrado y contrastado con el del equipo de alta presión, que permita medir en todo momento el volumen de agua ingresante o transferido.

Bomba de Alta Presión:

Se contará con equipo de presurización montado sobre camión que permita un rápido desplazamiento hacia los distintos lugares de trabajo.

Instrumentación

Van con Instrumental de Prueba:



Con comodidad suficiente para albergar a cuatro técnicos que monitorearán la prueba y confeccionarán los registros correspondientes, equipada como mínimo con los siguientes instrumentos:

Registrador de Presión; digital con precisión del orden de la centésima (Bar ó psi), rango de operación 0 – 180 Bar.

Registrador de Temperatura; digital con precisión del orden de la décima escala en °C ó (°C/°F), rango de operación –10°C a 80°C.

Caudalimetro; digital con precisión del orden de la décima, escala en litros-m³ ó barriles/in, rango de operación 0 a 7000 m³ como mínimo.

Termómetro; apto para medir temperatura ambiente, resolución 1 °C

Computadora Portátil; que permita realizar un registro gráfico de las distintas variables intervinientes en el ensayo hidrostático.

Instrumental de Campo; se instalará además instrumental de prueba en los puntos extremos y medio de cada sección de prueba para medir las distintas variables operativas.

Balanzas de Peso Muerto; se instalarán en los extremos de cada sección en estudio, serán del tipo hidráulico con un rango de 0 a 120 Bar con toda la gamma de pesas necesarias para los distintos valores de presión a medir.

Registradores de Presión; en concordancia con las balanzas de peso muerto se instalarán registradores de presión con carta gráfica escala 0 a 120 Bar.

Registradores de Temperatura; se utilizarán para la medición de la temperatura del suelo y de la cañería, serán de doble escala (-10 a 80 °C) y se instalarán en los extremos y en la zona media de la sección de prueba.

Los pozos donde se instalen las vainas sensores serán tapados durante la prueba, para que las condiciones ambientales no distorsionen la lectura.

Sistema de Comunicación; se deberá contar con un sistema de comunicación confiable entre los distintos puntos donde se instalen los instrumentos y la Van de prueba.

EXPERIENCIA DE T.G.S.

Tareas Preliminares

Dado que la antigüedad promedio de nuestras líneas oscila alrededor de los 30 años, previo al inicio de los ensayos de fluencia de las secciones de cañería, resultó necesario realizar un estudio de integridad que determinó la ejecución de las siguientes tareas:

Reducción de presión:

Una vez determinado que el mecanismo que produjo las fallas en la sección del gasoducto en estudio era el de Corrosión Bajo Tensiones, se realizó una reducción de presión tal



que no permita tensiones circunferenciales superiores al 60 % de la Tensión de Fluencia Mínima Especificada.

Revisión de fallas remanentes:

Se realizó un análisis de las fallas remanentes de corrosión externa a partir de la información provista por la última inspección interna realizada con scraper instrumentado, lo que implicó el retiro de aquellos niples que por su condición, si bien eran aptos para operar a la MAPO del sistema, corrían riesgo de colapso con las exigencias de éste tipo de ensayos (110% TFME). A tal efecto se realizó el cálculo de presión de falla según diferentes criterios como ser AGA NG -18 report N° 194 para formas parabólicas y rectangular. Fig 7

Retiro de reparaciones anteriores (monturas y parches):

Se revisó el historial de reparaciones desde que el sistema comenzó a operar hasta la fecha, a los efectos de ubicar antiguas reparaciones e instalar nuevos tramos de cañería.

Detección de fugas:

Se realizaron recorridas de detección de pérdidas empleando instrumental específico para tal fin.

Estudio de potenciales y resistividades:

Se llevaron a cabo estudios de potenciales paso a paso y determinación de resistividades de terreno a lo largo de las secciones en estudio, con el propósito de determinar probables zona de aceleración del avance de la corrosión remanente, posterior al último registro.

Limpieza interna:

Previo a la despresurización de las secciones en estudio se realizaron corridas con scrapers de limpieza para eliminar todo resto de polvo y/o líquidos que pudieran contaminar el agua a utilizar durante la prueba, evitándose así la contaminación del medio ambiente.

Alternativas de Suministro:

Se realizó un análisis de todos aquellos consumos que estuviesen conectados al sistema dentro del tramo en estudio, creando las condiciones necesarias a efectos de no interrumpirlos.

Pruebas Realizadas

Estadísticamente este tipo de fenómenos ocurre en las secciones de cañería aguas abajo de plantas compresoras, tal la experiencia de TGS donde ocurrieron dos reventones a aproximadamente 30 Km y 50 Km de la Estación de Compresión Gaviotas del gasoducto Neuba I. Por lo que se realizó una Prueba Hidrostática de Fluencia en una longitud de 70 Km. en dicha sección.

Para lo cual se seccionó la línea en seis tramos de longitudes promedio de 12 Km. acorde con las diferencias altimétricas.

Resultados Obtenidos

Finalizados los trabajos relacionados con la prueba de fluencia y habiéndose obtenidos resultados satisfactorios en función de los valores que a continuación se detallan, se restituyó la máxima presión de operación (MAPO), a 60kg/cm².



Tramo N°	Porcentaje Alcanzado	Observaciones
1	110% de la TMFE	Sin roturas
2	110% de la TMFE	Sin roturas
3	106% de la TMFE	Sin roturas
4	106% de la TMFE	Sin roturas
5	104% de la TMFE	Dos roturas por SCC a 63 y 88 kg/ cm ²
6	103% de la TMFE	Una rotura por laminación a 80 kg/ cm ²

En la figura N° 8 se puede observar la falla que originó un reventón a 75 kg/ cm². En la misma se puede apreciar una zona oscura producto de los óxidos que se generan dentro de la fisura y una zona de color más rojizo que corresponda al espesor remanente de la chapa.

CONCLUSIONES

Se puede inferir que las medidas tomadas para este caso, son reproducibles para cañerías que como la citada, presenten condiciones y características similares.-

A partir de la exposición de los ensayos realizados para los casos involucrados en la experiencia de TGS y de los antecedentes con que se cuenta sobre el tema en general, podrá rehabilitarse líneas en operación que presenten fallas originadas por Corrosión Bajo Tensiones.

BIBLIOGRAFIA

- Norma para soldadura de caños de línea e instalaciones conexas (API 1104)
- Normas argentinas mínimas de seguridad para el transporte y distribución de Gas Natural y otros gases por cañerías (N.A.G: - 100)
- Código ASME B31G – 1991
- Pipeline & Gas Journal / Marzo 1995
- AGA NG-18 Report N° 194
- National Energy Board Report of Inquiry MH-2-95
- Transcanada Hydrostatic Test Specification for Integrity Testing of Previously Operated (HT4) 1998

FIGURAS

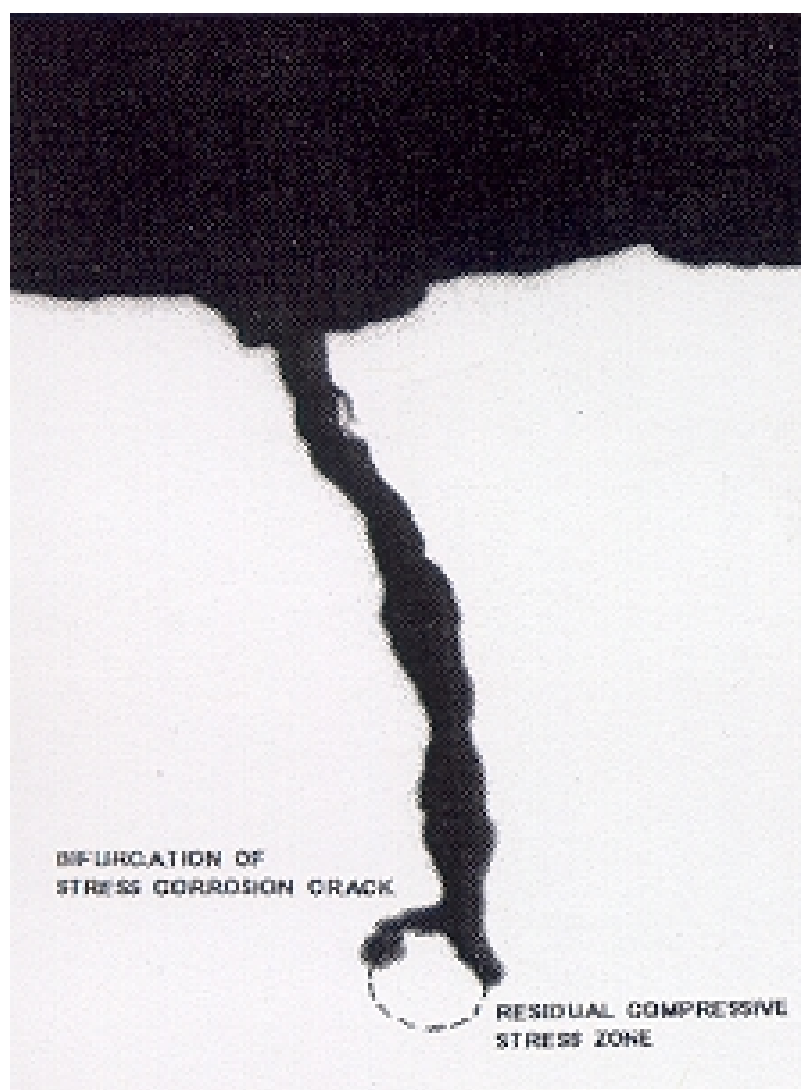


Fig. N° 1 – Tensión Residual de Compresión en Fisura debida a Corrosión Bajo Tensiones

Estabilización a 30 Kg/Cm ²						
Posición	Cabezal C		Cabezal D		Punto Intermedio	
	Caño	Suelo	Caño	Suelo	Caño	Suelo
Temperatura	18,00	17,00	25,50	26,20	19,00	20,00
Presión (psi)	433,71		490,59			
Horario	21:55		21:50		21:25	

Fig. N°2 – Tabla de variación de temperaturas para distintos puntos del tramo en prueba

Volumen Calculado	Presión psi	Volumen TOTAL	Tiempo	Variación Vol	Presión kg/cm2	% de Flu
0	950	6810	10:39:45	0	66,81	77,99
78	955	6888	10:40:48	78	67,16	78,40
146	960	6956	10:41:40	68	67,51	78,81
207	965	7017	10:42:25	61	67,86	79,22
280	970	7090	10:43:20	73	68,21	79,63
342	975	7152	10:44:10	62	68,57	80,04
414	980	7224	10:45:00	72	68,92	80,45
490	985	7300	10:46:00	76	69,27	80,86
550	990	7360	10:46:40	60	69,62	81,27
620	995	7430	10:47:40	70	69,97	81,68
675	1000	7485	10:48:20	55	70,32	82,09
820	1010	7630	10:50:10	71	71,03	82,92
936	1020	7746	10:51:50	69	71,73	83,74
1066	1030	7876	10:53:30	79	72,43	84,56
1185	1040	7995	10:55:10	45	73,14	85,38
1314	1050	8124	10:56:50	54	73,84	86,20
1461	1060	8271	10:58:40	72	74,54	87,02
1595	1070	8405	11:00:15	75	75,25	87,84
1725	1080	8535	11:01:57	75	75,95	88,66
1851	1090	8661	11:03:30	51	76,65	89,48
1984	1100	8794	11:05:10	57	77,36	90,30
2114	1110	8924	11:06:50	59	78,06	91,12
2259	1120	9069	11:08:40	75	78,76	91,95
2386	1130	9196	11:10:18	69	79,47	92,77
2522	1140	9332	11:12:00	78	80,17	93,59
2648	1150	9458	11:13:43	53	80,87	94,41
2774	1160	9584	11:15:20	51	81,58	95,23
2923	1170	9733	11:17:15	75	82,28	96,05
3054	1180	9864	11:18:50	70	82,98	96,87
3185	1190	9995	11:20:30	74	83,68	97,69
3310	1200	10120	11:22:00	55	84,39	98,51
3460	1210	10270	11:24:00	70	85,09	99,33
3610	1220	10420	11:25:45	72	85,79	100,16
3723	1230	10533	11:27:20	75	86,50	100,98
3854	1240	10664	11:29:00	76	87,20	101,80
3983	1250	10793	11:30:40	54	87,90	102,62
4110	1260	10920	11:32:15	58	88,61	103,44
4264	1270	11074	11:34:10	81	89,31	104,26
4395	1280	11205	11:35:45	73	90,01	105,08
4529	1290	11339	11:37:25	49	90,72	105,90
4651	1300	11461	11:38:55	51	91,42	106,72
4777	1310	11587	11:40:37	49	92,12	107,54
4930	1320	11740	11:42:28	78	92,83	108,36
5057	1330	11867	11:44:00	67	93,53	109,19
5190	1340	12000	11:45:45	74	94,23	110,01

Fig N°3 – Tabla de valores de aumento de volumen para cada 5 psi de aumento de presión.

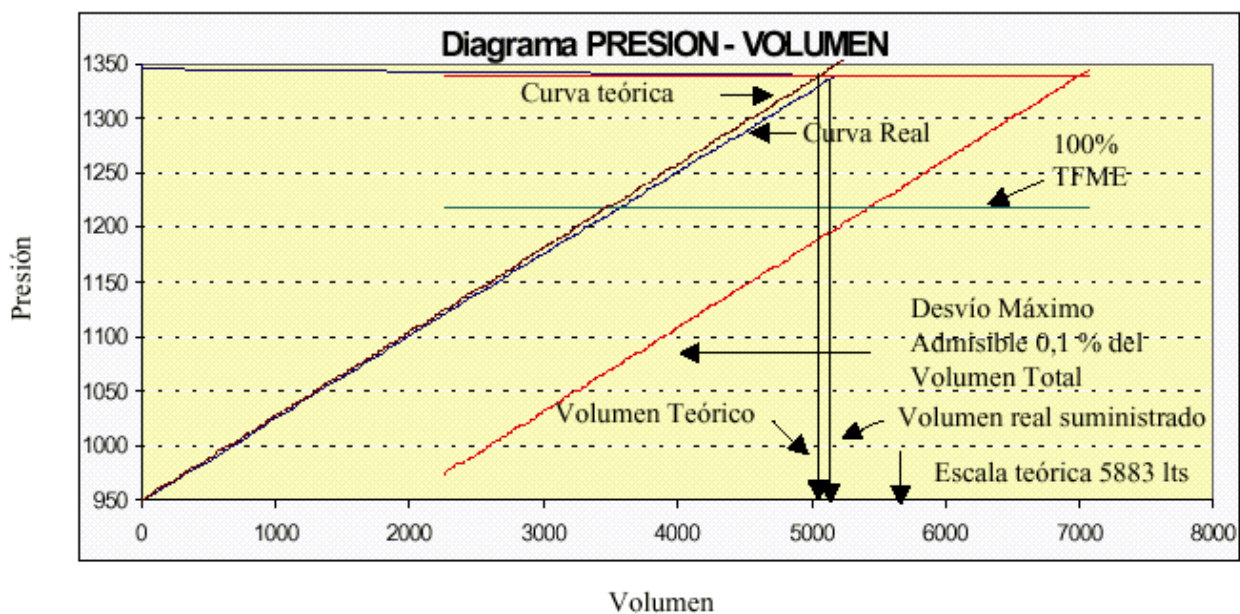


Fig. N°4 - Diagrama Presión - Volumen

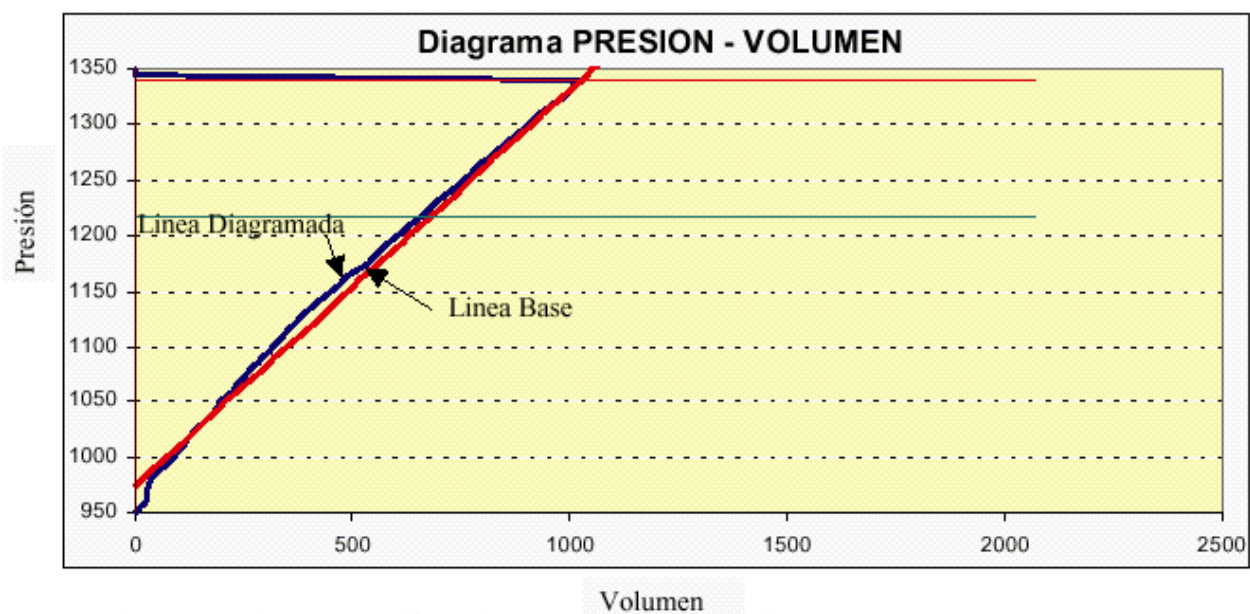


Fig. N° 5 – Diagrama Presión Volumen con presencia de aire

	Hora	Cabezal E			Cabezal F		
		Presión Balanza	Temp. Suelo	Temp. Caño	Presión Balanza	Temp. Suelo	Temp. Caño
Intervalos de 5 minutos	13:00	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
	13:05	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
	13:10	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
	13:15	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
	13:20	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
	13:25	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
	13:30	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,2
Intervalos de 10 min.	13:40	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,3
	13:50	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,3
	14:00	76,9	20,1	17,4	78,1	18,5	18,3
Intervalos de 15 min.	14:15	76,9	20,1	17,5	78,1	18,5	18,4
	14:30	76,9	20,1	17,5	78,1	18,5	18,4
	14:45	76,9	20,1	17,6	78,1	18,6	18,5
	15:00	76,9	20,1	17,5	78,1	18,6	18,6

Fig 6 – Registro de Presiones para la etapa de Baja Presión en ambos extremos del tramo en prueba

DATOS		
Diametro	24 pulgadas	60,96 cm
Espesor	7,14 mm	
Tension del Material	52000 psi	
Factor parabólico (2/3)	0,6667	
Factor rectángulo	0,85	
Presión de Prueba	94,23 kg/cm ²	
Presión de falla (Normal)	61,678 kg/cm ²	
Presión de falla (NG18)	102,14 kg/cm ²	

P58

N°	Dist Abs	Sold	Dist Rel	Dist Abs	Int/Ext	Com.	Prof.	Long.	FER	Hora	Ancho	FACTOR DE FOLIAS	NG18 (Parabola)	Reparar	NG18 (Rectangulo)	Reparar
4	335052,2	8770	5,0	10463,9	Externo	PM	0,19	122,0	0,947	02-30	14	1,76248078	96,10496		92,27177	Si
5	336467,5	9950	0,4	11879,2	Externo	PM	0,19	134,0	0,951	08-00	173	1,8791625	95,64510		91,83025	Si
6	336880,0	10290	12,0	12291,7	Externo	PM	0,26	90,0	0,953	03-15	146	1,46835856	95,73256		90,21249	Si
7	337891,1	11140	0,4	13302,7	Externo	PM	0,33	77,0	0,960	04-30	247	1,35960026	95,04486		87,67279	Si
8	337984,7	11220	1,5	13396,3	Externo	PM	0,45	55,0	0,958	06-00	29	1,19769767	95,38729		84,14521	Si
9	338475,3	11620	8,6	13886,9	Externo	PM	0,17	141,0	0,943	08-45	113	1,94828138	96,15318		92,77336	Si
10	338528,0	11670	0,5	13939,6	Externo	PM	0,29	111,0	0,980	09-00	114	1,65808815	93,26359	Si	87,11667	Si
	338528,3	11670	0,8	13939,9	Externo	PM	0,28	89,0	0,956	10-00	119	1,4597197	95,25042		89,23871	Si
14	341314,0	13980	3,9	16725,6	Externo	PM	0,27	86,0	0,951	04-15	107	1,43405916	95,77193		89,99058	Si
	341315,1	13980	5,0	16726,7	Externo	PM	0,44	53,0	0,953	04-45	41	1,18472098	95,92668		84,97656	Si
	341408,5	14060	4,5	16820,1	Externo	PM	0,18	133,0	0,948	02-45	169	1,86934592	96,04439		92,44272	Si
15	341409,1	14060	5,2	16820,7	Externo	PM	0,18	134,0	0,948	03-30	199	1,8791625	96,00998		92,40961	Si
	341409,4	14060	5,4	16821,0	Externo	PM	0,27	91,0	0,957	03-15	103	1,47703865	95,37359		89,61628	Si
16	341836,7	14420	0,7	17248,2	Externo	PM	0,35	60,0	0,944	03-30	69	1,23154293	96,60725		88,52165	Si
17	341976,0	14530	7,1	17387,5	Externo	PM	0,47	66,0	0,987	06-45	85	1,27460499	92,99311	Si	81,32383	Si
18	341983,9	14540	2,8	17395,4	Externo	PM	0,3	68,0	0,942	05-45	110	1,28950623	96,70725		90,05863	Si
23	342877,7	15280	5,4	18289,2	Externo	PM	0,27	135,0	0,987	03-00	189	1,88899422	92,57191	Si	86,98373	Si
26	343763,8	16020	2,5	19175,3	Externo	PM	0,23	101,0	0,949	05-15	90	1,56592626	95,86103		91,08685	Si
27	343872,1	16200	5,3	19283,6	Externo	PM	0,57	93,0	1,092	03-00	107	1,49451908	84,91433	Si	70,60216	Si
	343872,3	16200	5,5	19283,8	Externo	PM	0,35	76,0	0,966	03-15	53	1,35158208	94,64244		86,72128	Si
29	343901,1	16240	3,8	19312,6	Externo	PM	0,42	50,0	0,942	06-00	31	1,16589363	96,77990		86,42983	Si
32	344401,7	16770	9,2	19813,2	Externo	PM	0,48	83,0	1,026	05-00	126	1,40880179	89,86391	Si	78,23447	Si
33	344697,1	17030	2,1	20108,6	Externo	PM	0,38	83,0	0,985	10-30	69	1,40880179	92,98093	Si	84,30548	Si
35	345322,3	17570	3,0	20733,8	Externo	PM	0,38	103,0	1,010	06-45	83	1,58411907	90,77825	Si	82,30831	Si
37	345569,9	17780	10,0	20981,3	Externo	PM	0,26	81,0	0,943	05-30	137	1,3922001	96,43867		90,87789	Si
	345570,0	17780	10,0	20981,4	Externo	PM	0,25	93,0	0,951	05-45	178	1,49451908	95,79564		90,52688	Si
38	345707,0	17910	1,1	21118,4	Externo	PM	0,35	106,0	0,999	01-30	88	1,61164104	91,55964	Si	83,89649	Si
41	346670,6	18740	2,9	22082,0	Externo	PM	0,25	116,0	0,967	10-00	45	1,70519075	94,33281		89,14450	Si
45	349736,7	21390	5,9	25148,0	Externo	PM	0,33	61,0	0,940	06-45	232	1,23854131	96,87279		89,35894	Si
48	350907,8	22400	10,8	26319,1	Externo	PM	0,38	73,0	0,970	02-30	122	1,3278611	94,24040		85,44743	Si
49	351215,7	22670	6,4	26627,0	Externo	PM	0,32	73,0	0,954	09-00	88	1,3278611	95,72554		88,58669	Si
53	351853,4	23240	1,6	27264,7	Externo	PM	0,27	79,0	0,946	09-30	204	1,37579686	96,35763		90,54092	Si
56	353466,6	24640	4,2	28877,8	Externo	PM	0,29	124,0	0,985	08-30	388	1,78174553	92,41701	Si	86,32589	Si
	353468,5	24640	6,2	28879,7	Externo	PM	0,23	129,0	0,966	08-15	160	1,83023906	94,38152		89,68102	Si
63	356016,1	26930	9,9	31427,3	Externo	PM	0,53	54,0	0,977	02-30	34	1,19116779	93,90107	Si	79,79171	Si
65	356926,3	27730	1,6	32337,4	Externo	PM	0,25	102,0	0,958	05-00	314	1,5750067	95,18510		89,94992	Si
	356926,3	27730	1,5	32337,4	Externo	PM	0,24	116,0	0,962	04-00	140	1,70519075	94,67722		89,71794	Si
	356929,1	27730	4,3	32340,2	Externo	PM	0,39	64,0	0,960	04-15	55	1,25997046	95,23142		86,03000	Si
	356929,3	27730	4,5	32340,4	Externo	PM	0,19	115,0	0,943	02-30	221	1,69572125	96,39884		92,55392	Si
	356933,2	27730	8,5	32344,3	Externo	PM	0,58	188,0	1,235	08-30	168	2,42341661	74,53535	Si	61,61319	Si
66	357200,5	27960	7,2	32611,6	Externo	PM	0,2	106,0	0,944	06-45	81	1,61164104	96,50080		92,41807	Si
69	357878,8	28540	10,8	33289,9	Externo	PM	0,38	54,0	0,942	02-30	48	1,19116779	96,86098		87,82351	Si
	357878,9	28540	10,9	33290,0	Externo	PM	0,66	102,0	1,171	02-15	171	1,5750067	79,36835	Si	62,21912	Si
	357879,1	28540	11,1	33290,2	Externo	PM	0,42	133,0	1,062	02-00	138	1,86934592	86,49263	Si	77,24272	Si
	357879,3	28540	11,3	33290,4	Externo	PM	0,62	41,0	0,962	02-15	79	1,11438052	95,24738		76,79320	Si
70	357889,4	28550	9,8	33300,5	Externo	PM	0,27	84,0	0,950	02-45	173	1,41717456	95,93599		90,14473	Si

Fig N° 7 – Planilla de cálculo para la evaluación de defectos

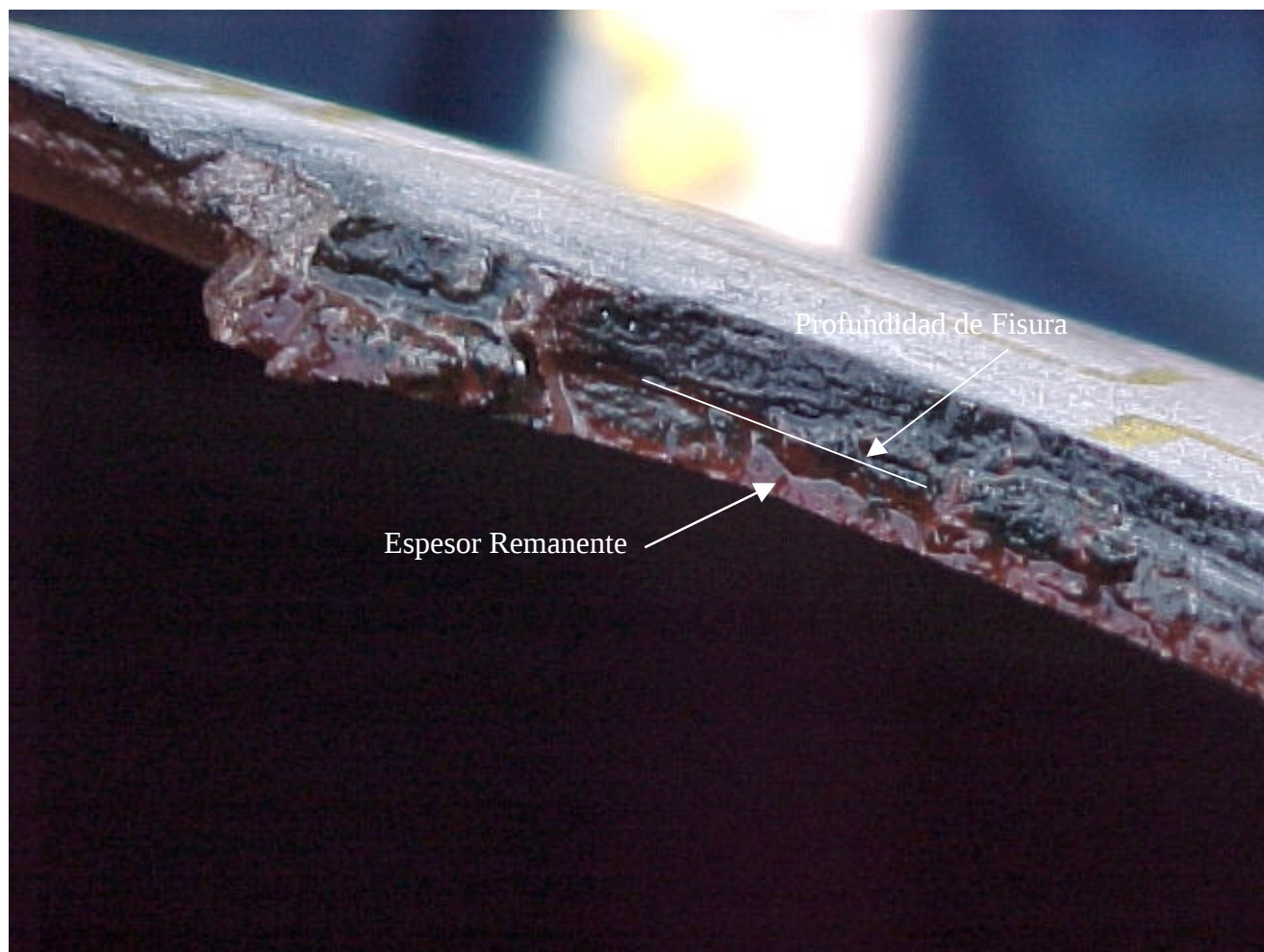


Fig. N° 8 Vista de Falla que dio origen a un Reventón