

FALLO DE UN OLEODUCTO ANTES DE SU PUESTA EN SERVICIO

FERNÁNDEZ, J.M. ^{Jose Manuel}EMPRESA NACIONAL INGENIERIA Y TECNOLOGIA/INITEC
ALENZA, 4 28003- MADRID.

Recientemente un oleoducto, durante las pruebas a presión hidráulicas, presentó varias fugas. Esta comunicación informa de los resultados de la investigación realizada para establecer las causas de fallo de los tubos.- Se presentan la composición química y las propiedades mecánicas de los tubos y las condiciones de operación del oleoducto. Finalmente se hace una estimación de la longitud de fisura crítica.

Recently in a pipeline, during the pressure test, several failures appeared. The present paper reports the results of the investigation to ascertain the causes of tubes failure. The chemical and mechanical properties of pipe, and the operating conditions of the pipeline are given. Finally preliminary calculations of the critical crack length are shown.

1. INTRODUCCION

Durante la construcción de los oleoductos inadvertidamente pueden introducirse defectos que puedan afectar a la integridad mecánica de los elementos que los constituyen. Para poner de manifiesto tales posibles zonas débiles y por otras consideraciones, la línea formada por los tubos soldados entre sí, una vez enterrada, se somete a - - pruebas a presión hidráulica, en condiciones controladas, que someten el conjunto a esfuerzos superiores a los que existirán durante el servicio de la línea.

Recientemente, durante las pruebas a presión de un oleoducto, en un país de América Central, se presentaron varias fugas en puntos distantes entre sí varios kilómetros.

El oleoducto, que servirá para transportar productos petrolíferos a unos 60°C, tiene una longitud de unos 50 km, el diámetro de diseño es de 12 3/4" (323,9 mm) y su espesor nominal es de 0,219" (5.6 mm.).

La especificación básica de los tubos es la API 5L [1], que fué matizada, aumentando el nivel y tipo de exigencias por la especificación de la Ingeniería, para tubería fabricada mediante soldadura helicoidal por doble arco sumergido, en grado X52, y con los extremos preparados para soldar en campo.

La presión de operación es de 63 kg/cm² (6,17 MPa).

La presión de prueba hidráulica de los tubos, en fábrica, es de 112 kg/cm² (10,96 MPa) manteniéndose durante 15 segundos, antes de revestir.

En campo, la línea enterrada se debe probar a 93 kg/cm² (9,10 MPa).

Los tubos, una vez pasados los distintos controles y ensayos, fueron revestidos exteriormente con brea-epoxy de 200 - micrometros de espesor, excepto unos 250 a 300 mm. en cada extremo.

Los tubos fueron transportados por vía marítima y llegaron al puerto de destino en el primer semestre de 1986 y fueron almacenados en zona marítima-industrial, en las proximidades de una planta de fertilizantes nitrogenados.

Después de más de tres años de almacenamiento, se realizaron las soldaduras circulares de unión de los tubos entre si, se recubrieron con coquillas de poliuretano de unos 40 mm. de espesor, el conjunto va envuelto con una banda de poliester reforzado con lana de vidrio y fueron enterrados.

Durante las pruebas a presión se detectaron unas seis (6) fugas entre los 38 y 90 kg/cm² (8,81 MPa).

Esta comunicación presenta los primeros resultados de la investigación acometida para determinar las causas de las fugas y valorar la integridad de la línea con vistas a su comportamiento futuro.

2. INSPECCION Y TRABAJOS DE LABORATORIO

En la zona en que se localizó cada fuga, después de poner la línea al descubierto, se cortaron carretes de unos 1,150 m. de largo.

a) Inspección visual de la zona defectuosa.

Se puso de manifiesto :

- No existía el revestimiento de epoxy -brea en la zona dañada
- Abundante pitting.
- Presencia de fisura longitudinal, - abierta, que interesa a todo el espesor, acompañada de fisuras menores sensiblemente paralelas, según una generatriz del tubo.
- Las fisuras están muy distantes de los cordones de la soldadura helicoidal y básicamente no afectan, excepto en un caso, a los cordones de soldadura circular.
- No hay deformación de los labios ni de la curvatura.

- En dos casos la zona de fisuras - - había sido alterada por amolado intentando determinar la profundidad de las fisuras. La zona rebajada - - tiene un milímetro menos de espesor.
- Las fisuras se inician en la superficie exterior del tubo.
- Longitud de la fisura principal: - entre 100 y 150 mm.
- Los espesores en las proximidades de la fisura principal (en la zona no rebajada) eran entre 5,6 a 5.9 mm.

b) Composición de los tubos.

La composición química de los tubos dañados se presenta en tabla 1.

TABLA 1. Composición química de los tubos (% en peso).

Datos del acerista	Datos de Laborat. Independi. (Oficial)
C --- 0,064 a 0,14	0,08 a 0,14.
Mn -- 0,95 a 1,20	0,82 a 1,08
Si -- 0,24 a 0,30	0,22 a 0,25
S -- 0,002 a 0,011	0,0002 a 0,0010
P -- 0,010 a 0,021	0,0043 a 0,010
V -- < 0,010	-----
Cr -- < 0,010 a 0,016	0,05 a 0,11
Ni -- 0,011 a 0,017	0,02 a 0,04
Mo -- < 0,020	-----
Cu -- < 0,010	0,02 - < 0,1
Ti -- < 0,010 a 0,011	-----
Al -- -----	< 0,002
C.E. 0,28 0,42	0,23 a 0,35

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{V+Ti+Cr+Mo}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Estos valores cumplen con lo especificado.

c) Valores de ensayos mecánicos.

En la TABLA 2 se presentan los valores obtenidos por el Fabricante del tubo y del Laboratorio Independiente (Oficial).

TABLA 2. Resultados de ensayos mecánicos de tubos.

Fabricante.	Mat.Base	Sold.
σ_y 0.5 MR	404,3 a 449,4	-----
σ_{uts} MPa	519,8 a 561,9	579,6 a 658,9
A %	33,7 a 38	-----
E %	-----	-----
$\delta/6$ uts	0,77 a 0,79	-----
HRB	-----	-----

Laboratorio Independiente.

	Mat. Base.
σ_y 0.5 MPa	398 a 423
σ_{uts} MPa	504 a 521
A%	34 a 35
E%	51 a 55
$\sigma_{0.2}$ MPa	0.79 a 0.81
HRB	82 a 85

(doce valores).

Valores que cumplen lo especificado

b) Ensayos de resiliencia Charpy "V" sobre tubo.

Fabricante

Temp. °C	
Mínima individual	46,1 J
Mínima de las medias	48,1 J
Tubos ensayados	68
Probetas	55 x 10 x 4
Norma ASTM A370	
ASTM E23	

Lab. Independiente.

Temp. °C	-10	+ 27
Mínima individual	78,5	86,3 J
Mínima de las medias	79,4	87,3 J
Tubos ensayados	2	2
Probetas	55 x 10 x 5,7	
Norma	GOST	

c) Estructura y tamaño de grano del metal base de los tubos.

Tanto por el Fabricante como por el Laboratorio independiente se informa que la estructura es ferrítico-perlítica, y el tamaño de grano va de 8 a 10.

f) Inspección de tubos en campo.

Se realizó la inspección visual y por partículas magnéticas de tubos desenterrados al azar a lo largo de todo el trazado, sin encontrar indicaciones de fisuras.

g) Examen metalográfico.

Por el Laboratorio Independiente se realizó microscopía óptica, electrónica y barridos con Scanner con los siguientes resultados:

- Existencia de una fisura principal y pasante, acompañada de fisuras menores.
- Estas fisuras se ramifican y crecen siendo intercristalinas y - - transcristalinas.
- Por manipulación mecánica que ha alterado la superficie exterior original, no se ha podido ver, - -

por el momento, el campo de iniciación y crecimiento de las fisuras terminales.

- No se han encontrado depósitos de corrosión en las superficies de las fisuras.
- Algunas fisuras, al desarrollarse, atraviesan zonas con inclusiones de naturaleza desconocida hasta ahora. Son escasas y de dureza (microdurezas) baja.

3. ENSAYO DE ROTURA DE TUBOS POR SUBIDA DE PRESION.

Con objeto de confirmar las buenas - propiedades de los tubos en general, y poner de manifiesto distintos mecanismos de rotura de los tubos, procedimos a provocar la rotura de dos recipientes a presión de 1,6 m. de longitud, creados a partir de un tubo sano, que no había sido sometido aún a presión en campo.

En uno de los recipientes se mecanizó una entalla artificial, de unos 115mm de longitud, en "V" a 30 grados y profundidad de 3mm. La entalla se preparó por fresado con cuchilla viva.

Las variaciones de presión y resultados se presentan en la tabla 3.

TABLA 3. Resultados de las pruebas de rotura.

	Sin entalla
Temperatura ambiente	C-27 °C
Temperatura del agua	C-24 °C
	Mantenida
Presión kg/cm ²	-- 100 1 minuto
	140 "
	200 " (3 ciclos)
	220 rotura.
Rotura:	Dúctil a 45 grados
	En el centro del recipiente.
	Corta a la soldadura helicoidal.
	Gran deformación - Boca.
Desarrollos de la zona deformada (mm).	
inicial	1018
Maxi	1260
	1200
	1170
Longitud de boca	470 mm.
Espesores (mm)	
inicial	5.6
final, en labios	4.0

Con entalla
(lejos de soldaduras)

Temperatura ambiente	-	22 °C
Temperatura del agua	-	22 °C
		Mantenida
Presión kg/cm ²	65	1 minuto
	60	1 minuto
	92	1 minuto
	114	1 minuto
	130	rotura

Rotura: Dúctil a 45 grados
Rompe por la entalla
Gran deformación-Boca

Desarrollos de la zona deformada (mm)

inicial	1018
maxi	1060
	1032
	1035

Longitud de boca 235 mm.

Espesores (mm)

inicial	5.6
final, en labios	4.0

4. DETERMINACION DEL TAMAÑO CRITICO

Dada la tenacidad elevada que el material sano presentará a la temperatura de operación, utilizamos la fórmula (1) propuesta por Kiefner [2] para aceros de pipelines.

$$\left(\frac{K_{Ic}}{\sigma}\right)^2 \frac{1}{C} = 7 \text{ ----- (1)}$$

en unidades inglesas.

Para nuestro caso.

$$C = \frac{115}{2} \text{ mm.} = 4,53''$$

$$\sigma = 404 \text{ MPa} = 58682 \text{ psig.}$$

$$K_{Ic} = 234 \text{ Ksi} \sqrt{\text{in.}}$$

Con este valor se puede estimar, siguiendo a Hahn [3], un valor de longitud de la fisura crítica de $2C=4,5''=114,3 \text{ mm.}$

Los valores encontrados en nuestros ensayos ponen de manifiesto el carácter conservador de las fórmulas propuestas por Kiefner [2], y se confirma su afirmación que "en materiales tenaces, el límite inferior del esfuerzo de fallo en el caso de daños superficiales, corresponde al esfuerzo de fallo de un tubo sin daño que tuviese el mismo espesor que el espesor neto bajo la zona dañada.

5. CONCLUSIONES PROVISIONALES

- a) En su conjunto, lo tubos cumplen la especificación de pedido y son aptos al fin a que se destinan.
- b) Algunos de los tubos han sido objeto de un mecanismo de degradación localizada.
- c) Creemos que esta degradación apunta a una corrosión bajo tensión, sufrida por algunas zonas del material desde su salida de la fábrica de tubos.
- d) La causa próxima de las fugas se debe a las bajas propiedades mecánicas de las zonas deterioradas.
- e) Las inspecciones realizadas al azar no permiten descartar la existencia de mas tubos afectados.
- f) La importancia de la degradación varía de unos tubos a otros y su propagación durante las pruebas a presión o posteriormente en operación pueden dar lugar a nuevas fugas aún habiendo pasado la presión de prueba en campo.
- g) El material es muy homogéneo, con unos valores muy altos de tenacidad a la entalla.
- h) Los tubos sanos, en el futuro, por intervención de terceros y otros accidentes no dará lugar a fallo catastrófico y avisará (fugará) sin que el daño causado se propague.
- i) Incluso los tubos con propiedades degradadas tendrán un fallo no - catastrófico.

6. REFERENCIAS

- [1] American Petroleum Institute Specification for Line Pipe "API Specification 5L(SPEC 5L)" 34 Edition, May 31, 1984.
- [2] Kiefner, J.F. "Fracture Initiation" Battelle Memorial Institute, 1969 Columbus, Ohio.
- [3] Hahn, G.T y Rosenfield, A.R. " Fundamental Fracture Mechanisms" Battelle Memorial Institute, 1969 Columbus, Ohio.

.....