

INSPECCION DE UN DUCTO ERW PRE-1970 CON HERRAMIENTA ILI UTCD

Visús Marcos, Oldelval S.A, Marcos.Visus@oldelval.com

Sinopsis

El proceso de soldadura ERW de baja frecuencia (LF-ERW) fue utilizado hasta fines de la década 1970 para la fabricación de cañerías. Los inconvenientes que presentaban estas soldaduras determinaron que este proceso haya sido mejorado dando como resultado el denominado ERW de alta frecuencia. Hoy en día, quedan instalados y operativos una gran cantidad de estos ductos dispersos en todo el mundo y Argentina no es la excepción.

Este trabajo cuenta la experiencia de OLDELVAL con la inspección interna de ultrasonido angular (UT-CD) de un ducto con costura ERW y los estudios y ensayos que se realizaron con la finalidad caracterizar las indicaciones reportadas y así determinar su severidad.

Palabras claves: ERW, vintage, ILI, UTCD, END

Introducción

OLDELVAL opera más de 1700 km de oleoductos de 4", 10", 14" y 16" por los que transporta alrededor el 70% del petróleo producido en la Cuenca Neuquina y Rionegrina y cerca del 30% de la producción total de Argentina. El 100% de estos ductos son de costura longitudinal ERW y un 88% (1508 km) son de ERW –LF (Soldadura de resistencia eléctrica de baja frecuencia) fabricados antes 1970.

A lo largo de la operación, OLDELVAL ha registrado varios incidentes en la costura LF-ERW: corrosión selectiva, fatiga, falta de fusión, hook crack, etc. En 2016 inspeccionó con ultrasonido angular (UT-CD) la línea de Algarrobo Salitral L1 con el objetivo de buscar SCC. El reporte preliminar de la inspección informó 250 fallas del tipo falta de fusión en soldadura con una profundidad mayor a 4 mm.

Esta inspección se encuentra en el marco de una estrategia de integridad que incluye inspecciones internas (ILI) con flujo magnético circunferencial (TFI), evaluaciones de END, análisis de crecimiento de fisuras por fatiga y estudios y ensayos realizados para determinar la severidad de las anomalías encontradas.

Desarrollo

Proceso de fabricación de ERW

El proceso de fabricación de la costura por LF-ERW es un proceso de soldadura autógena, esto es, sin aporte de material. El tocho de acero es laminado en caliente para alcanzar el espesor deseado y luego es rolando en frío hasta alcanzar la forma circunferencial. Luego se aplica presión y corriente eléctrica en la interfaz de los dos bordes de la pared de la cañería para lograr la soldadura (Fig.1). En el eje de la soldadura, parte del material fundido es eyectado hacia las superficies interna/externa del caño y luego es removido por un proceso de mecanizado (Fig.2).

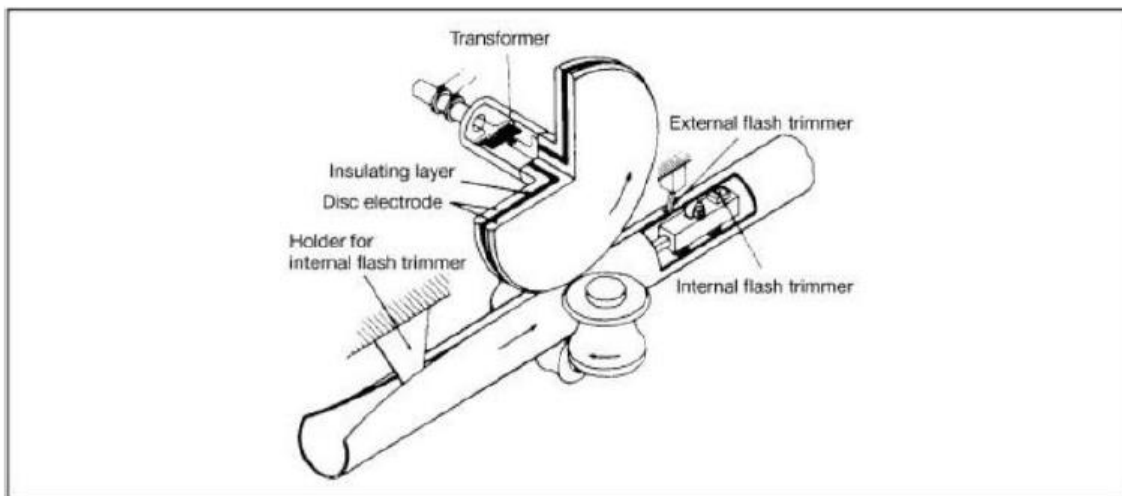


Fig. 1 Proceso de fabricación de ERW [1]

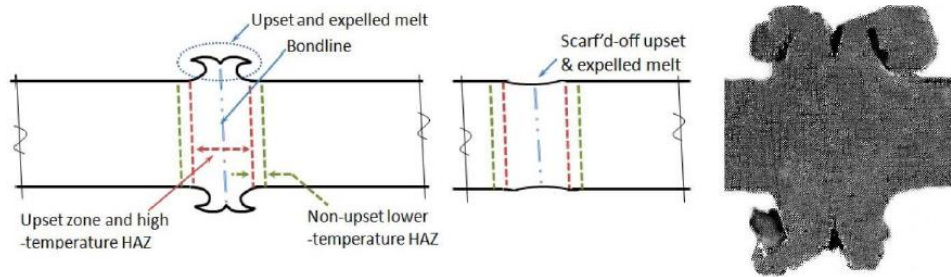


Fig. 2 Vista del eje de la soldadura antes y después del maquinado [2]

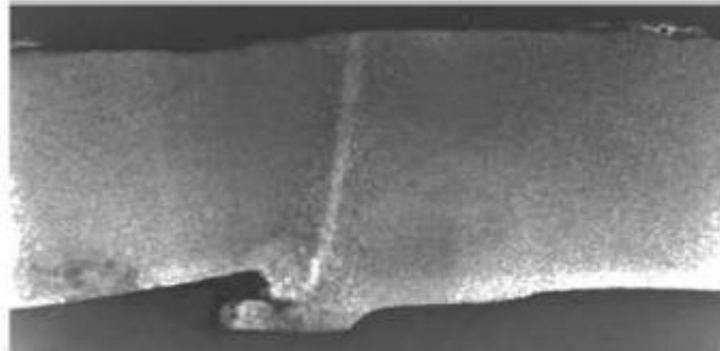


Fig. 3 Foto de sección de soldadura de un caño [3]

A medida que paso el tiempo, los defectos que se originaban con el proceso de fabricación de LF-ERW fueron mejor entendidos y la tecnología evolucionó dando lugar al proceso de ERW de alta frecuencia (ERW-HF). La utilización de corriente de alta frecuencia produce zonas afectadas por el calor (ZAC) más pequeñas, los soldadores de inducción, el tratamiento de post-soldadura, mejor control en las impurezas del metal base, entre otras mejoras, incrementaron notablemente la calidad de la soldadura.

La fecha en que ocurrió el cambio de la tecnología difiere para los distintos fabricantes de cañería. La mayoría modificó su proceso a principios de los años 70 mientras que otros siguieron utilizando este método hasta fines de esa década.

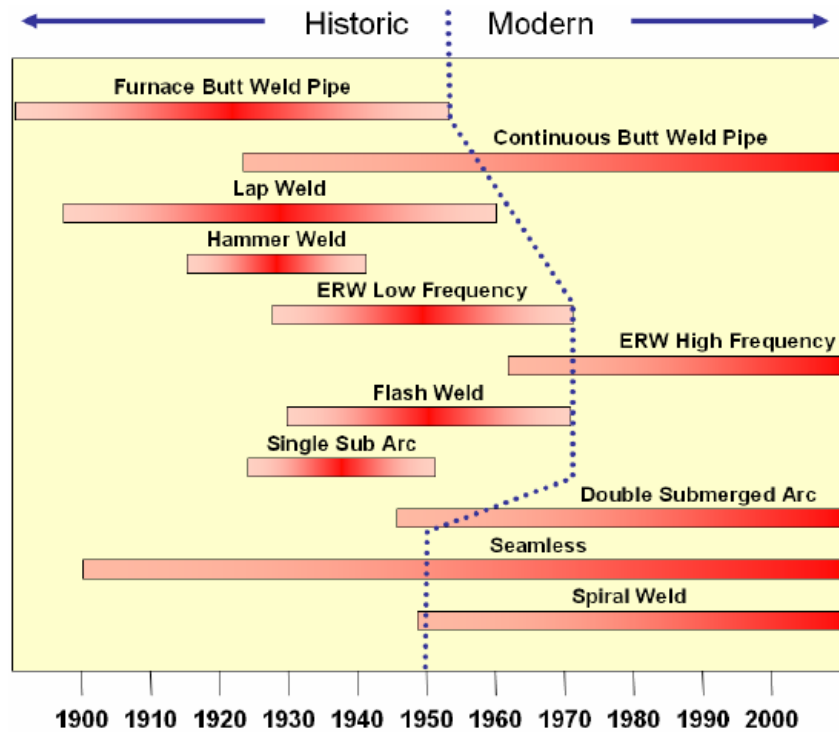


Fig. 4 Vigencia de las tecnologías de fabricación de cañerías [2]

Defectos que afectan la costura longitudinal LF-ERW

Clasificación de las amenazas

Una forma de clasificar el tipo de amenazas que afectan a las cañerías ya construidas que permite una comprensión de su funcionamiento es por su comportamiento en el tiempo.

Los defectos clasificados como “Dependientes de tiempo” son aquellos que el riesgo se incrementa con el tiempo. Las herramientas para evitar su propagación se basan principalmente en los sistemas de protección (revestimiento y protección catódica) y en las técnicas de inspección basadas en intervalos de tiempo.

Los estables son aquellas amenazas que no cambian en el tiempo a menos que exista un cambio en las condiciones de servicio o bien que combinados con un defecto dependiente del tiempo sean activados.

La clasificación de independientes del tiempo no tiene una correlación con el paso del tiempo. La mejor forma de minimizarlas es utilizando herramientas de prevención y limitando sus consecuencias.

Tipo de amenaza	Comportamiento en el tiempo
Corrosión externa	Dependientes del tiempo
Corrosión interna	
SCC	
Defectos de manufactura	Estables
Defectos de fabricación y construcción	
Defectos de equipos	
Daños por terceros	Independientes del tiempo
Operaciones incorrectas	
Clima y fuerzas externas	

Fig. 5 Clasificación de amenazas en ductos [2]

Tipos de defectos en ERW-LF

A continuación se describen algunos de los defectos típicamente encontrados en las cañerías de OLDELVAL.

Corrosión selectiva

Este tipo de corrosión externa en el eje de la costura longitudinal se hace presente cuando existe un daño en el revestimiento combinado a una deficiente protección catódica.

La corrosión selectiva, puede presentar una velocidad de penetración de 2 a 4 veces mayor que en el cuerpo del caño, dejando a una ranura muy estrecha que se asemeja a un defecto planar. Esta morfología hace suponer que un defecto que afecte a la costura y sea reportado por una herramienta de flujo magnético con una profundidad determinada, tenga una profundidad mayor a la informada por la herramienta en el eje de la costura. Ese fue el caso de la falla ocurrida en 2014 en el ducto de Algarrobo – Salitral L1 (Fig.6) que presentaba una pérdida de espesor del 28% en el cuerpo de la cañería.



Fig. 6 Corrosión selectiva en línea Salitral-Puerto Rosales

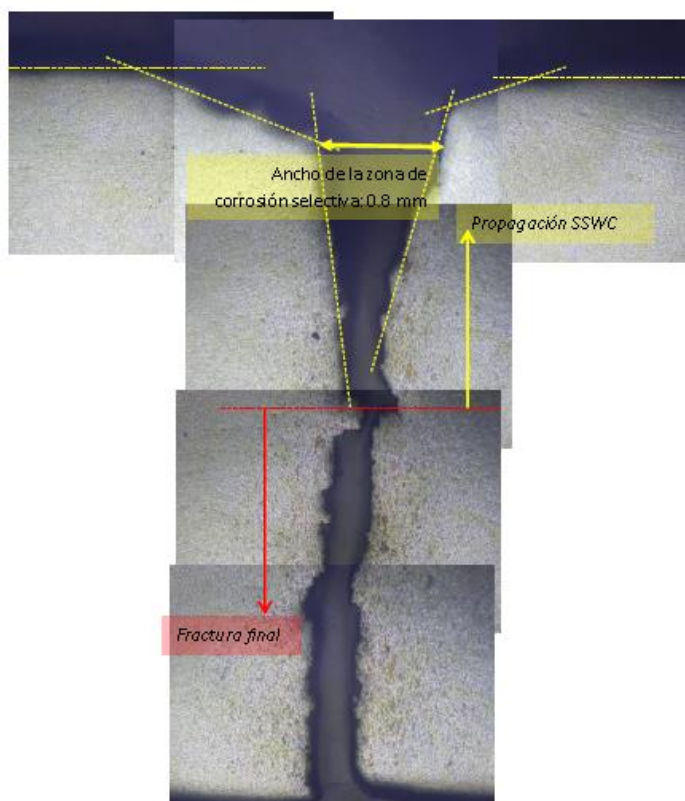


Fig. 7 Corrosión selectiva en línea Algarrobo-Salitral L1 [4]

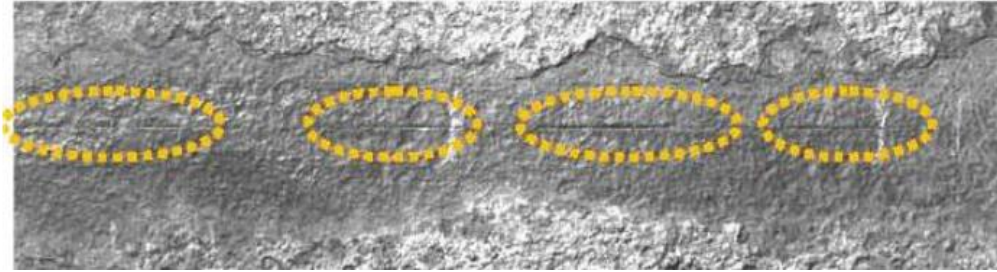


Fig. 8 Ranuras de corrosión selectiva

Soldaduras en frío

Es la falta de cohesión total o parcial entre los dos materiales a unir. En estas cañerías, estos defectos se originaban debido a bajas de tensión que daban lugar a alteraciones en la cantidad de corriente inyectada, un avance muy rápido del caño y/o una falta de presión en la superficie a soldar.

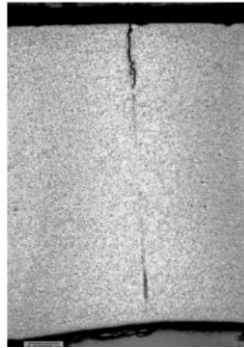


Fig. 9 Falta de fusión en el eje de la soldadura.

Stress Corrosion Cracking (SCC)

Son fisuras frágiles causadas por la acción conjunta de un ambiente corrosivo y tensiones en la cañería. En OLDELVAL se ha encontrado este mecanismo de daño en las zonas de descargas de estaciones de bombeo, dónde existían ciclos de presión.

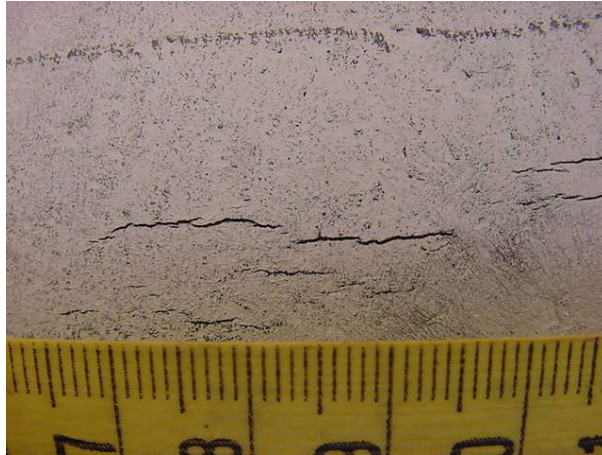


Fig. 10 SCC encontrado a 1500 m de una descarga de planta de OLDELVAL a partir de una inspección interna de UTCD en 2005.

Fatiga

Es la propagación o crecimiento de defectos debido a la aplicación de ciclos de variación de presión. La fatiga se puede dividir en 3 etapas: iniciación, crecimiento estable o propagación y crecimiento inestable y consiguiente falla.

Los iniciadores pueden ser de escala micro estructurales como inclusiones, poros, etc o, macro estructurales como defectos de manufactura en soldaduras, corrosiones selectivas, etc.

Hook cracks

El American Petroleum Institute (API) define a las hook crack o fisuras de gancho como separaciones del material de la chapa que son resultado de imperfecciones paralelas a la superficie, que al soldarse son expulsadas a la superficie externa o interna de la cañería.

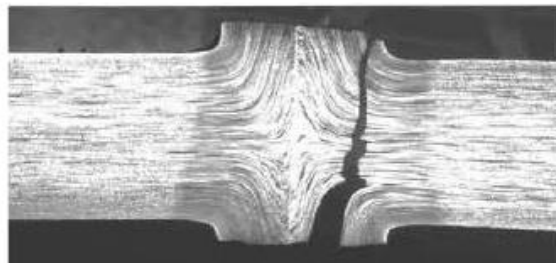


Fig. 11 Cross section de un Hook crack de un caño que fallo en servicio

La inspección de ILI UTCD

La herramienta de UTCD utiliza un pulso de ultrasonido angular en el sentido circunferencial de la cañería. Los defectos planos que se presentan en el eje axial harán que el flujo sea reflejado y captado por el transmisor/receptor, asociando el mismo a las dimensiones del defecto (profundidad y largo).

Esta tecnología, en comparación con las de flujo magnético, tiene la ventaja de no necesitar una apertura mínima de las fisuras para su detección.

En 2015 OLDELVAL inspeccionó la línea de Algarrobo Salitral L1. La tecnología utilizada indica el 90% de Probabilidad de detección (POD) para todas aquellas fisuras que presenten un largo mayor a 25 mm y una profundidad mayor a 2mm y se encuentren en soldadura.

El reporte preliminar arrojó más de 250 indicaciones. Todas estas indicaciones fueron defectos planos del tipo falta de fusión interna sobre la costura longitudinal con una profundidad mayor a 4mm en un espesor nominal de 6,35mm.

Acciones tomadas

Debido a la severidad de las indicaciones reportadas, se trazó una estrategia de integridad con la finalidad de asegurar las condiciones de integridad de la línea. Esta estrategia incluyó:

- Reducción de presión
- Ensayos no destructivos
- Ensayos de material
- Ensayos de rotura hidráulicos
- Ensayos destructivos de las muestras
- Estudios predictivos de la presión de Falla

Reducción de la presión

Inmediatamente se restringió la presión de descarga de la planta a un 80% de la máxima presión de descarga que se había tenido en los últimos 6 meses. Suponiendo que alguna de estas indicaciones se encontrase en el límite de la presión de falla, esta acción aseguró un factor de seguridad de 1,25 respecto a la presión de descarga.

Ensayos no destructivos (END) en campo

Una vez ubicado el caño que contiene las indicaciones, es importante remover el revestimiento con un método que no deforme la superficie de las fisuras produciendo el enmascarado de las mismas. Estos pueden ser el arrozado o el la utilización de discos flap (Stress Corrosion Cracking-CEPA).

Para la detección de fisuras externas se utilizó, con buenos resultados, la técnica de partículas magnetizables sobre fondo blanco.

Una vez detectada o, se utilizaron distintas técnicas de ultrasonido angular para determinar la profundidad y el tipo de las fallas: FAST, PHASED ARRAY o TOFD.

El técnico en END, además de conocer en profundidad el método de evaluación, debe conocer el método de fabricación de la cañería y tener experiencia en la evaluación de éste tipo de costuras.

Una vez evaluadas las indicaciones en campo, se elaboró un gráfico de comparación entre las profundidad de las indicaciones reportadas por la UT-CD vs los ensayos no destructivos (Fig. 12).

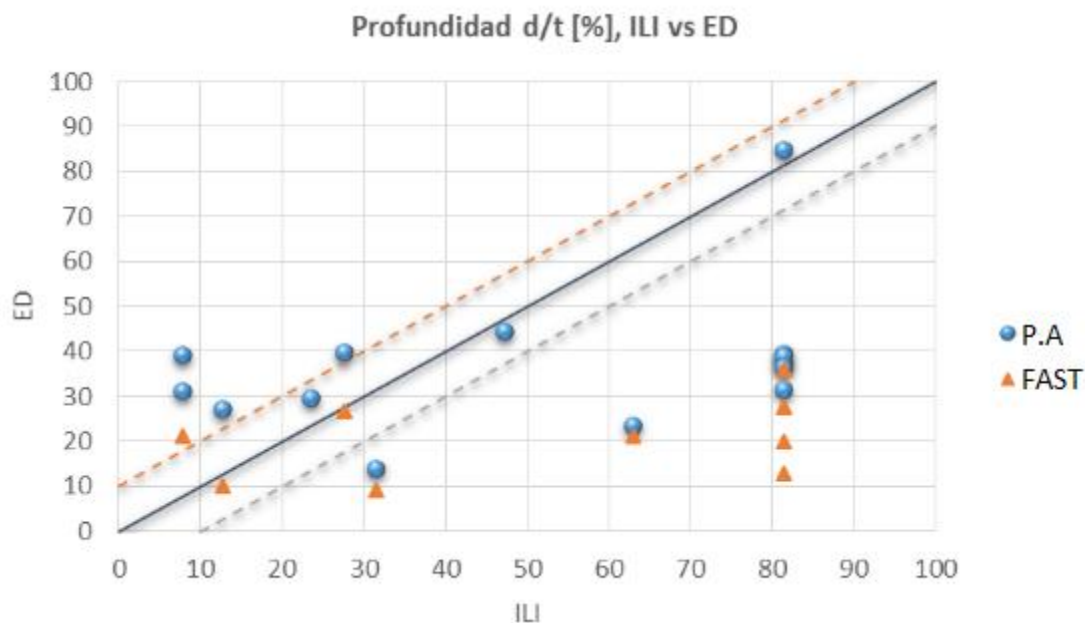


Fig. 12 Gráfico de profundidad campo vs ILI (Preliminar).

Ensayos del material

Para conocer la severidad de las indicaciones reportadas y poder modelarlas, es importante conocer las propiedades de la cañería bajo estudio. OLDELVAL ha realizado a lo largo del tiempo ensayos que permiten la caracterización de distintas propiedades de los ductos bajo su operación

Ensayo de tensiones residuales

Durante el proceso de fabricación de los caños, el material sufre variaciones metalúrgicas y de temperatura que pueden dejar tensiones que se suman a las de operación. En este ensayo se midieron las tensiones residuales presentes en el ducto.

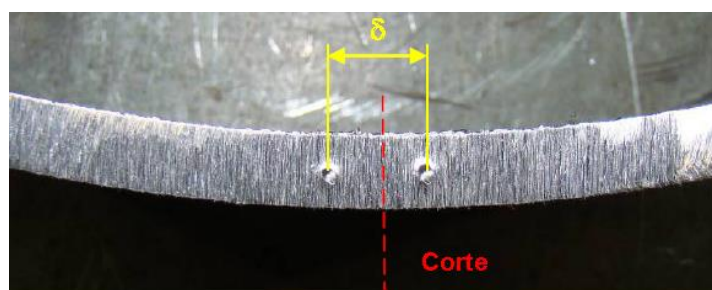


Fig. 13 El desplazamiento de las indentaciones luego de cortar la cañería se relaciona con las tensiones residuales

Ensayo de Charpy

Este ensayo determina la capacidad de absorción de energía de una carga de impacto y con esta se estima la tenacidad del material. La tenacidad sobre la costura de la soldadura es normalmente algo

menor que la del material circundante y suele variar de un punto a otro dentro del mismo tubo. La tenacidad del material es un parámetro esencial para los cálculos fractomecánicos.

Ensayo de Fatiga

OLDELVAL anteriormente había realizado ensayos de fatiga a probetas de la cañería permiten caracterizar experimentalmente la resistencia a la iniciación y propagación tanto el metal base como la soldadura. Si bien estos datos no se utilizaron para modelar los defectos encontrados, estos resultados brindan información para predecir el comportamiento a la fatiga.

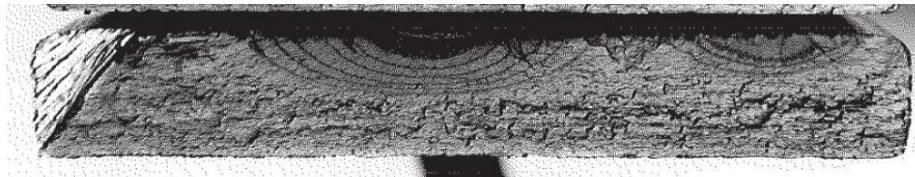


Fig. 14 Probeta de OLDELVAL ensayada a la fatiga. Las marcas de playa coinciden con una forma semi-elíptica

Estudios Predictivos de la presión de Falla

A la hora de evaluar los defectos planos en tuberías, existen dos procedimientos principales de uso generalizado:

- Ecuaciones de Newman Raju
- El método modificado del logaritmo de la secante (Modified LnSec).

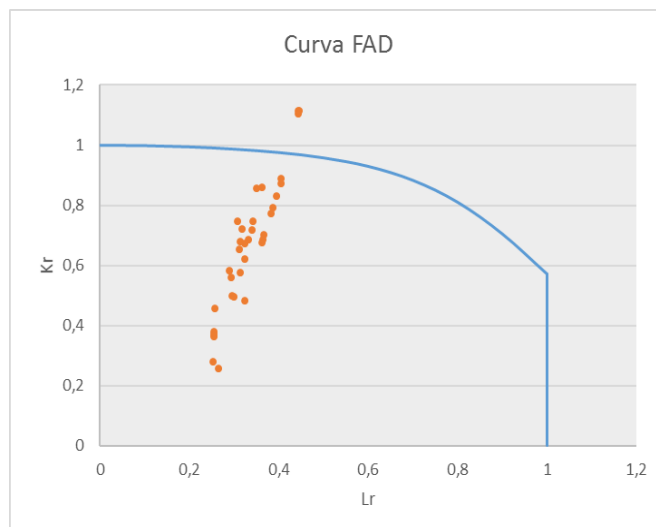
El primero de éstos está basado en la Mecánica de Fractura y establece que el estado de falla se alcanza cuando la intensidad de tensiones generada por el estado de carga y la geometría de un defecto alcanza el valor de la fractotenacidad del material. Este método es apropiado frente a un comportamiento frágil del material.

El método del logaritmo de la secante es un método experimental y es más apropiado para comportamiento dúctil del material; está basado en la hipótesis de que el material fallará por colapso plástico o fractura elastoplástica y no por fractura frágil.

El método más versátil para este tipo de análisis es el API 579 nivel 2, que está basado en el diagrama FAD. Este método considera la posibilidad de una falla totalmente dúctil (colapso plástico), totalmente frágil (fractura elástica), o una combinación de ambos (fractura elastoplástica).

El análisis está basado en el diagrama FAD (Fig.15) por lo que el procedimiento conduce al cálculo de K_r (ordenada) y S_r (o L_r) para determinar el punto sobre el diagrama.

Si el punto cae por encima de la curva significa que bajo las condiciones actuales el ducto fallará; si el punto se ubica por debajo del diagrama el ducto pasa el examen y tiene resistencia remanente.



OLDELVAL encargó la programación de una hoja de cálculo que realiza un proceso iterativo, modificando la presión interna del ducto, de manera de encontrar las condiciones que hicieran que el punto se ubicara sobre la línea del diagrama FAD. La presión que hace que el punto se ubique sobre la curva se consideró como presión de falla.

Determinación de presiones de falla por simulación con elementos finitos

El uso de las fórmulas teóricas descritas anteriormente presenta varios inconvenientes. Son fórmulas desarrolladas para fisuras en el cuerpo de las cañerías y por ello no contemplan la morfología de la soldadura y las concentraciones de tensiones que allí se generan.

Para tener un resultado más real, OLDELVAL encargó el modelado de distintos tipos de defectos encontrados en la costura. En base a la experiencia de OLDELVAL, se definieron distintos tipos de defectos patrón para modelar (Fig.17).

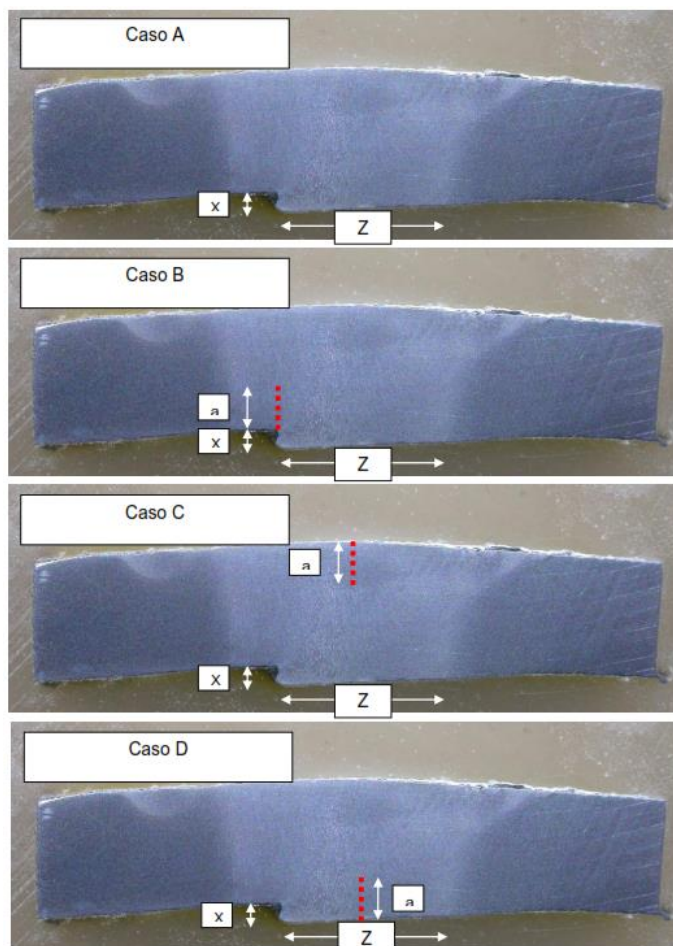


Fig. 17 Esquemas de ubicación del modelado de los defectos

El caso A presenta un escalón interno típico de una desalineación + mecanizado imperfecto. El Caso B es el escalón anterior con un defecto plano en el vértice conocido como “cuernos de carnero”. El caso C es una falta de fusión externa en el eje de la soldadura y el D en el eje interno.

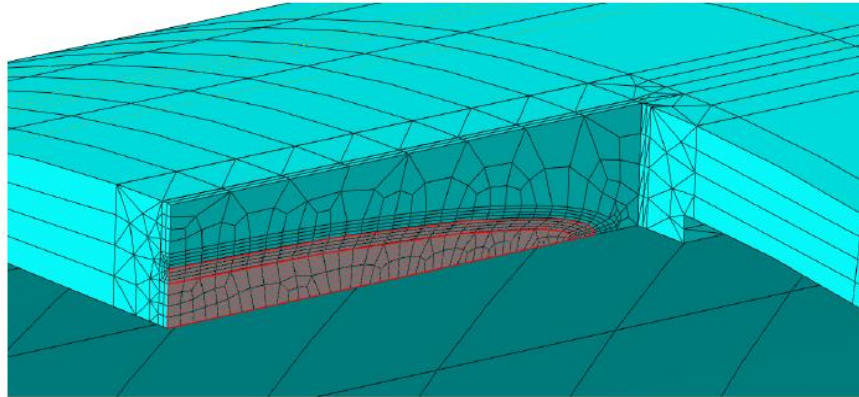


Fig. 18 Simulación de la morfología del caso D para una profundidad de 4mm y un largo de 40mm.

Luego estos defectos se modelaron utilizando el método de integral J para 3 relaciones de profundidad/largo. Se simuló el sistema aumentando la presión interna aplicada al ducto de modo de encontrar la presión de falla de cada una de las morfologías.

Como resultado se observó que la presión de falla es más baja cuando los defectos son de mayor profundidad y más largos. También se observó que el caso A no presenta una disminución capacidad de soportar presión de la soldadura.

Se observó que el caso B es el más grave, seguido por el C y luego el caso D. El motivo de que el caso B sea el más grave, es que el defecto plano se da en el concentrador de tensiones.

OLDELVAL posee una hoja de cálculo que le permite calcular las presiones de falla con el método de simulación numérica identificando el tipo de defecto que se trata.

Ensayos de rotura hidráulicos

OLDELVAL en común acuerdo con el proveedor del servicio de UT-CD retiró una sección de la cañería que contenía indicaciones reportadas por la herramienta para realizarle ensayos hidráulicos a rotura. Previo a ello y en base a la caracterización de los defectos en campo, se calculó la presión de rotura de los defectos.

La comparación de la presión de rotura pronosticada vs la real permitió conocer tanto la exactitud de los métodos de cálculo como precisión de dimensionamiento de la inspección UT-CD y los ensayos de campo.

Posterior a la rotura, la superficie de rotura es examinada con ensayos metalográficos y se obtienen cross-sections para identificar el mecanismo de falla.

Con estos ensayos se pudo concluir:

- El “escalón” interno de la costura produce reflexiones en las herramientas de UT similar a las fisuras
- En varios casos, los ensayos de ultrasonido sobredimensionaron las fisuras y/o las confundieron con el escalón interno

- Se re-alimentó al proveedor de la UT-CD para que re-calibre los datos de su inspección. El informe final de la inspección caracterizó a las indicaciones según los distintos tipos de defectos patrón.
- Se obtuvieron probetas reales de defectos que sirven para mejorar las técnicas de END en campo
- Cualquier método de cálculo para pronosticar una presión de rotura que se aplique sobre una mala caracterización de las anomalías, conducirá a valores erróneos



Fig. 19 Momento de rotura de la prueba hidráulica.

Conclusiones

Un buen gerenciamiento de la integridad de cualquier instalación depende fuertemente del grado de conocimiento que se tenga de la misma. La integridad de los ductos ERW-LF presenta varios desafíos: la variabilidad de sus propiedades mecánicas, la longevidad de las líneas, la dificultad para inspeccionarse con ultrasonidos, la corrosión selectiva, entre otros.

Tanto la inspección de UT-CD como las técnicas de END de campo interpretaron como fisuras el escalón interno de la costura longitudinal. Las pruebas hidráulicas a rotura permitieron verificar que esta anomalía no produce una disminución de la capacidad de soportar presión de la cañería.

El modelado de las indicaciones permite la priorización de los defectos a intervenir luego de una inspección UT-CD y facilitan la determinación de una presión segura de trabajo. El paso determinante sigue siendo una correcta determinación de la morfología del defecto ya que cualquier cálculo de presión de falla basado en una mala caracterización del defecto conducirá a resultados erróneos.

Bibliografía

- [1] ASME, *History of line pipe manufacturing in North America*, 1996
- [2] BATELLE, *Integrity characteristics of vintage pipelines*, 2004
- [3] BATELLE, *ERW Battelle's Experience with ERW and Flash Weld Seam Failures: Causes and Implications*, 2012

[4]GIE, *Análisis de falla de ducto OLDELVAL*, 2014

Breve CV del autor

Ingeniero Electromecánico egresado de la Universidad Nacional de La Plata. Fue becario de GEMA (Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados) de la UNLP. Se desempeñó como ingeniero de integridad en Transportadora de Gas del Norte (TGN).

Desde 2015 trabaja en OLDELVAL S.A como referente de integridad mecánica. Cursa la Maestría en Economía y Política Energético Ambiental en la UNCO.

