

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS PHASED ARRAY PARA UNIONES DE TUBERÍAS DE POLIETILENO

Mike Troughton, Malcolm Spicer and Fredrik Hagglund, TWI Ltd, Cambridge, UK

Resumen

Se describe el desarrollo de un sistema ultrasónico phased array específico para inspeccionar uniones por soldadura a tope (BF) y electrofusión (EF) en tuberías de polietileno (PE) de hasta 1000 mm (39 pulgadas) de diámetro, incluyendo el desarrollo de las técnicas de inspección, procedimientos y equipamiento. También se describen los ensayos que se llevaron a cabo para evaluar el prototipo del sistema de inspección tanto en laboratorio como en campo.

Este artículo describe un proyecto de investigación financiado con fondos europeos, llamado TestPEP, que involucró a 17 organizaciones de siete países, para diseñar, fabricar y validar un sistema de inspección por ultrasonidos phased array (PAUT) que permitiera inspeccionar las tuberías y fijaciones (codos, curvas, reductores y tes) en uniones BF y por EF para tuberías de PE.

Introducción

La práctica actual en Europa para asegurar la calidad de las uniones BF y por EF en tuberías de PE durante la instalación es mediante el registro de los parámetros de soldadura empleados, junto con una inspección visual y una prueba de presión hidrostática en un corto plazo, complementada por ensayos destructivos sobre una muestra obtenida de la unión. Sin embargo, la inspección visual solo permite examinar la superficie externa; no puede proporcionar evidencia de defectos incrustados o de soldaduras frías (fusión incompleta o parcial causada por una inadecuada penetración de la cadena molecular y la cocristalización en la interfaz, dando como resultado un modo de fallo frágil cuando se somete a una prueba mecánica a corto plazo). Además, el trabajo previo en TWI [1,2] ha sugerido que la prueba de presión hidrostática solo causará fallos en las uniones BF y EF que contienen defectos grandes. Además, si existe un defecto en una soldadura, solo hay una pequeña posibilidad de que se incluya en la muestra que se corta para ensayos mecánicos. Finalmente, probar mecánicamente una unión y luego reemplazarla con una de calidad desconocida no garantiza la integridad de la tubería.

Los ensayos no destructivos volumétricos (END) puede proporcionar un análisis completo de la unión completa y no destruye aquellas que son buenas. Por lo tanto, es la única técnica que tiene el potencial de garantizar la integridad de las soldaduras en una tubería de PE. Sin embargo, para hacer esto, se debe probar que esta técnica de END detecta todos los posibles tipos de defectos que reducen la integridad de las uniones.

En los últimos años, la técnica PAUT se ha utilizado para evaluar la integridad de las uniones BF [3-7] y EF [8-10]. Sin embargo, estos ensayos se han limitado a un pequeño rango de tamaños de tubería y/o no se han incluido los criterios de aceptación de defectos.

Técnicas de Inspección

Las soldaduras a tope y por electrofusión requieren diferentes técnicas de inspección. En las uniones BF, la interfaz de la unión es perpendicular a la superficie de la tubería y requiere el uso de haces angulares de ultrasonidos para detectar cualquier defecto que pueda existir en la interfaz. Para obtener una cobertura total del grosor de la pared del área de la unión, se utilizaron cuatro técnicas diferentes (Figura 1): tándem, onda progresiva, pulso-eco sectorial y difracción de tiempo de vuelo (TOFD)

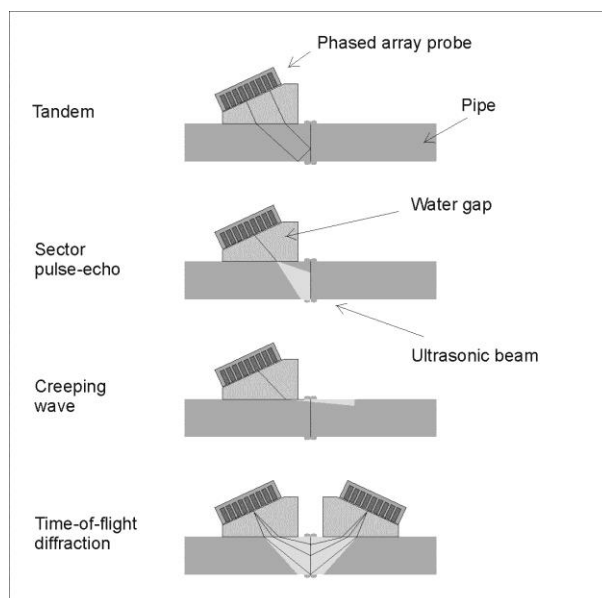


Figure 1. Técnicas de inspección para uniones BF.

La técnica en tándem usa la mitad de los elementos phased array de la sonda para transmitir los ultrasonidos y la otra mitad para recepcionarlos. La técnica es buena para detectar defectos planos; sin embargo, su alcance está restringido a un área aproximadamente entre la mitad del espesor de la pared y la superficie interna.

La técnica de pulso-eco sectorial utiliza todos los elementos del palpador para crear una apertura, barriendo en un rango de ángulos. Esta técnica proporciona una visión general de la unión y cubre la mayor parte de la zona de fusión, excepto unos pocos milímetros (décimas de pulgada) cerca de la superficie exterior de la tubería.

La técnica de ondas progresivas solo cubre la región cercana a la superficie externa de la tubería, que es la parte no cubierta por los dos primeros métodos. Esta técnica utiliza un escaneo sectorial con un ángulo alto, que produce ondas longitudinales que se propagan inmediatamente debajo de la superficie de inspección, para detectar defectos superficiales o subsuperficiales.

La técnica TOFD cubre toda la zona de fusión y emplea la difracción directa para detectar defectos verticales. La configuración de TOFD utilizada fue una técnica emisión recepción utilizando dos escaneos sectoriales, donde ambos transductores tienen una gran apertura para transmitir y recibir haces que cubran toda la unión.

En las soldaduras por EF, la interfaz de fusión es paralela a la superficie de la tubería y se puede utilizar una exploración lineal normal (0°), con los ultrasonidos enfocados en la interfaz entre la tubería y el accesorio de EF (Figura 2).

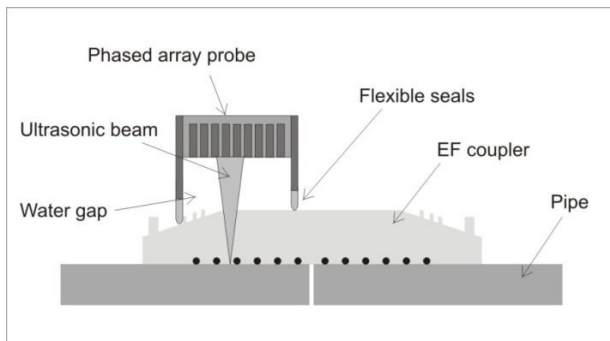


Figura 2. Técnica de inspección para uniones por EF.

Ya que la bobina del cable calefactor se encuentra encima de la interfaz de fusión, se requiere una resolución suficiente para poder ver tanto el cable como entre el bobinado.

Equipo de Inspección

El sistema de inspección PAUT consta de una serie de componentes: una sonda phased array, que produce la señal ultrasónica y detecta las señales reflejadas de cualquier defecto en la unión; una cuña para la sonda, que asegura que los ultrasonidos se transmiten desde la sonda a la tubería de PE o que se ajusta en el ángulo correcto y con la mínima pérdida de energía; un cabezal para la sonda, que asegure un buen contacto entre la cuña de la sonda y el tubo/accesorio de PE alrededor de toda la circunferencia; un escáner, que mueve el conjunto de la sonda alrededor de la unión sin que haya movimiento en la dirección axial y registra su posición circunferencial; y un detector de defectos, que envía señales eléctricas a los elementos de la sonda y analiza las señales de retorno.

En este proyecto, se ha optimizado el diseño de cada uno de los componentes para la inspección de tuberías de PE. Se han definido las sondas para la inspección de uniones BF, en lo que respecta a dimensiones físicas, frecuencia, número de elementos y paso, en función de la capacidad de detectar huecos de fondo plano y muescas de diferentes tamaños, mecanizadas en tuberías de PE de diferentes diámetros y espesores de pared, y la especificación de las sondas para inspeccionar uniones por EF en base a la capacidad de detectar el cable calefactor para diferentes tamaños. Se encontró que el rango de diámetros de tubería de 110 a 1000mm (4 a 39 pulgadas) se puede inspeccionar utilizando solo cuatro sondas diferentes (dos para la unión BF y dos para las uniones por EF). Las sondas PAUT se diseñaron y fabricaron según las especificaciones desarrolladas anteriormente.

Para asegurar un buen acoplamiento acústico en una superficie irregular de EF y permitir la dirección angular del haz en el caso de la inspección de una soldadura BF, las cuñas de la sonda son flexibles, con agua, y provistas de un sellado que permite mantener el agua en el interior de la cuña mientras la sonda pasa sobre la tubería o el accesorio de EF. El ángulo de las cuñas para inspeccionar las uniones BF se optimizó para minimizar la dirección electrónica de los elementos de la sonda. Fotografías de los conjuntos sonda / cuña se muestran en las Figuras 3 y 4.

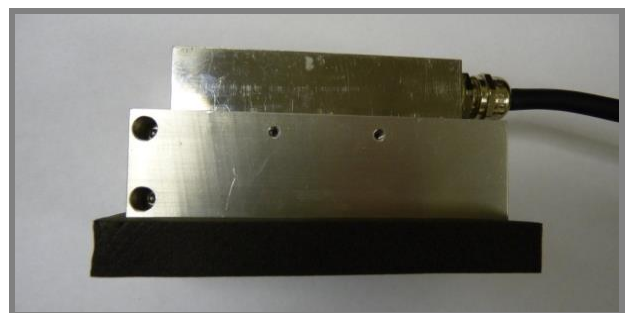


Figura 3. Conjunto cuña de agua/sonda a cero grados utilizado para inspeccionar uniones por EF de pequeño diámetro.



Figura 4. Conjunto de cuña de agua/sonda angular utilizado para inspeccionar uniones BF de pequeño diámetro.

Los cabezales de la sonda se diseñaron para poder colocar los diferentes conjuntos de sonda / cuña en el mismo sistema de escaneo. El escáner consistió en un carro, que contiene un encoder para registrar la posición circunferencial alrededor de la unión y un soporte para el cabezal de la sonda, así como una serie de eslabones para mantener el conjunto sobre la tubería (Figuras 5 y 6).

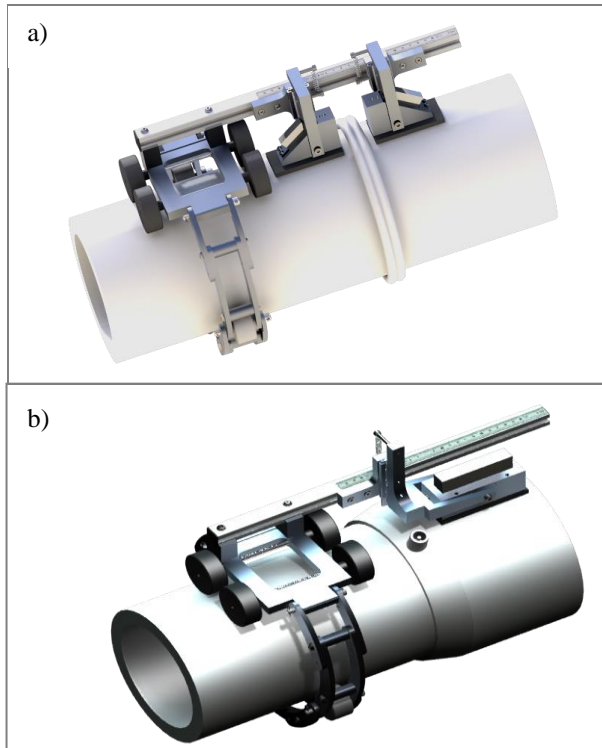


Figure 5. Diseño CAD del sistema de inspección TestPEP sin encoder en el carro para: a) uniones BF, y b) uniones por EF.

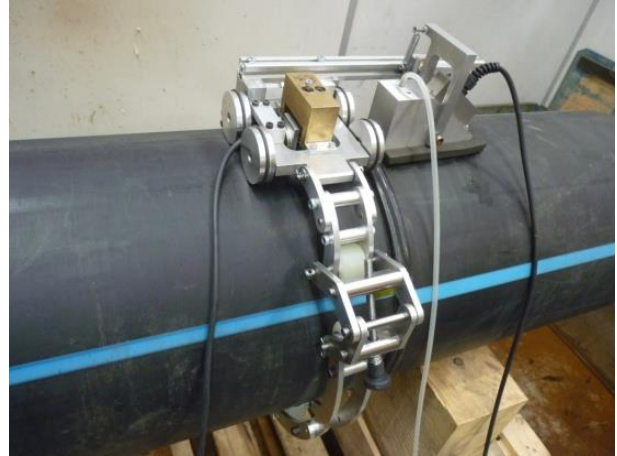


Figura 6. Prototipo del sistema de inspección TestPEP en una unión BF, con el encoder montado en el carro

Como parte del proyecto TestPEP, se diseñó y fabricó un detector de defectos completamente nuevo, con la capacidad de operar en entornos hostiles (Figura 7), con las siguientes características:

- Hardware ultrasónico integrado y tarjeta de PC;
- Acceso remoto a la aplicación de software (ethernet o WiFi);
- Protección IP67 para una inmersión total en agua;
- 100 GB de memoria interna para el almacenamiento de datos;
- Dos baterías recargables que permiten hasta seis horas de uso continuo.



Figura 7. Diseño CAD del detector de defectos TestPEP.

Validación de los procedimientos de inspección

Los procedimientos de inspección fueron validados inspeccionando uniones BF y por EF en tuberías de hasta 710 mm (28 pulgadas) de diámetro, que contenían defectos conocidos, incluyendo contaminación en forma de partículas, soldaduras frías y defectos planos (25 μ m (1

mil) de espesor y 1-50 mm (0.04-2.0 pulgadas) de diámetro). Estas uniones fueron realizadas en el laboratorio por operadores de soldadura calificados, utilizando tuberías y accesorios comerciales, de acuerdo con el procedimiento de soldadura DVS 2207-1.

Las Figuras 8 y 9 muestran imágenes ultrasónicas de una unión SDR11 por EF de 225 mm (9 pulgadas) que contiene un defecto plano de 2 mm (0,08 pulgadas) de diámetro y donde la tubería no se ha insertado completamente en el accesorio, respectivamente. Ambos tipos de defectos se pueden detectar claramente. Las Figuras 10 y 11 muestran imágenes de una unión estándar SDR17 por EF de 450 mm (18 pulgadas) y una soldadura fría, donde el tiempo de calentamiento se redujo al 50% del valor recomendado por el fabricante, respectivamente. Se ha demostrado que la línea de indicación por encima de los hilos de calentamiento es el límite de la zona de fusión en el accesorio para EF [9]. Por lo tanto, la distancia entre la indicación del límite de la zona de fusión y las indicaciones del hilo de calentamiento puede utilizarse para detectar soldaduras frías [9, 11, 12].

La figura 12 muestra una imagen de pulso-eco de sector de una junta SDR11 PE100 BF de 355 mm (14 pulgadas) que contiene una falla plana de 4 mm (0,16 pulgadas) en la interfaz de fusión.

Se han desarrollado procedimientos que permiten detectar los siguientes defectos de forma consistente, tanto en las uniones BF como por EF:

- Defectos planos / falta de fusión (más de 1 mm (39 mils) de diámetro);
- Partículas finas (menos de 22 µm; 0,9 mils);
- Partículas gruesas (150-300 µm; 6-12 mils);
- Soldaduras frías;
- Huecos (más de 1 mm (40 mils) de diámetro);
- Penetración insuficiente de la tubería en los accesorios de EF.

Figura 8. Imagen ultrasónica de una unión por EF SDR11 de 225 mm (9 pulgadas) que contiene un defecto plano de 2 mm (0,08 pulgadas) en la interfaz de fusión.

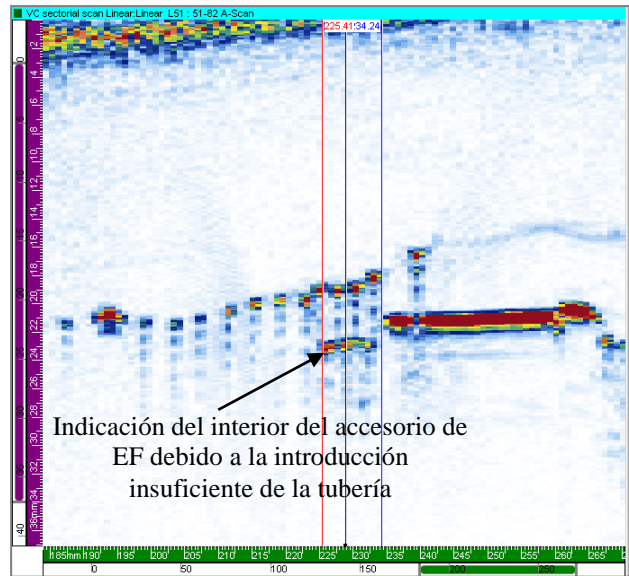


Figura 9. Imagen ultrasónica de una unión de SDR11 por EF de 225 mm (9 pulgadas) donde la tubería no se ha insertado completamente en el accesorio.

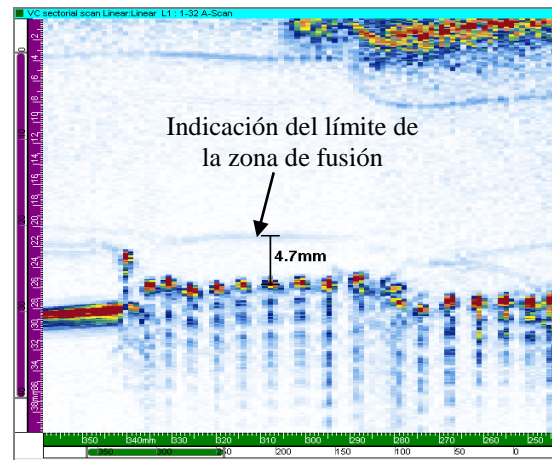
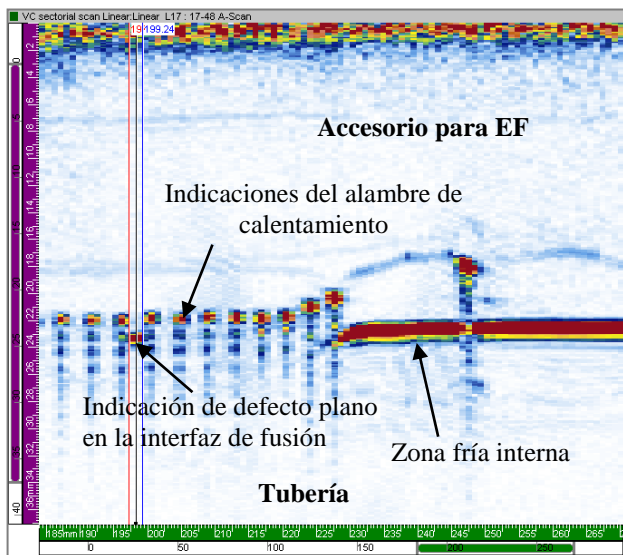


Figura 10. Imagen ultrasónica de una unión por EF estándar SDR17 de 450 mm (18 pulgadas).



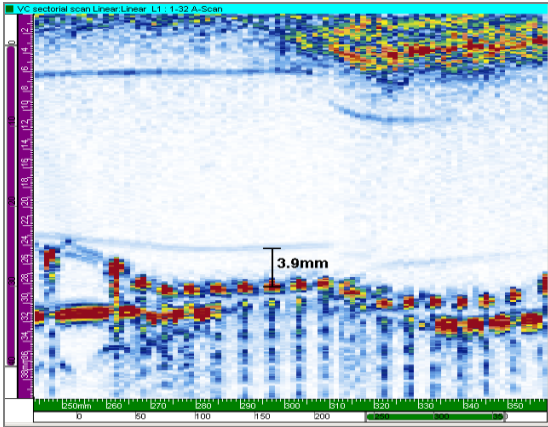


Figura 11. Imagen ultrasónica de una unión SDR17 EF de 450 mm (18 pulgadas) donde el tiempo de calentamiento se ha reducido en un 50%, lo que da como resultado una soldadura fría.

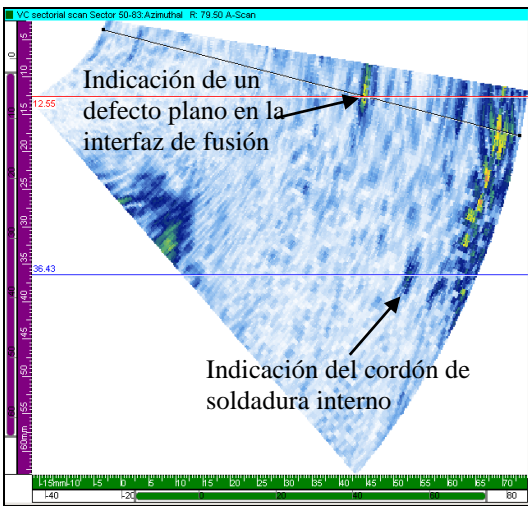


Figura 12. Imagen ultrasónica de una unión SDR11 BF de 355 mm (14 pulgadas) que contiene defecto plano de 4 mm (0.16 pulgadas) en la interfaz de fusión.

Evaluación del prototipo del sistema de inspección

E.ON Ruhrgas, Alemania, fabricó nueve uniones por EF en tubos monocompuestos HelixOne® PE100 multicapa de 110 mm (4,3 pulgadas) SDR11, algunos de los cuales contenían defectos y otros no. Estas uniones se inspeccionaron a ciegas en el laboratorio evaluándose las nueve correctamente. Por ejemplo, la Figura 13 muestra una imagen ultrasónica de una unión donde la inspección sugirió que contenía contaminación por partículas; E.ON Ruhrgas confirmó que se había insertado arena en la interfaz. También se puede ver en esta imagen que había indicaciones en la pared de la tubería, lo que sugiere que la unión entre las capas en la tubería de PE no era perfecta.

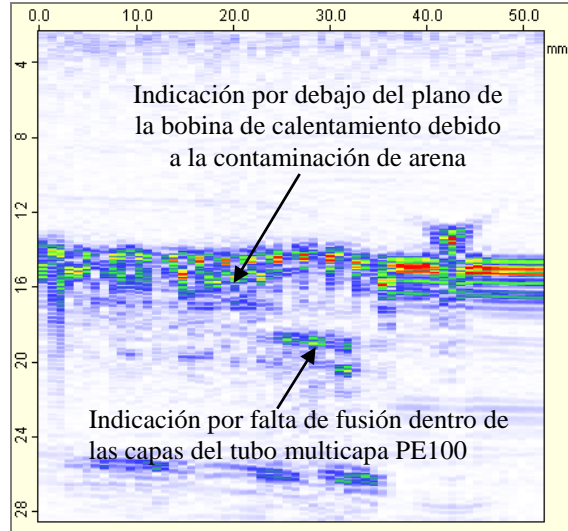


Figura 13. Imagen ultrasónica de una unión por EF producida por E.ON Ruhrgas que contiene contaminación de arena.

Las pruebas de campo se llevaron a cabo en el norte de Gales, Reino Unido, donde se inspeccionaron las uniones por EF en una tubería de PE100 de 710 mm (28 pulgadas) que se estaba instalando para una central hidroeléctrica (Figura 14)..



Figura 14. Pruebas inspección en campo en el norte de Gales, Reino Unido.

Además, las uniones BF en tubos de gas SDR21 PE80 de 355 mm (14 pulgadas) y uniones por EF en tuberías de gas SDR11 PE80 de 250 mm (10 pulgadas) se inspeccionaron en una zanja en Sheffield, Reino Unido. En ambos casos, no se detectaron defectos y prototipo del sistema funcionó perfectamente.

Conclusiones

Se han desarrollado técnicas y procedimientos de inspección por ultrasonidos phased array para detectar todos los principales tipos de defectos que pueden ocurrir

en uniones BF y por EF en tuberías de PE (falta de fusión, contaminación por partículas, soldaduras frías, introducción insuficiente de la tubería, huecos y desalineación axial) y se ha diseñado y fabricado un prototipo específicamente para inspeccionar soldaduras en tuberías de PE de diámetros entre 110 y 1000 mm (4 y 39 pulgadas) y espesores de pared entre 10 y 60 mm (0.4 y 2.4 pulgadas). Este sistema ha sido evaluado tanto en el laboratorio como en campo y se han obtenido excelentes resultados en uniones que contienen defectos tanto reales como artificiales

Agradecimientos

La investigación que conduce a estos resultados ha recibido financiación dentro del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea gestionado por la Agencia Ejecutiva de Investigación REA [PF7 / 2007-2013] en virtud del acuerdo de subvención n. °. 243791-2.

La información en este documento se proporciona tal cual y no se otorga garantía alguna de que la información sea adecuada para un propósito particular. El usuario de la misma utiliza la información bajo su exclusivo riesgo y responsabilidad.

Referencias

1. C.I. Brown and M.J. Troughton, *Plastics Pipes XII Conference* (2004).
2. M.J. Troughton, C.I. Brown, J Hessel and M Piovano, *Plastics Pipes XIII Conference* (2006).
3. I.J. Munns and G.A. Georgiou, *Insight*, **41(5)**, 291 (1999).
4. M.J. Troughton, *Plastics Pipes XI Conference* (2001).
5. B Messer, M. Yarmuch and P. den Boer, *Pipeline and Gas Journal*, March (2003).
6. S.L. Crawford, S.R. Doctor and A.D. Cinson, *ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, PVP2009-77958 (2009).
7. C. Frederick, A. Porter and D. Zimmerman, *ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, PVP2009-77783 (2009).
8. H.J. Shin, Y.H. Jang, J.R. Kwon and E.J. Lee, *Plastics Pipes XIII Conference* (2006).
9. C. Bird, D. Caravaca and A. Raude, *Plastics Pipes XIII Conference* (2006).
10. D.S. Caravaca, C. Bird and D. Kleiner, *Insight*, **49(2)**, 83 (2007).
11. M. Troughton, M Spicer and F Hagglund, *ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, PVP2012-78860 (2012).
12. J Shi, J Zheng, W Guo and C Xu, *ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, PVP2012-78655 (2012).