

## **DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO PARA INSPECCIÓN AUTOMATIZADA DE UNIONES SOLDADAS EN TUBERÍAS DE PLÁSTICO. PROYECTO EUROPEO TESTPEP**

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF AN AUTOMATED NDE APPROACH FOR TESTING WELDED JOINTS IN PLASTIC PIPES. EUROPEAN PROJECT TESTPEP.

**R. Rodríguez<sup>1</sup>, M. Troughton<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Asociación Española de Ensayos no Destructivos (AEND);Madrid.

<sup>2</sup>TWI; Granta Park, Great Abington, Cambridge

### **Resumen**

Las tuberías de plástico ofrecen avances significativos sobre otros materiales como acero, cobre y hormigón para el transporte de fluidos como gas natural, agua y líquidos corrosivos.

Actualmente, la mayor parte de las tuberías de distribución de gas y agua en Europa son de plástico, o se ha previsto su sustitución, en un futuro inmediato, por otras del mencionado material. Muchas de las fugas en esas tuberías de plástico tienen su origen en la fusión inadecuada de las uniones soldadas. El mejor método para atenuar el riesgo de fugas, y mantener la calidad de las uniones soldadas en las citadas tuberías, es inspeccionarlas previamente a su puesta en servicio. Sin embargo, no hay ningún método de END aceptado para el ensayo de tuberías de plástico. Esto ha restringido el uso de estos sistemas de tuberías para aplicaciones más exigentes, como es el caso de la industria nuclear, como consecuencia de la falta de confianza en su fiabilidad a largo plazo.

El principal objetivo del proyecto TestPEP, el cual es parte del Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea, es diseñar y construir un único instrumento que pueda ser usado para inspeccionar uniones de tubos realizadas a tope y por electofusión de tuberías de polietileno con diámetros hasta 1.000 mm. El prototipo del equipo diseñado y construido como parte del proyecto será evaluado en condiciones de laboratorio y de campo.

**Palabras clave:** *Ultrasonidos, soldadura, Phased Array, plásticos, tuberías*

### **Abstract**

Plastic pipes offer significant advantages over other materials such steel, copper and concrete, for the transportation of fluids such as natural gas, water, and corrosive liquids.

Most new European gas and water supply distribution pipelines are now made of plastic or are planned to be upgraded to plastic over the next few years. Many of the leaks in these plastic pipelines arise from improperly fused welded joints. The best method of alleviating the risk of leaks and maintaining the quality of welded joints in plastics pipes is to inspect them prior to service. However, there is no accepted NDE method for the examination of plastic pipes. This has restricted the use of welded plastics pipe systems for more demanding service applications such as in the nuclear industry, because of a lack of confidence in the long-term reliability of these systems.

The main objective of the TestPEP project, which is part of the European Commission's Seventh Framework Programme, is to design and make a single instrument that can be used to inspect both butt fusion and electrofusion joints in polyethylene pipes of diameters up to 1,000 mm.

The prototype NDE equipment, designed and built as part of this project will be assessed under both laboratory and field conditions.

**Keywords:** *Ultrasonic, weld, Phased Array, plastic, pipeline*

### **1. ANTECEDENTES**

Los tubos de plástico ofrecen ventajas significativas sobre otros materiales como acero, cobre y hormigón, para el transporte de líquidos como gas natural, agua y efluentes líquidos corrosivos. No se corroe; tiene una vida prolongada durante el servicio, con sustituciones menos frecuente; su instalación es menos costosa debido a su flexibilidad y poco peso; se producen menos fugas debido al proceso de soldadura. Sin embargo, su uso generalizado está siendo restringido por la falta de un método fiable de evaluación no destructiva (END) para las uniones soldadas, así como la falta de criterios de aceptación y rechazo. Las fugas en tuberías no sólo causan grandes gastos de reparación, sino que además pueden tener consecuencias desastrosas para el medio ambiente e incluso ocasionar la pérdida de vidas.

Plastics pipes offer significant advantages over other materials such as cast iron, steel, copper and concrete, for the transportation of fluids such as natural gas, water, effluent and corrosive liquids. They do not corrode; have a longer predicted service life, leading to less frequent replacement; they are less expensive to install due to their light weight and flexibility; and have significantly lower leakage rates due to having an all-welded system. However, their more widespread use is being restricted by the lack of a reliable non-destructive evaluation (NDE) method for the welded joints, and no flaw acceptance criteria. Pipeline leakage does not

only cause high repair costs but can also result in disastrous environmental consequences and even in loss of life

Las dos técnicas principales utilizadas para soldar tubos de plástico son la soldadura a tope por fusión y la electrofusión.

The two main techniques for welding plastics pipes are butt fusion welding and electrofusion welding

### **Soldadura a tope.**

En la soldadura a tope por fusión (Figura 1), los extremos de los tubos, que han sido cortados a escuadra y alisados, son empujados contra una placa calefactora de metal hasta que funden, en ese momento se retira la placa y los tubos son empujados uno contra otro dejándolos enfriar hasta que forman la unión soldada.

In butt fusion welding (Figure 1) the pipe ends, which have been cut square and flat, are pushed against a heated metal plate until they melt; the plate is then removed and the pipes are pushed together and allowed to cool, forming a weld.

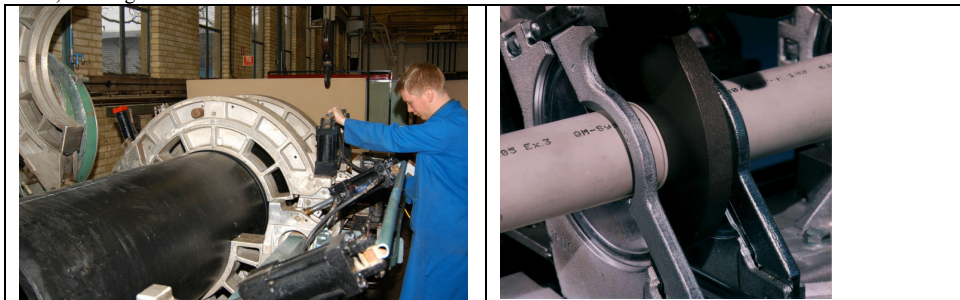


Figura 1 Soldadura de tubos a tope (TWI)

### **Electrofusión**

En la soldadura por electrofusión los extremos de los tubos son empujados en el interior de ambos lados del accesorio EF, el cual contiene una bobina calefactora en su interior (Figura 2). Se hace pasar corriente a través de la bobina, que calienta el interior del accesorio y el exterior de los tubos hasta la fusión, produciendo la soldadura.

In electrofusion (EF) welding the pipe ends are pushed into either end of the EF fitting, which contains a coil of heating wire in the inside (Figure 2). Current is passed through the coil, which heats up and melts the inside of the fitting and the outside of the pipes, producing a weld.

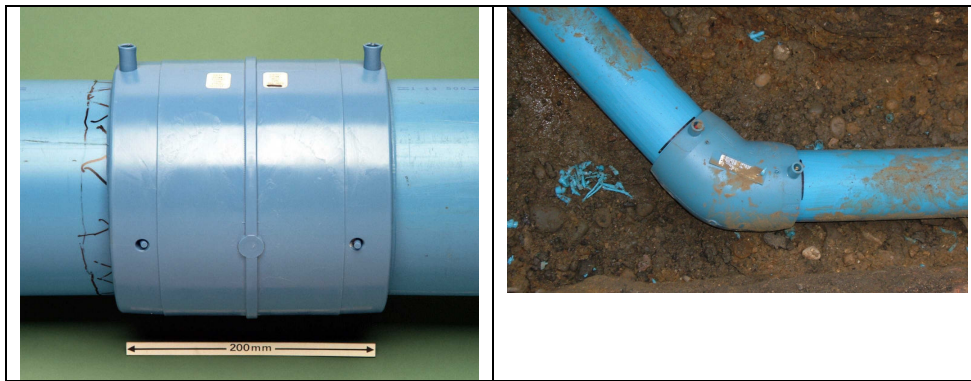


Figura 2 Soldadura por electrofusión (TWI)

El proyecto TestPEP forma parte del 7º programa marco de la Unión Europea. El coordinador del proyecto es el TWI siendo los miembros actuales los que se muestran en la tabla 1

This project is part of the 7th framework programme of the European Union. The coordinator of this project is TWI and the current partners are listed in the table 1

Tabla 1. Composición del consorcio del proyecto

<b>Asociaciones industriales/Industry Associations</b>	<b>Centros de investigación/Research Organisations</b>
European Federation for Welding, Joining and Cutting (Portugal) Asociación Española de Ensayos no Destructivos (Spain) Surface Mount and Related Technologies (UK) Pipeline Industries Guild (UK) Associazione Italiana Prove non Distruttive(Italy)	TWI (UK) Hessel Ingenieurtechnik (Germany) Kaunas Technical University (Lithuania) Consorzio Catania Ricerche (Italy)
<b>Fabricantes/Manufacturers</b>	<b>Usuarios de END/NDT Users</b>
Vernon (France) Isotest Engineering (Italy) M2M (France) Plasflow (UK)	E.ON Ruhrgas (Germany/Alemania) British Energy (UK/Reino Unido)
<b>Autoridad Reguladora Gubernamental/Governmental Regulatory Authorities</b>	
Health & Safety Executive (UK)	

El proyecto TestPEP pretende el desarrollo de técnicas y equipos de ensayos no destructivos mediante ultrasonidos phased array para el examen volumétrico de uniones soldadas en tubos de plástico hasta 1 m de diámetro. Además, el proyecto desarrollará un sistema de inspección automatizada que será capaz de inspeccionar las uniones a tope de tubería con tubería y de tubería con accesorios de polietileno (PE) y diámetros entre 90 y 1.000.

The TestPEP project will develop phased array ultrasonic NDE procedures, techniques and equipment for the volumetric examination of welded joints in plastics pipes of diameters up to 1m. In addition, the project will

develop an automated inspection system that will be able to inspect pipe-to-pipe and pipe-to-fitting butt and socket joints in polyethylene (PE) pipes of diameters between 90 and 1000 mm.

Un objetivo fundamental del proyecto es desarrollar un sistema de inspección que sea resistente y fácil de utilizar. El concepto de este proyecto es disponer de un instrumento de caja negra con una simple conexión ethernet para descargar los datos registrados y proporcionar la necesaria solidez de la sonda de ultrasonido Phased Array, de tal modo que, a través de un análisis semiautomático, se obtenga cómo respuesta la aceptación/rechazo de las soldadura y el sistema pueda ser operado por el personal habitual de tendido de tuberías.

A crucial aim of the project is to develop an inspection system that is site-rugged and simple to operate. The concept in this project is to have a black box instrument with a simple ethernet connection to download the recorded data, and to provide the necessary robustness of the phased array probe. Another objective of the project is to analyse the data semi-automatically so that a red/green (yes/no) answer can be provided for the quality of the welds and the system can be operated by normal pipe laying technicians.

El desarrollo se hará para uniones soldadas que contienen discontinuidades conocidas. Se analizarán los datos para determinar los límites de detección para cada técnica. En paralelo, se establecerá la importancia de la cantidad y tamaño de defecto en relación con los requerimientos de servicio. Esto se logrará mediante pruebas mecánicas a largo plazo de las uniones que contienen discontinuidades conocidas y la comparación con los resultados obtenidos para soldaduras que no contienen discontinuidades.

The development will be made by manufacturing welded joints containing known flaws. The NDE data will be analysed to determine the limits of flaw detection for each technique. In parallel, the significance of flaw size and quantity will be established in relation to service requirements. This will be achieved by long-term mechanical testing of joints containing known flaws, and comparison with results for welds containing no flaws.

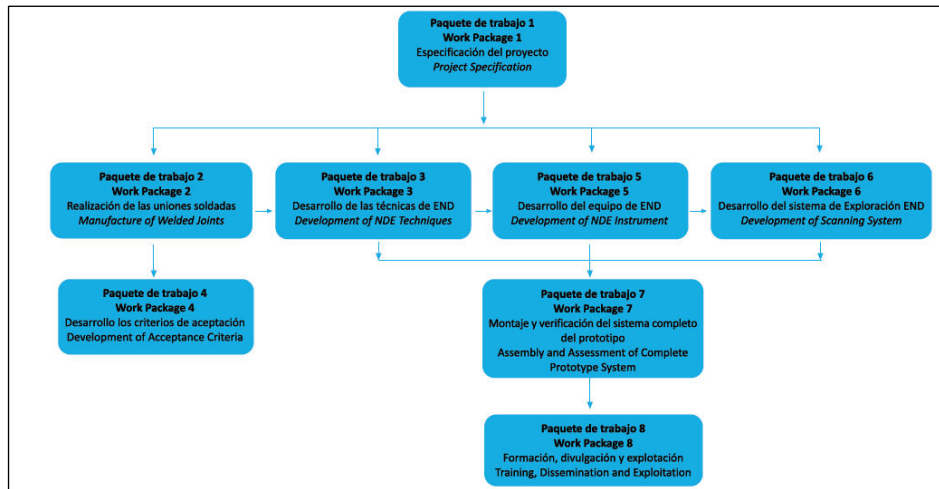
El prototipo del equipo diseñado y construido como parte de este proyecto se evaluará en condiciones de laboratorio y de campo.

The prototype NDE equipment, designed and built as part of this project will be assessed under both laboratory and field conditions

## **2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

El proyecto se estructura en 8 paquetes de trabajo según se muestra en la figura 3.  
The Project structure have 8 work package according to show in figure 3

Figura 3. Diagrama de flujo del proyecto



### Paquete de Trabajo 1 Especificación del proyecto.

Las asociaciones Industriales que forman parte del consorcio han realizado estudios entre sus miembros a fin de definir los materiales plásticos (p. e. PE, PP, PVC, PVDF y ABS), rango de tamaños de los tubos y tipos de juntas (p.e. fusión a “a tope”, electrofusión, tubo-a tubo, tubo-a-accesorio) que son de más interés para las compañías europeas involucradas en la industria de los tubos de plástico.

Asimismo, se han investigado los principales tipos de discontinuidades que pueden aparecer durante la soldadura de tubos de plástico en campo.

The Industry Associations in the consortium have conducted a survey among their members in order to define the plastics materials (e.g. PE, PP, PVC, PVDF and ABS), pipe size ranges and joint types (e.g. butt fusion, electrofusion, pipe-to-pipe, pipe-to-fitting) that are of most interest to European companies involved in the plastics pipes industry and also the main types of discontinuities that may appear during the welding of plastic pipes in field.

También es esencial que el sistema de END TestPEP desarrollado (equipo, palpadores “phased array”, técnicas y software de proceso de datos) esté directamente relacionado con las necesidades del mercado. Por esta razón, las asociaciones industriales deberán realizar estudios entre sus miembros a fin de desarrollar una especificación funcional para los sistemas de END.

It is also essential that the developed TestPEP NDE system (equipment, phased array transducers, techniques and data processing software) is directly relevant to the market needs. The Industry Associations have therefore also surveyed their members in order to develop a functional specification for the NDE system.

Las respuestas obtenidas desde empresas en 10 países diferentes revelan que:

En el 82 % de los casos el material utilizado es polietileno (PE)

Un 72% de las tuberías está comprendido entre 110 mm a 1000 mm.

Los principales tipos de soldadura empleadas es por electrofusión en un 41% y a tope en un 42%.

El tipo de uniones entre tuberías y accesorios (codos, reducciones uniones en T) es diverso, bien sean estos fabricados o moldeados.

Como discontinuidades típicas se encuentran:

Falta de penetración 19%	Soldadura fría 25%	Partículas gruesas 14%
Discontinuidades planas 19%	Partículas finas 20%	

The responses obtained from companies in 10 different countries revealed that:

In 82% of the cases the material used is PE.

72% of the responses were interested in pipe sizes from 110 mm to 1000 mm.

The main welding processes used are butt fusion (42%) and electrofusion (41%).

There is interest in inspecting joints between pipes and all types of fitting (e.g. reducers, t-joints, elbows), both injection moulded and fabricated.

Typical discontinuities are:

Lack of penetration 19 %	Cold welding 25 %	Coarse particles 14%
19% Flat discontinuities	20% Fine particles	

Basándose en la información proporcionada, se elegirán varios los siguientes tipos de uniones:

- Dos tipos de tubo de polietileno (PE 80 y PE 100)
- Cinco tipos de tamaños (180mm SDR11, 225mm SDR11, 355mm SDR11, 450mm SDR17 and 710mm SDR17).
- Uniones soldadas por electrofusión y a tope
- Cinco tipo de discontinuidades (partículas finas, partículas gruesas, discontinuidades planas, soldadura fría, y falta de penetración en soldaduras por electrofusión).
- 

Based on the information provided, the following will be investigated in the project:

- Two types of PE material (PE80 and PE100).
- Five pipe sizes (180mm SDR11, 225mm SDR11, 355mm SDR11, 450mm SDR17 and 710mm SDR17).
- Both butt fusion and EF joints.
- Five flaw types (fine particulates, coarse particulates, planar flaws, cold welds and pipe underpenetration in EF joints).

## **Paquete de trabajo 2. Realización de las uniones soldadas.**

Se deberán realizar una serie de uniones soldadas conteniendo las diferentes discontinuidades definidas en el Paquete de trabajo 1, con los materiales, tipos de junta y tamaños de tubería, también definidos en el mencionado paquete de trabajo, habida cuenta que tanto para la validación de los END, como para los criterios de aceptación, es necesario conocer el tamaño exacto de cada discontinuidad y/o la cantidad discontinuidades, muchas de las cuales pueden ser simulaciones idealizadas

de discontinuidades reales que pueden encontrarse “en campo” por ejemplo discos de aluminio, simulando huellas de dedos, aceite, grasa y gotitas de lluvia, partículas finas, de talco, arena y suciedad, soldaduras con aporte de calor reducido, que pueden tener lugar en campo si no se siguen los procedimientos correctos, y específicamente para las soldaduras “shocket”, penetración incompleta del tubo en el accesorio, que puede ocurrir cuando en campo no se utilizan abrazaderas de montaje (“pipe clamps”).

In this work package, the range of welded joints defined in Work Package 1 will be made. Since, for both the NDE assessment and the acceptance criteria, it is necessary to know the exact size and/or quantity of each flaw, most of the flaws chosen will be idealised simulations of actual flaws that may be encountered in the field, e.g. aluminium discs, simulating fingerprints, oil, grease and rain droplets; micronized talc, simulating airborne dust; graded sand, simulating sand and dirt; welds with reduced heat input, which can occur in the field if the correct procedures are not followed; and specifically for socket joints, incomplete penetration of the pipe into the fitting, which can occur in the field if pipe clamps are not used.

### **Paquete de Trabajo 3. Desarrollo de las técnicas de END.**

Las técnicas de END mediante ultrasonidos “Phased Array” serán desarrolladas para la detección de discontinuidades en los tipos de juntas y materiales de los tubos de plástico definidos en el Paquete de Trabajo 1, esto incluirá las especificaciones técnicas y funcionales del palpador “Phased Array”, diseño y especificación técnica del equipo y del manipulador. Esta tarea debe incluir el desarrollo de los algoritmos para el análisis de los datos requerido para las soldaduras efectuadas mediante EF. Deberán ser definidas las propiedades de los materiales plásticos seleccionados, así como, los métodos para superar la muy baja velocidad de propagación de los ultrasonidos y naturaleza altamente atenuante de esos materiales. Estos dos factores serán incorporados en la especificación del palpador.

The ultrasonic phased array NDE techniques will be developed in Work Package 3 for the detection of defects in the joint types and plastic pipe materials defined in Work Package 1. This will include the technical and functional specifications of phased array probe design and the technical specification of the ultrasonic instrument and manipulator. In addition, this task will develop the spatial data analysis algorithms required for the EF welds. The material properties of the chosen plastics will be defined as well as the methods to overcome the very slow acoustic velocity and highly attenuative nature of these materials. These two factors will be incorporated into the ultrasonic probe specification.

Se diseñarán y fabricarán suelas para acoplar por agua, para las soldaduras a tope y por electrofusión. La capacidad de los sistemas de END optimizados será determinada utilizando las soldaduras de tubos producidas en el Paquete de Trabajo 2. Subsiguiente a la optimización, se generaran procedimientos del plan general de inspección.

Specialist ultrasonic water wedges will be designed and manufactured for both butt fusion and EF welds. The capability of the optimised NDE system will be determined using the welded pipe joints produced in Work Package 2. Following optimisation, outline inspection procedures will be generated.

### **Paquete de Trabajo 4. Desarrollo los criterios de aceptación.**

Las soldaduras inspeccionadas en el Paquete de Trabajo 3 serán ensayadas mecánicamente usando probetas, y sometiendo a un tubo completo a un ensayo de

rotura por deformación progresiva (bajo carga constante). Los resultados de estos ensayos serán analizados para cada uno de los diferentes tipos de discontinuidades y comparados con los resultados de los ensayos de soldaduras conteniendo discontinuidades no planificadas. El tamaño real de las discontinuidades en las juntas, frente al de las discontinuidades insertadas en las juntas antes de su soldadura, será determinado seccionando una serie de probetas de ensayo. Los niveles reales de la contaminación por partículas serán determinados usando técnicas de análisis superficial en las interfases de la soldadura. Se generarán gráficos de “tamaño de discontinuidades/nivel de contaminación por partículas” con respecto al “tiempo transcurrido hasta la rotura”, a fin de calcular los tamaños/niveles críticos que reducen la integridad de la soldadura a largo plazo, para cada material, tamaño de tubo y tipo de junta. Esta información será comparada con las discontinuidades detectadas utilizando el prototipo del equipo de END que permita la aceptación o rechazo de la soldadura inspeccionada.

In Work Package 4 the welds inspected in Work Package 3 will be mechanically tested using both specimen and whole pipe creep rupture tests. The results from these tests will be analysed for each of the different flaw types and compared with the results from tests on welds containing no deliberate flaws. The actual size of the flaws in the joints, as opposed to the size of the flaw inserted into the joint before welding, will be determined by sectioning a set of test samples. The actual particulate contamination levels will be determined using surface analysis techniques on the weld interfaces. Graphs of flaw size/particulate contamination level against time-to-failure will be generated in order to calculate the critical sizes/levels of defects for each pipe material, pipe size and joint type that reduce the long-term integrity of the weld. This information will be compared with the flaws detected using the prototype NDE equipment to enable the inspected weld to be accepted or rejected.

#### **Paquete de Trabajo 5.Desarrollo del equipo.**

El prototipo del sistema de adquisición de datos y análisis END mediante ultrasonidos Phased-Array será desarrollado. Se emprenderá el diseño progresivo del control electrónico del haz y del procesamiento de los datos. Esto requerirá la implementación en el equipo de los algoritmos desarrollados en el Paquete de Trabajo 3. Se llevaran a cabo esfuerzos importantes de miniaturización del equipo y se procurará la inclusión de conexión wireless.

The prototype ultrasonic phased array NDE data acquisition and analysis systems will be developed in Work Package 5. Extensive design of the ultrasonic beam control electronics and the data processing within the instrument will be undertaken. This will require the implementation within the instrument of the algorithms developed in Work Package 3. Significant effort will be implemented to miniaturization and including wireless connection.

#### **Paquete de Trabajo 6.Desarrollo del sistema de exploración.**

Se diseñará, desarrollará y fabricará un prototipo de posicionador flexible y adaptable a un rango amplio de tamaño de tubos y geometría de juntas, para explorar con el(los) palpador(es) de ultrasonidos Phased-Array, que permita una desplazamiento completo de 360° alrededor de la unión mientras proporciona datos detallados de su posicionado.

In Work Package 6 a flexible prototype system for scanning the ultrasonic phased array probe(s) over the surface of the welded joints, allowing full 360° rotation around the joint whilst providing detailed positional data, and accommodating a wide range of pipe sizes and joint geometries, will be designed, developed and manufactured.

#### **Paquete de Trabajo 7. Montaje y verificación del prototipo.**

El sistema completo de END, incluyendo el equipo, palpador(es) y sistema de exploración, será montado y verificado en campo por el usuario final que forma parte del proyecto, así como por miembros de las asociaciones industriales que estén interesados, para evaluar la sensibilidad, reproducibilidad y facilidad de uso del sistema. Este Paquete de Trabajo incluirá la validación el sistema para el rango de soldaduras especificado en el Paquete de Trabajo 1. Se realizaran una serie de soldaduras de tuberías, para la validación, en las que la localización y número de discontinuidades permanecerán ocultas para el operador de END.

In Work Package 7 the complete NDE system, including instrument, probe(s) and scanning system, will be assembled and assessed in the field by the end users in the project, as well as by interested members of the Industry Associations, to evaluate the sensitivity, reproducibility and ease-of-use of the system. This work package will include the validation of the system for the range of welds specified in Work Package 1. For the validation a series of pipe welds will be produced, where the location and number of flaws will remain blind to the NDE operator.

#### **Paquete de Trabajo 8. Formación divulgación y explotación.**

El conocimiento generado durante en el transcurso del proyecto será difundido, tanto a los responsables de las pequeñas y medianas empresas que vayan a proveer los nuevos servicios de inspección, como a los usuarios finales. Esto se llevará a cabo vía "página web" del proyecto, temarios y directrices para la formación, campañas de concienciación, jornadas técnicas, publicaciones, comunicados y conferencias.

The knowledge generated during the course of the project will be disseminated both to SMEs responsible for providing the new inspection service and to end users. This will be done via the project website, training guidelines, awareness campaigns, workshops, publication, newsletters and conferences.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Las investigaciones llevadas a cabo para obtener estos resultados están financiadas por el Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea, gestionado por la REA (Agencia Ejecutiva de Investigación) <http://ec.europa.eu/research/rea> (FP7-SME-2013-2) según el acuerdo de subvención nº. 243791-2.

"The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme managed by REA-Research Executive Agency ([FP7/2007-2013]) under grant agreement no [243791-2]."