



DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN PROYECTO EUROPEO DE END AUTOMATIZADOS PARA EL ENSAYO DE UNIONES SOLDADAS EN TUBERÍAS DE PLÁSTICO

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF AN AUTOMATED NDE APPROACH FOR TESTING WELDED JOINTS IN PLASTIC PIPES

Autores: Mike Troughton (TWI) / Rodolfo Rodriguez (AEND)

INTRODUCCIÓN / INTRODUCTION

Los días 23 y 24 de febrero de 2010, tuvo lugar en la sede del TWI (Technological Welding Institute) en Cambridge (Reino Unido), la reunión de lanzamiento del proyecto "TestPEP". Este proyecto forma parte del 7º programa marco de la Unión Europea. El coordinador de este proyecto es el TWI siendo los miembros actuales del mismo los que se relacionan a continuación:

On 23/24 February, 2010 at the headquarters of TWI, Cambridge (UK), the kick-off meeting of the TestPEP project was held. 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 below:

Industry Associations/Asociaciones industriales	Research Organisations/Centros de investigación
European Federation for Welding, Joining and Cutting (Portugal)	TWI (UK/Reino Unido)
Asociación Española de Ensayos no Destructivos (Spain/España)	Hessel Ingenieurtechnik (Germany/Alemania)
Surface Mount and Related Technologies (UK/ Reino Unido)	Kaunas Technical University (Lithuania/Lituania)
	Consorzio Catania Ricerche (Italy/Italia)
Manufacturers/Fabricantes	End Users/ Usuarios de END
Vernon (France/Francia)	
Isotest Engineering (Italy/Italia)	E.ON Ruhrgas (Germany/Alemania)
M2M (France/Francia)	British Energy (UK/Reino Unido)
Plasflow (UK/Reino Unido)	





Asistentes a la reunión de lanzamiento / Attendees at the kick-off meeting/

ANTECEDENTES

Se estima que cada año se realizan en las carreteras y calles de Europa unos 400 millones de excavaciones para acceder a un laberinto subterráneo de 300 millones de Km de tuberías y cables (Referencia: EurekaAlert. Reducing the Road Works- Nottingham University Report, 21-mayo-2009), lo que ocasiona entorpecimientos para los usuarios de las carreteras, desorganización de las actividades, daños medioambientales, consumo adicional de combustibles y costes relacionados con la seguridad.

Actualmente, la mayor parte de las tuberías de distribución de gas y agua en la CE 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. Este hecho 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.

Todos los tubos de diámetro grande para el transporte de gas natural o GLP, fabricados con acero, están sometidos a inspecciones volumétricas. La práctica más habitual para inspeccionar estas soldaduras de acero, es la utilización de ultrasonidos mediante la técnica de "Phased Array". A partir de esta evidencia queda claro que la industria de las tuberías de plástico está en inferioridad de condiciones y, con retraso, en relación con la industria de los tubos de acero.

BACKGROUND

Every year an estimated 40million holes are dug up in Europe's roads and streets to access the subterranean maze of 30million kms of pipes and cables (Reference. EurekaAlert. Reducing the Road Works - Nottingham University Report, 21st May 2009), resulting in delays to road users, disruption to business, environmental damage, additional fuel usage and safety costs.

Most new EC 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.

All large diameter pipes made from steel for the transportation of gas both natural gas and LPG are subject to volumetric inspection. The current best practise for inspection of these steel welds uses ultrasonic phased array NDE. From this evidence it is clear that the plastic pipe industry is out of step and lagging well behind the steel pipe industry. Why are there no inspection systems for plastics pipes? The main reason is because



¿Por qué no existen sistemas de inspección para los tubos de plástico?. La razón mas importante es porque los plásticos, son materiales difíciles de inspeccionar, debido a sus propiedades físicas de alta atenuación y baja velocidad de propagación de los ultrasonidos.

PRÁCTICA HABITUAL

Las dos técnicas principales utilizadas para soldar tubos de plástico son la soldadura a tope por fusión y la electrofusión (EF). 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 se funden, en ese momento se retira la placa y los tubos son empujados uno contra otro, dejándolos enfriar hasta que formen la unión soldada.

plastics are difficult materials to inspect due to their physical properties of high attenuation and low ultrasonic velocity.

CURRENT PRACTICE

The two main techniques for welding plastics pipes are butt fusion welding and electrofusion (EF) welding. 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 a tope por fusión de tubos de PE en campo / *Figure 1 Butt fusion welding of PE pipes in the field.*

En la soldadura por EF 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 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. Sección transversal de una junta por EF de una tubería de gas, mostrando la posición de la bobina calefactora
Figure 2 Section through an electrofusion joint in a PE gas pipe, showing the position of the heating wire coils.



En Europa, la práctica habitual para asegurar la calidad de las soldaduras por fusión o por EF es mediante ensayos destructivos, verificando las soldaduras sobre una probeta mediante ensayos de tracción o de doblado y suplementados con una inspección visual de cada soldadura. Sin embargo, la inspección visual, únicamente, permite examinar la superficie externa de la soldadura del tubo, por tanto, no permite detectar la existencia de falta de fusión o fusión fría en una soldadura.

Además, el corte de una soldadura para efectuar los ensayos mecánicos y reemplazarla por otra soldadura de calidad desconocida puede ir en detrimento de la integridad de la tubería. Los END volumétricos no destruirán las soldaduras buenas perfectamente ejecutadas, con la ventaja medioambiental de reducir los residuos y el ahorro del coste de algunas uniones.

Varias técnicas volumétricas de END han sido, y son, investigadas para su aplicación en tubos de plástico, incluyendo ultrasonidos, radiografía, termografía e imagen por microondas. La radiografía se ha mostrado capaz de detectar un número de tipos de defectos en uniones de tubos de plástico. Sin embargo, este método no puede ser realizado en el entorno del tendido de tuberías debido a los aspectos relacionados con la seguridad. La inspección mediante métodos térmicos ha resultado insensible a los tipos de discontinuidades que se producen en las soldaduras de plásticos, debido a la baja conductividad térmica del material. La imagen mediante microondas tiene restricciones similares, ya que la longitud de onda es mayor que el tamaño de las discontinuidades que se quieren detectar.

Anteriormente dos proyectos europeos "WINDEPP" y "Polytec" han investigado la inspección ultrasónica de soldadura de tubos de polietileno.

Estos proyectos pusieron de manifiesto que los END mediante ultrasonidos pueden detectar discontinuidades planas y contaminación por partículas gruesas en ambos procesos de unión, por fusión y EF y, además, falta de penetración y soldaduras en frío en juntas realizadas mediante EF. Desafortunadamente, ninguno de los prototipos de los sistemas de inspección desarrollados en esos proyectos fueron comercializados y, por consiguiente, actualmente no hay en Europa ningún sistema de ensayo para la inspección de tubos de plástico. No obstante, aunque algunas compañías de instrumentación e inspección tienen disponibles sistemas de inspección para tubos de acero, ninguno de esos sistemas tienen el "software" o el equipo de "Phased Array" para realizar ensayos volumétricos de soldaduras de plásticos. Además, en Europa no hay manipuladores integrados con los palpadores de ultrasonidos específicos requeridos para cumplir con la alta atenuación y la baja velocidad de propagación propias de los materiales plásticos.

The current European practice for butt fusion and EF weld quality assurance is destructive testing of welds on a sample basis using tensile tests or bend tests supplemented with visual inspection of every weld. However, visual inspection can only examine the external surface of the pipe weld; it cannot provide evidence of a weld with incomplete fusion or cold fusion. In addition, cutting out a weld for mechanical testing and then replacing it with a weld of unknown quality can be detrimental to the integrity of the pipeline. Volumetric NDE will not destroy perfectly good welds with the environmental advantage of reduced waste and cost saving of fewer welds.

Various volumetric NDE techniques have been, and are being, investigated for plastics pipes, including ultrasonics, radiography, thermography and microwave imaging. Radiography has been shown to be able to detect a number of defect types in plastics pipe joints. However, this technique cannot be deployed in a pipe laying environment due to safety implications. Thermal inspection methods have been found to be insensitive to the types of flaws found in plastic welds due to the low thermal conductivity of the material. Microwave imaging has similar restrictions in that the wavelength is greater than the size of flaws that are required to be detected.

Ultrasonic inspection of polyethylene pipe welds has been investigated in two previous European-funded projects: WINDEPP and Polytec Systems. These projects showed that ultrasonic NDE can detect planar flaws and coarse particulate contamination in both butt fusion and EF joints and, in addition, pipe underpenetration and cold welds in EF joints. Unfortunately, neither of the prototype inspection systems developed in these projects were commercialised and therefore, currently there are no proven plastic pipe inspection systems available in Europe. Although there are pipe inspection systems available for steel pipes from many instrument and inspection companies, none of these systems has either the software or phased array hardware to provide volumetric examination of plastic welds. Furthermore, there are no manipulators in Europe integrated with the specific ultrasound transducers required to cope with the highly attenuative and slow plastic material properties.



LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Queda claro que la industria necesita un dispositivo para inspeccionar todas las variedades de tubos de plástico, accesorios y tamaños, a fin de detectar discontinuidades y utilizar estos datos para predecir la vida de las uniones soldadas de los tubos. Los plásticos por su naturaleza atenuante requieren palpadores de muy alta potencia, con electrónica capaz de general alta "ganancia" con "poco ruido". Están disponibles los amplificadores de "alta ganancia", pero el reto es crear una electrónica que pueda resistir el riguroso ambiente (Figura 3) y los espacios confinados en los que, a menudo, son instalados los tubos de plástico a un precio bajo y que puedan ser sencillos de manejar por técnicos que no están acostumbrados a utilizar instrumentos delicados.

THE PROPOSED SOLUTION

There is a clear industrial need for a device to inspect all varieties of plastic pipe, fittings and sizes in order to detect defects and use this data to predict the life of welded pipe joints. The attenuative nature of plastics requires very high power transducers with electronics capable of generating high gain with low noise. High gain amplifiers are available but the challenge is to create an electronic package that can withstand the harsh environment (Figure 3) and confined spaces in which plastics pipes are often installed, at a low price and which is simple to operate by technicians who are not used to delicate instrumentation.



Figura 3. Condiciones típicas del emplazamiento para la instalación de los tubos de plástico / *Figure 3 Typical site conditions for installing plastics pipes.*

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un único instrumento que pueda ser usado para inspeccionar uniones tanto a "tope" como en "shocket" "tubo-a-tubo" y "tubo-a-accesorio" (codos, curvas, reducciones, tes) para tubos de diferentes materiales plásticos con diámetros hasta 1000 mm. Se requerirá que el instrumento tenga suficiente memoria para almacenar los datos de una inspección y descargarlos en un ordenador, más un sistema complejo de palpadores "Phased Array". La ventaja de los palpadores "Phased Array" es que pueden recoger datos con mucha rapidez y la inspección puede ser realizada de una única pasada alrededor de la soldadura, sin necesidad de ningún movimiento axial mecanizado. Este concepto de mecanización simplificada puede resolver muchos de los retos económicos y ergonómicos requeridos.

Se requiere que los datos sean analizados semi-automáticamente, de manera que la calidad de la soldadura se indique en forma de respuesta "rojo/verde" (sí/no), de tal forma que el sistema pueda ser operado por el personal habitual de tendido de tuberías. El concepto básico de los algoritmos del

The objective of this project is to design and make a single instrument that can be used to inspect pipe-to-pipe and pipe-to-fitting (elbows, bends, reducers, tees) butt and socket joints in a range of plastic pipe materials and diameters up to 1000mm. The instrument will be required to have sufficient memory to store an inspection and download the data to a computer, plus drive complex ultrasonic phased array probes. The advantage of phased array probes is that they can collect ultrasound data very rapidly and the inspection can be performed with a single pass around the weld without any mechanical axial movement. This simplified mechanical concept will solve many of the required economic and ergonomic challenges.

The data is required to be analysed semi-automatically so that a red/green (yes/no) answer can be provided for the quality of the welds so that the system can be operated by normal pipe laying technicians. The basic concept of the data analysis



análisis de datos fue demostrado en el proyecto del Sistema "Polytec", pero este requiere un prolongado y potente análisis "off-line". El nuevo sistema requiere que este análisis sea rápido e integrado.

En paralelo, debe establecerse, con relación a las exigencias de servicio, la importancia del tamaño de las discontinuidades y su cantidad. Esto puede lograrse mediante ensayos mecánicos "a largo término" de juntas que contengan defectos conocidos, y su comparación con los resultados de soldaduras libres de ellos.

El prototipo del equipo de END, diseñado y fabricado como una parte de este proyecto, será evaluado, tanto en las condiciones de laboratorio como en las de campo.

Los principales objetivos del proyecto "TestPEP" son:

- Desarrollar técnicas de END mediante el uso de ultrasonidos "Phased Array" para la inspección de soldaduras a "tope" o "shocket" en tuberías de hasta 70 mm de espesor, en varios materiales plásticos.
- Determinar los límites de detección de las técnicas anteriormente mencionadas para los diferentes materiales y tamaños.
- Determinar los tamaños de defecto críticos y los niveles de contaminación para los anteriores materiales y tamaños de tubos.
- Desarrollar el "software" para reconocimiento de defectos y su evaluación, que permita al equipo dar una indicación del tipo "pasa/no pasa".
- Producir un prototipo del sistema de ultrasonidos que pueda inspeccionar ambos tipos de uniones, a "tope" o "shocket" en tubos de hasta 1m de diámetro.

El proyecto prevé las siguientes realizaciones :

- i) La expansión de las técnicas básicas de inspección a una gama de materiales plásticos y conexiones utilizados en la industria.
- ii) Un nuevo y compacto sistema de inspección mediante "Phased Array" con la capacidad de utilizar palpadores de dicha técnica en un ambiente reducido y agresivo.
- iii) Un dispositivo de exploración con palpadores "Phased Array" integrados que proporcione un sistema mecánico robusto.
- iv) Un nuevo sistema de análisis y procesado de datos que permita al sistema de inspección, ser utilizado rápidamente en campo por técnicos de tendido de tuberías.
- v) Un procedimiento de inspección incluyendo los criterios de registro y los niveles de aceptación de las discontinuidades.

algorithms was demonstrated in the Polytec Systems project but this required lengthy powerful off-line analysis. The new system requires this analysis to be rapid and integrated.

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.

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

El prototipo del equipo diseñado y construido como parte del proyecto será evaluado en condiciones de laboratorio y de campo.

The main objectives of the TestPEP project are:

- *To develop ultrasonic phased array NDE techniques for the inspection of both butt and socket joints in pipes up to 70mm thick in various plastics materials.*
- *To determine the limits of detection for the above techniques/materials/sizes.*
- *To determine critical defects sizes and contamination levels for the above materials and pipe sizes.*
- *To develop defect recognition and automatic defect sentencing software to allow the equipment to provide a pass/fail indication.*
- *To produce a prototype ultrasonic NDE system that can inspect both butt and socket joints in pipe sizes up to 1m diameter.*

The anticipated project deliverables will include:

- i) *Expanding the basic inspection technique to a range of plastic materials and fittings used in the industry.*
- ii) *A new compact phased array flaw detector with the ability to drive phased array probes in a harsh compact environment.*
- iii) *An integrated scanner and phased array probes providing a mechanically rugged system.*
- iv) *Novel data analysis and processing systems enabling the system to be used rapidly in the field by pipe laying technicians.*
- v) *Inspection procedure including flaw reporting criteria and flaw acceptance levels.*



- vi) Diseño de un palpador "Phased Array" robusto adaptable para muchos materiales y geometrías de unión.
- vii) Programas de concienciación del personal de pequeñas y medianas empresas suministradoras de servicios de inspección, de equipos de soldadura de tuberías y compañías de tendido de tuberías.
- viii) Guías de aplicación y formación y certificación de operadores, conducentes a normas futuras.
- ix) Programas de formación en la tecnología de inspección mediante "Phased Array".

- vi) *Rugged phased array sensor design that is adaptable for many materials and fitting geometries.*
- vii) *Awareness programmes for personnel in SME inspection service providers, pipe welding equipment suppliers and pipe laying equipment companies.*
- viii) *Guidelines for application and operator training and certification, leading to future standards.*
- ix) *Training programmes in phased array inspection technology.*

ESTRUCTURA DEL PROYECTO

La estructura del proyecto es la que se muestra en la Figura 4.

Paquete de Trabajo 1. Especificación del proyecto

Las asociaciones Industriales que forman parte del consorcio realizarán 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. Basándose en la información proporcionada, se elegirán hasta tres tipos de tubo de material plástico para ser examinados dentro del ámbito del proyecto, y serán evaluados hasta cuatro tamaños de tubo y cuatro tipos de junta por cada material. Las asociaciones

PROJECT STRUCTURE

The project structure is shown in Figure 4.

Work Package 1. Project Specification

The Industry Associations in the consortium will survey 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. Based on the information provided, up to three plastic pipe materials will be chosen to be examined in the project, and for each material up to four pipe sizes and four joint types will be assessed. The Industry

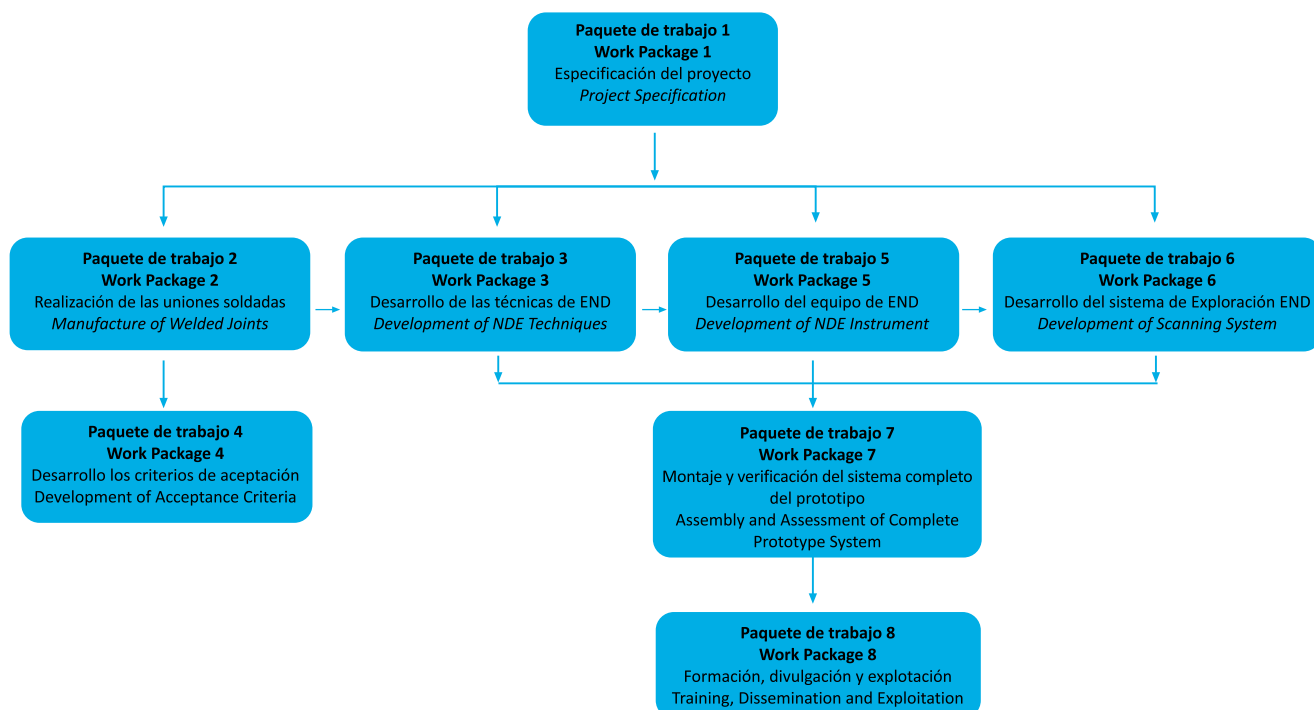


Figura 4. Diagrama de flujo del proyecto mostrando las interdependencias de los paquetes de trabajo que lo componen | Figure 4 Project flow diagram showing the interdependencies of component Work Packages.



industriales, también encuestarán a sus miembros a fin de definir los principales tipos de discontinuidades que pueden aparecer durante la soldadura de tubos de plástico en campo.

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.

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". Basados en la experiencia previa, los tipos de discontinuidades serán, probablemente, discontinuidades planas, simulando huellas de dedos, aceite, grasa y gotitas de lluvia, partículas finas, polvo en suspensión en el aire, partículas gruesas, 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").

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 funcional 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.

Se diseñarán y fabricarán suelas especiales para los palpadores de ultrasonidos, Para las soldaduras por

Associations will also survey their members in order to define the main types of flaws that can occur when welding plastics pipes in the field.

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 will therefore also survey their members in order to develop a functional specification for the NDE system.

Work Package 2. Manufacture of Welded Joints

A range of welded joints containing the various flaws defined in Work Package 1 will be made in the materials, joint types and pipe sizes also defined in Work Package 1. 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. Based on previous experience, the flaw types are likely to be planar flaws, simulating fingerprints, oil, grease and rain droplets; fine particulates, simulating airborne dust; coarse particulates, 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.

Work Package 3. Development of NDE Techniques

The ultrasonic phased array NDE techniques will be developed 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.



fusión, las suelas necesitan ser fabricadas a partir de materiales de muy baja velocidad de propagación de los ultrasonidos; las soldaduras por EF requerirán cuñas especializadas para acoplar con agua. La capacidad de los sistemas de END optimizados será determinada utilizando las soldaduras de tubos producidas en el Paquete de Trabajo 2. Subsiguente a la optimización, se generaran procedimientos del plan general de inspección.

Paquete de Trabajo 4. Desarrollo los criterios de aceptación

Las soldaduras inspeccionadas en el Paquete de Trabajo 3 serán ensayadas, mecánicamente, usando ambas 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.

Paquete de Trabajo 5. Desarrollo del equipo de END

El prototipo del sistema de adquisición de datos y análisis END mediante ultrasonidos Phased-Array será desarrollado en este Paquete de Trabajo. Se emprenderá el diseño progresivo del control electrónico del haz y del procesado de los datos. Esto requerirá la implementación en el equipo de los algoritmos desarrollados en el Paquete de Trabajo 3. Se llevarán a cabo esfuerzos importantes relacionados con el coste del equipo desarrollado.

Paquete de Trabajo 6. Desarrollo del sistema de exploración

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

Specialist ultrasonic probe shoes will be designed and manufactured. For butt fusion welds, the probe shoes will need to be manufactured from very low velocity ultrasonic materials; EF welds will require specialised water wedges. 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.

Work Package 4. Development of Acceptance Criteria

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.

Work Package 5. Development of NDE Instrument

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 into cost reduction of the deployed instrumentation.

Work Package 6. Development of Scanning System

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



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 del sistema para el rango de soldaduras especificado en el Paquete de Trabajo 1. Se realizará 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.

Paquete de Trabajo 8. Formación, divulgación y explotación

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

of pipe sizes and joint geometries, will be designed, developed and manufactured.

Work Package 7. Assembly and Assessment of Complete Prototype System

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.

Work Package 8. Training, Dissemination and exploitation

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.

