

## UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA DENTRO DEL V PROGRAMA MARCO: EL WORK PACKAGE 6 (TRAINING AND EDUCATION) DEL PROYECTO FITNET

S. Cicero, F. Gutiérrez-Solana, J.A. Álvarez

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, ETS. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria. Av/Los Castros s/n, 39005 Santander.

E-mail: ciceros@unican.es

### RESUMEN

La formación y la educación se han revelado como un factor clave en la competitividad de las sociedades modernas. Las autoridades europeas han tomado conciencia de ello, de tal manera que no solo han mostrado su preocupación al respecto si no que han ido incrementando paulatinamente los presupuestos destinados a tales actividades. En lo relativo a la Integridad Estructural, la educación y la formación tienen una gran demanda por parte de numerosas industrias, tal y como han revelado distintas encuestas [1,2]

En este trabajo se recogen los trabajos realizados y las experiencias formativas en el recientemente finalizado proyecto FITNET (*European Fitness-for-Service Network*), correspondiente al V Programa Marco de la UE. La Universidad de Cantabria, como líder del Work Package 6 de dicho proyecto (*Training & Education*), ha llevado a cabo una serie de actividades formativas dirigidas a ingenieros y estudiantes de ingeniería que se explican a continuación. De entre todas ellas destacan la elaboración de un amplio "*Training Package*", el desarrollo de distintos seminarios internacionales especialmente dirigidos a países con menor tradición en el campo de la integridad estructural y la elaboración de un documento (*Case Studies & Tutorials*) con ejercicios de aplicación práctica del propio procedimiento FITNET.

### ABSTRACT

Training and Education (T&E) activities have shown themselves to be a key point in modern societies. This fact has been noticed by European authorities who not only declare their concern about it, but also increase the Training and Education budget in their policies. Concerning Fitness for Service (FFS), T&E has a great demand from industry, as it is revealed in different surveys and publications [1, 2].

This paper gathers the works and experiences developed within the FITNET project (European Fitness for Service Network, 5<sup>th</sup> Framework). The University of Cantabria, as FITNET Work Package 6 (WP6) leader has focused its activities on the T&E of engineers and university students, as explained bellow. Among them, it is important to mention the development of a wide comprehensive Training Package, the organisation of several international seminars (specially focussed to countries with small tradition on structural integrity) and the development of a document (Case Studies & Tutorials) with practical applications of the FITNET FFS procedure.

**PALABRAS CLAVE:** FITNET, Work Package, Training Package.

### 1. INTRODUCCIÓN

El FITNET es una red temática europea de cuatro años de duración que comenzó su andadura en Febrero del 2002 y que finalizó en Mayo del 2006 con el objetivo de desarrollar y extender el uso de procedimientos de evaluación de la integridad estructural por toda Europa. Ha sido parcialmente financiado por el "*Competitive and Sustainable Growth Programme*" y formó parte del 5º Programa Marco de la UE.

Los defectos (fisuras, defectos en soldaduras, daño por corrosión) pueden aparecer durante la fabricación o el uso de componentes metálicos. Para componentes cuya seguridad es un factor crítico, como estructuras de aviones, tuberías y vasijas a presión, el fallo de un único componente debido a la presencia de una fisura puede

amenazar la vida de las personas y ocasionar daños económicos y medioambientales muy graves. Otras fisuras, sin embargo, pueden ser totalmente irrelevantes y no causar el fallo durante la vida útil del componente. La reparación o sustitución de dicho componente sería un derroche económico.

Un procedimiento de evaluación de la integridad estructural permite evaluar los defectos de forma consistente y objetiva, basándose en los principios de la mecánica de la fractura. Aunque ya existían distintos procedimientos (API579, BS7910, SINTAP, R6...), todos ellos tenían un marcado carácter sectorial, o contemplaban un único modo de fallo o bien eran documentos de uso únicamente nacional. Por lo tanto, había una necesidad de desarrollar un procedimiento

Europeo unificado, que como último paso alcanzase el grado de norma europea [3].

La red consiste en una matriz formada por grupos de trabajo (*Working Groups*, WG) y paquetes de trabajo (*Work Packages*, WP) (Figura 1), liderados por el coordinador de la red (GKSS).

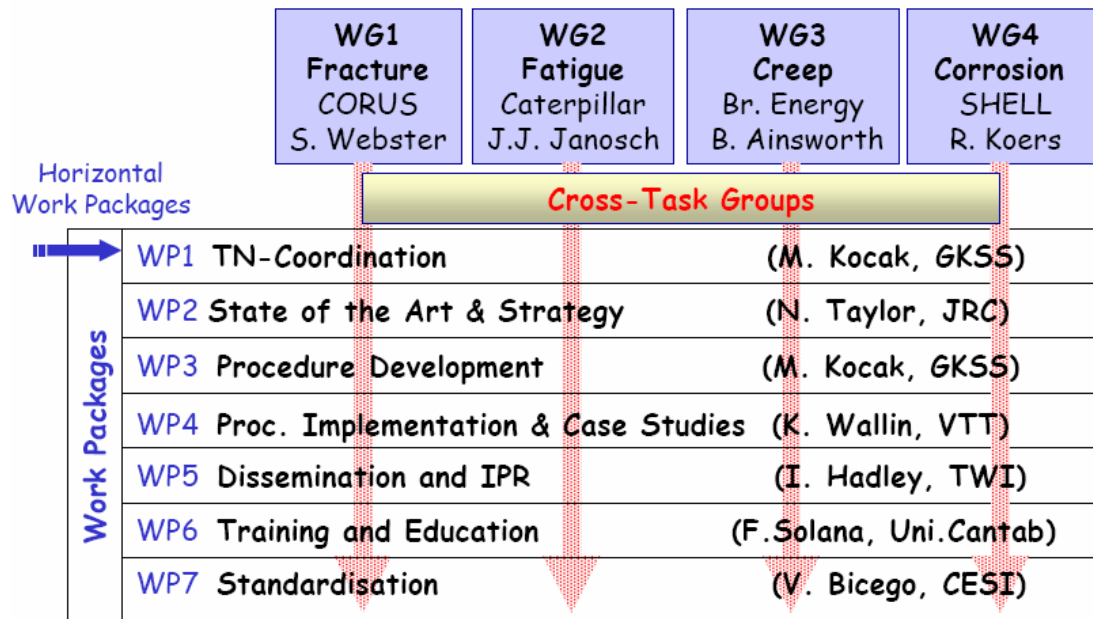


Figura 1. Estructura de trabajo del FITNET.

Los WG se corresponden con modos de fallo determinados (fractura, fatiga, fluencia y corrosión y fisuración inducida por el ambiente), mientras que los WP cubren todos los modos de fallo y se encargan de tareas específicas de la red (revisión del estado del arte, diseminación, estandarización, formación...) [3].

El primer objetivo del proyecto ha sido el desarrollo de un procedimiento de evaluación de la integridad estructural (*FITNET FFS Procedure*). Con este objetivo, los diferentes participantes han proporcionado todo el conocimiento necesario para definir y redactar un extenso procedimiento que permite evaluar todo tipo de componentes industriales y estructuras frente a los principales modos de fallo. Pero para que el procedimiento sea eficaz y eficiente ha de darse a conocer, ha de ser entendido y ha de saberse aplicar. Por esta razón, una de las principales actividades del proyecto FITNET ha sido el desarrollo de las herramientas necesarias para la comprensión y entendimiento de los conceptos básicos en los que se fundamenta el procedimiento y, en particular, para aprender a aplicarlo.

Con el objetivo de facilitar que en un futuro se pueda aplicar correctamente el procedimiento FITNET en la evaluación de las condiciones de seguridad de los componentes en las etapas de diseño, fabricación y uso de los mismos, los esfuerzos del WP6 (*Training & Education*) se han dirigido fundamentalmente a estudiantes y recién titulados.

## 2. NECESIDADES DE FORMACIÓN EN INTEGRIDAD ESTRUCTURAL

### 2.1. Visión general

Hoy en día es ampliamente asumido que nos encontramos en la sociedad de la información y del conocimiento global. Todos los años se generan ingentes cantidades de conocimiento en universidades, centros de investigación y empresas, pero el uso completo y eficiente de dicho conocimiento requiere que sea transmitido de forma correcta. Para ello es necesario desarrollar nuevas herramientas educativas, desde los niveles formativos más básicos hasta los más avanzados.

Con respecto a las necesidades de la industria y de la investigación, las autoridades europeas han demostrado su compromiso al respecto y los sucesivos Programas Marco incluyen importantes partidas presupuestarias destinadas a la educación y a la formación. Tal y como han declarado las instituciones de la UE [4], la investigación, cualquiera que sea su área temática, ha de generar nuevo conocimiento que de respuesta a las necesidades de la sociedad y catalice la realización y el cumplimiento de las políticas europeas, incluyendo el objetivo de transformar Europa en una economía dinámica, competitiva, basada en el conocimiento y capaz de generar un crecimiento sostenible. Los objetivos más relevantes de la política europea se refieren a campos como el de la energía, el medio

ambiente, la biotecnología, el transporte... y, para todos ellos, el de la formación y la educación [4].

Finalmente, se puede afirmar que las actividades de producción y de investigación solo serán eficientes, rentables y seguras si se hacen a través de programas de educación y formación bien estructurados.

## 2.2. El análisis de la ETPIS

Las instalaciones industriales europeas son cada vez más antiguas, los expertos más veteranos están próximos a la jubilación y surgen nuevos conocimientos. Estas cuestiones hacen que la educación y la formación se revelen como una tarea fundamental [5]. Los expertos de la Plataforma Europea de Seguridad Industrial (*European Technology Platform on Industrial Safety*, ETPIS) han señalado los desafíos que hay que superar para mejorar radicalmente la seguridad en la industria [5]:

- Mejorar los métodos utilizados por los responsables de la seguridad.
- Desarrollar tecnologías avanzadas en el campo de la seguridad industrial.
- Desarrollar y validar nuevos procedimientos de evaluación de la seguridad estructural.
- Mejorar la cultura de la seguridad en las empresas y en la sociedad.
- Mejorar la transferencia de conocimiento hacia la industria a través de nuevas herramientas y metodologías formativas y educativas.
- Desarrollar conocimiento, tecnologías y herramientas con los que hacer frente a los nuevos riesgos industriales.

Por lo tanto, de nuevo, la educación y la formación aparecen como un factor transversal clave a aplicar en diferentes áreas y, en particular, a la evaluación de defectos en componentes y estructuras.

La ETPIS ha determinado también que a través de la educación y la formación se puede establecer un contexto adecuado en el cual, por una parte, gestores, tecnólogos y diseñadores pueden crear sistemas industriales seguros y, por otra, los operarios sepan como utilizar y mantener dichos sistemas de forma segura [5].

La transferencia del conocimiento generado por la investigación en el campo de la seguridad industrial es muy dispersa y falla frecuentemente en la etapa de implantación. En primer lugar, un análisis de la situación de dicha transferencia desde la investigación hacia la industria muestra un grado de implantación aceptable a escala nacional. Sin embargo, los proyectos europeos no parecen tener el mismo éxito. En segundo lugar, la estructura de las empresas industriales es distinta en los diferentes sectores y depende considerablemente de su tamaño. La transferencia de conocimiento es especialmente difícil en las pequeñas y

medianas empresas (SMEs) debido a su falta de tiempo y recursos [5].

Este análisis de la situación sugiere la necesidad de encontrar nuevos métodos y tecnologías que mejoren la transferencia de conocimiento en seguridad industrial, especialmente en lo relativo a las SMEs. Se hace necesario desarrollar métodos y herramientas que proporcionen competencias y habilidades en materia de seguridad al trabajador, al gestor de la seguridad y al estudiante de ingeniería [5].

## 2.2. La encuesta del FITNET

Orientada directamente a la integridad estructural, el WP2 del FITNET (*State of the Art and Strategy*) realizó una completa encuesta [1] cuyo principal objetivo fue proporcionar una visión del actual estado de dicha tecnología y evaluar las prioridades a tener en cuenta en el desarrollo de un procedimiento europeo de integridad estructural. Algunas de las cuestiones planteadas se relacionaban directamente con la formación y la educación y se recogen en este trabajo [1].

Es bastante interesante el hecho de que la mayoría (75%) de las organizaciones multinacionales y un contundente 81% de todas aquellas que respondieron al cuestionario afirmaron que hay una gran necesidad de formación. Tan solo un 19% de las respuestas señalaron que no hay necesidad alguna de formación en el campo de los procedimientos de evaluación de la integridad estructural, siendo el 62% de dichas respuestas procedentes de miembros de empresas multinacionales. Los resultados se muestran en la Figura 2.

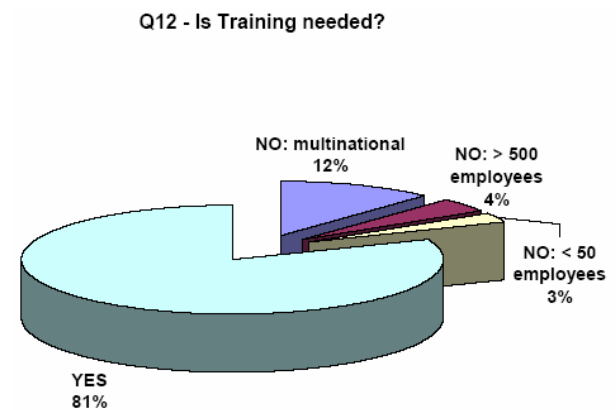


Figura 2. Necesidades de formación en lo relativo a los procedimientos de evaluación de la integridad estructural.

Se pidió a los encuestados que establecieran un ranking con sus prioridades en material formativo [1]. La mayoría de ellos respondieron que la mayor urgencia es proporcionar formación en lo relativo a las aplicaciones prácticas de los procedimientos de evaluación. A continuación, mostraron interés por formación en los conceptos teóricos básicos que soportan dichos

procedimientos. Sólo un pequeño porcentaje del 11% señaló como prioridad la formación en los nuevos desarrollos y aplicaciones incorporados a los procedimientos [1].

Para indagar aún más en las necesidades de los encuestados, se les pidió que dieran prioridad a la formación en una serie de aspectos [1]. La mayoría de ellos indicaron la necesidad de formación en conceptos de integridad estructural y evaluación de vida remanente (71%), siendo destacable también el interés formativo en criterios de daño, características y propiedades de los materiales, análisis tensional y técnicas de inspección.

Cuando se les preguntó si estarían interesados en participar en cursos organizados por el FITNET, un 68% respondió de forma positiva (Figura 3), estando la mayoría de los encuestados más interesados en cursos realizados fuera del lugar de trabajo y de varios días de duración (inferior a una semana). Un porcentaje elevado de los encuestados reconoció la flexibilidad y el potencial de las herramientas de *e-learning*, mientras que sólo un 19% mostró su preferencia por cursos realizados en el lugar de trabajo [1].

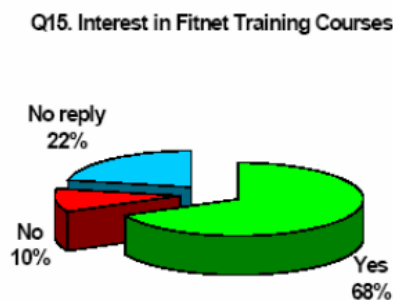


Figura 3. Interés de los encuestados en participar en cursos formativos del FITNET.

Finalmente, casi dos de cada tres encuestados fueron de la opinión de que se debería establecer una cualificación profesional determinada para adquirir competencias profesionales en lo relativo a la aplicación de las técnicas de integridad estructural. Dicha cualificación se obtendría tras la realización de una serie de cursos formativos que incluyeran módulos generales y especializados en tecnologías de integridad estructural, seguidos de un periodo de prácticas. A pesar de ello, un porcentaje no despreciable del 37% afirmó no detectar la necesidad de establecer dicha cualificación, al menos en lo que a requerimientos legales para el ejercicio de la actividad se refiere [1].

### 3. FITNET WP6

Lo recogido en las líneas anteriores justifica la importancia de las actividades de formación y educación en la sociedad del conocimiento y de la información y ha tenido su reflejo en la estructura del proyecto

FITNET, ya que uno de sus “*Work Packages*” (WP6) estuvo dedicado a este tipo de actividades.

El WP6 ha sido liderado por la Universidad de Cantabria y ha recibido la colaboración del resto de líderes de WGs y WPs, así como de otros participantes en el proyecto FITNET. Los objetivos del WP6 han sido los siguientes [2]:

- Establecer las necesidades de herramientas formativas que faciliten el acceso a la tecnología FFS (*Fitness for Service*)
- Crear material formativo.
- Organizar documentos, materiales y ponentes para seminarios y cursos

Para alcanzar estos objetivos se definieron una serie de tareas [2]:

- Participar y seguir las actividades de los WP2, 3 y 4 en cada una de las áreas técnicas en las que participaban (fractura, fatiga, fluencia y corrosión y fisuración inducida por el ambiente);
- Seleccionar ejemplos en cada área técnica para mostrar la aplicabilidad del procedimiento FITNET y determinar aquellas de especial interés para ser incluidas en los documentos y programas educativos y formativos
- Desarrollar el material formativo y educativo y presentarlo periódicamente en seminarios y cursos
- Difundir las conclusiones de las actividades anteriores entre los miembros de la red FITNET y hacia el exterior de la misma

El uso de procedimientos de integridad estructural requiere bien la interacción entre diversos profesionales o bien la actuación de técnicos altamente formados para la evaluación de estructuras complejas. Son necesarios conocimientos de análisis tensional, técnicas de inspección, mecanismos de fallo, metodologías de evaluación de fallos, cálculos probabilísticos... En consecuencia, el desarrollo de una mayor demanda de todas estas técnicas creará la necesidad de desarrollar mayores capacidades profesionales, lo cual requiere a su vez que se proporcionen las herramientas formativas adecuadas. Si esto se hace de forma exitosa, el potencial para crear profesionales altamente capacitados es enorme, tanto en la industria como en la consultoría y en el ámbito educativo [2]. Este ha sido el reto del WP6.

## 4. LAS ACTIVIDADES FORMATIVAS DEL FITNET

### 4.1. Visión general

Siguiendo las reflexiones comentadas con anterioridad, los miembros de la red FITNET definieron una estrategia formativa que ha sido llevada a cabo a través de un conjunto de actividades cuyos resultados se ofrecen como parte del producto final del proyecto (el propio procedimiento de evaluación) con el objetivo de facilitar la aplicación del mismo.

#### 4.2. Seminarios

De acuerdo con las conclusiones obtenidas en la encuesta del FITNET, se decidió proporcionar formación a ingenieros y estudiantes universitarios en forma de “seminarios locales”, los cuales fueron organizados por el WP6 en diferentes países. Los seminarios organizados fueron los siguientes:

- *1st FITNET Training Seminar*, organizado por la Universidad de Cantabria y celebrado en Santander del 16 al 18 de Marzo del 2004. Hubo más de 60 participantes procedentes de España y Portugal.
- *2nd FITNET Training Seminar*, organizado por la Universidad de Maribor (Eslovenia) del 26 al 28 de Octubre del 2004. Participaron más de 30 personas procedentes de Eslovenia, Italia, Croacia y Serbia.
- *3rd FITNET Training Seminar*, organizado por la Bay Zoltan Foundation y celebrado en Miskolc (Hungría) del 19 al 21 de Octubre del 2005. Participaron más de 30 personas procedentes de Hungría, Ucrania, Eslovaquia, Serbia, Croacia, Suecia, Alemania, Reino Unido, Italia y República Checa.

La estructura de los tres seminarios fue homogénea y seguía la propuesta en el “*FITNET Training Package*”. En ellos, expertos procedentes tanto de la industria como de la Universidad desarrollaban sesiones teóricas y prácticas en temas de fractura, fatiga, fluencia y corrosión y fisuración inducida por el ambiente, cubriendo tres aspectos diferenciados: conceptos básicos, procedimientos de evaluación y ejemplos prácticos. En algunos casos se realizaron sesiones adicionales en las cuales se trataban problemas específicos como tensiones residuales o software de aplicación. El tercer y último día de los seminarios se dedicó a sesiones de laboratorio en los cuales los participantes adquirían experiencia práctica.

En resumen, más de 130 personas de 14 países han participado en los seminarios del FITNET. Además, las organizaciones de procedencia de los mismos ha sido muy diversa (nuclear, fabricantes de componentes, consultoría, universidades y centros de investigación).

Finalmente, es importante resaltar el hecho de que los participantes procedían no sólo de diferentes tipos de organizaciones si no que también procedían de muy diversos países europeos, y en especial de los países del este. Esta ha sido una estrategia deliberada del FITNET, que estableció como premisa básica de su actuación el extender el uso de las tecnologías de integridad estructural a los nuevos/futuros miembros de la UE. Esta necesidad ha sido detectada en diversas encuestas [6,7,8] que han establecido que a pesar de que el 50% de las investigaciones y desarrollos en integridad estructural se realizan en la UE, los países miembros del este de Europa padecen un importante déficit con respecto a las mismas.

#### 4.3. FITNET “Training Package”

La Universidad de Cantabria, como líder del WP6, ha desarrollado un completo y útil manual formativo (*Training Package*) consistente en un documento pdf con alrededor de 550 páginas en forma de transparencias de *powerpoint*. La idea es proporcionar un documento manejable, dinámico y fácil de seguir que tiene por objeto complementar la ya amplia bibliografía existente en materia de integridad estructural.

Su estructura se divide en cuatro capítulos que se corresponden con los cuatro principales modos de fallo: fractura, fatiga, fluencia y corrosión-fisuración inducida por el ambiente. En cada uno de estos capítulos hay cuatro secciones distintas dedicadas a conceptos básicos, procedimientos de evaluación, procedimiento FITNET y ejemplos prácticos. Con este esquema, el usuario adquiere conocimientos desde la teoría básica hasta la aplicación de la misma a casos reales por medio del uso de procedimientos y normas de evaluación, con especial énfasis en el procedimiento FITNET FFS. El uso de enlaces (links) transversales facilita el proceso formativo.

#### 4.4. FITNET “Tutorials”

El FITNET ha desarrollado un documento de casos de estudio (*Case Studies*) cuyo principal objetivo ha sido validar el procedimiento FITNET FFS y proporcionar material formativo.

Como complemento a esta actividad, el WP6 ha preparado un documento con tutoriales que cubren los cuatro modos de fallo principales y posibles interacciones entre los mismos. Estos tutoriales son ejemplos que reproducen el proceso de evaluación siguiendo el FITNET FFS, sin olvidar los fundamentos teóricos que los sustentan, con el objetivo de familiarizar al usuario con el procedimiento.

De acuerdo con la estructura del procedimiento se han recogido nueve tutoriales que cubren cada uno un único modo de fallo. Dos tutoriales adicionales son transversales y reflejan combinaciones de mecanismos de fallo y un último ejercicio representa la aplicación de la filosofía FITNET a un sector industrial determinado (aeronáutica).

#### 4.5. Otras actividades formativas

La Universidad de Cantabria ha comenzado a impartir una asignatura virtual de integridad estructural en el curso 2005-2006 (“Introducción a las Técnicas de Integridad Estructural”), basada en el *FITNET Training Package*. Los resultados han sido buenos, con una demanda aceptable de estudiantes de ingeniería civil e industrial.

La Universidad de Maribor ha desarrollado un sencillo software de aplicación del FITNET FFS (en lo relativo al fallo por fractura) que ha sido presentado en los

seminarios del FITNET. Es interesante destacar que gracias a los contactos establecidos en el marco del proyecto FITNET, ambas universidades (Cantabria y Maribor) han firmado un acuerdo de colaboración para el intercambio de estudiantes y profesores complementario a otros programas europeos (Erasmus, Leonardo,...).

Finalmente, todas estas actividades se han completado con la colaboración con otros cursos formativos desarrollados en Europa.

## 5. CONCLUSIONES

Los programas y actividades de formación y educación son un factor decisivo para la investigación, la transferencia de conocimiento y el crecimiento sostenible. Esto obliga a las autoridades europeas a hacer grandes esfuerzos para promocionar la educación y la formación, desde los niveles más básicos hasta los entornos de la investigación, el universitario y el industrial.

El principal objetivo del proyecto FITNET ha sido el desarrollo de un procedimiento europeo unificado de integridad estructural que cubra los cuatro principales modos de fallo pero, siendo coherente con el párrafo anterior, se ha realizado un gran esfuerzo complementario para desarrollar herramientas y actividades formativas con la intención de transferir los resultados de la investigación a las actividades y operaciones industriales. La formación y la educación se muestran como el factor clave para la correcta explotación de los resultados de la investigación.

Las actividades formativas del FITNET se han articulado a través de tres seminarios internacionales, un completo "Training Package" y un documento de tutoriales. Esto ha sido complementado con la oferta de asignaturas virtuales, el desarrollo de un software de aplicación y la colaboración con otros eventos europeos. La experiencia ha sido muy satisfactoria y puede ser tenida en consideración para futuros programas formativos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración prestada a todos los miembros del proyecto FITNET que han participado en las actividades del WP6, en especial las siguientes organizaciones: GKSS, Corus, Caterpillar, British Energy, TU Darmstadt, Bureau Veritas, Universidad de Maribor y Bay Zoltan Foundation.

## REFERENCIAS

[1] Filiou, C., Taylor, N., Lejuste, P. and Houghton, R., *Survey of current application and future requirements for European fitness-for-service technology*, FITNET/Technical Report/JRC-IE (CEU/CF/200302.004), 2003.

[2] FITNET contract, *Annex 1, Description of work*, GTC-2001-43049, 2003.

[3] <http://www.eurofitnet.org>

[4] [http://europa.eu.int/comm/research/future/themes/index\\_en.cfm](http://europa.eu.int/comm/research/future/themes/index_en.cfm)

[5] European Technology Platform Industrial Safety, *Safety for sustainable European Industry Growth, Strategic Research Agenda (Short Version)*, 2006.

[6] Faria, L., *The economic effects of fracture in Europe*, CEC Report, Study contract N° 320105, 1991.

[7] Milne, I., 1994, *The importance of the management of Structural integrity*, Engineering Failure Analysis, 1994; 1 (3): 171-181.

[8] *The economic effects of fracture in the USA*, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, Special Publications 647-1 and 647-2, 1978.