

PROYECTO FITNET (European Fitness for Service Network) : Hacia una norma europea de Integridad estructural.

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

**Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales
E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria
Avenida de las Castros s/n 39005 Santander**

Resumen. . Son muchos los procedimientos de evaluación de la Integridad Estructural utilizados en Europa (R6, R5, API579, BS7910, A16, SINTAP...). Algunos de ellos se limitan a temas concretos (el SINTAP solo cubre la fractura, el R5 el caso de componentes sometidos a altas temperaturas, el A16 la fatiga...) y otros son más generales. En todo caso no existe un procedimiento europeo unificado que trate los distintos campos de la Integridad Estructural y para solventar esta situación nació en el 2002 el proyecto FITNET, de cuatro años de duración, cuyo producto final será el FITNET FFS, procedimiento europeo con vocación de norma que cubrirá los campos de la Fractura-Colapso Plástico, la Fatiga, la Fluencia y la Corrosión y Fisuración Inducida por el Ambiente. En el presente artículo se explicará con extensión la estructura y objetivos del proyecto así como los trabajos realizados hasta el momento.

Abstract. There are many structural assessment procedures which are used in Europe (R6, R5, API579, BS7910, A16, SINTAP...). Some of them are limited to specific areas (SINTAP only covers fracture, R5 studies the high temperature response of structures, A16 covers fatigue...) and the others are more general. In any case, there is no any unified european procedure to treat the different fields of the Structural Integrity. The four years FITNET project born in 2002 and its final result will be the FITNET FFS, an european procedure with the aim to be a future standard which covers Fracture-Plastic Collapse, Fatigue, Creep and Corrosion and Environmental Assisted Cracking. The present paper explains with detail the structure and the objectives of the project as well as the developed works until now.

1. INTRODUCCIÓN

La Integridad estructural es utilizada para demostrar la “idoneidad para el servicio” (Fitness for Service, FFS) de componentes y estructuras ingenieriles a lo largo de su vida operativa. Engloba una amplia gama de disciplinas como, por ejemplo, la Resistencia de Materiales y la Mecánica de la Fractura, así como técnicas de auscultación y reparación de componentes estructurales, de tal manera que resulta aplicable en un abanico importante de industrias como, entre otras, la de generación de energía, el transporte y las construcciones “off-shore”.

Usada correctamente, la Integridad Estructural permite optimizar diseños y procesos de fabricación, estimar la necesidad de reparaciones y por tanto evitarlas cuando no son necesarias, calcular la vida remanente de componentes estructurales y analizar fallos estructurales. De esta manera se obtiene un equilibrio

entre seguridad y economía de indudables beneficios [1].

En los últimos años se han producido numerosos e importantes avances que han aumentado tanto la precisión como el alcance de los procedimientos de evaluación de la Integridad Estructural, pero aún persisten una serie de problemas que impiden su total aceptación. El principal de todos ellos es el de la falta de unificación y homogeneización de los diferentes procedimientos existentes. Algunos proyectos, como el SINTAP [2] en el ámbito de la fractura y el colapso plástico, han tratado de resolver esta situación generando procedimientos unificados, pero el problema persiste. Con el objeto de resolver la situación en Europa, surgió en el año 2002 el proyecto FITNET, que trata de armonizar los procedimientos de evaluación de la Integridad Estructural existentes en Europa en las cuatro áreas fundamentales, a saber: Fractura-Colapso Plástico, Fatiga, Fluencia y Corrosión y Fisuración Inducida por el Ambiente.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Los procedimientos que se sirven de la Integridad Estructural para demostrar la idoneidad para el servicio de componentes estructurales carecen de homogeneidad y se está lejos de alcanzar la estabilidad necesaria para la definitiva extensión de su uso.

Se han realizado avances, como por ejemplo los del proyecto SINTAP en el campo de la fractura. Este nuevo procedimiento resolvió la clásica diferenciación entre procedimientos basados en los FAD (Failure Assessment Diagram) y procedimientos basados en los CDFD (Crack Driving Force Diagram) demostrando la compatibilidad entre ambos enfoques.

No obstante, queda mucho trabajo por hacer y, además, es necesario incorporar a estos procedimientos los avances producidos en la investigación de casos como las soluciones de carga límite para el colapso plástico, las expresiones de los factores de intensidad de tensiones, el modo mixto de fractura, la curva maestra de tenacidad (Master Curve), la parada de fisura (Crack Arrest), ...

Esta situación justifica la aparición de un trabajo en red para la elaboración de un nuevo procedimiento: FITNET.

3. EL PROYECTO FITNET

Este proyecto tiene la intención de generar un procedimiento unificado de Integridad Estructural para toda Europa. Pretende armonizar los distintos procedimientos existentes e incorporar los avances producidos en el conocimiento de las áreas afines a la evaluación de la integridad estructural. Participan en él cuarenta y siete empresas e instituciones de distintos países de la Unión Europea y de la Europa del Este. Diez de estas organizaciones son líderes de proyecto y el resto son miembros o participantes.

La estructura del proyecto es matricial y está formada por grupos encargados de tareas concretas encaminadas a la creación del procedimiento ("Work Packages"), y por grupos asociados a los distintos problemas de Integridad Estructural ("Working Groups"). Como responsable de cada uno de los Work Packages o de los Working Groups se encuentra uno de los líderes de proyecto, que cuentan con el apoyo del resto de miembros para el desarrollo de sus trabajos. En la Tabla 1 se muestra la estructura matricial del proyecto y los líderes de las distintas actividades y campos del conocimiento, así como las relaciones entre "Work Packages" y "Working Groups".

Work Packages (WP)	Horizontal Themes Working Groups (WG)			
	WG1 Fractura (CORUS, G.Bretaña, Holanda)	WG2 Fatiga (CATERPILLAR, Francia)	WG3 Fluencia (BRITISH ENERGY, G. B)	WG4 Corrosión (SHELL, Holanda, GB)
WP1. Coordinación (GKSS, Alemania)				
WP2. Revisión del Estado del Arte (JRC, UE)	V	V	V	V
WP3. Desarrollo de Procedimiento (GKSS, Alemania)	V	V	V	V
WP4. Implementación del Procedimiento y Estudio de Casos (VTT, Finlandia)	V	V	V	V
WP5. Diseminación (TWI, Gran Bretaña)				
WP6. Educación y Entrenamiento (U. de Cantabria, España)	V	V	V	V
WP7. Normalización (CESI, Italia)				

Tabla 1. Estructura y principales participantes en el proyecto FITNET

Como actividades complementarias el proyecto también contempla:

- La validación del procedimiento generado usando datos existentes, así como la identificación de aquellos aspectos que no queden validados por ausencia de tales datos.
- La formación de un grupo europeo de expertos procedentes de la industria y la docencia que puedan:
 - Definir futuras necesidades de I+D
 - Producir material de entrenamiento y formación para la industria y la universidad
 - Actuar como punto de referencia para expertos
 - Contribuir al trabajo de otros proyectos relacionados con la definición de procedimientos de “Idoneidad para el Servicio”.
- La formación y la diseminación de las técnicas analíticas de “Idoneidad para el servicio” y del procedimiento que se genere.

4. ESTRUCTURA DEL FUTURO PROCEDIMIENTO FITNET FFS.

La estructura del FITNET tratará de ser lo más global posible y solo diferenciará los distintos campos de estudio cuando sea estrictamente necesario. Por ello la estructura, dividida en siete capítulos siguiendo la estructura de la BS7910 [3] que se muestra en la Figura 1, se desarrolla de forma que el segundo de los capítulos llegue lo más lejos posible, dejando para el tercero los aspectos concretos de cada uno de los problemas fundamentales (fractura, fatiga, fluencia y corrosión). A su vez, se reserva un capítulo para casos en los que una evaluación convencional no se ajusta adecuadamente y se requiere otro tipo de evaluación más avanzada puede demostrar la funcionalidad del componente. Un ejemplo significativo incluido en este apartado sería el de la fuga antes de rotura o leak before break.

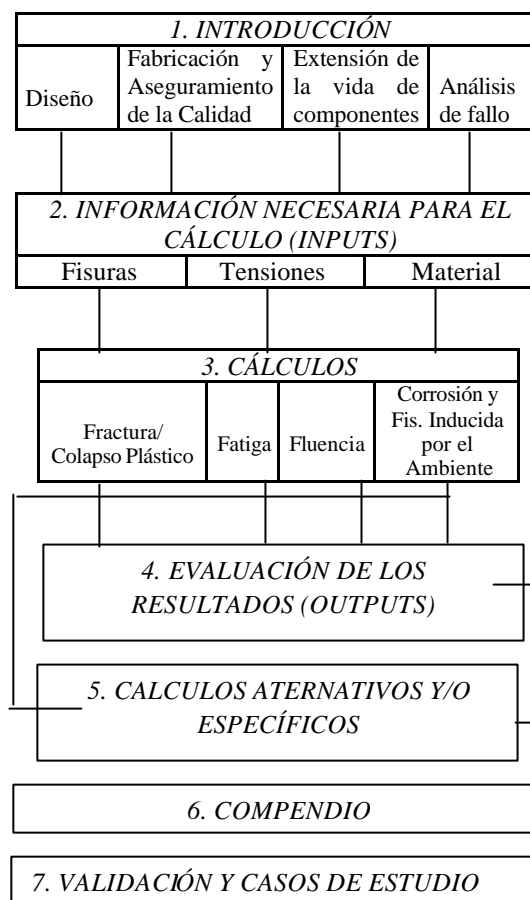


Figura 1. Estructura del FITNET FFS.

5. TRABAJOS REALIZADOS HASTA EL MOMENTO

Tras más de dos años de trabajo se han realizado notables avances. Éstos se han apoyado en una recopilación [4] de los distintos proyectos que actualmente se están desarrollando tanto dentro como fuera de Europa que tienen relación con la tecnología de “Idoneidad para el Servicio” y en una encuesta [5] para la determinación de las necesidades de esta tecnología en cuanto a normativa, formación y herramientas de soporte. A esta última respondieron 68 empresas e instituciones europeas, de tamaños y actividades muy diversas y las principales conclusiones son las siguientes:

>El principal uso de la tecnología Fitness for Service se produce durante el servicio (por ejemplo, para el cálculo de la vida remanente) y los principales usuarios son los ingenieros en plantilla.

>Los procedimientos más utilizados son: BS7910, R6 [6], ASME [7] y SINTAP. El 90% de las respuestas manifestó un gran interés en el desarrollo de un código europeo de FFS.

>Las mayores dificultades a la hora de utilizar estos procedimientos se encuentran al estimar las tensiones residuales y la historia de cargas.

>Dos tercios de los usuarios utilizan programas informáticos como apoyo a los cálculos de FFS.

>El 81% de las respuestas incidió en la necesidad de formación y entrenamiento en los procedimientos de evaluación de la idoneidad en servicio, dando preferencia a los aspectos prácticos y generales. Se mostró también un fuerte interés en cursos relativos al FITNET y a entrenamiento y formación a través de material informático. *Cursos o seminarios de formación en "Fitness for Service"*, a distintos niveles.

> En relación a estas demandas, la principal aportación de la Universidad de Cantabria es liderar el WP6, Entrenamiento y Educación. Como resultado de nuestro trabajo a lo largo de los cuatro años del proyecto, han de surgir actividades y material formativo en el ámbito europeo en dos formas fundamentales:

- A mitad del proyecto se realizarán una serie de seminarios por toda Europa de nivel básico, dirigidas a estudiantes de los últimos cursos de las escuelas de ingeniería y a ingenieros que comienzan su andadura profesional. El primero de ellos se celebró en Santander del 16 al 18 de Marzo del 2004 y como ponentes se contó con expertos europeos participantes en el FITNET. Posteriormente, con la finalización del proyecto, se desarrollarán seminarios de nivel avanzado que incluirán el enfoque que el procedimiento FITNET FFS tenga de las técnicas de Integridad Estructural, distinguiendo las distintas aplicaciones de la misma (Diseño, Fabricación, Vida Remanente y Análisis de Fallos).

- *"Training Packages" o material formativo* en estas técnicas. Tendrán también dos niveles, básico (ya disponible) y avanzado.

>Dos tercios de los participantes mostraron la necesidad de exigir una cierta cualificación profesional para tener competencias en el campo del FFS. El otro tercio mostró su preocupación por el hecho de que eso se convierta en un requerimiento legal más que en una indicación de calidad profesional.

>La mayoría de las organizaciones orienta sus actividades de I+D a los campos de la fractura, la fatiga y las técnicas de inspección.

A continuación se comentan las actividades realizadas más relevantes:

- WORKING GROUP 1: FRACTURA

El futuro procedimiento FITNET FFS tomará el procedimiento SINTAP como base de su capítulo dedicado a la fractura y al colapso plástico. A su vez, lo completará con temas no contemplados en el mismo y modificará algunos de los que sí se ocupa. Se está realizando una profunda revisión de los procedimientos existentes para recopilar información. Para ello se han creado una serie de subgrupos encargados de elaborar apartados específicos. Algunos de ellos son:

- Datos de materiales
- Tensiones residuales
- Interacción de defectos
- Soluciones de K
- Carga límite
- Curva Maestra o Master Curve
- Modo mixto de fractura
- Fuga antes de rotura
- Crack Arrest
- ...

- WORKING GROUP 2: FATIGA

En este caso no hay un procedimiento concreto en el que basarse. Así pues los trabajos principales han ido encaminados a la definición de las rutas para la evaluación del comportamiento en fatiga, siempre respetando el esquema de la figura 1. La figura 2 [8] nos muestra la primera de las propuestas, que actualmente se encuentra sometida a discusión.

Como puede verse, la estructura es sencilla. En primer lugar distingue los casos en los que la fisura es detectable ($a > 1 \text{ mm}$) de los casos en los que no lo es (vías 1 a 4). Si es detectable nos remite a un cálculo de propagación para obtener la vida remanente. Si no se puede detectar hay varias opciones:

- Análisis de iniciación (vía 1)
- Cálculos de propagación a partir de valores de fisura obtenidos del valor umbral del factor de intensidad de tensiones (conocido o postulado), (vía 2)
- Suponer un valor de fisura existente que es función de la calidad del producto estudiado (vía 3).
- Análisis de fisuras cortas (vía 4). Normalmente, este estudio no se realiza en procedimientos generales de evaluación de la integridad estructural y es necesario recurrir a procedimientos específicos de fatiga.

Un aspecto novedoso es el hecho de que como ecuación básica para evaluar la propagación de fisuras se va a tomar la ecuación del programa NASGRO versión 3.0, limitando el uso de la ley de Paris. Su expresión es la siguiente:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \left[\left(\frac{1-f}{1-R} \right) \cdot \Delta K \right]^n \cdot \frac{\left(1 - \frac{\Delta K_{th}}{\Delta K} \right)^p}{\left(1 - \frac{K_{max}}{K_c} \right)^q}$$

donde f es un parámetro que depende del material y las cargas y p y q son parámetros dependientes del material sobre los cuales NASGRO tiene una amplia base de datos.

En este grupo de trabajo también se está trabajando en temas específicos, para su posterior incorporación al procedimiento. Algunos de ellos son:

- Curva Maestra S-N
- Fisuras cortas
- Procedimiento probabilístico
- Método hot-spot
- Modo mixto en fatiga
- Influencia de la historia de cargas
- ...

- WORKING GROUP 3: FLUENCIA.

Este grupo trabaja en el desarrollo de los distintos apartados de los que constará el capítulo del FITNET dedicado a la fluencia. La base del mismo será el procedimiento R5 [9]. Básicamente, los citados capítulos serán los siguientes:

1. Introducción al procedimiento
2. Establecimiento de la causa de ruptura.
3. Definición de las condiciones de servicio.
4. Datos del material

- Datos de rotura por fluencia
- Datos de deformación por fluencia
- Datos de ductilidad
- Datos de de iniciación de fisuras por fluencia
- Datos de propagación de fisuras por fluencia

5. Cálculos básicos.

- Tensión de referencia
- C^*
- Tiempo de redistribución

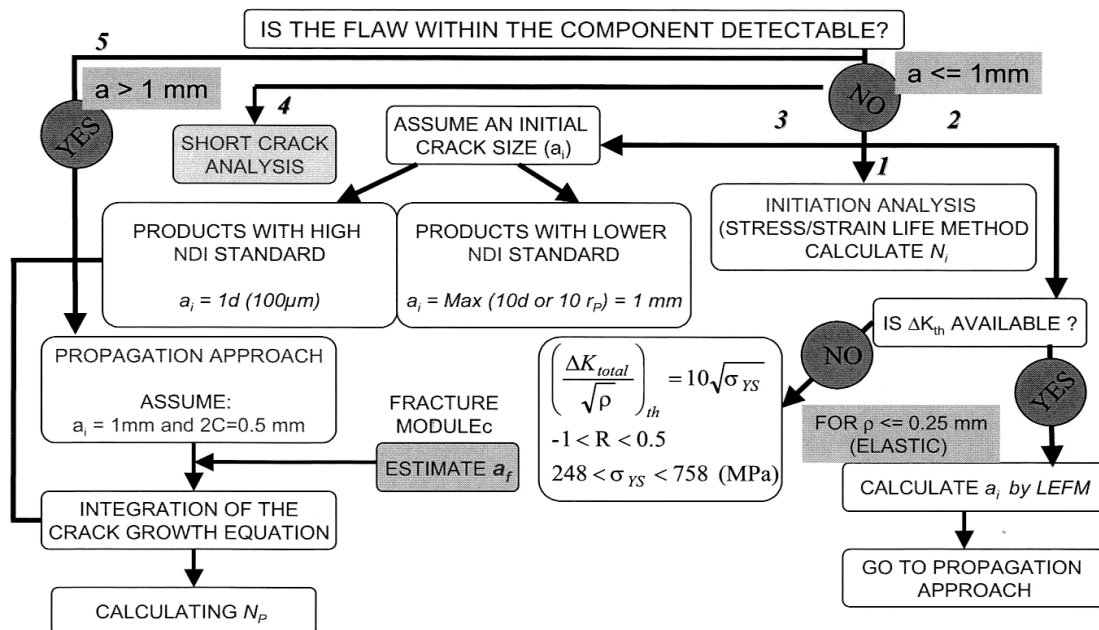


Figura 2. Esquema propuesto para el procedimiento de fatiga

6. Comprobación de la trascendencia de Fluencia y Fatiga

- ¿Fluencia insignificante?
- ¿Fatiga insignificante?
- ¿Interacción fluencia-fatiga insignificante?

7. Cálculos

- tiempo hasta rotura, t_{cd}
- tiempo de iniciación, t_i
- crecimiento de la fisura, \dot{a} .

8. Evaluación del significado de los resultados

9. Otros cálculos

- tratamiento de defectos en soldaduras
- Diagramas de fallo/ Método de los dos criterios
- ...

Esta estructura sirve además como referencia a lo que será el modo de trabajo en los distintos capítulos.

- WORKING GROUP 4: CORROSIÓN

El capítulo de corrosión estará basado en los manuales del Grupo Shell, junto con procedimientos como el API 579 [10], el R6, la BS7910,... Seguirá una estructura homogénea con los capítulos dedicados a fractura, fatiga y fluencia y además contará con una evaluación previa al cálculo.

El análisis previo (Pre-FFS assessment) seguirá el diagrama de flujo representado en la figura 3 y su objetivo es considerar todos los factores relevantes en este tipo de problemas.

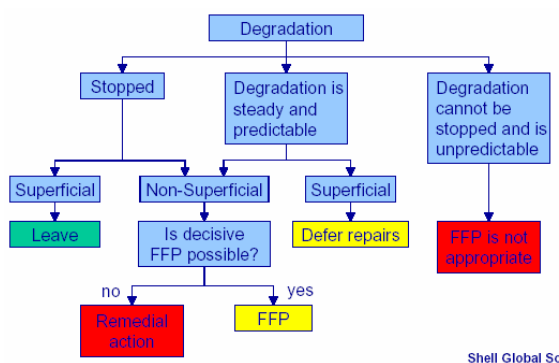


figura 3. Análisis previo al cálculo

Los criterios para la estructuración del procedimiento de cálculo serán:

- Simplicidad
- Uso de la mínima información

- Indicación clara de los casos en los que se pueden aplicar técnicas más avanzadas
- Coordinación con los códigos de diseño
- ...

6. CONCLUSIONES

La necesidad de un procedimiento europeo unificado de evaluación de la “Idoneidad para el Servicio” (“Fitness for Service”) es un hecho constatable y cada vez más manifestado por la industria. Como respuesta a dicha necesidad ha surgido el proyecto FITNET, en el que participan 47 empresas e instituciones europeas de campos que van desde la industria de la energía hasta el sector asegurador pasando por la aeronáutica, la universidad, la automoción, etc. y cuyo producto final será el FITNET FFS, procedimiento europeo que cubrirá la evaluación de componentes estructurales respecto a fractura-colapso plástico, fatiga, fluencia y corrosión-fisuración inducida por el ambiente. También atiende otras necesidades como, por ejemplo, la preparación de cursos y material de formación y entrenamiento en estas técnicas. El procedimiento será remitido a la CEN para su adopción como norma europea.

7. REFERENCIAS.

- [1] Ruiz Ocejo J., González-Posada M.A., Gorrochategui I. y Gutiérrez-Solana F., “Presente y Futuro de los Procedimientos de Evaluación de la Integridad Estructural de Componentes Figurados”, Anales de Mecánica de la Fractura vol.14 (1997).
- [2] “SINTAP: Structural Integrity Assessment Procedures for European Industry”, Brite-Euram Project No. BE95-1426, Contract No.BRPR-CT95-0024, Final Report, September 1999.
- [3] British Standard BS 7910: “Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures”, 2000.
- [4] Taylor N. y Filiou C., “Mapping of On-Going R&D”, FITNET Technical Report, JRC, 2002.
- [5] Filiou C., Taylor N., Lejuste P. y Houghton R., “Survey on Current Application and Future Requirements for European Fitness-for-Service Technology”, FITNET Technical Report, JRC-IE, Febrero 2003.
- [6] “R6: Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects”, British Energy Generation, Report R/H/R6, Revision 4, 2001.
- [7] American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Codes, Section XI, ASME,

New York.

- [8] Taylor N., Kocak M., Webster S., Janosch JJ., Ainsworth R.A. y Koers.R, “Final Report for WP2, State of the Art and Strategy”, FITNET Technical Report, JRC-IE, Septiembre 2003.
- [9] “R5, Assessment Procedure for the High Temperature Response of Structures”. British Energy, Issue 3, Volume 4/5, Appendix 8 Worked Examples, Example 5. Gloucester: British Energy; June 2003.
- [10] API Recommended Practice 579, Fitness-for-Service, API Publishing Services, First edition, January 2000.