



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

---

### Formulario de Aprobación Curso de Actualización

**Asignatura:** Mecánica de la Fractura y Fatiga: aplicaciones de elementos finitos  
(Si el nombre contiene siglas deberán ser aclaradas)

---

**Profesor de la asignatura 1:** M.Sc. Rodolfo Mussini, Grado 3, IEM  
(título, nombre, grado o cargo, Instituto o Institución)

**Profesor Responsable Local 1:** M.Sc. Rodolfo Mussini, Grado 3, IEM  
(título, nombre, grado, Instituto)

**Otros docentes de la Facultad:**  
(título, nombre, grado, Instituto)

**Docentes fuera de Facultad (Profesor Invitado):** Ing. D.Sc. Eduardo Alberto Fancello, Profesor, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil  
(título, nombre, cargo, Institución, país)

**Instituto ó Unidad:**

**Departamento ó Area:**

<sup>1</sup> Agregar CV si el curso se dicta por primera vez.  
(Si el profesor de la asignatura no es docente de la Facultad se deberá designar un responsable local)

---

**Fecha de inicio y finalización:** 01/08/12 al 05/09/12

**Horario y Salón:** 18:00 a 21:00, salón IEM

**Horas Presenciales:** 45  
(se deberán discriminar las mismas en el ítem Metodología de enseñanza)

**Arancel:** Ingenieros \$ 4000, estudiantes de postgrado \$ 1000

**Público objetivo y Cupos:**  
(si corresponde, se indicará el número de plazas, mínimo y máximo y los criterios de selección. Si no existe indicación particular para el cupo máximo, el criterio general será el orden de inscripción en el Depto. de Posgrado, hasta completar el cupo asignado)

---

**Objetivos:** Se espera que el curso sea útil para los ingenieros en ejercicio y estudiantes de postgrado, dado que provee un background en nuevas variables a tener en cuenta durante el diseño, criterios para la selección de materiales y guías para la evaluación de imperfecciones que surgen durante los procesos de fabricación y/o durante el servicio de componentes/estructuras.

---

**Conocimientos previos exigidos:** Materiales, Propiedades Mecánicas, Resistencia de Materiales ó Mecánica de Sólidos Deformables.

**Conocimientos previos recomendados:** Metalurgia, Mecanismos de Deformación Plástica, Teoría de Dislocaciones.

---

**Metodología de enseñanza:**

(comprende una descripción de las horas dedicadas por el estudiante a la asignatura y su distribución en horas presenciales -de clase práctica, teórico, laboratorio, consulta, etc.- y no presenciales de trabajo personal del estudiante)

- Horas clase (teórico): 40
- Horas clase (resolución de ejercicios): 5
- Horas clase (laboratorio):
- Horas consulta:
- Horas evaluación: 2
  - Subtotal horas presenciales: 47
- Horas estudio: 30
- Horas resolución ejercicios/prácticos: 10
- Horas proyecto final/monografía:
  - Total de horas de dedicación del estudiante: 87

**Forma de evaluación:**

**Temario:**

**Part I Introducción; R. Mussini**

**1 Revisión**

- 1.1 Acerca del curso
- 1.2 Revisión histórica
- 1.3 El significado de la Mecánica de la Fractura
- 1.4 La aproximación del balance de energía de Griffith
- 1.5 La modificación de Irwin a la teoría de Griffith
- 1.6 La aproximación de intensidad de tensiones
- 1.7 Plasticidad en la punta de la fisura
- 1.8 Tenacidad a la fractura
- 1.9 Mecánica de la fractura elastoplástica
- 1.10 Crecimiento de fisura subcrítico
- 1.11 Influencia del comportamiento del material

**Part II Mecánica de la Fractura Lineal Elástica (Linear Elastic Fracture Mechanics, LEFM);  
R. Mussini**

**2 La aproximación del campo de tensiones elásticas**

- 2.1 Introducción
- 2.2 Derivación de las ecuaciones del campo de tensiones elásticas en Modo I

- 2.4 Espécimen de ancho finito
- 2.5 Dos importantes soluciones de uso práctico
- 2.6 Superposición de factores de intensidad de tensiones
- 2.7 Algunos comentarios asociados a la determinación del factor de intensidad de tensiones
- 2.8 Compendio de soluciones del factor de intensidad de tensiones

### 3 Plasticidad en la punta de la fisura

- 3.1 Introducción
- 3.2 El tamaño de la zona plástica de acuerdo a Irwin
- 3.3 El tamaño de la zona plástica de acuerdo a Dugdale: el modelo del Strip Yield
- 3.4 Aproximaciones de primer orden de formas de las zonas plásticas
- 3.5 El estado de tensiones en la región de la punta de la fisura
- 3.6 La influencia del estado de tensiones en el comportamiento a la fractura
- 3.7 Algunos comentarios adicionales acerca de la determinación del tamaño y la forma de la zona plástica

### 4 La aproximación del balance de energía

- 4.1 Introducción
- 4.2 La aproximación del balance de energía
- 4.3 Relaciones de uso práctico
- 4.4 Determinación de factores de intensidad de tensiones a partir de la compliancia
- 4.5 El balance de energía para comportamiento más dúctil
- 4.6 Crecimiento estable de fisura y el concepto de curva-R
- 4.7 Una posible explicación de la forma de la curva-R
- 4.8 Crack Resistance: a Complete Description 101

### 5 Ensayos de LEFM

- 5.1 Introducción
- 5.2 Ensayo de tenacidad a la fractura en estado plano de deformaciones ( $K_{Ic}$ )
- 5.3 Ensayo de tenacidad a la fractura en estado plano de deformaciones ( $K_{Ic}$ ): la aproximación de Feddersen
- 5.4 La construcción de las curvas-R
- 5.5 La aproximación en ingeniería para tener en cuenta los efectos de la resistencia a la fluencia y el espesor de los especímenes en la tenacidad a la fractura: el modelo de Anderson
- 5.6 El uso práctico de  $K_{Ic}$ ,  $K_{Ic}$  y de los datos de la curva-R

**Part III Mecánica de la Fractura Elasto-Plástica (Elasto-Plastic Fracture Mechanics, EPFM); R. Mussini**

### 6 Aspectos básicos de la mecánica de la fractura elasto-plástica

- 6.1 Introducción
- 6.2 Desarrollo de la mecánica de la fractura elasto-plástica

- 6.3 La integral  $J$
- 6.4 Comentarios asociados al concepto de Integral  $J$
- 6.5  $J$  como parámetro de intensidad de tensiones
- 6.6 La aproximación COD (Crack Opening Displacement, COD)
- 6.7 Comentarios acerca de la aproximación COD
- 6.8 Relación entre  $J$  and CTOD

## 7 Ensayos de EPFM

- 7.1 Introducción
- 7.2 El método original de ensayo de  $J_{Ic}$
- 7.3 Métodos alternativos y expresiones de  $J$
- 7.4 El método de ensayo normalizado de  $J_{Ic}$
- 7.5 El requerimiento de tamaño de especimen para  $K_{Ic}$
- 7.6 El método de ensayo normalizado  $\delta_{crit}$

## 8 Introducción a la evaluación de fallas usando EPFM

- 8.1 Introducción
- 8.2 La curva de diseño COD
- 8.3 Crecimiento estable de fisura e inestabilidad dúctil descrita por  $J$
- 8.4 El diagrama de evaluación de falla (Failure Asssessment Diagram, FAD)

## ***Part IV Conceptos de Mecánica de la Fractura Para Crecimiento de Fisura Subcrítico; R. Mussini***

## 9 Crecimiento de fisura de fatiga

- 9.1 Introducción
- 9.2 Descripción del crecimiento de fisuras de Fatiga usando el factor de intensidad de tensiones
- 9.3 El efecto de la relación de tensiones y la plasticidad en la punta de la fisura: cierre de fisura
- 9.4 Efecto del medio
- 9.5 Predicción del crecimiento de fisura bajo amplitud de carga constante
- 9.6 Crecimiento de fisura de fatiga bajo amplitud de carga variable
- 9.7 Predicción del crecimiento de fisura bajo amplitud de carga variable
- 9.8 Iniciación de fisura de fatiga

## 10 Fractura bajo carga constante

- 10.1 Introducción
- 10.2 Ensayos de tiempo hasta la falla (Time to Failure, TTF)
- 10.3 Ensayo de velocidad de crecimiento de fisura
- 10.4 Problemas experimentales

- 10.5 Métodos de predicción de falla de un componente estructural
- 10.6 Significado práctico del ensayo de fractura bajo carga constante

### **11 Crecimiento de fisura dinámico y arresto**

- 11.1 Introducción
- 11.2 Aspectos básicos del crecimiento de fisura dinámico
- 11.3 Principios básicos del arresto de fisura
- 11.4 Análisis de mecánica de la fractura de fractura rápida y arresto
- 11.5 Determinación de la tenacidad de arresto de fisura
- 11.6 Determinación de factores de intensidad de tensiones dinámicos
- 11.7 Aproximaciones en mecánica de la fractura dinámica elasto-plástica.

### ***Part V Micromecanismos de Fractura en Materiales Reales; R. Mussini***

#### **12 Micromecanismos de fractura en materiales metálicos**

- 12.1 Introducción
- 12.2 El estudio de las superficies de fractura
- 12.3 Deslizamiento, deformación plástica y dislocaciones
- 12.4 Fractura transgranular dúctil por coalescencia de microcavidades
- 12.5 Fractura transgranular frágil por clivaje
- 12.6 Fractura transgranular por fatiga
- 12.7 Fractura intergranular
- 12.8 Tipos de fractura bajo carga constante

#### **13 Influencia del Comportamiento del Material en las Propiedades Fractomecánicas**

- 13.1 Introducción
- 13.2 El efecto de la geometría de la punta de la fisura
- 13.3 El efecto del pasaje de la fractura y la microestructura
- 13.4 La mecánica de la fractura y los micromecanismos de fractura

### ***Part VI Introducción y Práctica en Análisis Estructural con Elementos Finitos; E. Fancello***

#### **14 Elementos finitos en problemas unidimensionales**

- 14.1 Problema estructural de reticulados. Montaje de ecuaciones, solución e interpretación de resultados.
- 14.2 Equilibrio vía Principio de Trabajos Virtuales aplicado a problemas unidimensionales.
- 14.3 Concepto de solución aproximada vía Elementos Finitos. Funciones de forma. Solución de problemas e interpretación de resultados.

#### **15 Principio de los trabajos virtuales en elasticidad lineal**

- 15.1 Modelos de estado planos, sólidos de revolución y modelos tridimensionales.

- 
- 15.2 Elementos 2D e 3D en elasticidad lineal.
  - 15.3 Cálculo de matriz de rigidez e términos de carga. Colocación de condiciones de contorno.
  - 15.4 Ejemplos de aplicación utilizando código MEF comercial.

**16 Aplicaciones de MEF en problemas estructurales típicos de mecánica de los dos sólidos**

- 16.1 Simulaciones comparativas de MEF con soluciones analíticas de vigas a flexión y torsión.
- 16.2 Conceptos de modelaje: elección de tipo de elemento, carga, condiciones de contorno, etc.
- 16.3 Práctica en problemas simples. Evaluación e interpretación de resultados. Modificación de proyecto.

**17 Resolución de problemas y evaluación de resultados frente a criterios de falla estática y dinámica (fatiga)**

- 17.1 Introducción a fenómenos no lineales y técnicas de solución; elastoplasticidad, contacto con rozamiento.
- 17.2 Ejemplos de aplicación.
- 17.3 Solución de problemas de interés específico.

---

**Bibliografía:**

- Fracture Mechanics 2<sup>nd</sup> Edition; M. Janssen, J. Zuidema and R.J.H. Wanhill, Spon Press, ISBN: 0415346223, 2004.
- Fatigue of Structures and Materials, J. Schijve, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- A First Course in Finite Elements, Fish and Belytschko, Wiley, 2007.
- Concepts and Applications of Finite Element Analysis, R.D.Cook, D.S.Malkus, M.E.Plesha, John Wiley & Sons, 2002.
- The Finite Element Method, O.C.Zinkiewicz, R.T.Taylor, McGraw-Hill, 2000.
- (título del libro-nombre del autor-editorial-ISBN-fecha de edición)
-