



Programa de

# MODELADO DE SISTEMAS MECÁNICOS EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

## 1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

MODELADO DE SISTEMAS MECÁNICOS EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS  
ELEMENTOS FINITOS

## 2. CRÉDITOS

11 créditos

## 3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Familiarizar al estudiante con los aspectos fundamentales de los fundamentos de los métodos numéricos en ingeniería con el modelado de sistemas mecánicos empleando el método de los elementos finitos.

Ampliar y profundizar los aspectos fundamentales del método de los elementos finitos y su implementación práctica en la ingeniería para el modelado numérico aplicado a sistemas mecánicos. Se realizarán los enfoques introductorios a la programación lineal del método de los elementos finitos para implementar código práctico para los tipos de elementos finitos: Resortes, Barras, Vigas, 2D, Isoparamétricos.

Desarrollo de un modelo numérico, formulación, discretización y solución de las ecuaciones de gobierno e interpretación de resultados. En el curso este análisis es explorado sobre dos formas mediante la programación donde el estudiante realiza sus propios programas y los problemas más complejos son tratados a través del uso de programas comerciales.

Primeramente, se busca desarrollar en el estudiante la capacidad de implementar las formulaciones del método de los elementos finitos para la solución de sistemas mecánicos en ingeniería. Saber utilizar estas formulaciones en un programa general de elementos finitos para el Análisis y Modelado por Elementos Finitos de sistemas mecánicos que se encuentren sometidos a escenarios multifísicos permitiendo la simulación de su comportamiento virtual.

En segunda instancia establecer las metodologías y aspectos más relevantes para la simulación numérica de los sistemas mecánicos implementando código propio o utilizando programas de elementos finitos de dominio público.

P. Muro

Por último, evaluar modelos para el estudio del comportamiento de sistemas mecánicos y las soluciones numéricas aproximadas. Evaluar los errores numéricos y la eficiencia en el aprovechamiento consciente de cada tipo de elemento finito.

#### 4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

La metodología principal de aprendizaje del curso será el ABP (Aprendizaje Basado en Problemas). Se dictarán 6 horas de clase por semana, no existiendo una distribución precisa entre teórico, práctico y laboratorio computacional, ya que la misma depende de la temática tratada. En términos generales, se estima un 30% de estas horas dedicadas a clases teóricas y un 30% a clases prácticas y 40% dedicadas al laboratorio (dentro de las cuales se incluyen clases expositivas y de consulta).

- Horas de clase (teórico): 30
- Horas de clase (práctico):30
- Horas de clase (laboratorio):30
- Horas de consulta:
- Horas de evaluación:6
  - o Subtotal de horas presenciales:96
- Horas de estudio:40
- Horas de resolución de ejercicios/prácticos:30
  - o Total de horas de dedicación del estudiante:166

El estudiante participará de dos presentaciones orales sobre alguna de las tareas realizadas en transcurso del curso.

#### 5. TEMARIO

1. Mecánica de los sólidos y el modelado computacional en la Ingeniería: Introducción. Desarrollo histórico del cálculo matricial de estructuras como antecesor del método de los elementos finitos. El método de los elementos finitos como solución discreta en la mecánica computacional. Análisis matricial de los sistemas mecánicos e implementación de las técnicas matriciales. Desarrollo de los métodos aproximados de soluciones. Fundamentos de la programación para Elementos Finitos. Ventajas del método de los elementos finitos. Programas de elementos finitos. Pasos generales para la creación de un modelo de elementos finitos. Postprocesos.
2. Introducción al método de los elementos finitos (método de los desplazamientos): Introducción. Definición de matriz de rigidez. Derivación de la matriz de rigidez para un elemento tipo resorte. Ensamblado con elementos tipo resortes. Ensamblaje de la matriz de rigidez total por superposición (Método de rigidez directo). Matriz local y global de un sistema. Significado físico de la matriz de rigidez. Condiciones de contorno Homogéneas y no homogéneas.
3. Formulación de elementos finitos 1D-Estatico: Introducción. Conceptos sobre el elemento tipo barra (Truss). Derivación de la matriz de rigidez para un elemento de barra. Derivación de la matriz de rigidez global. Cálculo de las tensiones para una barra en el plano X-Y. Inestabilidad elástica: condición de Euler. Análisis cualitativos y comparaciones.
4. Formulación de elementos finitos de vigas -estáticos: Introducción. Concepto sobre el elemento tipo viga (Beam). Derivación de la matriz de rigidez para un elemento de viga.

*Handwritten signature*

Derivación de la matriz de rigidez global. Cálculo de la tensión para una viga. Análisis de vigas utilizando el método de rigidez directa. Análisis de las cargas de impacto en vigas. Flexión de vigas.

5. Formulación de Elementos Finitos Isoparamétricos – estáticos: Introducción. Concepto sobre el elemento Isoparamétrico – 2D. Interpolación: funciones de forma, exigencias para las funciones de forma, derivación de las funciones de forma a partir de polinomios. Integración Numérica (Cuadratura de Gauss). Conceptos de estado plano de tensión y deformación. Derivación de las ecuaciones de elementos finitos del elemento triangular. Matriz de rigidez. Estudio de casos. Cálculo de la tensión para Elementos 2D.
6. Formulación de elementos finitos 3D: Introducción. Concepto sobre el elemento 3D. Funciones de forma y derivación de las funciones de forma a partir de polinomios. Análisis de la convergencia numérica. Elemento tetraedro. Recipientes de pared gruesa y delgada. Estudio de casos.
7. El método de los elementos finitos en el análisis de fenómenos multifísicos: Introducción. Concepto sobre el análisis multifísicos para el modelado de sistemas mecánicos. Ajustes de la física. Condiciones de contorno y acoplamientos.
8. El método de elementos finitos en el análisis de la fatiga de materiales. Introducción. Conceptos sobre el análisis de fatiga. Factor de seguridad para fatiga. Análisis de la fatiga multiaxial. Análisis cuantitativos de casos reales.
9. Análisis de las técnicas de Modelado. Selección de tópicos en el análisis por el Métodos de los elementos finito. Proyectos en el modelado numérico. Diseño de experimentos paramétricos (Diseño factorial completo).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
Mecánica de los sólidos y el modelado computacional en la Ingeniería.	(1)(2)(4) (5)	(1)(8)(5)(2)
Introducción al método de los elementos finitos (método de los desplazamientos).	(1)(2)(4) (5)	(8)(5)(2)
Formulación de elementos finitos 1D-Estatico.	(2)(4)(5)	(6)(8)(2)
Formulación de elementos finitos de vigas -estáticos.	(2)(4)(5)	(1)(6)(8)(2)
Formulación de Elementos Finitos Isoparamétricos – estáticos.	(2)(4)(5)	(1)(6)(8)(2)
Formulación de elementos finitos 3D.	(2)(5)	(1)(6)(8)
El método de los elementos finitos en el análisis de fenómenos multifísicos.	(6)	(5)(3)
El método de elementos finitos en el análisis de la fatiga de materiales.	(7)(8)	
Análisis de las técnicas de Modelado	(5)	(1)(5)

### 6.1 Básica

1. Chandrupatla, Tirupathi R.; Belegundu, Ashok D. (1999). "Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería". México: Prentice Hall, 1999. ISBN: 978-970-17-0260-4.
2. O.C.Zienkiewicz, R.L.Taylor, J.Z.Zhu. (2010) "El método de los Elementos finitos. Vol 1: Las Bases". Editorial CIMNE. ISBN: 978-84-96736-71-9.
3. O.C.Zienkiewicz, R.L.Taylor. (2010). "El método de los elementos finitos. Vol 2: Mecánica de Sólidos". Editorial CIMNE. ISBN: 978-84-96736-72-6.

11  
Avel

4. Kwon and Bang. (1997) "The Finite Element Method using MATLAB" - Copyright 1997  
CRC Press LLC. ISBN 0-8493-9653-0
5. G.R.Liu (2003) "The Finite element Method- A practical course". Elsevier Science. ISBN 0-7506-5866-5.
6. Bundschuh, J.; Suárez Arriga, M. (2009). "Multiphysics Modeling Vol 1". Taylor & Francis Group. ISBN: 978-0-203-88622-9.
7. N. W. M. Bishop, F. Sherratt (2000) "Finite Element Based Fatigue Calculations". NAFEMS.
8. Lee, Y-L., Barkey, M.E. (2012). "Metal Fatigue Analysis Handbook: Practical Problem - Solving Techniques for Computer -Aided Engineering (1ed)". Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-12-385204-5;

## 6.2 Complementaria

1. Klaus-Jurgen Bathe "Finite Element Procedures", 2da Edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1982, 735 pp. ISBN 0-13-317305-4.
2. Larry J. Segerlind (1984) "Applied Finite Element Analysis", 2nd Edition. published by Wiley. ISBN: 978-0-471-80662-2
3. Alexandru M. Morega and Juan C. Ordonez. "Multiphysics Modelling and Simulation in Engineering". 2008, ISBN: 978-3-902613-25-7.  
[https://www.intechopen.com/books/modelling\\_and\\_simulation/multiphysics\\_modelling\\_and\\_simulation\\_in\\_engineering](https://www.intechopen.com/books/modelling_and_simulation/multiphysics_modelling_and_simulation_in_engineering)
4. Magrab, E.B. et al., An Engineer's Guide to MATLAB®, Prentice Hall, 3rd ed., 2011.
5. Smith, I.M.; Griffiths, D.V.; Margetts, L. (2014). Programming the Finite Element Method (Fifth ed.). Wiley. ISBN 978-1-119-97334-8.
6. Khennane, A. (2013). Introduction to finite element analysis using MATLAB and Abaqus. CRC Press.
7. Zienkiewicz, O. C., & Zhu, J. Z. (1987). "A simple error estimator and adaptive procedure for practical engineering analysis". International journal for numerical methods in Engineering, 24(2), 337-357.

## Bibliografía opcional portugués

8. Alves Filho, Avelino. "Elementos Finitos - a Base da Tecnologia Cae", Editora Erica, 2012, ISBN-10: 8536503955.

## 7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

**7.1 Conocimientos Previos Exigidos:** Mecánica clásica. Deformaciones elásticas en vigas, teoría de fallas, fatiga de materiales.

**7.2 Conocimientos Previos Recomendados:** Programación básica, mecánica clásica, mecánica del sólido básica.

*Handwritten signature*

**ANEXO A**

**Para todas las Carreras**

Esta primera parte del anexo incluye aspectos complementarios que son generales de la unidad curricular.

**A1) INSTITUTO**

Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial.

**A2) CRONOGRAMA TENTATIVO**

Semana 1	Mecánica de los sólidos y el modelado computacional en la Ingeniería. (6 hs de clase).
Semana 2	Introducción al método de los elementos finitos (6 hs).
Semana 3	Introducción al método de los elementos finitos (6 hs).
Semana 4	Recogida de tareas #1 y #2, presentación y evaluación por equipos. Repaso de temas Generales. (6 hs).
Semana 5	Formulación de elementos finitos 1D-Estatico. (6hs)
Semana 6	Formulación de elementos finitos de vigas -estáticos. (6 hs)
Semana 7	Recogida de tareas #3 y #4, presentación y evaluación por equipos. Repaso de temas Generales. (6 hs).
Semana 8	Repaso de temas generales y preparación del parcial (6hs clases)
Semana 9	Formulación de Elementos Finitos Isoparamétricos – estáticos. (6hs)
Semana 10	Formulación de elementos finitos 3D.
Semana 11	Recogida de tareas #5 y #6, presentación y evaluación por equipos. Repaso de temas Generales. (6 hs).
Semana 12	El método de los elementos finitos en el análisis de fenómenos multifísicos. (6hs)
Semana 13	El método de elementos finitos en el análisis de la fatiga de materiales. (6hs)
Semana 14	Análisis de las técnicas de Modelado (6hs)
Semana 15	Repaso de temas generales y preparación del parcial (6hs clases)

**A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN**

La evaluación consistirá en:

- Dos parciales escritos individuales teórico-práctico de 12,5 cada parcial (total 25 puntos)
- Seis tareas desarrolladas en equipos de hasta dos estudiantes. Por todas las tareas puede sumar hasta 50 puntos.
- Dos presentaciones orales en equipos de hasta dos estudiantes sobre alguna de las seis tareas desarrolladas de forma aleatoria en el transcurso del semestre. Cada presentación puede sumar hasta 12,5 puntos (total 25 puntos)

Es condición necesaria para aprobar el curso cumplir con la entrega de al menos 4 de las 6 tareas propuestas. Para considerar una entrega de tarea como efectiva esta deberá ser revisada y obtener un valor numérico igual o superior al 60% del valor numérico designado a la tarea. El estudiante que sume de todas las evaluaciones 60 puntos o más aprueba la unidad curricular. En caso contrario reprueba la misma.

B  
hace

---

**A4) CALIDAD DE LIBRE**

Los estudiantes no podrán acceder a la calidad libre.

**A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR**

No existe límite de cupos.

---

---

---

ANEXO B Carreras Ingeniería Industrial Mecánica y Naval

15  
Summa

B1) ÁREA DE FORMACIÓN

Materiales y Diseño

B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS

Curso:

Comportamiento Mecánico de Materiales 2 (Examen)

Examen:

No aplica