



## Guía docente

### 295103 - 295II013 - Simulación y Optimización

Última modificación: 27/05/2024

**Unidad responsable:** Escuela de Ingeniería de Barcelona Este  
**Unidad que imparte:** 749 - MAT - Departamento de Matemáticas.  
737 - RMEE - Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería.  
751 - DECA - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INTERDISCIPLINARIA E INNOVADORA (Plan 2019). (Asignatura obligatoria).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA (Plan 2021). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2024      **Créditos ECTS:** 6.0      **Idiomas:** Inglés

#### PROFESORADO

**Profesorado responsable:** JOSE JAVIER MUÑOZ ROMERO

**Otros:** Primer quadrimestre:  
IGNASI DE POUPLANA SARDÀ - Grup: T11, Grup: T12  
DANIEL DI CAPUA - Grup: T11, Grup: T12  
JOSE JAVIER MUÑOZ ROMERO - Grup: T11, Grup: T12  
JORDI POBLET PUIG - Grup: T11, Grup: T12

#### CAPACIDADES PREVIAS

Programación en Matlab  
Aplicación métodos numéricos (interpolación e integración)  
Nociones de ecuaciones en derivadas parciales

#### COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

**Específicas:**  
CEMUEII-03. Utilizar las técnicas computacionales adecuadas para simular fenómenos físicos de la ingeniería. Adaptar y aplicar algoritmos de optimización en problemas de ingeniería.

**Genéricas:**  
CGMUEII-01. Participar en proyectos de innovación tecnológica en problemas de naturaleza multidisciplinar, aplicando conocimientos matemáticos, analíticos, científicos, instrumentales, tecnológicos y de gestión.

**Transversales:**  
05 TEQ. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar ya sea como un miembro más, o realizando tareas de dirección con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.  
06 URI. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de la especialidad y valorar de forma crítica los resultados de esta gestión.  
03 TLG. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.



## METODOLOGÍAS DOCENTES

---

Clases teóricas con transparencias y tareas.

Clases prácticas con ordenador y software general (Matlab) y específica de la mecánica computacional (Ramseries).

Utilización de software de pre y post proceso (GiD, ParaView).

En el trabajo de grupo se dejará escoger el software para la resolución de problemas: ABAQUS, ANSYS, Comsol, FEMLAB, GiD, Matlab, ...

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

---

- 1- Ser capaz de identificar un problema físico y el modelo correspondiente para su simulación.
- 2- Dominar las herramientas numéricas de simulación: discretización de elementos finitos y programa de optimización.
- 3- Identificar las condiciones de contorno y poder evaluar la bondad de la solución.
- 4- Conocer las leyes reológicas básicas para sólidos y fluidos, y conocer su respectiva implementación numérica.
- 5- Distinguir entre problemas lineales y no-lineales, y poder determinar las diferentes tipos de resolución en cada caso.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

---

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	27,0	18.00
Horas grupo grande	27,0	18.00
Horas aprendizaje autónomo	96,0	64.00

**Dedicación total:** 150 h

## CONTENIDOS

### Tema 1: Introducción a los Elementos Finitos

#### Descripción:

Análisis del problema continuo y discreto en una dimensión. Integración numérica. Elemento de referencia. Concepto de ensamblaje.

Extensión a dos dimensiones. Tipos elementos e implementación. Convergencia del problema discreto. Análisis de flujos en el problema discreto, discontinuidad y convergencia.

Resolución de problemas térmicos con malla arbitraria. Pre y post-proceso. Regularización de la solución por mínimos cuadrados.

#### Objetivos específicos:

Aprender la forma fuerte y débil de problemas elípticos. Concepto del problema discretizado y origen de errores de la aproximación numérica. Concepto físico de las variables.

Diferenciar la resolución de variables nodales de la solución del problema discretizado. Evaluar y saber imponer condiciones de contorno, y conocer en la derivadas del problema discreto

Poder resolver el problema térmico o de concentración con geometrías y condiciones de contorno arbitrarias.

Concepto de ensamblaje para otros sistemas mecánicos y eléctricos.

#### Actividades vinculadas:

Sesión de laboratorio 1.1: Problema Térmico 1D-2D

Temas: Cálculo de la matriz de rigidez y el vector de flujo térmico. Condiciones de contorno térmica. Cálculo de flujos y suavizado.

Ejercicios:

1-) Cálculo de la matriz de rigidez térmica y del vector de flujos de un elemento triangular.

2-) Cálculo de la matriz de rigidez térmica y del vector de flujos de un elemento cuadrilátero.

3-) Resolución de un pequeño problema térmico

Sesión de laboratorio 1.2: Tipos de elementos finitos

Temas: Ensamblaje, aplicación de restricciones, cálculo de variables y flujos. Interpolación mediante funciones de forma en elementos de referencia.

Integración numérica y formulación isoparamétrica.

Ejercicios:

1-) Cálculo del valor de la variable en los puntos interiores de los elementos

2-) Integración numérica en un elemento cuadrilátero arbitrario.

3-) Cálculo de derivadas de funciones de forma en un elemento cuadrilátero distorsionado.

Sesión de laboratorio 1.3: Otros problemas discretos

Temas: Diferentes tipos de sistemas discretos (mecánico, térmico, eléctrico): Problema discreto eléctrico y mecánico de barras

Ejercicios:

1-) Problema mecánico de barras

2-) Problema discreto eléctrico

3-) Resolución numérica

#### Dedicación: 20h

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

Aprendizaje autónomo: 12h



## Tema 2: Sólidos elásticos

### Descripción:

Plantear las ecuaciones de equilibrio de Cauchy. Deducción de la forma débil continua y discreta. Resolución de problemas en dos y tres dimensiones.

Condiciones de contorno del problema elástico. Análisis de tensiones.

### Objetivos específicos:

Concepto de deformación y tensiones en el problema continuo y discreto.

Resolución de un problema genérico. Análisis del error.

### Actividades vinculadas:

Sesión de laboratorio 2.1: Mecánica de sólidos

Temas: Cálculo de la matriz de rigidez y el vector de fuerza. Condiciones de contorno mecánica. Cálculo de tensiones. Suavizado.

Análisis de tensiones y estimador de errores.

### Ejercicios:

1-) Cálculo de la matriz de rigidez y el vector de carga de elementos triangulares y cuadriláteros.

2-) Cálculo de la matriz de rigidez y el vector de carga de elementos tetraédricos y hexaédricos.

3-) Resolución de pequeño problema mecánico bidimensional.

### Sesión de laboratorio 2.2: No linealidades

Temas: No linealidad geométrica y no linealidad material. Resolución numérica: linearización y método de Newton-Raphson.

### Ejercicios:

1-) Problema no-lineal con rigidez dependiente de los desplazamientos.

2-) Resolución de un problema geoméricamente no lineal: barras con grandes desplazamientos.

### Dedicación: 16h

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

Aprendizaje autónomo: 8h



### Tema 3: Problemas transitorios

**Descripción:**

Resolución de EDPs y EDOs: Métodos de discretización temporal de las EDOs: Newmark, diferencias centradas, HHT. Análisis modal. Resonancia.

**Objetivos específicos:**

Poder resolver problemas parabólicos e hiperbólicos, haciendo énfasis en la dinámica estructural.

Ser capaz de escoger la metodología de resolución que más se adapte al problema físico: vibraciones, amortiguamiento (físico y numérico), precisión requerida.

**Actividades vinculadas:**

Sesión de laboratorio 3.1: Problemas dinámicos

Temas: Cálculo de la matriz de masa y amortiguamiento. Integración directa.

Ejercicios:

- 1-) Cálculo de la matriz de masa y amortiguamiento de un elemento triangular.
- 2-) Cálculo de la matriz de masa y amortiguamiento de un elemento cuadrilátero.
- 3-) Integración directa del problema térmico transitorio unidimensional. Estabilidad y precisión.

Sesión de laboratorio 3.2: Problemas dinámicos en sólidos

Temas: Frecuencias naturales. Integración directa.

Ejercicios:

- 1-) Frecuencias naturales de un problema dinámico
- 2-) Fenómeno de resonancia.

**Dedicación: 16h**

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

Aprendizaje autónomo: 8h

#### Tema 4: Modelación de fluidos

**Descripción:**

Formulaciones principales para fluidos: Stokes, Navier-Stokes, flujo potencial. incompresibilidad, Formulaciones de elementos finitos habituales en velocidades y presiones.

**Objetivos específicos:**

Saber determinar dificultades de problemas de fluidos (condición LBB) y conocer formulaciones mixtas.

**Actividades vinculadas:**

Sesión de laboratorio 4.1 .: Dinámica de fluidos estacionario

Temas: Flujo a través de medios porosos (problema de Darcy). Elementos finitos mixtos. Fluidos viscosos incompresibles (problema de Stokes).

Ejercicios:

1-) Cálculo de la matriz de rigidez de un elemento triangular para un problema Darcy.

2-) Cálculo de la matriz de rigidez de un elemento cuadrilátero para un problema de Stokes. Estabilización.

Sesión de laboratorio 4.2 .: Dinámica de fluidos transitorio

Temas: Problemas viscosos incompresibles (Navier-Stokes). Interpolación presiones y velocidades. Condición LBB.

Ejercicios:

1-) Resolver numéricamente las ecuaciones Navier-Stokes de un dominio bidimensional.

2-) Resolución de un problema no-lineal con convección. SUPG.

**Dedicación: 8h**

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h

#### Tema 5: Optimización

**Descripción:**

Introducción a la optimización de problemas. Aplicaciones: transport, mecánica, fluxes, finances,... Multiplicadores de Lagrange. Métodos del punto interior.

Diseño de funciones objetivo. Métodos basados en gradientes. Basin hopping. Algoritmos genéticos.

Problemas combinatoriales. Análisis y modelización de restricciones.

**Objetivos específicos:**

Saber escribir un problema de optimización en forma estándar. Identificar el espacio de soluciones factibles, función objetivo, y las restricciones.

Ser capaz de elegir el método de optimización más adecuado para un problema dado y saber aplicar y ajustar el método para resolver el problema.

**Actividades vinculadas:**

Sesión de laboratorio 5.1: métodos numéricos (multiplicadores de Lagrange, punto interior).

Sesión de laboratorio 5.2: métodos basados en gradientes. Basin Hopping.

Sesión de laboratorio 5.3: resolución de problemas con algoritmos genéticos. Introducción a DEAP.

Sesión de laboratorio 5.4: resolución de problemas combinatoriales o con restricciones.

**Dedicación: 32h**

Grupo grande/Teoría: 8h

Grupo pequeño/Laboratorio: 8h

Aprendizaje autónomo: 16h

## ACTIVIDADES

### Seminarios

**Descripción:**

Contextualización de la modelización numérica en biomecánica, aeronáutica y materiales compuestos. Presentación de otras formulaciones no vistas en las sesiones de teoría: Galerkin discontinuo, mesh-less, DEM, phase-field, X-FEM, ...

**Objetivos específicos:**

Motivación y aplicaciones de la simulación numérica.

**Material:**

Seminarios por expertos en la modelización. Documentación en formato transparencias.

**Entregable:**

Resumen de las sesiones y breve cuestionario.

**Dedicación:** 6h

Grupo grande/Teoría: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h

### Presentación Trabajo de curso

**Descripción:**

Los alumnos realizan en grupos el trabajo de curso, donde se aplican los conceptos desarrollados durante el curso. Los alumnos eligen entre una serie de enunciados, con la posibilidad de que ellos realicen sugerencias de problemas con dificultad similar. Se buscan aplicaciones prácticas de los conceptos con software a elegir por cada grupo. Las horas de laboratorio es una sesión reservada en el aula para el trabajo en grupo. Las horas de teoría corresponde a la presentación oral del trabajo.

**Objetivos específicos:**

Saber modelar un problema de la ingeniería, tanto sea de fluidos o sólidos. Poder sintetizar y presentar de forma oral las ideas básicas del trabajo, hipótesis y resultados de la modelización numérica.

**Material:**

Software libre o comercial de modelización numérica (ANSYS, COMSOL, Abaqus, FemLab, ..) ..

**Entregable:**

Se entregará documento de longitud limitada y se hará presentación oral pública del trabajo.

**Dedicación:** 28h

Aprendizaje autónomo: 24h

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

40% Exámenes teóricos.

40% Trabajos prácticos.

20% Proyecto en grupo.

La asignatura permitirá una reevaluación. Los criterios que regiran esta prueba de evaluación están recogidos en el punto 1.1.3. de la "Normativa d'Avaluació i Permanència en els estudis de grau i màster de l'EEBE" (<https://eebe.upc.edu/ca/estudis/normatives-academiques/documents/eebe-normativa-avaluacio-i-permanencia-18-19-aprovat-je-2018-06-13.pdf>).



## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

---

Los exámenes de teoría son individuales. En las evaluaciones de las sesiones de laboratorio se permite compartir información y acceder a la documentación del curso.

El proyecto del curso se realizará en grupos, y se deberá realizar una presentación además de la entrega de un documento.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- Hughes, Thomas J. R. The Finite element method : linear static and dynamic finite element analysis. Mineola, New York: Dover Publications, 1987. ISBN 0486411818.
- Zienkiewicz, O. C.; Taylor, Richard Lawrence; Zhu, J. Z. The finite element method : its basis and fundamentals [en línea]. 7th ed. Amsterdam [etc.]: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2013 [Consulta: 24/04/2020]. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780750664318>. ISBN 9781856176330.
- Oñate, E.. Structural analysis with the finite element method : linear statics. Vol. 1: Basis and solids [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009 [Consulta: 24/04/2020]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8733-2>. ISBN 9781402087332.
- Nocedal, Jorge; Wright, Stephen J. Numerical Optimization [en línea]. 2nd ed. New York, NY: Springer Science+Business Media, 2006 [Consulta: 24/04/2020]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-40065-5>. ISBN 9780387400655.
- Eiben, Agoston E.; Smith J. E. Introduction to evolutionary computing. 2nd. Berlin [etc.]: Springer, cop. 2015. ISBN 3662448734.

### Complementaria:

- Bonet, Javier; Wood, Richard D. Nonlinear continuum mechanics for finite elements analysis. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. ISBN 9780521838702.
- Donea, Jean; Huerta, Antonio. Finite element method for flow problems. Chichester: Wiley, cop. 2003. ISBN 0471496669.
- Malvern, Lawrence E. Introduction to the mechanics of a continuous medium. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, cop. 1969. ISBN 0134876032.
- Holzapfel, Gerhard A. Nonlinear solid mechanics : a continuum approach for engineering. Chichester: John Wiley & Sons, cop. 2000. ISBN 0471823198.
- Kling, Ronn. Learning DEAP from examples. Amazon Media, 2017.