Guía docente
250402 - MODELNUM - Modelización Numérica

Última modificación: 03/10/2023

Unidad responsable: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona
Unidad que imparte: 751 - DECA - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Titulación: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS (Plan 2012). (Asignatura obligatoria).

Curso: 2023 **Créditos ECTS:** 9.0 **Idiomas:** Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: ALBERTO GARCIA GONZALEZ

Otros: DAVID CODONY GISBERT, ALBERTO GARCIA GONZALEZ

COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Específicas:
8198. Capacidad para abordar y resolver problemas matemáticos avanzados de ingeniería, desde el planteamiento del problema hasta el desarrollo de la formulación y su implementación en un programa de ordenador. En particular, capacidad para formular, programar y aplicar modelos analíticos y numéricos avanzados de cálculo al proyecto, planificación y gestión, así como capacidad para la interpretación de los resultados obtenidos, en el contexto de la ingeniería civil.

Transversales:
8562. 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 especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

8563. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, preferentemente el inglés, con un nivel adecuado oral y escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán los titulados y tituladas.

METODOLOGÍAS DOCENTES

El curso consiste en: quince semanas de docencia presencial, el trabajo a realizar y auto-aprendizaje. Además de las 6 horas por semana en el aula, se deben dedicar 9 horas cada la semana, en media, al trabajo personal (auto-aprendizaje).

Por lo menos la mitad de las horas de clase se dedican a trabajar en pequeños grupos (trabajos dirigidos en aula informática, ejercicios en el aula convencional, etc)

Aunque la mayoría de las sesiones se impartirán en el idioma indicado en la guía, puede que las sesiones en las que se cuente con el apoyo de otros expertos invitados puntualmente se lleven a cabo en otro idioma.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Conocimientos de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de la física-matemática. Capacidad para el análisis y la resolución de los problemas matemáticos planteados en la ingeniería que involucren estos conceptos. Capacidad para formular, programar y aplicar modelos analíticos y numéricos de cálculo al proyecto, planificación y gestión. Capacidad para interpretar los resultados proporcionados por los modelos en el contexto de la ingeniería.

Relacionar las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales con problemas ingenieriles en medio continuo.
Programar soluciones complejas mediante software básico y obtención de soluciones numéricas.
Desarrollar soluciones analíticas a problemas complejos de contorno y valor inicial en varias dimensiones y con condiciones geométricas sencillas que permitan realizar un análisis de dichas soluciones, incluyendo un estudio paramétrico.
Utilizar un programa de análisis numérico para realizar un análisis de sensibilidad de un problema en el que se resuelva una ecuación diferencial ordinaria.
Resolver un problema de contorno en medio continúo mediante una ecuación diferencial en derivadas parciales partiendo del planteamiento de las mismas hasta su solución numérica por DF o EF.
Resolver problemas de modelización en ingeniería mediante técnicas numéricas.

Teorema de la divergencia, teorema de Green y teorema de Stokes. Conocimientos de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales; existencia y unicidad de soluciones, estabilidad. Tipos de ecuaciones, soluciones analíticas en casos particulares de especial interés en ingeniería. Historia de los modelos numéricos y su aplicación a las obras de ingeniería. Conocimientos de modelización numérica en ingeniería. Conocimientos sobre almacenamiento de números, algoritmos y análisis de errores. Conocimientos de métodos numéricos para la determinación de ceros de funciones. Conocimientos para la solución de sistemas de ecuaciones mediante métodos numéricos directos e iterativos básicos. Conocimientos de métodos numéricos para la solución de sistemas no lineales de ecuaciones. Problemas de autovalores. Aproximación funcional. Conocimientos para la integración numérica mediante cuadraturas. Conocimientos para la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias. Conocimientos para la solución de ecuaciones en derivadas parciales: diferencias finitas y elementos finitos.

Objetivos deseados del aprendizaje:
1 .- Demostrar conocimiento y comprensión de: los fundamentos del comportamiento y la aproximación numérica de ecuaciones diferenciales; aproximación funcional; error de truncamiento y errores de las soluciones, la estabilidad, consistencia y convergencia; métodos directos e iterativos para sistemas de ecuaciones lineales y problemas de valores propios.

2 .- Demostrar la capacidad de (pensamiento): entender y formular los procedimientos básicos numéricos y resolver problemas ilustrativos, identificar los métodos apropiados para el problema correspondiente.

3 .- Demostrar la capacidad de (habilidades prácticas): comprender las consecuencias prácticas de la conducta de los métodos numéricos y las soluciones; lógicamente formular métodos numéricos para la solución por ordenador con un lenguaje de programación (Matlab o Octave).

4 .- Demostrar la capacidad de (competencias clave): estudiar de forma independiente, emplear los recursos de la biblioteca, usar de un ordenador personal para la programación básica; tomar apuntes de forma eficiente y administrar el tiempo de trabajo.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	41,9	18.63
Horas grupo pequeño	19,5	8.67
Horas grupo mediano	19,5	8.67
Horas aprendizaje autónomo	144,0	64.03

Dedicación total: 224.9 h

CONTENIDOS

1.- Introducción a la modelización, a la programación y a los errores

Descripción:
Introducción a la programación en MATLAB o OCTAVE.
Concepto y definición de error (absoluto, relativo, redondeo, truncamiento, cifras significativas) y su propagación.

Objetivos específicos:
Ser capaz de desarrollar programas sencillos en MATLAB o OCTAVE
Conocer la representación de números enteros y reales en un ordenador.
Conocer el concepto y definición de error y como éste afecta al cálculo numérico.

Dedicación: 24h
Grupo pequeño/Laboratorio: 10h
Aprendizaje autónomo: 14h

2.- Introducción al MEF

Descripción:
Problemas de equilibrio (mecánica de sólidos, suelos...), de evolución (dinámica estructural, calor, consolidación, tráfico, contaminantes...) y de valores propios (vibraciones estructurales, acústica...).
Classificació matemàtica i física d'EDPs.
Obtención de la forma débil: para el problema mecánico (principio de los trabajos virtuales) y para el problema de Laplace (residuos ponderados)
Interpolación seccional
Discretización de la forma débil
Cálculo de integrales
Matrices elementales y ensamblado

Resolución de un problema de equilibrio mediante el MEF.

Objetivos específicos:
Conocer, saber plantear y analizar varios problemas de ingeniería que requieren la solución de problemas de EDPs.
Identificar y clasificar las EDPs de segundo orden, desde un punto de vista matemático y físico
Entender el significado de las condiciones de contorno

Entender la utilización del MEF como una herramienta para resolver problemas en ingeniería.
Ser capaz de determinar la forma débil para un problema elíptico con condiciones de Dirichlet, Neumann o Robin.
Poder describir los distintos aspectos numéricos del MEF: discretización/aproximación, integración, ensamblado, resolución de ecuaciones, ...

Ser capaz de obtener la forma débil de un problema de equilibrio. Ser capaz de utilizar el MEF para resolver problemas de equilibrio.

Dedicación: 24h
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 4h
Aprendizaje autónomo: 14h

3.- Sistemas de ecuaciones lineales

Descripción:
Clasificación y definiciones.
Métodos de factorización: Crout y Cholesky
Métodos iterativos: gradientes conjugados (equivalencia con problema de minimización, máximo descenso, gradientes conjugados, algoritmo, propiedades)

Problemas prácticos de sistemas de ecuaciones: almacenamiento, número de condición, precondicionamiento
Resolución de sistemas lineales utilizando diferentes métodos y precondicionadors.

Objetivos específicos:
Conocer la clasificación de los métodos de resolución de sistemas de ecuaciones lineales.
Conocer el rango de aplicabilidad de cada método y sus ventajas e inconvenientes computacionales.
Conocer los detalles del análisis del método de gradientes conjugados y poder implementarlo correctamente.

Conocer los aspectos prácticos fundamentales: renumeración, número de condición, precondicionadores, cifras significativas, criterios prácticos de convergencia.
Saber implementar los métodos de resolución presentados.
Saber identificar la influencia práctica del número de condición, precondicionadores...

Dedicación: 24h
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 4h
Aprendizaje autónomo: 14h

4.- Ceros de funciones y sistemas no lineales

Descripción:
Conceptos básicos de métodos iterativos: consistencia, convergencia lineal, superlineal o de orden p, velocidad de convergencia, factor asintótico.
Métodos: de Newton, de la secante, de Whittaker.
Introducción a la resolución de sistemas no lineales: iteración funcional, método de iteración directa, método de Picard, método de Newton-Raphson.

Problemas prácticos de análisis de convergencia e influencia de los errores de redondeo.

Objetivos específicos:
Entender el funcionamiento de los métodos iterativos diferenciándolos de los métodos con número finito de operaciones.
Conocer las propiedades, ventajas e inconvenientes de los esquemas iterativos usuales.
Saber escoger en cada caso el método más adecuado.
Conocer y comprender las extensiones básicas a sistemas de ecuaciones.
Saber analizar, representar e interpretar los resultados de los métodos iterativos.

Dedicación: 16h 48m
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 1h
Aprendizaje autónomo: 9h 48m

Evaluación #1

Descripción:
Resolución de la evaluación #1

Dedicación: 7h 11m
Grupo pequeño/Laboratorio: 3h
Aprendizaje autónomo: 4h 11m

5.- Interpolación y aproximación

Descripción:
Planteamiento general: tipo y criterio de aproximación
Interpolación polinómica
Mínimos cuadrados
Aproximación seccional

Analizar una serie de datos, aproximarlos con diversas metodologías y discutir los resultados.

Objetivos específicos:
Conocer los criterios y tipos de aproximación usuales y saber discutir sus ventajas e inconvenientes.
Conocer y saber utilizar la interpolación de Lagrange así como el error de interpolación: resto de Lagrange.
Entender y saber desarrollar el problema de mínimos cuadrados, saber deducir las ecuaciones normales y entender la propiedad de ortogonalidad.
Conocer y utilizar la interpolación polinómica seccional.

Ser capaz de usar y programar algunas funciones intrínsecas para aproximar un conjunto de datos.

Dedicación: 14h 23m
Grupo grande/Teoría: 3h
Grupo pequeño/Laboratorio: 3h
Aprendizaje autónomo: 8h 23m

6.- Integración numérica

Descripción:
Planteamiento general, ejemplo con la regla del trapecio
Definición de orden de una cuadratura
Clasificación de cuadraturas
Fórmulas de Newton-Cotes
Cuadraturas de Gauss
Fórmulas compuestas
Problemas prácticos de integración: MEF
Estudiar la convergencia de las cuadraturas:
- de Newton-Cotes y de Gauss-Legendre a medida que se consideran más puntos de integración
- de las cuadraturas compuestas a medida que se aumenta el número de intervalos

Objetivos específicos:
Conocer el concepto de integración numérica y ser capaz de determinar un cuadratura para puntos cualesquiera.
Conocer la clasificación de las distintas cuadraturas.
Entender las bases de las cuadraturas de Newton-Cotes y Gauss, saber emplearlas entendiendo el concepto de orden de integración y coste computacional.
Conocer y saber emplear las cuadraturas compuestas así como sus ventajas e inconvenientes.
Saber aplicar todos los conceptos de integración al caso del MEF.
Entender cómo se programa una cuadratura numérica
Ser capaz de programar una cuadratura compuesta

Dedicación: 19h 12m
Grupo grande/Teoría: 3h
Grupo mediano/Prácticas: 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 3h
Aprendizaje autónomo: 11h 12m

Evaluación #2

Descripción:
Resolución de la evaluación #2

Dedicación: 7h 11m
Grupo pequeño/Laboratorio: 3h
Aprendizaje autónomo: 4h 11m

7.- Modelización con EDOs

Descripción:
Planteamiento general: reducción a orden uno, problemas de valor inicial (PVI), de contorno (PC) o de valores propios, teorema de existencia y unicidad.
Métodos basados en la aproximación de la derivada: Euler, Euler hacia atrás.
Error de truncamiento; consistencia; error local y global; orden; estabilidad absoluta.
Métodos de paso simple (Runge-Kutta): métodos de segundo y cuarto orden.
Métodos de predicción-corrección.
Problemas prácticos con EDOs
Modelización y resolución numérica de un problema de ingeniería descrito mediante EDOs.

Objetivos específicos:
Entender el concepto de Problema de Valor Inicial (PVI) bien planteado.
Saber identificar y clasificar un problema de EDOs (para cualquier orden y dimensión).
Ser capaz de expresar una EDO de alto orden como un sistema de EDOs de primer orden.
Saber determinar si se trata de un Problema de Valor Inicial (PVI) o un Problema de Contorno (PC).
Entender los conceptos de convergencia, orden de convergencia y estabilidad absoluta.
Conocer las propiedades básicas de los métodos de Runge- Kutta. Entender su forma general y ser capaz de aplicarlos. Saber diferenciar los métodos explícitos, semi-implícitos e implícitos.
Entender y saber aplicar todos los conceptos teóricos de EDOs
Saber modelizar un problema de ingeniería como un sistema de EDOs.
Saber utilizar una librería para resolución numérica de EDOs.

Dedicación: 21h 36m
Grupo grande/Teoría: 3h
Grupo mediano/Prácticas: 1h
Grupo pequeño/Laboratorio: 5h
Aprendizaje autónomo: 12h 36m

8.- Modelización con EDPs

Descripción:
Método de los elementos finitos para problemas elípticos: condiciones de contorno, organización de los cálculos, conceptos de precisión y eficiencia numérica.
Problemas dinámicos: matriz de masa, de rigidez y de amortiguamiento; método de Newmark; conceptos de estabilidad y precisión temporal.
Problemas hiperbólicos de dinàmica estructural

Resolución de un problema dinámico.

Objetivos específicos:
Saber plantear la forma adimensional de los problemas de valor inicial o de contorno (en particular "calor")
Conocer las bases del MEF: forma débil, condiciones de contorno, integración, tipos de matrices, algoritmo.
Entender los conceptos de precisión en MEF (elípticos) y saber como identificar problemas y plantear soluciones.
Saber plantear un problema de dinámica estructural con el MEF.
Entender el concepto de estabilidad (condicional e incondicional), diferenciarlo del concepto de precisión temporal y saber distinguir entre los métodos explícitos e implícitos.
Conocer las características fundamentales de la resolución de problemas dinámicos.
Entender el uso el métode de Newmark para la integración temporal de problemas dinámicos.
Saber programar el método de Newmark y analizar su comportamiento

Dedicación: 28h 47m
Grupo grande/Teoría: 6h
Grupo mediano/Prácticas: 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 4h
Aprendizaje autónomo: 16h 47m

Evaluación #3

Descripción:
Resolución de la evaluación #3

Dedicación: 7h 11m
Grupo pequeño/Laboratorio: 3h
Aprendizaje autónomo: 4h 11m

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

1. La asignatura se evalúa a partir de los siguientes elementos:
* El trabajo en clase (class work, CW), a realizar individualmente o en equipo.
* Tres tests (T1, T2 y T3) que son estrictamente individuales.

2. El trabajo en clase (CW) se refiere, entre otros, a:
* Ejercicios en el aula
* Prácticas en el aula informática.

3. Los contenidos de los tests T1, T2 y T3 estarán de acuerdo con toda la materia impartida desde el inicio de curso.

4. La deshonestidad académica (incluyendo, entre otros, la comunicación durante los tests, el plagio y la falsificación de resultados) será severamente castigada, de acuerdo con la normativa académica vigente: cualquier acto de esta naturaleza implica una calificación final de 0 en la asignatura.

5. La calificación final de la asignatura se obtiene según

Nota = (0.1*T1 + 0.45*T2 + 0.45*T3)*0.85 + CW*0.15

NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Se comentarán en clase.

BIBLIOGRAFÍA

Básica:
- Zienkiewicz, O.C.; Morgan. K. Finite elements and approximation. Mineola, NY: Dover, 1983. ISBN 9780486453019.
- Quarteroni A.; Saleri, F.; Gervasio, P. Scientific computing with MATLAB and Octave. 3rd ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. ISBN 9783642124297.

Complementaria:
- Huerta, A.; Sarrate, J.; Rodríguez-Ferran, A. Métodos numéricos: introducción, aplicaciones y programación [en línea]. Barcelona: Edicions UPC, 2001 (Errores, Sistemas de ecuaciones) [Consulta: 15/01/2021]. Disponible a: http://hdl.handle.net/2099.3/36258. ISBN 8483015226.
- Hoffman, J.D. Numerical methods for engineers and scientists. 2nd ed. rev. and exp. New York: Marcel Dekker, 1992. ISBN 0824704436.
- Trefethen, L.N.; Bau III, D. Numerical linear algebra. SIAM, 1997. ISBN 9780898713619.
- Shampine L.F. Numerical solution of ordinary differential equations. CRC Press, 1994. ISBN 0412051516.
- Stoer, J.; Bulirsch, R. Introduction to numerical analysis. Springer-Verlag, 2002. ISBN 9781441930064.
- Recktenwald, G.W. Numerical methods with MATLAB: implementations and applications. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. ISBN 0201308606.