

Guía docente

295455 - 295TM122 - Mecánica de Fluidos Computacional

Última modificación: 02/10/2025

Unidad responsable: Escuela de Ingeniería de Barcelona Este
Unidad que imparte: 729 - MF - Departamento de Mecánica de Fluidos.

Titulación: MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS MECÁNICAS (Plan 2024). (Asignatura optativa).

Curso: 2025 **Créditos ECTS:** 6.0 **Idiomas:** Castellano, Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: LLUÍS JOFRE CRUANYES - FERNANDO GARCIA GONZALEZ

Otros: Primer quadrimestre:
FRANCESCO CAPUANO - Grup: T1
FERNANDO GARCIA GONZALEZ - Grup: T1
LLUÍS JOFRE CRUANYES - Grup: T1

REQUISITOS

Tecnologías avanzadas en ciencia e ingeniería de fluidos

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Conocimientos:

- K.01. Interpretar críticamente los principios físicos que gobiernan el comportamiento de sistemas y aplicaciones avanzadas en los ámbitos de diseño mecánico, procesos de fabricación, resistencia de materiales, mecánica de fluidos, termodinámica y transferencia de calor.
- K.08. Identificar herramientas de análisis de datos para caracterizar, sintetizar, explicar y predecir el comportamiento de sistemas físicos en el ámbito de la ingeniería mecánica.
- K.05. Identificar tecnologías emergentes (tanto del ámbito mecánico como en el de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación) aplicables en el desarrollo de proyectos mecánicos.
- K.02. Identificar las ecuaciones fundamentales que gobiernan los fenómenos físicos asociados a problemas complejos en el ámbito de la ingeniería mecánica.
- K.07. Definir modelos analíticos, experimentales y/o computacionales apropiados para el estudio de problemas relevantes en el ámbito de la ingeniería mecánica.

Habilidades:

- S.02. Aplicar correctamente las técnicas analíticas, computacionales y/o experimentales que mejor se adecúen al análisis de un caso o proyecto en el ámbito mecánico.
- S.08. Integrar conocimientos de diferentes áreas del ámbito mecánico en el diseño y desarrollo de proyectos, sistemas y soluciones de ingeniería.
- S.05. Analizar críticamente los resultados del análisis de un proceso o producto, teniendo en cuenta las limitaciones de las técnicas aplicadas.
- S.03. Aplicar el uso de técnicas avanzadas de simulación numérica y prototipado virtual en la solución de problemas mecánicos complejos.
- S.06. Gestionar eficientemente la información recopilada durante estudios analíticos, numéricos y/o experimentales, y automatizar su análisis para facilitar la extracción de conocimiento.

Competencias:

C.03. Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito mecánico, y valorar de forma crítica los resultados de esta gestión.

C.02. Trabajar como miembro de un equipo interdisciplinario, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con el fin de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

C.05. Plantear soluciones científicas y tecnológicas avanzadas a retos industriales complejos en el ámbito de la ingeniería mecánica.

METODOLOGÍAS DOCENTES

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

- Aprender a identificar problemas de mecánica de fluidos cuyas soluciones requieren enfoques computacionales
- Comprender los conceptos e ideas matemáticas detrás de los métodos utilizados.
- Implementar los métodos correspondientes utilizando lenguajes de programación bien establecidos.
- Realizar un análisis de errores exhaustivo de los algoritmos, incluida la precisión y la estabilidad.
- Adquirir experiencia en la solución discreta y optimización de ecuaciones diferenciales que describen problemas de fluidos en ciencia e ingeniería

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTE

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	21,0	14.00
Horas grupo grande	21,0	14.00
Horas aprendizaje autónomo	108,0	72.00

Dedicación total: 150 h

CONTENIDOS

Métodos numéricos

Descripción:

Basic remarks. Numerical interpolation and differentiation based on Taylor series expansion. Truncation error: formal definition. Centered and asymmetric derivative formulas. Derivation of finite-difference formulas with arbitrary stencil and order of accuracy on uniform and non-uniform meshes. Matrix notation.

Boundary value problems. Numerical solution of 1D and 2D heat equation with Neumann, Dirichlet and Robin boundary conditions. Solution of linear systems: direct and iterative methods.

Initial value problems. Ordinary differential equations (ODEs): basic theoretical aspects. Numerical methods for ODEs: multi-stage (Runge-Kutta) and multi-step (Adams) schemes.

Partial differential equations (PDEs). Derivation of PDEs relevant to transport phenomena. The semi-discrete (or method of lines) approach. Numerical solution of unsteady advection-diffusion equations using finite-difference formulas and methods for ODEs for a variety of initial and boundary conditions.

Dedicación: 43h 30m

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 6h

Actividades dirigidas: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 30h

Solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes

Descripción:

Introduction. General overview of a Computational Fluid Dynamics (CFD) process: mesh generation, solution, post-processing; examples. Basic properties of Navier-Stokes equations. The incompressible flow model. The role of pressure, initial and boundary conditions.

Discretization of incompressible N-S. The pressure Poisson equation and projection methods. Chorin-Temam fractional step method. Layout of variables: collocated and staggered arrangement. The "Harlow-Welch" staggering. Implementation of boundary conditions. Development of a numerical code in primitive variables using a second-order staggered scheme and the projection method. A simple example: the lid-driven cavity problem.

Other topics. Towards multiscale flow problems: the modified wavenumber analysis and the issue of non-linear stability. Remarks on the concept of discrete energy conservation. Remarks on the compressible Navier-Stokes equations and related numerical schemes. Alternatives to projection methods: SIMPLE and PISO algorithms.

Dedicación: 43h 30m

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 6h

Actividades dirigidas: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 30h

Computación de alto rendimiento

Descripción:

Modern processors & data access. Introduction to parallel computing (what, why, how). Parallel computer memory architectures: shared, distributed, hybrid shared-distributed. Fundamentals of parallelization: strong and weak scalability, parallel efficiency, load balance, parallel overheads.

Shared-memory parallel programming (OpenMP). General characteristics. Uniform & Non-Uniform Memory Access (UMA/NUMA). Introduction to OpenMP. Case study: OpenMP-parallel Jacobi algorithm.

Distributed-memory parallel programming (MPI). General characteristics. Messages and point-to-point communication & Nonblocking point-to-point communication. Introduction to MPI. Case study: MPI-parallel Jacobi algorithm.

Hybrid architectures & accelerators (OpenACC). Exascale computing & hybrid architectures. Acceleration strategies. Introduction to OpenACC. Case study: OpenACC-accelerated Jacobi algorithm.

Dedicación: 19h 30m

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo pequeño/Laboratorio: 3h

Actividades dirigidas: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 12h

Análisis computacional de fluidos

Descripción:

Computational experiments. Basic definitions, historical notes and different approaches (theoretical, experimental, computational), application to hydrodynamic instabilities and turbulence.

Analysis of flow regimes. Base flow of a Navier-Stokes problem. Types of bifurcations (Hopf, pitchfork, saddle-node). Linear stability analysis. Overview of numerical techniques. Case study: the two-dimensional lid-driven cavity problem.

Tools for time-dependent flows. Types of time dependent flows (base, quasi-periodic, chaos). Qualitative measures of the flow.

Modal flow analysis (POD, DMD). Dynamical indicators from time series (local, global, Poincaré sections). Case study: the two-dimensional lid-driven cavity problem.

Dedicación: 43h 30m

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 6h

Actividades dirigidas: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 30h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

20% Computational exercises/activities

35% Course project

45% Final exam

BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- LeVeque, Randall J. Finite difference methods for ordinary and partial differential equations : steady-state and time-dependent problems [en línea]. Philadelphia, PA: SIAM, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007 [Consulta: 18/09/2024]. Disponible a: <https://faculty.washington.edu/rjl/fdmbook/>. ISBN 9780898716290.
- Ferziger, Joel H.; Peric, Milovan; Street, Robert L. Computational Methods for Fluid Dynamics. Fourth edition. Cham: Springer, [2019]. ISBN 9783319996912.
- Hager, Georg; Wellein, Gerhard. Introduction to high performance computing for scientists and engineers. Boca Raton, FL: CRC Press, cop. 2011. ISBN 9781439811924.
- Drazin, P. G. Introduction to hydrodynamic stability. Cambridge, UK [etc.]: Cambridge University Press, 2002. ISBN 9780521009652.