Guía docente
205609 - 205609 - Mecánica de Fluidos Computacional

Última modificación: 19/04/2023

Unidad responsable: Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa
Unidad que imparte: 729 - MF - Departamento de Mecánica de Fluidos.

Titulación: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA (Plan 2021). (Asignatura optativa).

Curso: 2023 **Créditos ECTS:** 6.0 **Idiomas:** Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: LLUÍS JOFRE CRUANYES

Otros:

CAPACIDADES PREVIAS

Conocimientos básicos de lenguajes de programación, mecánica de fluidos y ecuaciones diferenciales.

REQUISITOS

METODOLOGÍAS DOCENTES

La metodología de enseñanza combinará conferencias teóricas, ejercicios prácticos, tutoriales y seminarios, y proyectos individuales/grupales.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Aprenda a identificar problemas cuyas soluciones requieren enfoques computacionales, comprenda los conceptos matemáticos y las ideas detrás de los métodos utilizados, implemente los métodos correspondientes usando lenguajes de programación bien establecidos, lleve a cabo un análisis exhaustivo de errores de los algoritmos, incluida la precisión y la estabilidad, y adquiera experiencia en la solución discreta y optimización de ecuaciones diferenciales que describen problemas multifísicos en ciencia e ingeniería.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas aprendizaje autónomo	96,0	64.00
Horas grupo grande	54,0	36.00

Dedicación total: 150 h

CONTENIDOS

Tema 1: Métodos Numéricos

Descripción:
Observaciones básicas. Interpolación y diferenciación numérica basada en la expansión de la serie de Taylor. Error de truncamiento: definición formal. Fórmulas de derivadas centradas y asimétricas. Derivación de fórmulas de diferencias finitas con plantilla arbitraria y orden de precisión en mallas uniformes y no uniformes. Notación matricial.
Problemas de valores en la frontera. Solución numérica de ecuaciones de calor 1D y 2D con condiciones de frontera de Neumann, Dirichlet y Robin. Solución de sistemas lineales: métodos directos e iterativos.
Problemas de valores iniciales. Ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO): aspectos teóricos básicos. Métodos numéricos para EDO: esquemas de múltiples etapas (Runge-Kutta) y de múltiples pasos (Adams).
Ecuaciones diferenciales parciales (EDP). Derivación de PDE relevantes para fenómenos de transporte. El enfoque semidiscreto (o método de líneas). Solución numérica de ecuaciones de advección-difusión inestables utilizando fórmulas y métodos de diferencias finitas para ODE para una variedad de condiciones iniciales y de contorno.

Dedicación: 44h
Grupo grande/Teoría: 16h
Aprendizaje autónomo: 28h

Tema 2: Solucionador de flujo de Navier-Stokes

Descripción:
Introducción. Descripción general de un proceso de dinámica de fluidos computacional (CFD): generación de mallas, solución, procesamiento posterior; ejemplos Propiedades básicas de las ecuaciones de Navier-Stokes. El modelo de flujo incompresible. El papel de la presión, las condiciones iniciales y de contorno.
Discretización de incompresibles N-S. La ecuación de Poisson de la presión y los métodos de proyección. Método de pasos fraccionarios de Chorin-Temam. Disposición de variables: disposición coubicada y escalonada. El asombroso "Harlow-Welch". Implementación de condiciones de contorno. Desarrollo de un código numérico en variables primitivas utilizando un esquema escalonado de segundo orden y el método de proyección. Un ejemplo simple: el problema de la cavidad impulsada por la tapa. Otros temas. Hacia problemas de flujo multiescala: el análisis del número de onda modificado y el problema de la estabilidad no lineal. Comentarios sobre el concepto de conservación de energía discreta. Comentarios sobre las ecuaciones compresibles de Navier-Stokes y esquemas numéricos relacionados. Manejo de geometrías complejas: enfoques de conformación del cuerpo y el método de límite sumergido. Alternativas a los métodos de proyección: Algoritmos SIMPLE y PISO.

Dedicación: 44h
Grupo grande/Teoría: 16h
Aprendizaje autónomo: 28h

Tema 3: Computación de alto rendimiento

Descripción:
Procesadores modernos y acceso a datos. Introducción a la computación paralela (qué, por qué, cómo). Arquitecturas de memoria de computadora en paralelo: compartida, distribuida, híbrida compartida-distribuida. Fundamentos de la paralelización: escalabilidad fuerte y débil, eficiencia paralela, equilibrio de carga, gastos generales paralelos.
Programación paralela en memoria compartida (OpenMP). Características generales. Acceso a memoria uniforme y no uniforme (UMA/NUMA). Introducción a OpenMP. Caso de estudio: Algoritmo de Jacobi paralelo a OpenMP.
Programación paralela de memoria distribuida (MPI). Características generales. Mensajes y comunicación punto a punto & Comunicación punto a punto sin bloqueo. Introducción a MPI. Estudio de caso: Algoritmo de Jacobi paralelo MPI.
Arquitecturas híbridas y aceleradores (OpenACC). Informática a exaescala y arquitecturas híbridas. Estrategias de aceleración. Introducción a OpenACC. Estudio de caso: Algoritmo de Jacobi acelerado por OpenACC.

Dedicación: 18h
Grupo grande/Teoría: 6h
Aprendizaje autónomo: 12h

Tema 4: Física de flujo computacional

Descripción:
Experimentos computacionales. Definiciones básicas, notas históricas y diferentes enfoques (teórico, experimental, computacional), aplicación a inestabilidades hidrodinámicas y turbulencia.
Análisis de regímenes de flujo. Flujo base de un problema de Navier-Stokes. Tipos de bifurcaciones (Hopf, tridente, silla de montar). Análisis de estabilidad lineal. Introducción a las técnicas numéricas. Estudio de caso: el problema bidimensional de la cavidad impulsada por la tapa.
Herramientas para flujos dependientes del tiempo. Tipos de flujos dependientes del tiempo (base, cuasi-periódico, caos). Medidas cualitativas del caudal. Indicadores dinámicos de series de tiempo (local, global, secciones de Poincaré). Estudio de caso: el problema bidimensional de la cavidad impulsada por la tapa.

Dedicación: 44h
Grupo grande/Teoría: 16h
Aprendizaje autónomo: 28h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

- Proyecto final: conectado al solucionador desarrollado y herramientas de análisis de datos del tema 4; 35%; Inicio en la semana 8-10, evaluación en la semana 15.
- Examen/discusión oral: preguntas relacionadas con el proyecto; 50%; Evaluación en la semana 15.
- Actividades: Ecuación de Burgers 1-D (comparación con solución analítica); 2 - 3 preguntas (L2-norma, energía total, etc.); Evaluación durante el tema 2; 15%.

BIBLIOGRAFÍA

Básica:
- Vermeire, Brian C.; Pereira, Carlos A.;Karbasian, Hamidreza. Computational fluid dynamics: an open-source approach [en línea]. Concordia: Concordia University, 2020 [Consulta: 25/01/2023]. Disponible a: https://users.encs.concordia.ca/~bvermeir/files/CFD%20-%20An%20Open-Source%20Approach.pdf.
- Moin, Parviz. Fundamentals of engineering numerical analysis. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. ISBN 9780521711234.
- Drazin, Philip G. Introduction to hydrodynamic stability. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002. ISBN 0521009650.
- Ferziger, Joel H.; Peric, Milovan; Street, Robert L. Computational methods for fluid dynamics [en línea]. 4th ed. Cham, Switzerland: Springer, 2020 [Consulta: 25/01/2023]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-3-319-99693-6. ISBN 9783319996936.
- Hager, Georg; Wellein, Gerhard. Introduction to high performance computing for scientists and engineers [en línea]. Boca Raton: CRC Press, 2011 [Consulta: 15/02/2023]. Disponible a: http://prdrklaina.weebly.com/uploads/5/7/7/3/5773421/introduction_to_high_performance_computing_for_scientists_and_engineers.pdf. ISBN 9781439811924.
- LeVeque, Randall J. Finite difference methods for ordinary and partial differential equations: steady-state and time-dependent problems [en línea]. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007 [Consulta: 10/02/2023]. Disponible a: https://faculty.washington.edu/rjl/fdmbook/. ISBN 9780898716290.

RECURSOS

Otros recursos:
Acceso a solucionadores de flujo escritos en Python y Matlab, y cluster computacional.