Guía docente
820757 - MNTCM - Métodos Numéricos en Transferencia de Calor y Masa

Última modificación: 13/03/2025

Unidad responsable: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona
Unidad que imparte: 724 - MMT - Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.

Titulación: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA (Plan 2013). (Asignatura optativa).
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (Plan 2014). (Asignatura optativa).
MÁSTER UNIVERSITARIO ERASMUS MUNDUS EN SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE ENERGÍA INTELIGENTES (DENSYS) (Plan 2020). (Asignatura optativa).
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TÉRMICA (Plan 2021). (Asignatura obligatoria).
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA (Plan 2022). (Asignatura optativa).

Curso: 2025 **Créditos ECTS:** 5.0 **Idiomas:** Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: Carlos-David Pérez-Segarra

Otros: Xavier Trias

CAPACIDADES PREVIAS

Conocimientos básicos de dinámica de fluidos y transferencia de calor, así como de algún lenguaje de programación.

COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Específicas:
CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

METODOLOGÍAS DOCENTES

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Adquirir una formación básica en la resolución numérica de las ecuaciones gobernantes en dinámica de fluidos y transferencia de calor y masa.
Adquirir una primera experiencia práctica en la programación, verificación y validación de códigos de CFD & HT (Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer).
Familiarizarse con el uso de códigos CFD & HT y adquirir la capacidad de juzgar de forma crítica su calidad (verificación de las soluciones numéricas y validación de las formulaciones matemáticas utilizadas).

Resultados del aprendizaje al finalizar la asignatura, el / la estudiante:
Consolidación de las formulaciones matemáticas básicas de fenómenos de dinámica de fluidos y transferencia de calor y masa.
Conocimiento de diferentes metodologías de integración numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes.
Introducción a la resolución de flujos turbulentos en base a metodologías de tipo RANS, LES y DNS.
Aplicación de técnicas de verificación de códigos, verificación de soluciones numéricas y validación de formulaciones matemáticas.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	15,0	11.54
Horas grupo grande	30,0	23.08
Horas aprendizaje autónomo	85,0	65.38

Dedicación total: 130 h

CONTENIDOS

Introducción a los métodos numéricos en dinámica de fluidos y transmisión de calor y masa

Descripción:
Planteamiento general de la problemática implicada en la integración de las ecuaciones propias de la dinámica de fluidos y de la transferencia de calor y masa. Comentarios generales de las diferentes metodologías de integración de las ecuaciones (diferencias finitas, volúmenes finitos, elementos finitos, métodos espectrales, etc.).

Dedicación: 23h 30m
Grupo pequeño/Laboratorio: 6h
Actividades dirigidas: 1h 30m
Aprendizaje autónomo: 16h

Resolución de la ecuación de la transferencia de calor por conducción de calor en dominios irregulares. Análisis permanente y transitorio.

Descripción:
Extensión de la metodología explicada en los cursos básicos de transferencia de calor y masa, basada en técnicas de volúmenes finitos y mallas de discretización estructuradas, ortogonales y adaptables al dominio.
En este tema se introducirán técnicas de blocking-off para el tratamiento de geometrías complejas así como mallas no estructuradas con volúmenes finitos no ortogonales y de formas diversas (eg tetraedros). Se explicaron las técnicas de tratamiento de datos y las tablas de conectividad.
En esta etapa la resolución de los sistemas de ecuaciones de discretización se realizará con los métodos ya conocidos por los estudiantes de cursos anteriores (Gauss-Seidel, line-by-line, técnicas de sub y sobrerrelaxació).

Dedicación: 24h 30m
Grupo pequeño/Laboratorio: 6h
Actividades dirigidas: 2h 30m
Aprendizaje autónomo: 16h

Resolución de ecuaciones de tipo convección-difusión.

Descripción:
A diferencia de las ecuaciones planteadas en el tema anterior, aquí se presenta la forma genérica de las ecuaciones de transporte con los términos convectivos. Se explican las diferentes técnicas de integración de la ecuación y los problemas de precisión (difusión numérica o falsa difusión) y / o convergencia (estabilidad) que pueden resultar según el esquema que se utilice. Se plantean diferentes problemas benchmark con mapas de velocidades dados (eg flujo uniforme inclinado respecto de las coordenadas, Smith-Hutton problem, etc.).

Dedicación: 25h 30m
Grupo pequeño/Laboratorio: 6h
Actividades dirigidas: 3h 30m
Aprendizaje autónomo: 16h

Técnicas de verificación de códigos y de las soluciones numéricas y revisión de los solvers más adecuados.

Descripción:
Este tema aborda dos aspectos fundamentales en la metodología de resolución numérica. El primero está relacionado con la verificación de código y verificación de soluciones numéricas. El segundo a las técnicas de resolución de grandes sistemas de ecuaciones algebraicas.
Referente al primer punto, se presentan diferentes técnicas de verificación de códigos, como puede ser comparativas con casos simplificados pero de solución analítica conocida, verificación de balances globales de masa, momentum y / o energía, creación de soluciones numéricas ad hoc (el conocido como a MMS o Method of Manufactured Solutions). Una vez el código está suficientemente verificado, se explican técnicas para asegurar la calidad de la solución numérica (ie los resultados obtenidos no pueden estar condicionados a la malla de discretizació generada o los parámetros numéricos utilizados o el número de cifras significativas (precisión-utilizadas pe el ordenador).
En una segunda parte se presentan solvers iterativos más eficientes que los estándar (Gauss-Seidel o el line-by-line). En particular, precondicionadores por métodos de Krylov (CG, GMRES, BiCGSTAB) y métodos de tipo multimalla-multinivel. En casos 3D con dirección periódica, se comentan métodos de diagonalización de Fourier.

Dedicación: 26h
Grupo pequeño/Laboratorio: 6h
Actividades dirigidas: 4h
Aprendizaje autónomo: 16h

Resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes

Descripción:
Se plantea la problemática de resolución de estas ecuaciones, tanto desde un punto de vista físico como numérico. Se comentan diferentes propiedades que deben conservar las ecuaciones discretitzades y cómo estas propiedades son introducidas en el tratamiento numérico. La metodología que se explica se basa en técnicas de tipo explícito y esquemas de discretización espectro-consistente. El agoritme global es de tipo fractional-step method. Se proponen diferentes casos benchmark (driven cavity, differentially cavity, backward-facing step, etc.). Este planteamiento permite al estudiante abordar situaciones de flujos turbulentos con modelos tipo DNS (Direct Numerical Simulation) y LAS (Large Eddy Simulation). Se comentan aspectos fenomenológicos relativos a la turbulencia (cascada de energía, filtrado de las ecuaciones, mapas iniciales y condiciones de contorno) y de tratamiento estadístico de datos.

Dedicación: 25h 30m
Grupo pequeño/Laboratorio: 6h
Actividades dirigidas: 3h 30m
Aprendizaje autónomo: 16h

ACTIVIDADES

Clases de teoría

Dedicación: 20h
Aprendizaje autónomo: 5h
Grupo pequeño/Laboratorio: 15h

Clases prácticas

Dedicación: 20h
Aprendizaje autónomo: 5h
Grupo pequeño/Laboratorio: 15h

Trabajo teórico-práctico dirigido

Dedicación: 17h
Aprendizaje autónomo: 5h
Actividades dirigidas: 12h

Trabajo de alcance reducido

Dedicación: 25h
Aprendizaje autónomo: 25h

Trabajo de amplio alcance

Dedicación: 40h
Aprendizaje autónomo: 40h

Pruebas de conocimiento

Dedicación: 3h
Actividades dirigidas: 3h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

Examen de primer parcial: 20%
Examen final: 35%
Trabajos de laboratorio (individuales o en grupos) realizados durante la impartición de la asignatura: 45%

BIBLIOGRAFÍA

Básica:
- Incropera, Frank Paul; DeWitt, David P. Fundamentos de transferencia de calor. 4a ed. México [etc.]: Prentice Hall, cop. 1999. ISBN 9701701704.
- Patankar, Suhas V. Numerical heat transfer and fluid flow [en línea]. Washington: Hemisphere ; McGraw-Hill, 1980 [Consulta: 30/06/2025]. Disponible a: https://www-taylorfrancis-com.recursos.biblioteca.upc.edu/books/mono/10.1201/9781482234213/numerical-heat-transfer-fluid-flow-suhas-patankar. ISBN 0891165223.
- Ferziger, Joel H. [et al.]. Computational methods for fluid dynamics [en línea]. 4th ed. Cham: Springer International Publishing, 2020 [Consulta: 28/01/2025]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=5940868. ISBN 3319996932.
- Versteeg, H. K ; Malalasekera, W. An Introduction to computational fluid dynamics : the finite volume method. 2nd ed. London: Pearson Education, cop. 2007. ISBN 9780131274983.
- Roache, Patrick J. Fundamentals of computational fluid dynamics. Albuquerque, New Mexico: Hermosa, cop. 1998. ISBN 0913478091.

Complementaria:
- Pope, S. B. Turbulent flows. Repr. with corr. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN 0521591252.
- Bradshaw, P. An Introduction to turbulence and its measurement [en línea]. Oxford ; New York: Pergamon Press, 1971 [Consulta: 01/10/2024]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=1828

885. ISBN 080166202.
- Libby, Paul A. Introduction to turbulence. Bristol, PA: Taylor & Frances, cop. 1996. ISBN 1560321008.
- Roache, Patrick J. Verification and validation in computational science and engineering. Alburquerque: Hermosa, cop. 1998. ISBN 0913478083.
- Shyy, Wei ... [et al.]. Computational fluid dynamics with moving boundaries [en línea]. Mineola, NY: Dover Publications, 2007 [Consulta: 28/01/2025]. Disponible a: https://research-ebsco-com.recursos.biblioteca.upc.edu/c/ik5pvi/search/details/kv5ahok4qb?db=nlebk&db=nlabk. ISBN 9780486135557.

RECURSOS

Material audiovisual:
- Material audiovisual. Transparencias, problemas propuestos que se utilizarán en clase.

Material informático:
- Notes. Apuntes realizados por el profesorado de la asignatura.