Guia docent
820757 - MNTCM - Mètodes Numèrics en Transferència de Calor i Massa

Última modificació: 13/03/2025

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
Unitat que imparteix: 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics.

Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA DE L'ENERGIA (Pla 2013). (Assignatura optativa).
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL (Pla 2014). (Assignatura optativa).
MÀSTER UNIVERSITARI ERASMUS MUNDUS EN SISTEMES DESCENTRALITZATS D'ENERGIA INTEL·LIGENTS (DENSYS) (Pla 2020). (Assignatura optativa).
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA TÈRMICA (Pla 2021). (Assignatura obligatòria).
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA DE L'ENERGIA (Pla 2022). (Assignatura optativa).

Curs: 2025 **Crèdits ECTS:** 5.0 **Idiomes:** Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: Carlos-David Pérez-Segarra

Altres: Xavier Trias

CAPACITATS PRÈVIES

Coneixements bàsics de dinàmica de fluids i transferència de calor, així com algun llenguatge de programació.

REQUISITS

Coneixements equivalents a haver superat el curs d'anivellament del màster

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:
CEMT-5. Aplicar criteris tècnics i econòmics en la selecció de l'equip tèrmic més adequat per a una determinada aplicació. Dimensionar equips i instal·lacions tèrmiques. Reconèixer i valorar les aplicacions tecnològiques innovadores en l'àmbit de la producció, transport, distribució, emmagatzematge i ús de l'energia tèrmica.

METODOLOGIES DOCENTS

Durant el desenvolupament de l'assignatura es faran servir les següents metodologies docents:

Classe magistral o conferència (EXP): exposició de coneixements per part del professorat mitjançant classes magistrals o bé per persones externes mitjançant conferències convidades.
Classes participatives (PART): resolució col · lectiva d'exercicis, realització de debats i dinàmiques de grup amb el professor o professora i altres estudiants a l'aula; presentació a l'aula d'una activitat realitzada de manera individual o en grups reduïts.
Presentacions (PS): presentar a l'aula una activitat realitzada de manera individual o en grups reduïts (presencial).
Treball teòric-pràctic dirigit (TD): realització a l'aula d'una activitat o exercici de caràcter teòric o pràctic, individualment o en grups reduïts, amb l'assessorament del professor o professora.
Projecte, activitat o treball d'abast reduït (PR): aprenentatge basat en la realització, individual o en grup, d'un treball de reduïda complexitat o extensió, aplicant coneixements i presentant resultats.
Projecte o treball d'abast ampli (PA): aprenentatge basat en el disseny, la planificació i realització en grup d'un projecte o treball d'àmplia complexitat o extensió, aplicant i ampliant coneixements i redactant una memòria on s'aboca el plantejament d'aquest i els resultats i conclusions.
Activitats d'Avaluació (EV).

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

Adquirir una formació bàsica en la resolució numèrica de les equacions governants en dinàmica de fluids i transferència de calor i massa.
Adquirir una primera experiència pràctica en la programació, verificació i validació de codis de CFD&HT (Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer).
Familiaritzar-se amb l'ús de codis CFD&HT i adquirir la capacitat de jutjar de forma crítica la seva qualitat (verificació de les solucions numèriques i validació de les formulacions matemàtiques utilitzades).

Resultats de l'aprenentatge al finalitzar l'assignatura, el/la estudiant:
Consolidació de les formulacions matemàtiques bàsiques de fenòmens de dinàmica de fluids i transferència de calor i massa.
Coneixement de diferents metodologies d'integració numèrica de les equacions de Navier-Stokes.
Introducció a la resolució de fluxos turbulents en base a metodologies de tipus RANS, LES i DNS.
Aplicació de tècniques de verificació de codis, verificació de solucions numèriques i validació de formulacions matemàtiques.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	30,0	23.08
Hores aprenentatge autònom	85,0	65.38
Hores grup petit	15,0	11.54

Dedicació total: 130 h

CONTINGUTS

Introducció als mètodes numèrics en dinàmica de fluids i transmissió de calor i massa

Descripció:
Plantejament general de la problemàtica implicada en la integració de les equacions pròpies de la dinàmica de fluids i de la transferència de calor i massa. Comentaris generals de les diferents metodologies d'integració de les equacions (diferències finites, volums finits, elements finits, mètodes espectrals, etc.).

Objectius específics:
Revisió de les formulacions matemàtiques bàsiques en dinàmica de fluids i transmissió de calor i massa.
Plantejament general de les diferents metodologies d'integració de les equacions de Navier Stokes.

Activitats vinculades:
Classe teòrica
Classe pràctica
Treball d'abast reduït
Treball d'abast ampli

Dedicació: 23h 30m
Grup petit/Laboratori: 6h
Activitats dirigides: 1h 30m
Aprenentatge autònom: 16h

Resolució de l'equació de la transferència de calor per conducció de calor en dominis irregulars. Anàlisi permanent i transitori.

Descripció:
Extensió de la metodologia explicada en els cursos bàsics de transferència de calor i massa i bassada en tècniques de volums finits i malles de discretització estructurades, ortogonals i adaptables al domini.
En aquest tema s'introduiran tècniques de blocking-off pel tractament de geometries complexes així com malles no estructurades amb volums finits no ortogonals i de formes diverses (e.g. tetraedres). S'explicaren les tècniques de tractament de dades i les taules de connectivitat.
En aquesta etapa la resolució dels sistemes d'equacions de discretització es realitzarà amb els mètodes ja coneguts pels estudiants de cursos anteriors (Gauss-Seidel, line-by-line, tècniques de sub i sobrerrelaxació).

Objectius específics:
Resolució numèrica de les equacions de la transferència de calor per conducció en dominis irregulars.
Repàs de les tècniques bàsiques de resolució de grans sistemes d'equacions algebraiques resultants de les discretitzacions.

Activitats vinculades:
Classe teòrica
Classe pràctica
Treball d'abast reduït
Treball d'abast ampli

Dedicació: 24h 30m
Grup petit/Laboratori: 6h
Activitats dirigides: 2h 30m
Aprenentatge autònom: 16h

Resolució d'equacions de tipus convecció-difusió.

Descripció:
A diferencia de les equacions plantejades en el tema anterior, aquí es presenta la forma genèrica de les equacions de transport amb els termes convectius. S'expliquen les diferents tècniques d'integració de l'equació i els problemes de precisió (difusió numèrica o falsa difusió) i/o convergència (estabilitat) que poden resultar segons l'esquema que s'utilitzi. Es plantegen diferents problemes benchmark amb mapes de velocitats donats (e.g. flux uniforme inclinat respecte de les coordenades, Smith-Hutton problem, etc.).

Objectius específics:
Presentació de l'equació de la convecció-difusió (equació genèrica de transport) i de la metodologia d'integració numèrica.
Presentació de diferents esquemes pel terme convectiu.
Presentació de diferents casos benchmark útils per la verificació dels codis desenvolupats pels estudiants.

Activitats vinculades:
Classe teòrica
Classe pràctica
Treball pràctic dirigit
Treball d'abast reduït
Treball d'abast ampli

Dedicació: 25h 30m
Grup petit/Laboratori: 6h
Activitats dirigides: 3h 30m
Aprenentatge autònom: 16h

Tècniques de verificació de codis i de les solucions numèriques i revisió dels solvers més adients.

Descripció:
Aquest tema aborda dos aspectes fonamentals en la metodologia de resolució numerica. El primer està relacionat amb la verificació de codi i verificació de solucions numèriques. El segon a les tècniques de resolució de grans sistemes d'equacions algebraiques.
Referent al primer punt, es presenten diferent tècniques de verificació de codis, com pot ser comparatives amb casos simplificats però de solució analítica coneguda, verificació de balanços globals de massa, momentum i/o energia, creació de solucions numèriques ad hoc (el conegut com a MMS o Method of Manufactured Solutions). Una vegada el codi està suficientment verificat, s'expliquen tècniques per assegurar la qualitat de la solució numèrica (i.e. els resultats obtinguts no poden estar condicionats a la malla de discretització generada o els paràmetres numèrics utilitzats o al número de xifres significatives (precisió- utilitzades pe l'ordinador).
En una segona part es presenten solvers iteratius més eficients que els estàndard (Gauss-Seidel o el line-by-line). En particular, precondicionadors per mètodes de Krylov (CG, GMRES, BiCGSTAB) y mètodes de tipus multimalla-multinivell. En casos 3D amb direcció periòdica, es comenten mètodes de diagonalització de Fourier.

Objectius específics:
Presentació de tècniques de verificació de codis i de tècniques de verificació de les solucions numèriques generades.
Presentació de nous solvers més eficients pel tractament de grans sistemes d'equacions algebraiques resultants de la discretització d'equacions de transport tipus convecció-difusió.

Activitats vinculades:
Classe teòrica
Classe pràctica
Treball pràctic dirigit
Treball d'abast reduït
Treball d'abast ampli

Dedicació: 26h
Grup petit/Laboratori: 6h
Activitats dirigides: 4h
Aprenentatge autònom: 16h

Resolució de les equacions de Navier-Stokes

Descripció:
Es planteja la problemàtica de resolució d'aquestes equacions, tant des de un punt de vista físic com numèric. Es comenten diferents propietats que han de conservar les equacions discretitzades i com aquestes propietats són introduïdes en el tractament numèric. La metodologia que s'explica es basa en tècniques de tipus èxplicit i esquemes de discretització espectro-consistent. L'agoritme global és de tipus fractional-step method. Es proposen diferents casos benchmark (driven cavity, differentially cavity, backward-facing step, etc.). Aquest plantejament permet a l'estudiant abordar situacions de fluxos turbulents amb models tipus DNS (Direct Numerical Simulation) i LES (Large Eddy Simulation). Es comenten aspectes fenomenològics relatius a la turbulència (cascada d'energia, filtrat de les equacions, mapes inicials i condicions de contorn) i de tractament estadístic de dades.

Objectius específics:
Metodologia de resolució de les equacions de Navier-Stokes (sistema d'equacions en derivades parcials de tipus convecció-difusió, no lineals i fortament acoblades).
Presentació de diferents casos benchmark útils per la verificació dels codis desenvolupats pels estudiants.
Introducció a la turbulència i a les tècniques de resolució numèrica en base a models de tipus DNS and LES.

Activitats vinculades:
Classe teòrica
Classe pràctica
Treball d'abast reduït
Treball d'abast ampli

Dedicació: 25h 30m
Grup petit/Laboratori: 6h
Activitats dirigides: 3h 30m
Aprenentatge autònom: 16h

ACTIVITATS

Classes de teoria

Descripció:
Metodologia en grup gran. Exposició dels continguts de l'assignatura seguint un model de classe expositiva i participativa. La matèria s'ha organitzat en diferents grups de continguts d'acord a les àrees de coneixement de l'assignatura.

Objectius específics:
En finalitzar aquesta activitat, l'alumne ha de ser capaç de dominar els coneixements adquirits, consolidar-los i aplicar-los correctament a diferents problemes tècnics. A més a més, essent una assignatura tecnocientífica, les classes de teoria han de servir de base pel desenvolupament d'altres assignatures més técniques de l'àmbit tèrmic relacionades, com Refrigeració, Motors Tèrmics o Energia Solar.

Material:
Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

Lliurament:
Aquesta activitat s'avalua conjuntament amb l'activitat 2 (problemes) mitjançant el treball de curs i les proves de coneixement.

Dedicació: 20h
Grup petit/Laboratori: 15h
Aprenentatge autònom: 5h

Classes pràctiques

Descripció:
Metodologia de grup gran i grup mitjà, sempre que la disponibilitat de professorat ho permeti. De cadascun dels temes, es realitzaran uns problemes a classe per tal de què els alumnes adquiereixin les pautes necessàries per a portar a terme aquesta resolució: hipòtesis simplificatòries, plantejament, resolució numèrica, discussió dels resultats.

Objectius específics:
En finalitzar aquesta activitat, l'alumne ha de ser capaç d'aplicar els coneixements teòrics a la resolució de diferents tipus de problemes. Atenent a la metodologia l'alumne ha de ser capaç de:
1.- Entendre l'enunciat i analitzar el problema.
2.- Plantejar i desenvolupar un esquema de resolució del mateix.
3.- Resoldre el problema emprant les equacions platejades, amb un adequat algoritme de resolució.
4.- Interpretar críticament els resultats.

Material:
Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

Lliurament:
Aquesta activitat s'avalua conjuntament amb l'activitat 1 (teoria) mitjançant el treball de curs i les proves de coneixement.

Dedicació: 20h
Grup petit/Laboratori: 15h
Aprenentatge autònom: 5h

Treball teòric-pràctic dirigit

Descripció:
Els estudiants hauràn de fer treballs teòrics-pràctics dirigits. Els treballs consistiran en resoldre petits problemes, dels quals les dades de partida podràn ser tant els resultats d'un experiment de laboratori com dades plantejades pel professor. L'estructura a seguir serà:
Preparació de la pràctica mitjançant un manual de pràctiques.
Grups de 2 ó 3 persones amb una durada màxima de 2 hores.
Discussió dels resultats obtinguts i dels problemes que han sorgit durant la realització de la pràctica.
Realització d'un informe relatiu a la pràctica realitzada amb resultats, qüestions i conclusions. Aquest informe s'avaluarà juntament amb la realització de la pràctica.

Objectius específics:
Consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.

Material:
Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

Lliurament:
Es faran informes seguint unes pautes donades a classe.

Dedicació: 17h
Activitats dirigides: 12h
Aprenentatge autònom: 5h

Treball d'abast reduït

Descripció:
Resolució de fins dos problemes basats en situacions plantejades pel professor.

Objectius específics:
Consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.

Material:
Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

Lliurament:
Es farà un informe seguint unes pautes donades a classe.

Dedicació: 25h
Aprenentatge autònom: 25h

Treball d'abast ampli

Descripció:
Resolució d'un problema basats en situacions plantejades pel professor o pel alumne.

Objectius específics:
Ampliar i consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.

Material:
Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

Lliurament:
Es farà un informe seguint unes pautes donades a classe.

Dedicació: 40h
Aprenentatge autònom: 40h

Proves de coneixement

Descripció:
Desenvolupament de proves de coneixement de l'assignatura dels continguts 1 i 2. Inclou aspectes teòrics i desenvolupament de problemes.

Objectius específics:
Mostrar el nivell de coneixements assolit en les activitats teòriques i de problemes.

Material:
Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

Lliurament:
Els exàmens es desenvoluparan lliurement i s'entregaran juntament amb l'enunciat degudament emplenat amb les dades personals requerides.

Dedicació: 3h
Activitats dirigides: 3h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Exàmen de primer parcial: 20%
Exàmen final: 35%
Treballs de laboratori (individuals o en grups) realitzats durant la impartició de l'assignatura: 45%

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

L'estudiant haurà de seguir les instruccions explicades a classe i contingudes a l'arxiu amb les activitats a desenvolupar en la pràctica. Com a resultat d'aquestes activitats, l'estudiant haurà d'entregar un report (preferiblement en format pdf) al professor, seguint les seves instruccions i amb la data límit que per a cada activitat s'hi fixi. L'avaluació del treball comportarà tant la seva realització, com també la seva defensa.
Pràctiques:
Els exercicis de pràctiques poden iniciar-se durant l'horari de classes previst per aquest tipus d'activitat i es completaran (si s'escau) com una activitat autònoma, seguint les instruccions donades a classe. Els resultats dels exercicis de pràctiques s'entregaran al professor seguint les instruccions donades a classe. L'avaluació de la pràctica pot comportar tant la seva realització, com també la seva defensa.
Exàmens:
Es farà un examen final de l'assignatura. L'alumne haurà de completar tant preguntes teòriques com problemes relacionats amb els continguts teòric i pràctic de l'assignatura.
Les revisions i/o reclamacions amb referència als exàmens es realitzen d'acord a les dates i horaris establerts al calendari acadèmic.

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:
- 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 línia]. 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 línia]. 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.

Complementària:
- 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 línia]. 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=1828885. 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 línia]. 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. Transparències, problemes proposats que es faran servir a classe

Material informàtic:
- Notes. Apunts realitzats pel professorat de l'assignatura.