

Nom assignatura:	Mètodes Numèrics en Transferència de Calor i Massa
Codi:	820757
Crèdits ECTS:	5
Idioma d'impartació:	Català-Castellà-Anglès
Unitat responsable:	
Departament:	Màquines i Motors Tèrmics
Curs d'inici:	2013/2014
Titulacions:	Màster universitari en Enginyeria de l'Energia
Responsable de l'assignatura:	Oriol Lehmkuhl Barba

Requisits

Capacitats prèvies: Coneixements de dinàmica de fluids i transferència de calor i massa, així com algun llenguatge de programació, adquirits a les respectives assignatures.

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

Professorat

Professor Responsable: Oriol Lehmkuhl Barba.

Professorat: Carlos David Pérez Segarra, Assensi Oliva Llena.

Horari d'atenció: dimarts 15-17h, dimecres 16-18h, dijous 17-19h

Metodologia

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).

Activitats formatives:

Durant el desenvolupament de l'assignatura es faran servir les següents activitats formatives:

- Presencials
 - Classes magistrals i conferències (CM): conèixer, comprendre i sintetitzar els coneixements exposats pel professorat mitjançant classes magistrals o bé per conferenciants (presencial).
 - Classes participatives (CP): participar en la resolució col·lectiva d'exercicis, així com en debats i dinàmiques de grup, amb el professor o professora i altres estudiants a l'aula (presencial).
 - Treball teòric pràctic dirigit (TD): realitzar a l'aula una activitat o exercici de caràcter teòric o pràctic, individualment o en grups reduïts, amb l'assessorament del professor o professora (presencial).
- No Presencials
 - Projecte, activitat o treball d'abast reduït (PR): dur a terme, individualment o en grup, un treball de reduïda complexitat o extensió, aplicant coneixements i presentant resultats (no presencial).
 - Projecte o treball d'abast ampli (PA): dissenyar, planificar i dur a terme individualment o en grup 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 (no presencial).
 - Estudi autònom (EA): estudiar o ampliar els continguts de la matèria de forma individual o en grup, comprenent, assimilant, analitzant i sintetitzant coneixements (no presencial).

Dedicació prevista de l'estudiant

	hores
Classes teòriques i conferències (CTC)	15
Classes pràctiques (CP)	15
Pràctiques de laboratori o taller (L/T)	3
Presentacions (PS)	
Total (Grup Gran/Mitjà/Petit)	33
Tutories de treballs teòric pràctics (TD)	12
Total AD (Activitats Dirigides)	12
Projecte, activitat o treball d'abast reduït (PR)	20
Projecte o treball d'abast ampli (PA)	30
Estudi autònom (EA)	30
Total AA (Aprentatge Autònom)	80
TOTAL	125

Sistema de qualificació

	%
Prova escrita de control de coneixements (PE).	30
Prova oral de control de coneixements (PO).	0
Treball realitzat en forma individual o en grup al llarg del curs (TR).	60
Assistència i participació en classes i laboratoris (AP).	5
Qualitat i rendiment del treball en grup (TG).	5

Normes de realització de les activitats

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 (se 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.

Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

Objectius

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.

Competències

BÀSIQUES I GENERALS

CG1 Integrar i aplicar els coneixements matemàtics, analítics, científics, instrumentals, tecnològics i de gestió adquirits en la formació universitària, així com la seva capacitat de resolució de problemes, dins l'àmbit de l'enginyeria de l'energia.

CG2: Dimensionar, analitzar, dissenyar i projectar equips, instal·lacions, infraestructures i processos de transformació i transport de l'energia en qualsevol de les fases o etapes de la cadena energètica, des de les fonts fins a l'ús final de l'energia i intervenir en processos de planificació, redacció, direcció i gestió de projectes en l'àmbit de l'enginyeria de l'energia.

CG3 Intervenir en processos de recerca, desenvolupament i innovació en l'àmbit de les tecnologies energètiques i de l'ús de l'energia en els sectors productius i de serveis, aportant nous coneixements, avenços tecnològics i solucions innovadores en equips de treball multidisciplinaris, nacionals o internacionals.

CG6 Dur a terme dictàmens i assessorament tècnic en l'àmbit de l'enginyeria de l'energia.

ESPECÍFIQUES

CE5: Aplicar criteris tècnics i econòmics a 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 més noves en l'àmbit de la producció, transport, distribució, emmagatzematge i ús de l'energia tèrmica.

Continguts

Contingut 1. Introducció als mètodes numèrics en dinàmica de fluids i transmissió de calor i massa	Dedicació:	23.5h
	Classes teòriques i conferències	3h
	Classes pràctiques	3h
	Activitats dirigides	1.5h
	Aprenentatge autònom	16h
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		

Contingut 2. Resolució de l'equació de la transferència de calor per conducció de calor en dominis irregulars. Anàlisi permanent i transitori.	Dedicació:	23.5h
	Classes teòriques i conferències	3h
	Classes pràctiques	3h
	Activitats dirigides	1.5h
	Aprenentatge autònom	16h
Descripció: Extensió de la metodologia explicada en els cursos bàsics de transferència de calor i massa i basada 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 sobre-relaxació).		
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 algebraïques resultants de les discretitzacions.		
Activitats vinculades: - Classe teòrica - Classe pràctica - Treball d'abast reduït - Treball d'abast ampli		

Contingut 3. Resolució d'equacions de tipus convecció-difusió.	Dedicació:	25.5h
	Classes teòriques i conferències	3h
	Classes pràctiques	3h
	Activitats dirigides	3.5h
	Aprenentatge autònom	16h
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		

Contingut 4. Tècniques de verificació de codis i de les solucions numèriques i revisió dels solvers més adients.	Dedicació:	26h
	Classes teòriques i conferències	3h
	Classes pràctiques	3h
	Activitats dirigides	4h
	Aprenentatge autònom	16h
Descripció: Aquest tema aborda dos aspectes fonamentals en la metodologia de resolució numèrica. 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 algebraïques. Referent al primer punt, es presenten diferents 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 pel l'ordinador). En una segona part es presenten solvers iteratius més eficients que els estàndard (Gauss-Seidel o el line-by-line). En particular, preconditionadors 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 algebraïques 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		

Contingut 5. Resolució de les equacions de Navier-Stokes	Dedicació:	23.5h
	Classes teòriques i conferències	3h
	Classes pràctiques	3h
	Activitats dirigides	1.5h
	Aprenentatge autònom	16h
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 explícit i esquemes de discretització espectro-consistent. L'algoritme 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		

Planificació d'activitats

Classes de teoria	Dedicació:	20h
	Classes teòriques i conferències	15h
	Classes pràctiques	
	Activitats dirigides	
	Aprenentatge autònom	5h
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.		
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.		
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 tècniques de l'àmbit tèrmic relacionades, com Refrigeració, Motors Tèrmics o Energia Solar.		

Classes pràctiques	Dedicació:	20h
	Classes teòriques i conferències	
	Classes pràctiques	15h
	Activitats dirigides	
	Aprenentatge autònom	5h
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 adquireixin les pautes necessàries per a portar a terme aquesta resolució: hipòtesis simplificatòries, plantejament, resolució numèrica, discussió dels 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.		
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 plantejades, amb un adequat algoritme de resolució. 4.- Interpretar críticament els resultats.		

Treball teòric-pràctic dirigit	Dedicació:	17h
	Classes teòriques i conferències	
	Classes pràctiques	
	Activitats dirigides	12h
	Aprenentatge autònom	5h
Descripció: Els estudiants hauràn de fer treballs teòrics-pràctics dirigits. Els treballs consistiran en resoldre petits problemes, dels quals les dades de partida podran 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.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).		
Lliurament: Es faran informes seguint unes pautes donades a classe.		
Objectius específics: Consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.		

Treball d'abast reduït	Dedicació:	25h
	Classes teòriques i conferències	
	Classes pràctiques	
	Activitats dirigides	
	Aprenentatge autònom	25h
Descripció: Resolució de fins dos problemes basats en situacions plantejades pel professor.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).		
Lliurament: Es farà un informe seguint unes pautes donades a classe.		
Objectius específics: Consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.		

Treball d'abast ampli	Dedicació:	40h
	Classes teòriques i conferències	
	Classes pràctiques	
	Activitats dirigides	
	Aprenentatge autònom	40h
Descripció: Resolució d'un problema basats en situacions plantejades pel professor o pel alumne.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).		
Lliurament: Es farà un informe seguint unes pautes donades a classe.		
Objectius específics: Ampliar i consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.		

Proves de coneixement	Dedicació:	3h
	Classes teòriques i conferències	
	Classes pràctiques	
	Activitats dirigides	3h
	Aprenentatge autònom	
Descripció: Desenvolupament de proves de coneixement de l'assignatura dels continguts 1 i 2. Inclou aspectes teòrics i desenvolupament 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.		
Objectius específics: Mostrar el nivell de coneixements assolit en les activitats teòriques i de problemes.		

Bibliografia

Bàsica:

- Incropera, F. P.; DeWitt, D. P. *Fundamentos de transferencia de calor*. 4ª ed. México: Prentice Hall, 1999
- Eckert, E. R. G.; Drake, R. M. *Heat and mass transfer*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1959.
- Patankar, S. V. *Numerical heat transfer and fluid flow*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- J.H.Ferziger, M.Peric, *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2001 (3r ed.).
- H.K.Versteeg and W.Malalasekera, *An introduction to Computational Fluid Dynamics*, Pearson Prentice Hall, 1995
- John D. Anderson, Jr, *Computational Fluid Dynamics*, McGraw-Hill, Inc, 1995.
- Patrick J. Roache, *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*, Hermosa Publishers, 1998.
- Cebeci, T. [et al.]. *Computational fluid dynamics for engineers: from panel to Navier-Stokes methods with computer programs*. New York: Springer, 2005.

Complementària:

- S. Pope, *Turbulent Flows*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- P.Bradshaw, *An Introduction to turbulence and its measurement*, 1971.
- P.A.Libby, *Introduction to turbulence*, Taylor & Francis, Washington, 1996.
- D.C.Wilcox, *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries, La Cañada, CA, 1998 (2nd edition).
- P.J.Roache, *Verification and validation in computational science and engineering*, Albuquerque: Hermosa, 1998.
- W.Shyy, H.S.Udaykumar, M.M.Rao, R.W.Smith, *Computational fluid dynamics with moving boundaries*, Taylor & Francis, 1996.

Altres recursos:

- Apunts realitzats pel professorat de l'assignatura.
- Material audiovisual: transparències, problemes proposats que es faran servir a classe.