

Nom assignatura:	Turbulència: fenomenologia, simulació, aerodinàmica
Codi:	820762
Crèdits ECTS:	5
Idioma d'impartació:	Català-Castellà-Anglès
Unitat responsable:	(A omplir pel centre)
Departament:	Màquines i Motors Tèrmics
Curs d'inici:	2013/2014
Titulacions:	Màster universitari en Enginyeria de l'Energia
Responsable de l'assignatura:	Carlos-David Pérez Segarra

Requisits

Capacitats prèvies: Aspectes fonamentals de termodinàmica, mecànica de fluids i transferència de calor.

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

Professorat

Professor Responsable: Carlos-David Pérez Segarra

Professorat: Carlos-David Pérez Segarra, Oriol Lehmkuhl, Ivette Rodríguez

Horari d'atenció: Dimarts: 16h-18h Dimecres: 17h-19h Dijous: 16h-18h

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.
- 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 conferenciant (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).
 - Presentacions (PS): presentar a l'aula una activitat realitzada de manera individual o en grups reduïts (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)	20
Classes pràctiques (CP)	16
Pràctiques de laboratori o taller (L/T)	0
Presentacions (PS)	0
Total (Grup Gran/Mitjà/Petit)	36
Tutories de treballs teòric pràctics (TD)	5
Total AD (Activitats Dirigides)	5
Projecte, activitat o treball d'abast reduït (PR)	24
Projecte o treball d'abast ampli (PA)	36
Estudi autònom (EA)	24
Total AA (Aprenentatge Autònom)	84
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).	10
Qualitat i rendiment del treball en grup (TG)	0

Normes de realització de les activitats

A continuació es detallen les normes del sistema d'avaluació de les activitats formatives de l'assignatura.

✎ Prova escrita de control de coneixements (PE).

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 en referència als exàmens es realitzaran d'acord a les dates i horaris establerts al calendari acadèmic.

✎ Treball realitzat en forma individual o en grup al llarg del curs (TR).

L'estudiant haurà de seguir les instruccions explicades a classe i contingudes a l'arxiu corresponent al treball que es proposarà a l'alumne en relació al diferents continguts docents de l'assignatura. Com a resultat d'aquestes activitats, l'estudiant haurà d'entregar un report (preferiblement en format pdf) al professor, amb la data límit que es fixi per a cada activitat. L'avaluació del treball comportarà tant la seva realització, com la seva possible defensa.

✎ Assistència i participació en classes i laboratoris (AP).

Les pràctiques de laboratori es valoraran tant durant la seva realització com en l'execució dels exercicis de pràctiques que es proposaran; que poden iniciar-se durant l'horari de classes previst per aquest tipus d'activitat i que 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 comportarà tant la seva realització, com la seva possible defensa.

✎ Qualitat i rendiment del treball en grup (TG).

Els informes de les pràctiques i/o els treballs en grup es valoraran a nivell individual sobre la defensa oral si s'escau i en conjunt sobre l'informe únic.

Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

Objectius

- Conèixer i entendre la fenomenologia dels fluxes turbulents.

- Conèixer i interpretar correctament les eines de tractament estadístic per a fluxes turbulents.
- Conèixer els aspectes bàsics sobre modelització de la turbulència.
- Realització de diferents pràctiques numèriques per a tal d'entendre millor els diferents aspectes teòrics de l'assignatura.

Resultats de l'aprenentatge

Al finalitzar l'assignatura, el/la estudiant:

- ✧ Tindrà coneixements bàsics de turbulència y del seu espectre d'energia.
- ✧ Tractament estadístic de fluxes turbulents.
- ✧ Modelització i resolució de fluxes turbulents.
- ✧ Aplicació dels coneixements bàsics de mètodes numèrics i turbulència a la millora de l'eficiència energètica per mitja de dissenys aerodinàmics eficients.

Competències

BÀSIQUES I GENERALS

CG1: Integrar y aplicar los conocimientos matemáticos, analíticos, científicos, instrumentales, tecnológicos y de gestión adquiridos en la formación universitaria, así como su capacidad de resolución de problemas, dentro del ámbito de la ingeniería de la energía.

CG2: Dimensionar, analizar, diseñar y proyectar equipos, instalaciones, infraestructuras y procesos de transformación y transporte de la energía en cualquiera de las fases o etapas de la cadena energética, desde las fuentes hasta el uso final de la energía e intervenir en procesos de planificación, redacción, dirección y gestión de proyectos en el ámbito de la ingeniería de la energía.

CG3: Intervenir en procesos de investigación, desarrollo e innovación en el ámbito de las tecnologías energéticas y del uso de la energía en los sectores productivos y de servicios, aportando nuevos conocimientos, avances tecnológicos y soluciones innovadoras en equipos de trabajo multidisciplinares, nacionales o internacionales.

CG6: Llevar a cabo dictámenes y asesoramiento técnico en el ámbito de la ingeniería de la energía.

ESPECÍFIQUES

CE5: 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.

Continguts

1. Introducció-repàs de les equacions governants: equacions de Navier-Stokes i conservació de l'energia. Conceptes bàsics. Teoria de la capa límit.	Dedicació:	12h
	Classes teòriques i conferències	6h
	Classes pràctiques	0h
	Activitats dirigides	0h
	Aprenentatge autònom	6h
Descripció: Repàs general de les equacions de Navier-Stokes. Principis bàsics, simetries i invariants. Breu introducció a la teoria de la capa límit.		
Objectius específics: • Conèixer els principis bàsics de les equacions de Navier-Stokes i el significat físic de cadascun dels seus termes. • Aprendre la relació entre les simetries dels operadors i els invariants. • Conèixer els conceptes bàsics sobre teoria de la capa límit necessaris per poder dur a terme simulacions numèriques.		
Activitats vinculades: - Classe teòrica		

2. Introducció a la turbulència. Espectre d'energia. Equacions de Navier-Stokes promitjades. Fluxe promig i termes del tensor de Reynolds. Tractament estadístic: autocorrelacions, PDF,...	Dedicació:	32h
	Classes teòriques i conferències	4h
	Classes pràctiques	4h
	Activitats dirigides	1h
	Aprenentatge autònom	23h
Descripció: A partir de les equacions de Navier-Stokes introduir la fenomenologia de la turbulència i el seu tractament estadístic. Introducció del concepte de d'espectre d'energia a partir d'un senzill exercici pràctic.		
Objectius específics: • Repàs de conceptes estadístics bàsics. Introducció del tractament estadístic de les equacions de Navier-Stokes. • Introducció del concepte d'espectre d'energia i el seu lligam amb la realitat més quotidiana. • Introducció a la turbulència i la seva complexitat matemàtica.		
Activitats vinculades: - Classe teòrica		

- Classe pràctica
- Treball d'abast reduït

3. Mètodes numèrics per a la resolució de les equacions governants. Discretització conservativa. Integració temporal de les equacions. Solvers.	Dedicació:	26h
	Classes teòriques i conferències	4h
	Classes pràctiques	4h
	Activitats dirigides	1h
	Aprenentatge autònom	17h
Descripció: Introducció als mètodes numèrics per a la resolució de fluxes turbulents. Anàlisi de les propietats conservatives de les equacions discretes i deducció que quines propietats han de complir els esquemes numèrics per ser-ne consistents.		
Objectius específics: • Esser capaç de representar de manera algebraica un sistema d'equacions discretitzat. • Entendre el lligam entre les simetries dels operadors discrets i els continus. • Esser capaç de deduir les propietats dels operadors discrets a fi que mantinguin els mateixos invariants que els continus. • Implementar-ho en un codi propi i verificar-ne les propietats conservatives.		
Activitats vinculades: • Classe teòrica - Classe pràctica - Treball d'abast ampli		

4. Resolució directa de la turbulència (DNS). Diferents formes de modelització de la turbulència: LES i models de regularització	Dedicació:	29h
	Classes teòriques i conferències	3h
	Classes pràctiques	4h
	Activitats dirigides	0h
	Aprenentatge autònom	22h
Descripció: Introducció a la simulació directa de la turbulència. Entendre'm els seus potencials i les seves limitacions. Introducció a les tècniques de modelització de la turbulència de tipus Large-Eddy Simulation (LES) i els models de regularització del terme convectiu.		
Objectius específics: • Conèixer què implica fer simulacions directes de la turbulència. Quina n'és la seva utilitat i quines són les seves limitacions. • Conèixer els principis bàsics que hi han darrera de les tècniques de modelització de la turbulència tipus Large-Eddy Simulation (LES). Breu explicació dels models més emprats en l'actualitat. • Conèixer els principis bàsics que hi han darrera de les tècniques de modelització de la turbulència basades en la regularització del terme convectiu.		



Activitats vinculades:

- Classe teòrica
- Classe pràctica
- Treball d'abast reduït
- Treball d'abast ampli

5. Aplicació de les tècniques de simulació a l'estudi de fluxes al voltant d'obstacles: fluxe al voltant d'un cilindre, fluxe al voltant d'un perfil aerodinàmic, fluxe al voltant d'un cotxe simplificat, ...

Dedicació:

23h

Classes teòriques i conferències

3h

Classes pràctiques

4h

Activitats dirigides

0h

Aprenentatge autònom

16h

Descripció:

Aplicació dels coneixements adquirits a algú cas pràctic. S'explicarà

Objectius específics:

- Conèixer les diferents tecnologies utilitzades depenent del rang de temperatures de treball.
- Conèixer els diferents aspectes medio-ambientals i les normatives vigents relacionades amb les instal·lacions solars tèrmiques tan de baixa com d'alta temperatura.
- Conèixer les diferents metodologies i programes per al càlcul de instal·lacions solars tèrmiques
- Esser capaç de realitzar el càlcul i dimensionat de diferents tipus de instal·lacions solars tèrmiques com ara: instal·lacions per a l'escalfament d'aigua sanitària, instal·lacions de refrigeració per absorció, plantes termo-solars

Activitats vinculades:

- Classe teòrica
- Classe pràctica
- Treball d'abast ampli

Planificació d'activitats

1. Classes de teoria	Dedicació:	32h
	Classes teòriques i conferències	20h
	Classes pràctiques	0h
	Activitats dirigides	0h
	Aprenentatge autònom	12h
Descripció: Metodologia en grup gran. Exposició dels continguts de l'assignatura seguint un model de classe expositiva i participativa. La matèria de l'assignatura s'ha organitzat en 5 àrees temàtiques o temes.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.		
Lliurament: Aquesta activitat s'avalua conjuntament mitjançant la resta dels treballs del 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. Els coneixements adquirits s'aplicaran a la resta d'activitats/problemes dirigits.		

2. Resolució numèrica de l'equació de Burgers en l'espai de Fourier	Dedicació:	26h
	Classes teòriques i conferències	0h
	Classes pràctiques	4h
	Activitats dirigides	1h
	Aprenentatge autònom	21h
Descripció: Treball d'abast ampli on l'estudiant posarà en pràctica els coneixements adquirits. El problema consisteix en resoldre numèricament l'equació de Burgers en l'espai de Fourier.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.		
Lliurament: Report amb els resultats i el seu anàlisi.		
Objectius específics: - Ésser capaç de resoldre numèricament el problema plantejat. - Consolidar els coneixements teòrics adquirits mitjançant el problema pràctic plantejat: espectre d'energia, anàlisi estadística del resultat, propietats conservatives de les equacions...		

- Entendre la dependència física i numèrica dels diferents paràmetres presents en el problema plantejat.

3. Implementació d'un codi estructurat bidimensional per a la resolució de les equacions de Navier-Stokes incompressibles	Dedicació:	20h
	Classes teòriques i conferències	0h
	Classes pràctiques	4h
	Activitats dirigides	1h
	Aprenentatge autònom	15h
Descripció: Treball d'abast ampli on l'estudiant posarà en pràctica els coneixements adquirits. El problema consisteix en implementar un codi propi per poder resoldre les equacions de Navier-Stokes per a fluxes incompressibles. Estarà limitat a malles estructurades cartesianes i fluxes bidimensionals. Es plantejaran almenys un parell de problemes a resoldre: un per convecció forçada i un altre per convecció natural.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.		
Lliurament: Report amb els resultats i el seu anàlisi. Lliurament del codi font.		
Objectius específics: • Ésser capaç d'implementar un codi propi per a la resolució de les equacions de Navier-Stokes incompressibles. • Entendre el rol que juguem els diferents tipus de discretitzacions espaials. En particular, es demanarà que es verifiquin diferents propietats conservatives: massa, momentum, energia cinètica,... • Implementar almenys un solver linial per a la resolució de l'equació de Poisson per a la pressió. • Verificar amb les eines donades durant el curs les diferents parts del codi. • Consolidar els coneixements teòrics adquirits mitjançant el problema pràctic plantejat: simetries dels operadors discrets, solvers linials, discretitzacions temporals, ... • Entendre la dependència física i numèrica dels diferents paràmetres presents en els problemes plantejats.		

4. Simulació directa de la turbulència (DNS) en el codi propi.	Dedicació:	14h
	Classes teòriques i conferències	0h
	Classes pràctiques	2h
	Activitats dirigides	0h
	Aprenentatge autònom	12h

Descripció: Treball d'abast ampli on l'estudiant posarà en pràctica els coneixements adquirits. El problema consisteix en realitzar una simulació directa d'un cas turbulent (DNS), fer-ne el corresponent anàlisi estadístic i comparar-ho amb les solucions de referència aportades. Aquesta es farà sobre la base del codi que el/la alumne haurà implementat prèviament.
Material: Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.
Lliurament: Report amb els resultats i el seu anàlisi.
Objectius específics: • Sobre la base del codi de simulació numèrica de les equacions de Navier-Stokes per a fluxes bidimensionals ser capaç de realitzar una simulació DNS d'un cas turbulent. • Millorar l'eficiència del codi; probablement millorar l'eficiència del solver linial per a l'equació de Poisson per a la pressió. • Ésser capaç d'implementar les eines d'anàlisi estadístic necessàries per extreure els resultats demanats. • Consolidar els coneixements teòrics adquirits mitjançant el problema pràctic plantejat: anàlisi estadística del resultats, teoria de la capa límit, càlcul del elements del tensor de Reynolds,... • Entendre la dependència física i numèrica dels diferents paràmetres presents en el problema plantejat.

5. Resolució numèrica d'un cas de modelització LES per a l'equació de Burgers en l'espai de Fourier	Dedicació:	12h
	Classes teòriques i conferències	0h
	Classes pràctiques	2h
	Activitats dirigides	0h
	Aprenentatge autònom	10h
Descripció: Treball d'abast ampli on l'estudiant posarà en pràctica els coneixements adquirits. El problema consisteix en resoldre numèricament l'equació de Burgers en l'espai de Fourier mitjançant un model de turbulència tipus Large-Eddy Simulation (LES). Aquesta simulació es farà sobre la base del codi implementat anteriorment.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.		
Lliurament: Report amb els resultats i el seu anàlisi.		
Objectius específics:		

- Ésser capaç de resoldre numèricament el problema plantejat.
- Consolidar els coneixements teòrics adquirits mitjançant el problema pràctic plantejat: espectre d'energia, anàlisi estadística del resultats, propietats conservatives de les equacions, modelització de la turbulència, concepte de Large-Eddy Simulation (LES),...
- Entendre la dependència física i numèrica dels diferents paràmetres presents en el problema plantejat. En especial, les constants presents en el model de turbulència LES.

6. Resolució de les equacions de Navier-Stokes per al fluxe al voltant d'un obstacle	Dedicació:	18h
	Classes teòriques i conferències	0h
	Classes pràctiques	4h
	Activitats dirigides	0h
	Aprenentatge autònom	14h
Descripció: Treball d'abast ampli on l'estudiant posarà en pràctica els coneixements adquirits. El problema consisteix en resoldre el fluxe al voltant d'un obstacle. Aquest treball es farà sobre la base del codi implementat prèviament.		
Material: Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.		
Lliurament: Report amb els resultats i el seu anàlisi. Lliurament del codi font final.		
Objectius específics: • Ésser capaç de resoldre numèricament el problema plantejat. • Sobre la base del codi propi desenvolupat i verificat anteriorment, implementar les eines de càlcul necessàries pel problema concret: càlcul dels coeficients d'arrossegament i sustentació, anàlisi freqüencial de les senyals per a diferents punts del domini físic,... • Consolidar els coneixements teòrics adquirits mitjançant el problema pràctic plantejat. • Entendre la dependència física i numèrica dels diferents paràmetres presents en els problemes plantejats. En concret les transicions de estacionari cap a no-estacionari i la transició cap a la turbulència.		

7. Prova de coneixement	Dedicació:	3h
	Classes teòriques i conferències	0h
	Classes pràctiques	0h
	Activitats dirigides	3h
	Aprenentatge autònom	0h
Descripció: Desenvolupament de proves de coneixement de l'assignatura dels continguts. Inclou aspectes teòrics i desenvolupament de problemes.		

Material:

Bibliografia recomanada. Apunts i transparències. Articles de revistes relacionades amb la temàtica.

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:

- ⤴ Stephen B. Pope, "Turbulent Flows", Cambridge University Press, 2000.
- ⤴ L.C.Berselli, T.Iliescu, W.Layton, "Mathematics of Large Eddy Simulation of Turbulent Flows", Springer, 2006.
- ⤴ Suhas V.Patankar, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing Corporation, McGraw-Hill Book Company, 1980.
- ⤴ P.Sagaut, "Large Eddy Simulation for Incompressible Flows: An Introduction", Springer, 2005.

Complementària:

- ⤴ Yousef Saad, "Iterative Methods for Sparse Linear Systems", SIAM, Boston, 2003.
- ⤴ C.Foias, O.Manley, R.Rosa, R.Temam, "Navier-Stokes Equations and Turbulence", Cambridge University Press, 2001.
- ⤴ Uriel Frisch, "Turbulence. The Legacy of A.N.Kolmogorov", Cambridge University Press, 1995.
- ⤴ John D. Anderson, Jr. "Computational Fluid Dynamics", McGraw-Hill, Inc, 1995.

Altres recursos:

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