

## 220341 - Aerodinàmica Interna i Aeroelasticitat de Turbomàquines

|                       |   |                   |                          |
|-----------------------|---|-------------------|--------------------------|
| Unitat responsable:   | 205 - ESEIAAT - Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa  |                   |                          |
| Unitat que imparteix: | 220 - ETSEIAT - Escola Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa  |                   |                          |
| Curs:                 | 2017  |                   |                          |
| Titulació:            | MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA AERONÀUTICA (Pla 2014). (Unitat docent Optativa)<br>MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA ESPACIAL I AERONÀUTICA (Pla 2016). (Unitat docent Optativa) |                   |                          |
| Crèdits ECTS:         | 5   | Idiomes docència: | Català, Castellà, Anglès |

### Professorat

Responsable: Oriol Lehmkuhl Barba

Altres: Jordi Ventosa Molina

### Horari d'atenció

Horari: Dimarts 15-17h, dimecres 16-18h, dijous 15-17h

### Capacitats prèvies

Coneixements de resistència de materials, 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

### 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

El curs té com a objectiu descriure les lleis fonamentals que regeixen els fluxos dins de turbomaquinaria, juntament amb

## 220341 - Aerodinàmica Interna i Aeroelasticitat de Turbomàquines

les tècniques bàsiques i avançades per al seu estudi. En el curs es descriuen diversos físiques importants relacionades amb turbomaquinaria rotativa: turbulència, fluxos compressibles, anàlisi de la capa límit, fluxos rotatius, etc. Efectes transitoris com ara entrades en perdudes dinàmica, reversió de flux, fimbament, etc. seran també tractades en detall. La interacció entre el fluid i l'estructura, efectes aeroelàstics, són estudiats i descrits en detall.

Un anàlisi a dos nivells dels fenòmens d'interès serà presentat en el curs. En primer lloc es realitza un anàlisi de les equacions generals sota supòsits restrictius per evidenciar el comportament general del flux, el qual servirà per a realitzar estimacions i anàlisis inicials. El segon nivell d'anàlisi utilitza mètodes de modelització avançats tals com Computational Fluid Dynamics (CFD) i tècniques Computational Structural Dynamics (CSD).

El nivell d'anàlisi reduït serveix a l'estudiant per comprendre els efectes físics subjacents en el cas estudiat. Amb aquests antecedents, es presenten tècniques avançades per aplicar aquest coneixement bàsic usant tècniques actuals de simulació CFD. A causa de l'esforç necessari per resoldre les equacions físiques, generalment es necessiten tècniques computacionals. Per tant, en el curs es realitza una extensa descripció de mètodes CFD i tècniques de CSD. Específicament, diversos mètodes específics per a elements giratoris es presenten, com ara mètodes per malles lliscants o malles dinàmiques. De la mateixa manera, es descriuen tècniques específiques per a l'anàlisi estructural de turbomàquines.

A causa de l'enfocament en mètodes computacionals, s'espera que els estudiants utilitzin i desenvolupin codis computacionals. Sessions específiques durant el curs cobriran diferents aspectes dels mètodes computacionals en detall.

Objectius del procés d'aprenentatge:

- Comprendre els fenòmens físics que regeixen el flux dins les turbomàquines.
- Adquirir coneixements sobre la aeroelasticitat bàsica i modelatge transitori de turbomaquinaria.
- Adquisició d'una primera experiència pràctica en el disseny de perfils de turbomaquinaria, programant un codi propi de C ++ per al disseny preliminar aerodinàmic de turbomàquines.
- Familiaritzar-se amb els mètodes CFD avançats aplicats a turbomaquinaria per mitjà de codi obert i / o paquets CFD desenvolupats per l'alumne.
- Familiaritzar-se amb mètodes acoblats CFD i CSD aplicats a turbomaquinaria per mitjà de codi obert i / o paquets CFD desenvolupats per l'alumne.

### Hores totals de dedicació de l'estudiantat

|                       |                             |     |        |
|-----------------------|-----------------------------|-----|--------|
| Dedicació total: 125h | Hores grup gran:            | 30h | 24.00% |
|                       | Hores grup petit:           | 15h | 12.00% |
|                       | Hores aprenentatge autònom: | 80h | 64.00% |

## 220341 - Aerodinàmica Interna i Aeroelasticitat de Turbomàquines

### Continguts

|   |   |
|---|---|
| <p>Introduction to unsteady rotating blade physics and fluttering.</p>  | <p>Dedicació: 10h<br/>Grup gran: 4h<br/>Aprentatge autònom: 6h</p>                      |
| <p>Descripció:<br/>Review of the different key components of a turbomachinery will be carried out. Different types of turbomachinery will be covered and discussed. In addition, steady and unsteady physics at the airfoil, cascade and rotating blade level will be covered.</p> <p>Activitats vinculades:<br/>Individual meetings with the students in order to choose and define the practical work to be carried out.</p>  |   |
| <p>Internal aerodynamic methods for turbomachinery.</p>   | <p>Dedicació: 62h<br/>Grup gran: 14h<br/>Grup petit: 8h<br/>Aprentatge autònom: 40h</p> |
| <p>Descripció:<br/>Two dimensional and three-dimensional methods for the design of different types of turbomachines will be reviewed in detail. The design methods will cover axial-flow turbines, axial-flow compressors, fans and radial flow gas turbines. Methods to be covered:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduced models for blade design <ul style="list-style-type: none"> <li>- Work and energy conservation</li> <li>- Stage characterisation: degree of reaction, work coefficient, flow coefficient.</li> <li>- Stage flow pattern: velocity triangles</li> <li>- Stage losses</li> <li>- Bi- and tri-dimensional effects.</li> </ul> </li> <li>- Pseudo 2D CFD methods for the simulation of turbomachinery profiles: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Numerical methods for incompressible and compressible CFD</li> <li>- Turbulence modelling adaptation (RANS, RANS/LES and LES)</li> <li>- Boundary conditions</li> <li>- Best-user guides for meshing</li> <li>- Post-processing methodologies</li> </ul> </li> <li>- Stator-rotor interaction using dynamic meshes methods <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) formulation for incompressible and compressible NS equations</li> <li>- Reference frame methods vs dynamic mesh methods for the simulation of turbomachines rotors.</li> <li>- Sliding mesh methods for cascade and 3D stator-rotor simulations</li> </ul> </li> <li>- Multi-scale methods for the simulation of complex systems (Blade Element Method integration with 3D NS solvers)</li> </ul> <p>Activitats vinculades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A C++ design code for a specific turbomachinery application is expected to be developed by the student within this module.</li> <li>- 2D airfoil simulations in a periodic arrangement by means of RANS techniques will be carried out using existing CFD packages or student developed CFD tools.</li> <li>- Stator-rotor interaction by means of 2D RANS solvers and sliding mesh techniques. The activity will be done using existing CFD packages or student developed CFD tools.</li> </ul> |   |

## 220341 - Aerodinàmica Interna i Aeroelasticitat de Turbomàquines

|   |   |
|---|---|
| <p>Aeroelasticity methods for turbomachinery.</p>   | <p>Dedicació: 53h<br/>Grup gran: 12h<br/>Grup petit: 7h<br/>Aprentatge autònom: 34h</p> |
| <p>Descripció:<br/>A methodology for the coupled simulation of the fluid-structure turbomachinery problems with high-fidelity models will be given. First, basic CFD methodologies using the ALE formulation, including turbulence modelling will be covered. After, dynamic mesh methods will be reviewed and tested using open CFD packages or student developed CFD codes. Finally, CFD coupling algorithms and simplified CSD models will be covered. In detail, the following topics will be covered:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Space Conservation Law for moving boundaries CFD problems.</li> <li>- Moving mesh methods:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radial basis interpolation methods.</li> <li>- Spring analogy algorithms.</li> <li>- Approximate CSD solvers approach.</li> </ul> </li> <li>- Modal methods for the CSD modelling of turbine blades</li> <li>- Coupling algorithms for Fluid Structure methods:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Monotonic approaches.</li> <li>- Semi-implicit coupling.</li> <li>- Loosely coupled algorithms.</li> </ul> </li> </ul> <p>Activitats vinculades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The students will apply the different studied techniques, simulating a simplified aeroelasticity problem using an existing CFD package or an own developed CFD package.</li> <li>- The students will implement different moving mesh methods in order to assess on the validity of the proposed techniques.</li> </ul> |   |

### Sistema de qualificació

Prova escrita de control de coneixements:20%

Treballs realitzats en forma individual o en grup al llarg del curs en aerodinàmica interna:35%

Treballs realitzats en forma individual o en grup al llarg del curs en aeroelasticitat:35%

Avaluació continuada (Assistència i participació en classes i laboratoris, Qualitat i rendiment del treball en grup):10%

## 220341 - Aerodinàmica Interna i Aeroelasticitat de Turbomàquines

### 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 (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:

Saravanamuttoo, H.I.H. [et al.]. Gas turbine theory. 6th ed. Harlow, England; New York: Prentice Hall, 2009. ISBN 9780132224376.

Ferziger, J.H.; Peric, M. Computational methods for fluid dynamics. 3rd, rev. ed. Berlin: Springer, 2002. ISBN 3540420746.

Dowell, E.H. [et al.]. A modern course in aeroelasticity [en línia]. 4th rev. and enl. ed. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004 [Consulta: 17/11/2016]. Disponible a: <<http://link.springer.com/book/10.1007/1-4020-2106-2>>. ISBN 1402020392.

Kerrebrock, J.L. Aircraft engines and gas turbines. 2nd ed. Cambridge, Mass: MIT Press, 1992. ISBN 0262111624.

Complementària:

Pope, S.B. Turbulent flows. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521591252.

Dixon, S.L.; Hall, C.A. Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery. 6th ed. Amsterdam: Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2010. ISBN 9781856177931.

Bazilevs, Y.; Takizawa, K.; Tezduyar, T.E. Computational fluid-structure interaction: methods and applications. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2013. ISBN 9780470978771.

Mattingly, Jack D. Elements of gas turbine propulsion. New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005. ISBN 1563477785.