



Guia docent 220052 - PR - Propulsió

Última modificació: 19/04/2023

Unitat responsable: Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa
Unitat que imparteix: 220 - ETSEIAT - Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa.
Titulació: GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES AEROESPACIALS (Pla 2010). (Assignatura obligatòria).
Curs: 2023 **Crèdits ECTS:** 6.0 **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: JOSEP ORIOL LIZANDRA DALMASES

Altres:

CAPACITATS PRÈVIES

Física, Química, Termodinàmica, Mecànica, Mecànica de Fluids, Sistemes Propulsius, Transmissió de Calor.

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:

1. Coneixement adequat i aplicat a l'enginyeria de: mètodes de càlcul i de desenvolupament d'instal·lacions dels sistemes propulsius; la regulació i control d'instal·lacions dels sistemes propulsius; el maneig de les tècniques experimentals, equipament i instruments de mesura propis de la disciplina; els combustibles i lubricants empleats als motors d'aviació i automoció; la simulació numèrica dels processos físicomatemàtics més significatius, els sistemes de manteniment i certificació dels motors aeroespacials (Mòdul de tecnologia específica)
2. Coneixement aplicat de: aerodinàmica interna, teoria de la propulsió, actuacions d'avions i d'aerorreactors; enginyeria de sistemes de propulsió; mecànica i termodinàmica. (Mòdul de tecnologia específica)

Genèriques:

CG1-GRETA. Aplicar un ampli coneixement de la ciència i tecnologies aeroespacials

METODOLOGIES DOCENTS

Les metodologies docents bàsicament es divideixen en:

- Sessions presencials de continguts teòrics, impartits amb ajuda de presentacions i/o altres documents que prèviament són penjats a Atenea.
- Sessions presencials d'exercicis pràctics, com aplicació directa dels continguts teòrics. El professor proposa exercicis, i dona indicacions als alumnes perquè, de forma autònoma, procedeixin a la seva resolució. Poc abans d'acabar la classe, el professor planteja la solució amb els resultats finals, per tal que els alumnes els puguin comparar amb els seus.
- Treballs pràctics, en els que es planteja un projecte, que els alumnes han de desenvolupar fora de l'horari lectiu.

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

1. Explicar amb cert detall l'operació i limitacions de diversos tipus de coet i de motor a reacció.
2. Capacitar l'alumne per a l'execució de dissenys preliminars d'aquests motors.
3. Capacitar l'alumne per a un anàlisi crític de motors existents i de les seves prestacions.
4. Fomentar una apreciació del paper determinant dels condicionants externs (requisits de missió, consideracions econòmiques, regulacions mediambientals, etc) en las decisions de disseny.



HORES TOTS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	46,0	30.67
Hores grup mitjà	14,0	9.33
Hores aprenentatge autònom	90,0	60.00

Dedicació total: 150 h

CONTINGUTS

Mòdul 1: MOTORS A REACCIÓ

Descripció:

Tema 1. Anàlisi global d'un motor per a un avió comercial.

- 1.1. La missió i els seus requisits.
- 1.2. Equació de l'empenta no instal·lada d'un turboreactor de flux simple. Extrapolació a un turboreactor de doble flux (turbofan).
- 1.3. Cicles per a motors a reacció. Eficiències de components i propietats del gas. Definicions de rendiment propulsor, rendiment tèrmic i rendiment global.
- 1.4. Anàlisi paramètrica en disseny de turboreactors de flux simple i de doble flux (turbofan). Elecció de paràmetres òptims per màxima empenta i màxim impuls específic.

Tema 2. Components d'un turboreactor per a un avió comercial.

- 2.1. Components estàtics.
 - 2.1.1. Preses d'aire subsòniques. Efecte de la presa d'aire sobre l'empenta instal·lada.
 - 2.1.2. Toveres. Funcions de la tovera. Efecte sobre l'empenta, de les condicions del flux a la sortida: tovera adaptada, tovera subexpansionada i tovera sobreexpansionada.
 - 2.1.3. Cambres de combustió. Nocions de combustió. Dimensionat del cremador. Emissions i la seva regulació. Limitacions físiques i tecnològiques.
- 2.2. Elements rotatius.
 - 2.2.1. Equació d'Euler per compressors i turbines. Model de cascada d'àleps. Triangles de velocitats. Coeficients de pèrdues.
 - 2.2.2. Eficiència d'una etapa a partir de dades sobre pèrdues.
 - 2.2.3. Disseny aproximat de compressors multietapa.
 - 2.2.4. Distribucions radials. Disseny de vòrtex lliure. Variacions.
 - 2.2.5. Determinació de la velocitat de rotació i del nombre d'etapes.
 - 2.2.6. Mapes de compressors.
 - 2.2.7. Limitacions de la compressió. Pèrdua rotativa i pèrdua global ("surge").
- 2.3.1. Turbines. Característiques típiques. Grau de reacció (R). Disseny per $R = 0.5$. Relacions per a sortida axial.
- 2.3.2. Ús de factors de pèrdua.
- 2.3.3. Càlcul d'una etapa de turbina amb pèrdues.
- 2.3.4. Esforços en rotors.
- 2.3.5. Refrigeració de turbines.

Tema 3. Funcionament fora de disseny.

- 3.1. Determinació del sistema d'equacions i de les variables que regeixen el funcionament fora de disseny. Algoritmes de resolució.
 - 3.1.1. Aplicació a un turboreactor d'un sol eix.
 - 3.1.2. Aplicació a un turboreactor de dos eixos.
 - 3.1.3. Aplicació a un turbofan d'alta relació de deriva.

Tema 4. Consideracions addicionals.

- 4.1. Elements de soroll de doll i de turbomaquinària.
- 4.2. Regulació i control de soroll.
- 4.3. Elements de rotodinàmica del motor.
- 4.4. Fabricació i elements d'economia dels motors.

Objectius específics:

En aquest mòdul es combina l'anàlisi global del cicle d'un motor a reacció amb el funcionament dels seus components principals, de forma que es possibiliti una comprensió real, amb un mínim d'empirisme, del disseny del motor, les seves possibilitats i les seves limitacions. L'objectiu és que l'alumne assoleixi una capacitació que permeti executar un disseny preliminar, i, si ho desitja, accedir a mètodes per al disseny de detall, bé siguin numèrics o experimentals.

Dedicació: 75h

Grup gran/Teoria: 23h

Grup mitjà/Pràctiques: 7h

Aprenentatge autònom: 45h



Mòdul 2: COETS

Descripció:

Tema 1. Introducció

1.1.1. Classificació segons al mecanisme d'acceleració del gas / força sobre el vehicle.

1.1.2. Classificació segons la font d'energia.

1.1.3. Classificació segons el rang d'empenta.

1.2. Mesura de les prestacions.

1.2.1. Impuls específic.

1.2.2. Eficiència tèrmica.

1.2.3. Relació empenta/pes.

1.3. Criteri de selecció (segons la missió).

Tema 2. Empenta i toveres de coets.

2.1. L'equació de l'empenta.

2.2. Pèrdua d'empenta per no uniformitats direccionals a la sortida.

2.3. Relació entre entalpia total i velocitat de sortida: rendiment de tovera.

2.4. Pèrdues d'empenta per no uniformitats d'entalpia total. Rendiment per no uniformitats d'entalpia total.

Tema 3. Fluïdodinàmica de toveres ideals, segons el model quasi-unidimensional.

3.1. Toveres quasi-unidimensional sense separació de flux.

3.1.1. Velocitat característica i coeficient d'empenta.

3.1.2. Elecció de la relació d'expansió òptima per un vol ascensional a través de l'atmosfera.

3.2. Efectes de la separació de flux. Criteri de Summerfield.

Tema 4. Transferència de calor per convecció en toveres. Analogia de Reynolds.

4.1. Transferència de calor per convecció. Equacions de capa límit.

4.2. Coeficients de viscositat i de conductivitat tèrmica turbulents.

4.3. Model aproximat per número de Prandtl unitat i gradient de pressions zero. Analogia de Reynolds.

4.4. Correccions per Pr menor que 1.

4.5. Fórmula de Bartz pel flux de calor a la paret.

Tema 5. Efecte de les pèrdues de calor en les prestacions del coet.

5.1. Pèrdua total de calor.

5.2. Efecte sobre les prestacions del coet.

Tema 6. Refrigeració en coets de combustible líquid.

6.1. Consideracions de disseny.

6.2. Esforços mecànics a les parets refrigerades de la tovera.

Objectius específics:

Aquest mòdul està orientat menys al disseny i més als fonaments de la propulsió, tot i que també s'estudien mètodes encaminats al disseny preliminar. Es pretén que l'alumne quedi capacitat, a més, per abordar innovacions i tipus diferents de coets, situació que es presenta amb més freqüència en aquesta àrea que en la més madura dels motors a reacció.

Dedicació: 75h

Grup gran/Teoria: 23h

Grup mitjà/Pràctiques: 7h

Aprenentatge autònom: 45h



ACTIVITATS

SESSIONS GRUPS GRANS / TEORIA

Descripció:

Sessions presencials, on el professor imparteix continguts teòrics i orienta els estudiants perquè aquests desenvolupin l'aprenentatge autònom.

Objectius específics:

L'objectiu de les sessions teòriques és que l'estudiant adquireixi els coneixements necessaris, per aplicar-los als exercicis i treballs a dur a terme, tot desenvolupant l'aprenentatge autònom.

Material:

Apunts penjats a Atenea.
Bibliografia bàsica i complementària de l'assignatura.

Dedicació: 86h

Grup gran/Teoria: 42h

Aprenentatge autònom: 44h

SESSIONS GRUPS MITJANS / PROBLEMES

Descripció:

El professor planteja exercicis per resoldre a classe, aplicació directa de la teoria, consistents en modelar motors i/o els seus components. Es pretén que els estudiants treballin en grups reduïts (de 2 o 3) i intercanviïn conceptes, idees i plantejaments.

Objectius específics:

La realització de problemes pretén que l'estudiant es familiaritzi amb el modelat de motors i els seus components, i així estar en condicions de superar satisfactòriament els exercicis d'examen.

Material:

Apunts penjats a Atenea.
Bibliografia bàsica i complementària de l'assignatura.

Dedicació: 40h

Grup mitjà/Pràctiques: 14h

Aprenentatge autònom: 26h



TREBALLS PRÀCTICS

Descripció:

Està prevista la realització d'una pràctica, que podrà ser de laboratori o un treball de simulació, en grups de com a màxim 3 alumnes. Si es tracta d'una pràctica de laboratori, es requerirà la realització d'un informe. La pràctica podrà versar sobre aspectes com els següents:

1. Disseny i càlcul d'actuacions d'un motor de turbina mitjançant models numèrics.
2. Disseny i càlcul d'actuacions de components de motor.
3. Mesurament d'actuacions i paràmetres (empenyiment, fluxos, pressions, temperatures, velocitat de rotació) d'un reactor de laboratori, i posterior anàlisi de les dades, i identificació dels paràmetres desconeguts del motor.
4. Disseny i càlcul de les actuacions d'un motor coet.

Objectius específics:

S'espera que l'estudiant consolidi conceptes mitjançant el treball pràctic, ja que aquest no només és una eina eficaç per complementar els exercicis numèrics de classe, sino que, en la mesura que el termini de lliurament és més llarg, i es duen a terme mitjançant codis numèrics, es pot fer una simulació molt més realista, el que tanmateix permet fer comparacions més fiables amb motors reals.

Material:

Apunts penjats a Atenea.
Bibliografia bàsica i complementària de l'assignatura, i enllaços web.
Ordinador i eines informàtiques diverses, per poder escriure i executar codis numèrics.

Lliurament:

El treball pràctic té un pes del 16% sobre la nota final de l'assignatura. El termini per lliurar el treball serà indicat via Atenea.

Dedicació: 20h

Aprenentatge autònom: 20h

EXAMEN PARCIAL

Descripció:

Prova individual i per escrit, corresponent al mòdul 1.

Objectius específics:

Amb aquest examen l'estudiant ha de demostrar que ha assimilat suficientment els conceptes corresponents al mòdul 1.

Material:

Un formulari d'una pàgina, per les dues cares, i calculadora no programable.

Lliurament:

La prova té un pes del 42% sobre la nota global de l'assignatura.

Dedicació: 2h

Grup gran/Teoria: 2h



EXAMEN FINAL

Descripció:

Prova individual i per escrit, corresponent al mòdul 2.

Objectius específics:

Amb aquest examen l'estudiant ha de demostrar que ha assimilat suficientment els conceptes corresponents al mòdul 2.

Material:

Un formulari d'una pàgina, per les dues cares, i calculadora no programable.

Lliurament:

La prova té un pes del 42% sobre la nota global de l'assignatura.

Dedicació: 2h

Grup gran/Teoria: 2h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

42% Examen parcial.

42% Examen final.

16% Treball pràctic.

Tots aquells estudiants que suspenguin, vulguin millorar nota o no puguin assistir a l'examen parcial, tindran oportunitat d'examinarse el mateix dia de l'examen final. Si les circumstàncies no fan viable que sigui el mateix dia de l'examen final, el professor responsable de l'assignatura proposarà, via la plataforma Atenea, que l'esmentat examen de recuperació es dugui a terme un altre dia, en horari de classe.

La nova nota de l'examen de recuperació substituirà l'antiga, només en el cas que sigui més alta.

Per aquells estudiants que compleixin els requisits i es presentin a l'examen de re-avaluació, la qualificació de l'examen de re-avaluació substituirà les notes de tots els actes d'avaluació que siguin proves escrites presencials (controls, exàmens parcials i finals) i es mantindran les qualificacions de pràctiques, treballs, projectes i presentacions obtingudes durant el curs.

Si la nota final després de la re-avaluació és inferior a 5.0 substituirà la inicial únicament en el cas que sigui superior. Si la nota final després de la re-avaluació és superior o igual a 5.0, la nota final de l'assignatura serà aprovat 5.0.

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

-

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- Cumpsty, N. Jet propulsion : a simple guide to the aerodynamic and thermodynamic design and performance of jet engines. New York: Cambridge University Press, ISBN 0521541441.

- Mattingly, J. D. Elements of propulsion: gas turbines and rockets [en línia]. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006 [Consulta: 06/05/2022]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=3111475>. ISBN 1563477793.

Complementària:

- Kerrebrock, J. L. Aircraft engines and gas turbines. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 1992. ISBN 0-262-11162-4.

- Sutton, G. P.; Biblarz, O. Rocket propulsion elements [en línia]. 8th ed. New York: John Wiley & Sons, 2010 [Consulta: 07/03/2023]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=818989>. ISBN 9780470080245.

- Hill, P. G.; Peterson, C. R. Mechanics and thermodynamics of propulsion. 2nd ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1992. ISBN



0201146592.

- Cohen, H.; Rogers, G.F.C.; Saravanamuttoo, H.I.H. Gas turbine theory. 4th ed. Harlow; Essex: Longman: Addison-Wesley, 1996. ISBN 0582236320.

RECURSOS

Enllaç web:

- <http://www.ocw.mit.edu/index.html>. Martínez Sánchez, M. OpenCourseWare (OCW), curs 16.512 MIT.