

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

Unitat responsable: 205 - ESEIAAT - Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Unitat que imparteix: 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics

Curs: 2019

Titulació: GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES AEROESPACIALS (Pla 2010). (Unitat docent Obligatòria)  
GRAU EN ENGINYERIA EN VEHICLES AEROESPACIALS (Pla 2010). (Unitat docent Obligatòria)

Crèdits ECTS: 6 Idiomes docència: Català, Castellà

### Professorat

Responsable: Carlos David Pérez Segarra

Altres: Assensi Oliva Llana  
Xavi Trias

### Horari d'atenció

Horari: A convenir amb l'estudiant.

### Capacitats prèvies

Coneixements previs bàsics propis dels primers cursos de carrera: matemàtiques (especialment càlcul diferencial i integral), física, mecànica dels medis continus, mecànica de fluids, termodinàmica.

### Competències de la titulació a les quals contribueix l'assignatura

Específiques:

1. GrETA/GrEVA - Coneixement adequat i aplicat a l'enginyeria de: els conceptes i les lleis que governen els processos de transferència d'energia, el moviment dels fluids, els mecanismes de transmissió de calor i el canvi de matèria i el seu paper en l'anàlisi dels principals sistemes de propulsió aeroespacials

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

### Metodologies docents

El llenguatge principal a les classes serà el català. El castellà també és utilitzat.

Es presenta de forma seqüencial les diferents formes de transferència de calor: conducció i radiació, i es centra després l'anàlisi en els fenòmens de convecció i dinàmica de gasos. Per cada una d'elles es comença amb un plantejament rigorós de les equacions bàsiques que descriuen aquests fenòmens (e.g. equacions de Navier-Stokes en la convecció/dinàmica de gasos). La deducció i comentaris d'aquestes equacions bàsiques es realitza posant un èmfasi especial en el sentit físic de cadascun dels termes. A partir de la formulació matemàtica bàsica es presenten diferents metodologies de resolució (analítiques i numèriques). L'últim mòdul pretén ser una síntesi dels mòduls anteriors per a situacions d'interès a enginyeria aeronàutica.

L'assignatura s'organitza en:

- 1.- Classes en grups grans. En aquests tipus de grups es desenvolupen les classes de teoria, part de les classes de problemes i les avaluacions corresponents. S'utilitzarà el model expositiu que el professor cregui més convenient per assolir els objectius que s'han fixat a l'assignatura.
- 2.- Classes en grups mitjans i petits. En aquestes classes, sempre que la disponibilitat de professorat ho permeti, es desenvolupen sessions de problemes per part del professor o bé els proposats pels alumnes per la seva resolució i que formen part de l'aprenentatge autònom. Sempre que es cregui oportú es podrà fer alguna activitat dirigida.

La plataforma ATENEA es podrà utilitzar com a eina de suport en els dos tipus de classes que s'han descrit. S'utilitzarà com a transmissor i comunicador amb els alumnes.

### Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

- Formació bàsica en dinàmica de gasos i en transferència de calor i massa, tant en aspectes fenomenològics com de formulació matemàtica.
- Desenvolupament de mètodes de resolució, analítics i numèrics, de fenòmens de transferència de calor per conducció i radiació. Plantejament de la problemàtica de la convecció i dinàmica de gasos a diferents nivells: equacions de Navier-Stokes, models zonals de capes límits / zona viscosa, anàlisi unidimensional, etc.
- Presentació d'aplicacions diverses en el camp de l'aeronàutica: turbines, bescanviadors de calor, combustors, refrigeració de components elèctrics i electrònics, càrregues tèrmiques en cabines d'avions, flux en toveres i difusors, etc. Tot això amb la finalitat d'optimitzar aquests sistemes i equips tèrmics, incrementant la seva eficiència energètica i reduint el seu impacte ambiental, etc.
- Contribuir a la consolidació d'aquells aspectes de la Termodinàmica i Mecànica de Fluids bàsics per la Transferència de Calor i Dinàmica de Gasos.

### Hores totals de dedicació de l'estudiantat

Dedicació total: 150h	Hores grup gran:	46h	30.67%
	Hores grup mitjà:	7h	4.67%
	Hores grup petit:	7h	4.67%
	Hores aprenentatge autònom:	90h	60.00%

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

### Continguts

Mòdul 1: Introducció. Transferència de calor per conducció en sòlids

Dedicació: 40h

Grup gran/Teoria: 17h

Grup mitjà/Pràctiques: 3h

Aprenentatge autònom: 20h

#### Descripció:

Tema 1. Introducció. Repàs del primer principi de la termodinàmica per sistemes oberts. Descripció de les diferents formes de transmissió de calor: conducció i radiació. Fenòmens de convecció; definició del coeficient superficial de transferència de calor per convecció ("Llei de Newton"). Repàs de conceptes macroscòpics com pressió i temperatura (breu ullada al món molecular mitjançant la teoria cinètico-molecular. Rellevància de la dinàmica de gasos i de la transferència de calor i massa en enginyeria aeronàutica).

Tema 2. Caràcter vectorial del flux de calor. Llei constitutiva bàsica de la conducció: Llei de Fourier. Deducció de l'equació general de la transmissió de calor per conducció en sòlids (coordenades cartesianes, cilíndriques, esfèriques). Condicions inicials i de contorn.

Tema 3. Casos diversos de solució analítica: transmissió de calor per conducció en parets planes, cilíndriques, esfèriques. Casos de dos o més materials. Presència de generadors interns de la calor. Transmissió de calor per conducció en aletes. Transmissió de calor per conducció en règim transitori.

Tema 4. Metodologia general de resolució numèrica de la transmissió de calor per conducció en règim permanent: Mètode de volums finits. Discretització del domini i condicions de contorn. Resolució de sistemes d'equacions algebraïques lineals amb coeficients constants o variables. Algorisme global de resolució. Estratègies de verificació de codi i verificacions de solucions numèriques. Exemples diversos de resolució de casos 1D, 2D i 3D.

Tema 5. Extensió de la metodologia de resolució numèrica a casos transitoris. Mètodes explícits, implícits i de Crank-Nicolson. Algorisme global de resolució. Exemples diversos de resolució de casos 1D, 2D i 3D.

#### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

#### Objectius específics:

Concepte de flux de calor i el seu caràcter vectorial. Llei de Fourier. Deducció de l'equació general de la transmissió de calor per conducció. Resolució de casos amb solució analítica (permanents i transitoris). Anàlisi del cas particular d'aletes (flux de calor bidimensional amb hipòtesi de distribució unidimensional de temperatures). Introducció als mètodes numèrics de volums finits. Aplicació de casos generals (1D, 2D o 3D en règim permanent o transitori) de transmissió de calor per conducció.

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

Mòdul 2: Transferència de calor per radiació	Dedicació: 22h Grup gran/Teoria: 8h Grup mitjà/Pràctiques: 2h Aprentatge autònom: 12h
<p>Descripció:</p> <p>Tema 6. Radiació electromagnètica, conceptes bàsics. Radiació tèrmica. Intensitat radiant específica. Equació integro-diferencial de la radiació.</p> <p>Tema 7. Radiació sobre superfícies; fenòmens de reflexió i absorció. Flux radiant sobre o des d'una superfície. Propietats radiants específiques, totals i/o hemiesfèriques (absortivitat, reflectivitat, transmisivitat). Radiació del cos negre: característiques bàsiques i potència emissiva. Concepte d'emissivitat. Llei de Kirchhoff de la radiació. Superfícies no-negres. Propietats radiants de les superfícies reals.</p> <p>Tema 8. Intercanvi radiant entre superfícies. Concepte de factor de vista per radiació difusa. Mètode de les radiositats per superfícies opaques, grises i difuses. Exercicis d'aplicació amb breu introducció a la radiació atmosfèrica i a l'energia solar.</p> <p>Activitats vinculades: Classes de teoria, problemes i treball de curs.</p> <p>Objectius específics: Introducció a la transmissió de calor per radiació. Plantejament bàsic i aplicació a radiació entre superfícies opaques, grises i difuses en medis no participants. Introducció a l'energia solar i a la radiació atmosfèrica.</p>	

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

Mòdul 3: Fenòmens de convecció. Dinàmica de gasos

Dedicació: 38h

Grup gran/Teoria: 16h

Grup mitjà/Pràctiques: 2h

Aprenentatge autònom: 20h

### Descripció:

Tema 9. Repàs de la formulació integral bàsica de la convecció: Equacions de conservació de la massa, del moment lineal, del moment angular, de l'energia total. Segon principi de la termodinàmica. Exercicis d'aplicació.

Tema 10. Limitacions del tractament del continuum. Repàs de les equacions constitutives bàsiques: llei de viscositat de Stokes i llei de Fourier. Deducció de la formulació diferencial: equacions de continuïtat, momentum, energia cinètica, energia tèrmica i entropia. Condicions de contorn i plantejament general de la formulació matemàtica en casos concrets. Flux laminar vs. flux turbulent. Validesa de les equacions de Navier-Stokes en la resolució de fluxos turbulents i presentació de casos il·lustratius de simulació directa (DNS).

Tema 11. Tractament estadístic de la turbulència: equacions de Reynolds. Problema de tancament de la turbulència. Breu introducció als models lineals de viscositat turbulenta de dos equacions (k- $\epsilon$  i k- $\omega$ ).

Tema 12. Resolució zonal de fluxos mitjançant la divisió del domini en zona no viscosa i capes límits (hidrodinàmiques i tèrmiques). Equacions simplificades de Navier-Stokes per la zona viscosa (equacions d'Euler). Equacions simplificades de Navier-Stokes per les capes límits laminars (anàlisi d'ordre de magnitud). Acoblament de la zona no viscosa amb les capes límits (concepte de gruix de desplaçament). Solucions analítiques de les equacions de les capes límits laminars en plaques isotermes. Mètodes integrals.

Tema 13. Equacions simplificades de Navier-Stokes per les capes turbulentes. Models algebraics de turbulència (longitud de barreja de Prandtl, Baldwin-Lomax ...). Resolució de les capes límits turbulentes (hidrodinàmiques i tèrmiques) en plaques isotermes. Mètodes integrals.

Tema 14. Teorema pi de Buckingham. Interès de l'anàlisi dimensional. Obtenció dels grups adimensionals característics en casos concrets en fluxes en convecció natural i forçada. Significat físic. Deducció del nombre de Nusselt i sistemàtica de càlcul de coeficients superficials en fluxes inters i externs. Exercicis d'aplicació.

Tema 15. Anàlisi unidimensional de fluxes compressibles en conductes de secció constant o variable i amb consideració d'efectes de fricció i de transferència de calor. Mètode tram a tram per el cas de fluxes subsònics. Anàlisi de condicions de contorn. Exercicis d'aplicació en casos de fluxes subsònics i supersònics. Predicció d'ones de xoc.

### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

### Objectius específics:

Estudi de fenòmens de convecció i dinàmica de gasos mitjançant d'un plantejament bàsic i rigorós de la fenomenologia i de la seva formulació matemàtica: equacions de Navier-Stokes, tractament de fluxos turbulents, tractament zonal basat en la divisió del domini en capes límits i zona no viscosa.

Anàlisi adimensional i plantejament semi-empíric dels problemes. Anàlisi adimensional de fluxos compressibles: aspectes fenomenològics (fluxes subsònics, transònics, supersònics, ones de xoc , ...) i introducció als mètodes numèrics en convecció.

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

Mòdul 4: Problemes combinats	Dedicació: 50h Grup gran/Teoria: 5h Grup petit/Laboratori: 7h Aprentatge autònom: 38h
<p>Descripció: Tema 16. Exercicis diversos que combinen fenòmens de convecció, conducció i radiació i que poden ser d'interès en el camp de l'aeronàutica: bescanviadors de calor, refrigeració d'àlavs de turbines.</p> <p>Activitats vinculades: Classes de teoria, problemes i treball de curs.</p> <p>Objectius específics: Aplicació dels coneixements adquirits en els mòduls anteriors a casos aplicats d'interès en el camp de l'aeronàutica (bescanviadors de calor, refrigeració d'àlavs de turbines, balanç de càrregues tèrmiques en cabines d'avions, flux en toveres i difusors, transferència de calor en components elèctrics i electrònics, etc.).</p>	

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

### Planificació d'activitats

<p><b>CLASSES DE TEORIA</b></p>	<p>Dedicació: 65h Grup gran/Teoria: 25h Aprentatge autònom: 40h</p>
<p><b>Descripció:</b>          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 4 àrees temàtiques o temes.          En aquesta classe es resolen problemes amb tot el grup.</p> <p><b>Material de suport:</b>          Bibliografia bàsica.          Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b>          Aquesta activitat s'avalua conjuntament amb l'activitat 2 (problemes) mitjançant els examens parcials i les dues proves de nivell.</p> <p><b>Objectius específics:</b>          En finalitzar aquesta activitat, l'alumne ha de ser capaç de dominar els coneixements adquirits, consolidar-los i aplicar-los correctament a problemes tècnics. A més a més, essent la Dinàmica de Gasos i la Transferència de Calor i de Massa una assignatura tecnocientífica, les classes de teoria han de servir de base pel desenvolupament d'altres assignatures més tècniques de l'àmbit tèrmic relacionades amb la Refrigeració, Motors Tèrmics, Energia Solar, etc.</p>	
<p><b>CLASSES DE PROBLEMES</b></p>	<p>Dedicació: 68h Grup gran/Teoria: 14h Grup mitjà/Pràctiques: 7h Grup petit/Laboratori: 7h Aprentatge autònom: 40h</p>
<p><b>Descripció:</b>          Metodologia en grup gran, grup mitjà i grup petit, 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.</p> <p><b>Material de suport:</b>          Bibliografia bàsica.          Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b>          Aquesta activitat s'avalua conjuntament amb l'activitat 1 (teoria) mitjançant un examen parcial i un examen final.</p> <p><b>Objectius específics:</b>          En finalitzar aquesta activitat, l'alumne ha de ser capaç d'aplicar els coneixements teòrics a la resolució de problemes inspirats en situacions reals. Atenent a la metodologia l'alumne ha de ser capaç de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Entendre l'enunciat i analitzar el problema.</li> <li>2.- Plantejar i desenvolupar un esquema de resolució del mateix.</li> <li>3.- Resoldre el problema emprant les equacions plantejades, amb un adequat algoritme de resolució.</li> <li>4.- Interpretar críticament els resultats.</li> </ol>	

## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

TREBALL DE CURS	Dedicació: 10h Aprentatge autònom: 10h
Descripció: Resolució d'un problema basat en una situació plantejada pel professor o per l'alumne.	
Material de suport: Bibliografia bàsica. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).	

### Sistema de qualificació

Examen 1er parcial. Ponderació: 40% de la nota final.

Proves parcials de control. Ponderació: 10% de la nota final.

Examen final. Ponderació: 50% de la nota final.

Pels alumnes amb nota final igual o superior a 4.5, podran pujar aquesta nota amb la presentació i defensa de treballs opcionals de simulació numèrica desenvolupats durant l'estudi de l'assignatura i amb la tutela dels professors.

Els resultats de l'examen del primer parcial es podran reconduir/millorar dins l'examen final. La nota obtinguda per l'aplicació de la reconducció substituirà a la qualificació inicial sempre i quan sigui superior.

### Normes de realització de les activitats

Els exàmens consistiran en qüestions teòriques i exercicis pràctics/problemes. A l'examen no es pot utilitzar cap mena d'informació excepte el material/formulari que faciliti el professorat. No és permès l'ús de mòbils, smartwatch o aparells similars. Tampoc es permet l'ús de calculadores programables ni d'ordinadors.



## 220026 - Dinàmica de Gasos i Transferència de Calor i Massa

### Bibliografia

#### Bàsica:

- Incropera, F. P.; DeWitt, D. P. Fundamentos de transferencia de calor. 4ª ed. México: Prentice Hall, 1999. ISBN 9701701704.
- Mills, A. F. Transferencia de calor. México: Irwin, 1995. ISBN 8480861940.
- Lienhard IV, J. H.; Lienhard V, J. H. A heat transfer textbook [en línia]. 3rd ed. Cambridge: Phlogiston Press, 2001 [Consulta: 06/03/2012]. Disponible a: <<http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt.html>>.
- Shames, I. H. La mecánica de los fluidos. 3ª ed. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1995. ISBN 9586002462.
- Anderson, J. D. Modern compressible flow: with historical perspective. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. ISBN 9780071241366.
- Landau, L. D.; Lifshitz, E. M. Fluid mechanics. 2nd ed. Oxford: Elsevier Butterworth Heinemann, 1987. ISBN 0750627670.
- Pantankar, S. V. Numerical heat transfer and fluid flow. New York: McGraw-Hill, 1980. ISBN 9780891165224.

#### Complementària:

- Eckert, E. R. G.; Drake, R. M. Analysis of heat and mass transfer. Washington: Hemisphere, 1972. ISBN 0891165533.
- Lakshminarayana, B. Fluid dynamics and heat transfer of turbomachinery. New York: John Wiley & Sons, 1996. ISBN 0471855464.
- Cebeci, T. [et al.]. Computational fluid dynamics for engineers: from panel to navier-stokes methods with computer programs. New York: Springer, 2005. ISBN 3540244514.
- Thompson, P. A. Compressible-fluid dynamics. New York: McGraw-Hill, 1972. ISBN 0070644055.
- Shapiro, A. H. The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow. New York: Ronald Press Company, 1954.

#### Altres recursos:

Apunt fets pel professorat de l'assignatura.

#### Material audiovisual

Apunts realitzats pel professorat de l'assignatura

Transparències sobre parts de teoria o problemes proposats que es faran servir a classe.