

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

Unitat responsable: 240 - ETSEIB - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona  
Unitat que imparteix: 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics  
Curs: 2017  
Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA DE L'ENERGIA (Pla 2013). (Unitat docent Optativa)  
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA DE L'ENERGIA (Pla 2013). (Unitat docent Optativa)  
Crèdits ECTS: 2,5 Idiomes docència: Català, Castellà, Anglès

### Professorat

Responsable: Jesús Castro González  
Altres: Carlos David Pérez Segarra, Assensi Oliva

### Horari d'atenció

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

### Capacitats prèvies

Capacitats prèvies: Els aspectes generals de termodinàmica, de mecànica de fluids i de transferència de calor i massa.

### Requisits

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

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

#### Específiques:

CEMT-5. Aplicar criteris tècnics i econòmics en 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 innovadores en l'àmbit de la producció, transport, distribució, emmagatzematge i ús de l'energia tèrmica.

CEMT-7. Analitzar el comportament d'equips i instal·lacions en operació per tal d'elaborar un diagnòstic valoratiu sobre el seu règim d'explotació i d'establir mesures dirigides a millorar l'eficiència energètica dels mateixos.

#### Transversals:

CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o menys a terme tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, tot assumint compromisos considerant els recursos disponibles.

CT4. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informació de l'àmbit d'especialitat, i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

### Metodologies docents

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, comprnent, assimilant, analitzant i sintetitzant coneixements (no presencial).

### Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

Objectius

Formació, en un nivell mig, en transferència de calor per conducció, convecció i radiació i dinàmica de fluids: aspectes fenomenològics, formulació matemàtica (lleis bàsiques de conservació i lleis constitutives) i tècniques de resolució analítica i numèrica. Metodologia de resolució de problemes d'interès tecnològic on es presenta de forma combinada les diferents formes de transferència de calor.

Resultats de l'aprenentatge:

Al finalitzar l'assignatura, el/la estudiant:

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

- Aprofundir en la descripció física dels fenòmens de transferència de calor i massa i de la seva formulació matemàtica.
- Aplicació de diferents tècniques computacionals per a la resolució numèrica d'aquestes fenomenologies.
- Desenvolupament de codis propis per a l'estudi del comportament fluid dinàmic i tèrmic de diferents casos d'interès tecnològic i motivadors per l'estudiant. S'incideix en aspectes de verificació de codi, verificació de les solucions numèriques obtingudes, i de validació de la formulació matemàtica utilitzada.

### Hores totals de dedicació de l'estudiantat

Dedicació total: 62h 30,6m	Hores grup gran:	0h	0.00%
	Hores grup mitjà:	0h	0.00%
	Hores grup petit:	15h	24.00%
	Hores activitats dirigides:	0h 49,8m	1.33%
	Hores aprenentatge autònom:	46h 40,8m	74.68%

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

### Continguts

#### Anàlisis de fluxos de gasos a elevades velocitats

Dedicació: 21h 30m

Grup gran: 5h

Activitats dirigides: 2h

Aprenentatge autònom: 14h 30m

#### Descripció:

Formulacions matemàtica de fluxos de gasos a velocitats elevades (equacions de Navier-Stokes amb consideració d'efectes de compressibilitat i fenòmens de dissipació viscosa). Condicions d'estancament i temperatura adiabàtica de paret. Redefinició de la llei de Newton de la transferència de calor per convecció. Tractament de les equacions de capa límit en fluxos exterior i en l'interior de conductes. Descripció i tractament matemàtic de les ones de xoc. Exemples d'aplicació en toveres i difusors.

#### Objectius específics:

- Formulació matemàtica de fluxos de gasos a qualsevol velocitat. Possible presència d'ones de xoc.
- Mètodes de resolució en l'exterior de superfícies i a l'interior de conductes de secció constant o de secció variable (e.g. toveres i difusors).

#### Transferència de calor en gasos rarificats

Dedicació: 20h 30m

Grup gran: 5h

Activitats dirigides: 1h 30m

Aprenentatge autònom: 14h

#### Descripció:

Revisió de la hipòtesis de medi continu i descripció de diferents processos on el tractament del gasos requereix considerar la seva estructura molecular. Descripció matemàtica en base a la teoria cinètica. Equació de Boltzmann. Interacció gas-superfície i condicions de contorn de rrelliscament. Anàlisis fluid dinàmic i transferència de calor de fluxos de gasos rarificats al voltant de diferents objectes (plaques, cilindres, esferes).

#### Activitats vinculades:

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

#### Objectius específics:

- Descripció matemàtica de gasos rarificats a velocitats arbitràries. Tractament de les condicions de contorn (especialment interacció fluid-sòlid).
- Anàlisis de fluxos de gasos rarificats en plaques, cilindres i esferes.

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

Canvi de fase sòlid-líquid

Dedicació: 20h 30m

Grup gran: 5h

Activitats dirigides: 1h 30m

Aprenentatge autònom: 14h

### Descripció:

Descripció de la fenomenologia del canvi de fase sòlid-líquid (solidificació, fusió) i casos d'aplicació. Formulació matemàtica i mètodes analítics de resolució. Mètodes actuals de resolució numèrica de les equacions. Tractament de dominis complexos en base a mètodes computacionals amb malla de discretització fixa (VOF o Volume-of-Fluid). Exemples d'aplicació en casos d'acumulació amb PCMs (Phase Change Materials) and casos de fossa.

### Activitats vinculades:

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

### Objectius específics:

- Descripció de la fenomenologia i formulació matemàtica de fenòmens de canvi de fase sòlid-líquid.
- Mètodes analítics de resolució i mètodes numèrics de tipus VOF. Exemples de resolució.

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

### Planificació d'activitats

Classes de teoria	Dedicació: 20h Grup gran: 10h Aprenentatge autònom: 10h
<p><b>Descripció:</b>            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.</p> <p><b>Material de suport:</b>            Bibliografia recomanada. 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 el treball de curs i les proves de coneixement.</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 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.</p>	
Classes pràctiques	Dedicació: 11h Activitats dirigides: 1h Grup gran: 5h Aprenentatge autònom: 5h
<p><b>Descripció:</b>            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.</p> <p><b>Material de suport:</b>            Bibliografia recomanada. 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 el treball de curs i les proves de coneixement.</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 diferents tipus de problemes. 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>	

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

Treball teòric-pràctic dirigit	Dedicació: 6h Aprentatge autònom: 5h Grup gran: 1h
<p><b>Descripció:</b> 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparació de la pràctica mitjançant un manual de pràctiques.</li> <li>- Grups de 2 ó 3 persones amb una durada màxima de 2 hores.</li> <li>- Discussió dels resultats obtinguts i dels problemes que han sorgit durant la realització de la pràctica.</li> <li>- 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.</li> </ul> <p><b>Material de suport:</b> Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b> Es faran informes seguint unes pautes donades a classe.</p> <p><b>Objectius específics:</b> Consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.</p>	

Treball d'abast reduït	Dedicació: 6h Aprentatge autònom: 5h Grup gran: 1h
<p><b>Descripció:</b> Resolució de fins dos problemes basats en situacions plantejades pel professor.</p> <p><b>Material de suport:</b> Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b> Es farà un informe seguint unes pautes donades a classe.</p> <p><b>Objectius específics:</b> Consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.</p>	

Treball d'abast ampli	Dedicació: 8h 30m Aprentatge autònom: 7h 30m Grup gran: 1h
<p><b>Descripció:</b> Resolució d'un problema basats en situacions plantejades pel professor o pel alumne.</p> <p><b>Material de suport:</b> Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b> Es farà un informe seguint unes pautes donades a classe.</p>	

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

**Objectius específics:**

Ampliar i consolidar els coneixements adquirits a classe de teoria i pràctiques.

**Proves de coneixement**

Dedicació: 11h

Aprenentatge autònom: 10h

Activitats dirigides: 1h

**Descripció:**

Desenvolupament de proves de coneixement de l'assignatura dels continguts 1 i 2. Inclou aspectes teòrics i desenvolupament de problemes.

**Material de suport:**

Bibliografia recomanada. Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

**Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:**

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.

### Sistema de qualificació

Prova escrita de control de coneixements (PE): 50 %

Prova oral de control de coneixements (PO): 0 %

Treball realitzat en forma individual o en grup al llarg del curs (TR): 40 %

Assistència i participació en classes i laboratoris (AP): 5 %

Qualitat i rendiment del treball en grup (TG): 5 %



## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

### 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.

## 820776 - ITCMM2 - Intensificació en Transferència de Calor i Massa 2

### Bibliografia

#### Bàsica:

Incropera, Frank Paul. Fundamentals of heat and mass transfer. 6th ed. New York [etc.]: John Wiley & Sons, cop. 2006. ISBN 0471457280.

Eckert, E. R. G.; Drake, Robert M. Heat and mass transfer. 2nd ed. New York [etc.]: McGraw-Hill, 1959. ISBN 0070189242.

Thompson, Philip A. Compressible-fluid dynamics. New York, [etc.]: McGraw-Hill, 1972. ISBN 0070644055.

Patankar, Suhas V. Numerical heat transfer and fluid flow. Washington : New York: Hemisphere ; McGraw-Hill, cop. 1980. ISBN 0891165223.

Cebeci, Tuncer. Computational fluid dynamics for engineers : from panel to navier-stokes methods with computer programs [en línia]. Long Beach, CA : New York: Horizons ; Springer, cop. 2005 [Consulta: 11/10/2016]. Disponible a: <<http://dx.doi.org/10.1007/3-540-27717-X>>. ISBN 3540244514.

Shapiro, Ascher H. The Dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow. New York: John Wiley & sons, cop. 1953. ISBN 0471066915.

Anderson, John David. Computational fluid dynamics. New York [etc.]: McGraw-Hill, cop. 1995. ISBN 0070016852.

#### Complementària:

Rohsenow, Warren M; Hartnett, J. P; Cho, Young I. Handbook of heat transfer. 3rd ed. New York [etc.]: McGraw-Hill, cop. 1998. ISBN 0070535558.

Lakshminarayana, Budugur. Fluid dynamics and heat transfer of turbomachinery. New York [etc.]: John Wiley & Sons, cop. 1996. ISBN 0471855464.

Ferziger, Joel H; Peric, Milovan. Computational methods for fluid dynamics. 3rd, rev. ed. Berlin [etc.]: Springer, cop. 2002. ISBN 3540420746.

Prosperetti, Andrea; Tryggvason, Gretar. Computational methods for multiphase flow. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2009. ISBN 0521138612.

Colin Tong, Xingcun. Advanced materials for thermal management of electronic packaging [en línia]. New York: Springer, cop. 2011 [Consulta: 11/10/2016]. Disponible a: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-7759-5>>. ISBN 9781441977595.

#### Altres recursos:

##### Material audiovisual

###### Transparencies from class

Transparències, problemes proposats que es faran servir a classe.

##### Notes

Apunts realitzats pel professorat de l'assignatura.