

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

Unitat responsable: 240 - ETSEIB - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona  
Unitat que imparteix: 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics  
Curs: 2019  
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: 5 Idiomes docència: Català, Castellà, Anglès

### Professorat

Responsable: JESUS CASTRO GONZALEZ  
Altres: Carlos David Pérez Segarra, Assensi Oliva

### Horari d'atenció

Horari: L'horari d'atenció is acordat personalment amb l'estudiant d'acord amb la seva disponibilitat

### 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-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.
- 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.

#### Transversals:

- CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o duent 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.

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

### 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, comprenent, assimilant, analitzant i sintetitzant coneixements (no presencial).

### Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

Formació, en un nivell mig, en transferència de calor per conducció, convecció i radiació i dinàmica de fluids: aspectes fenomenològics, formulació matemàtica (lleis fonamentals 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:

- 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.

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

- 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: 125h 03m	Hores grup gran:	0h	0.00%
	Hores grup mitjà:	0h	0.00%
	Hores grup petit:	30h	23.99%
	Hores activitats dirigides:	1h 42m	1.36%
	Hores aprenentatge autònom:	93h 21m	74.65%

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

### Continguts

Formulació matemàtica de la transferència de calor i dinàmica de fluids

Dedicació: 21h 30m

Grup gran/Teoria: 5h

Activitats dirigides: 1h 30m

Aprenentatge autònom: 15h

#### Descripció:

Formulació matemàtica bàsica en forma integral de fenòmens de dinàmica de fluids i transferència de calor: sistemes aïllats, sistemes tancats, interacció amb l'exterior, punt de vista de Lagrange i Euler (partícules i volums finits); sistemes oberts. Notació tensorial i vectorial. Formulació matemàtica en forma diferencial: equacions bàsiques (conservació massa, quantitat de moviment, energia, entropia) i equacions derivades (energia cinètica, vorticitat, energia tèrmica, exergia, ...). Lleis constitutives.

#### Activitats vinculades:

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

#### Objectius específics:

Introducció a les formulacions matemàtiques bàsiques en dinàmica de fluids i transmissió de calor i massa.

Introducció a la turbulència

Dedicació: 25h

Grup gran/Teoria: 6h

Activitats dirigides: 2h

Aprenentatge autònom: 17h

#### Descripció:

Introducció a la formulació matemàtica de fluxos turbulents. Aspectes físics fonamentals de la turbulència i la seva caracterització estadística. Resolució numèrica directa de la turbulència (DNS, Direct Numerical Simulation): possibilitats i limitacions. Equacions de Navier-Stokes mitjanades temporalment i models de turbulència RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes): high and low-Reynolds two-equation models, wall functions, differentially-stress models, etc. Formulació matemàtica bàsica dels models tipus LES (Large Eddy Simulation), amitjanat volumètric. Breu introducció als mètodes numèrics de resolució de les equacions de Navier-Stokes.

#### Activitats vinculades:

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

#### Objectius específics:

Introducció a les formulacions matemàtiques bàsiques en dinàmica de fluids i transmissió de calor i massa.

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

<p>Resolució zonal de la convecció. Capa límit i zona potencial</p>	<p>Dedicació: 28h 30m Grup gran/Teoria: 7h Activitats dirigides: 2h 30m Aprentatge autònom: 19h</p>
<p>Descripció: Resolució zonal de fluxos mitjançant divisió en regió no viscosa i capes límit (hidrodinàmiques i tèrmiques). Formulació de les equacions per a la zona no viscosa (equacions d'Euler). Formulació de les equacions per les capes límit laminars i turbulents (anàlisi ordres de magnitud). Repàs de solucions analítiques de les equacions de les capes límit laminars (hidrodinàmiques i tèrmiques) en plaques isoterms i dels mètodes integrals. Introducció als mètodes numèrics de resolució de capes límit laminars i turbulents. Acoblament de la zona no viscosa i de les capes límit (concepte de gruix de desplaçament i mètodes zonals generals).</p> <p>Activitats vinculades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe teòrica</li> <li>- Classe pràctica</li> <li>- Treball pràctic dirigit</li> <li>- Treball d'abast reduït</li> <li>- Treball d'abast ampli</li> </ul> <p>Objectius específics:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantejament de la metodologia de resolució zonal de fluxos en base a la divisió en zona no viscosa i capes límit.</li> <li>- Presentació de solucions semi-empíriques per la capa límit laminar.</li> <li>- Estructura de la capa límit turbulenta i caracterització.</li> </ul>	

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

Transferència de calor per radiació	Dedicació: 25h Grup gran/Teoria: 6h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 17h
<p>Descripció: Resolució numèrica de fenòmens de radiació. Intensitat específica de radiació. Formulació general de l'equació fonamental de la radiació (RTE o Radiative Transfer Equation). Revisió dels mètodes d'anàlisi de radiació en mitjans no participants. Extensió de la formulació a mitjans participants. Introducció a les tècniques de resolució numèrica de la intensitat de radiació espectral i direccional d'acord amb mètodes DOM (Discrete Ordinate Methods) i FVM (Finite Volume Method).</p> <p>Activitats vinculades:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Classe teòrica</li><li>- Classe pràctica</li><li>- Treball pràctic dirigit</li><li>- Treball d'abast reduït</li><li>- Treball d'abast ampli</li></ul> <p>Objectius específics:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Formulació bàsica de la radiació.</li><li>- Revisió de les metodologies de càlcul en el cas de medis no participants.</li><li>- Extensió en el cas de medis participant amb consideració de caràcter direccional i espectral de la radiació.</li></ul> <p>Mètodes numèrics de resolució (DOM i FVM).</p>	

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

<p>Canvi de fase líquid-vapor</p>	<p>Dedicació: 25h</p> <p>Grup gran/Teoria: 6h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 17h</p>
<p><b>Descripció:</b> Anàlisi de les fenomenologies de canvi de fase líquid-vapor (condensació i evaporació). Formulació matemàtica de la condensació pel·licular en plaques isotermes verticals. Mètodes de resolució analítics i extensió a situacions complexes mitjançant mètodes computacionals. Condensació en la zona exterior de tubs horitzontals. Fenòmens d'evaporació en superfícies lliures. Formulació matemàtica de les fenomenologies de dinàmica de fluids i transferència de calor i massa. Llei de Fick i tractament de les condicions de contorn. Exemples de resolució. Anàlisi de fluxos bifàsics (condensació o evaporació) en l'interior de conductes. Diferents nivells de simulació.</p> <p><b>Activitats vinculades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe teòrica</li> <li>- Classe pràctica</li> <li>- Treball pràctic dirigit</li> <li>- Treball d'abast reduït</li> <li>- Treball d'abast ampli</li> </ul> <p><b>Objectius específics:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descripció fenomenològica detallada i formulació matemàtica de fenòmens de condensació i evaporació en l'exterior de superfícies. Tècniques específiques de resolució numèrica.</li> <li>- Descripció fenomenològica detallada i formulació matemàtica de fenòmens de condensació i evaporació en l'interior de conductes. Anàlisi detallat de tipus unidimensional (permanent o transitori).</li> </ul>	

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

### Planificació d'activitats

<p>Classes de teoria</p>	<p>Dedicació: 40h Aprentatge autònom: 20h Grup gran/Teoria: 20h</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 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>	
<p>Classes pràctiques</p>	<p>Dedicació: 22h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 10h Grup gran/Teoria: 10h</p>
<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>	



## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

Treball teòric-pràctic dirigit	Dedicació: 12h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 10h
<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: 12h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 10h
<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: 17h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 15h
<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>	

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

**Objectius específics:**

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

**Proves de coneixement**

Dedicació: 22h

Activitats dirigides: 2h

Aprenentatge autònom: 20h

**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

Exàmen de primer parcial: 20%

Exàmen final: 35%

Treballs de laboratori (individuals o en grups) realitzats durant la impartició de l'assignatura: 45%

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

### 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.

## 820761 - ITCMM - Intensificació en Transferència de Calor i Massa

### Bibliografia

#### Bàsica:

Bergman, Theodore [et al.]. Fundamentals of heat and mass transfer. 7th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, cop. 2011. ISBN 9780470501979.

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

Schlichting, Hermann; Gersten, Klaus. Boundary-layer theory. 8th ed. Berlin [etc.]: Springer-Verlag, cop. 2000. ISBN 3540662707.

Lienhard, John H. IV; Lienhard, John H. V. A Heat transfer textbook [en línia]. 3rd ed. Cambridge, Massachusetts: Phlogiston Press, cop. 2004 [Consulta: 07/09/2017]. Disponible a: <<http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt.html>>.

Çengel, Yunus A ; Afshin J. Ghajar. Heat and mass transfer : a practical approach. 5th ed. New York: McGraw-Hill, cop. 200715. ISBN 9789814595278.

Isachenko, V. P; Osipova, Varvara A; Sukomel, Alexander S. Transmisión de calor. Barcelona: Marcombo-Boixareu, 1973. ISBN 9788426703736.

Pope, S. B. Turbulent flows. Repr. with corr. Cambridge [etc.]: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521598869.

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

#### 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.

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

Cebeci, Tuncer. Computational fluid dynamics for engineers : from panel to navier-stokes methods with computer programs. Long Beach, CA : New York: Horizons ; Springer, cop. 2005. ISBN 3540244514.

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

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. 3rd ed. Berlin: Springer, 2009. ISBN 9783540850557.

#### Altres recursos:

##### Material audiovisual

Transparencies from class

Transparències, problemes proposats que es faran servir a classe.

##### Notes

Apunts realitzats pel professorat de l'assignatura.