



## Guia docent 220280 - 220280 - Transferència de Calor i Massa

Última modificació: 22/04/2022

**Unitat responsable:** Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa  
**Unitat que imparteix:** 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics.

**Titulació:** MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL (Pla 2013). (Assignatura optativa).  
MÀSTER UNIVERSITARI EN RECERCA EN ENGINYERIA MECÀNICA (Pla 2021). (Assignatura obligatòria).

**Curs:** 2022      **Crèdits ECTS:** 5.0      **Idiomes:** Català, Castellà

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Oliva Llena, Asensio

**Altres:** Perez Segarra, Carlos David  
Castro Gonzalez, Jesus  
Trias Miquel, Francesc Xavier

### CAPACITATS PRÈVIES

---

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

Tenir un nivell en transferència de calor i massa i mecànica de fluids equivalent a haver cursat satisfactòriament les assignatures de Termodinàmica i de Mecànica de Fluids del Grau en Enginyeries en Tecnologies Industrials.

### COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

---

**Específiques:**

1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

**Transversals:**

2. 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.

### METODOLOGIES DOCENTS

---

Aprofundiment de les temàtiques presentades a l'assignatura de cinquè curs Termodinàmica, tant des de un punt de vista de fenomenologia com de formulació matemàtica i resolució numèrica. D'altra banda, és un assignatura clau en el desenvolupament d'altres assignatures de l'especialitat (e.g. Alternatives Energètiques, Projectes ...).

L'assignatura s'organitza en:

- 1.- Classes en grups grans. En aquestes tipus de grups es desenvolupen les classes de teoria, part de les classes de problemes i les avaluacions corresponents al 1er i 2on parcial. 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 petits, si la disponibilitat de professorat ho permet. En aquestes classes es desenvolupen sessions de problemes per part del professor o bé els proposats als 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'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

- Intensificació en transferència de calor per conducció, convecció i radiació. Aspectes fenomenològics i de formulació matemàtica. Es farà un èmfasi especial a la convecció turbulenta i s'incidirà en fenomenologies superficialment tractades en l'assignatura de Termodinàmica (e.g. resolució zonal de fluxos amb capes límits i zona potencial, fenòmens de transferència de massa sense i amb reaccions químiques, fluxos bifàsics -condensació i ebullició-; transferència de calor en gasos rarificats,...).
- Presentació de tècniques avançades de càlcul i tècniques experimentals.
- Aplicacions a situacions concretes i il·lustratives de problemes actuals en enginyeria termoenergètica on es presenta de forma combinada fenomenologies de transferència de calor per conducció, convecció i radiació. Tot això amb l'objectiu d'optimitzar els equips i sistemes tèrmics, incrementant la seva eficiència energètica i reduint el seu impacte ambiental.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	30,0	24.00
Hores aprenentatge autònom	80,0	64.00
Hores grup petit	15,0	12.00

**Dedicació total:** 125 h

## CONTINGUTS

### Mòdul 1: Introducció. Transferència de calor per conducció

#### Descripció:

Tema 1. Introducció. Interès i motivació. Objectius de l'assignatura i la seva importància en el càlcul i disseny de sistemes i equips tèrmics.

Tema 2. Transferència de calor per conducció. Repàs de la fenomenologia i la seva formulació matemàtica. Repàs de les metodologies analítiques de resolució de casos permanents i transitoris.

Tema 3. Anàlisi numèric de la transferència de calor per conducció. Discretització de les equacions en coordenades rectangulars i en coordenades generalitzades adaptables als contorns sòlids. Mètodes de resolució de les equacions algebraïques resultants. Aspectes de programació i estructuració de codis. Exemples d'aplicacions a situacions diverses.

#### Objectius específics:

Consolidar els coneixements de l'alumnat en aspectes fenomenològics i de formulació matemàtica de la transferència de calor per conducció. Aprofundir en el tractament numèric amb tècniques de volums finits en la resolució d'aquestes fenomenologies. Desenvolupament de codi i estratègies de verificació. Estratègies de verificació de les solucions numèriques. Utilització del codi desenvolupat amb la finalitat d'anàlisi de situacions diverses (experimentació numèrica).

#### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

#### Competències relacionades:

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

#### Dedicació: 40h

Grup gran/Teoria: 10h

Grup petit/Laboratori: 5h

Aprenentatge autònom: 25h



## Mòdul 2: Transferència de calor per radiació

### Descripció:

Tema 4. Introducció. Deducció de l'equació integro-diferencial de la transferència de calor per radiació. Propietats radiants. Plantejament general del problema i condicions de contorn. Repàs del tractament de medis transparents a la radiació (factors de vista, mètode de les radiositats,...).

Tema 5. Transferència de calor per radiació en medis participants. Tècniques de resolució numèrica de la intensitat de radiació espectral i direccional en base a mètodes de volums finits.

### Objectius específics:

Consolidar els coneixements de l'alumnat en aspectes fenomenològics i de formulació matemàtica de la transferència de calor per radiació. Aprofundir en temàtiques pròpies de radiació en medis no participants i introducció en l'anàlisi i resolució numèrica de la transferència de calor per radiació.

### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

### Competències relacionades:

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

### Dedicació: 40h

Grup gran/Teoria: 10h

Grup petit/Laboratori: 5h

Aprenentatge autònom: 25h



### Mòdul 3: Transferència de calor per convecció

#### Descripció:

Tema 6. Introducció. Formulació matemàtica de la convecció. Anàlisi integral: formulació per sistemes aïllats i sistemes tancats; tensor de tensions; cinemàtica del moviment per partícules i per volums finits. Extensió a sistemes oberts. Segon principi de la termodinàmica en termes d'exergía. Anàlisi diferencial: equacions de conservació; equacions addicionals (energia cinètica, vorticitat, energia tèrmica, entropia, exergía); comentaris sobre irreversibilitats. Introducció al tractament de fluxos turbulents: models de turbulència (DNS, LES, RANS).

Tema 7. Aprofundiment en tècniques d'anàlisi dimensional i teoria de models en casos de convecció forçada (fluxos externs i fluxos interns) i en casos de convecció natural. Repàs de les tècniques de resolució numèrica de la convecció en casos unidimensionals permanents o transitoris.

Tema 8. Introducció a la resolució de les equacions de Navier-Stokes multidimensionals. Resolució d'equacions de convecció-difusió. Resolució de les equacions de momentum i l'equació de continuïtat: acoblament pressió-velocitat. Algorisme de resolució global.

Tema 9. Tòpics en convecció: resolució zonal de fluxos amb capes límit i zona potencial; fenòmens de transferència de massa sense i amb reaccions químiques; fluxos bifàsics (condensació i ebullició); fluxes de gasos a elevades velocitats; etc. Nota: part d'aquestes temàtiques es poden cursar de forma optativa en seminaris que organitzarà el professorat.

#### Objectius específics:

Consolidar els coneixements de l'alumnat en aspectes fenomenològics i de formulació matemàtica de la transferència de calor per convecció. Es presta una atenció especial a la formulació matemàtica de forma que pugui servir a l'alumnat per consolidar els seus coneixements en termodinàmica, dinàmica de fluids i transferència de calor i massa. Es presenta una visió general de les possibilitats de resolució de fluxos turbulents.

Consolidar temàtiques ja presentades en l'assignatura de Termodinàmica i que tenen una gran importància en el càlcul i disseny de sistemes i equips tèrmics. Ens referim a l'anàlisi dimensional i a les tècniques de resolució unidimensional (permanent o transitòria) de les equacions governants del fluid (continuïtat, quantitat de moviment i energia), així com el seu acoblament amb altres fenomenologies presents (conducció i radiació).

Introducció a la resolució multidimensional de les equacions de Navier-Stokes amb tècniques de volums finits. És important tant l'anàlisi de l'equació genèrica de convecció-difusió (representativa de qualsevol de les equacions de transport) com l'acoblament pressió-velocitat. L'alumnat ha de tenir una visió clara del plantejament de diverses situacions (equacions, condicions inicials i de contorn) i de les tècniques de resolució numèrica. El desenvolupament de pràctiques sobre aquestes temàtiques es optativa.

Durant el curs hi haurà la possibilitat de realitzar, de forma optativa, seminaris sobre temes diversos de transferència de calor per convecció (e.g. fenòmens de transferència de massa sense i amb reaccions químiques; resolució zonal de fluxos amb capes límit i zona potencial; fluxos bifàsics -condensació i ebullició-; transferència de calor en gasos rarificats; etc.). En cada curs es realitzarà una oferta específica de temes.

#### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

#### Competències relacionades:

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

#### Dedicació: 45h

Grup gran/Teoria: 10h

Grup petit/Laboratori: 5h

Aprenentatge autònom: 30h



## ACTIVITATS

### Classes de Teoria

**Descripció:**

Descripció: 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 3 mòduls. En aquesta classe es resolen problemes amb tot el grup.

**Objectius específics:**

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 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 Termodinàmica, com Refrigeració, Motors Tèrmics o Energia Solar.

**Material:**

Bibliografia bàsica.

Apunts del professor (reprografia i/o ATENEA).

**Lliurament:**

Aquesta activitat s'avalua conjuntament amb l'activitat 2 (problemes) mitjançant un primer examen parcial, un segon examen final, i finalment el treball de curs.

**Competències relacionades:**

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

**Dedicació:** 37h

Grup gran/Teoria: 20h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 15h



## Classes de problemes

### Descripció:

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.

### Objectius específics:

En finalitzar aquesta activitat, l'alumne ha de ser capaç d'aplicar els coneixements teòrics a la resolució de diferents tipus de problemes. Atinent a la metodologia l'alumne ha de ser capaç de:

- 1.- Entendre l'enunciat i analitzar el problema.
- 2.- Plantejar i desenvolupar un esquema de resolució del mateix.
- 3.- Resoldre el problema emprant les equacions plantejades, amb un adequat algorisme de resolució.
- 4.- Interpretar críticament els resultats.

### Material:

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

### Lliurament:

Aquesta activitat s'avalua conjuntament amb l'activitat 1 (teoria) mitjançant un examen parcial, un examen final i finalment el treball de curs.

### Competències relacionades:

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

### Dedicació: 53h

Grup gran/Teoria: 10h  
Grup petit/Laboratori: 13h  
Aprentatge autònom: 30h

## Treball de curs

### Descripció:

Resolució numèrica d'un problema basat en una situació plantejada pel professor o pel alumne.

### Objectius específics:

Comprobar si l'alumne es capaç d'assimilar i plasmar els coneixements adquirits en un cas concret.

### Material:

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

### Lliurament:

Es farà un informe que s'entregarà i serà defensat a final de curs.  
La qualificació de la prova equivaldrà com a mínim a un 40% de la qualificació global final.

### Competències relacionades:

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

### Dedicació: 30h

Aprentatge autònom: 30h



### Examen primer parcial

**Descripció:**

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

Aquest primer parcial no elimina matèria.

**Objectius específics:**

Mostrar el nivell de coneixements assolit en les activitats teòriques i de problemes.

**Material:**

Es permet l'ús del formulari que entregará el professor.

**Lliurament:**

L'examen es desenvoluparà lliurement i s'entregarà juntament amb l'enunciat degudament emplenat amb les dades personals requerides.

La qualificació d'aquesta activitat val un màxim del 25% de la qualificació global final.

**Competències relacionades:**

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

**Dedicació:** 2h

Grup gran/Teoria: 2h

### Examen 2on parcial (final)

**Descripció:**

Desenvolupament de l'examen final de l'assignatura. Aquesta prova inclou tot el contingut de l'assignatura. En aquesta prova s'establirà el mecanisme per reconduir els alumnes que no hagin aprovat l'examen del primer parcial.

Inclou aspectes teòrics i desenvolupament de problemes.

**Objectius específics:**

Mostrar el nivell assolit en les activitats teòriques i de problemes.

**Material:**

Es permet l'ús del formulari que entregará el professor.

**Lliurament:**

L'examen es desenvoluparà lliurement i s'entregarà juntament amb l'enunciat degudament emplenat amb les dades personals requerides.

La qualificació d'aquesta activitat val almenys un 35% de la qualificació global final.

**Competències relacionades:**

CEETERM1. Coneixements i capacitat per a l'anàlisi dels processos de transferència de calor que permeten el disseny i càlcul de equips i aplicacions tèrmiques.

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.

**Dedicació:** 3h

Grup gran/Teoria: 3h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

---

Examen 1er parcial, pes: com a màxim un 25%.

Examen 2on parcial, pes: com a mínim un 35%.

El treball de curs és imprescindible per superar l'assignatura. El seu es de com a mínim un 40% de la nota final. Amb aquesta prova l'alumne podrà recuperar/millorar les notes dels exàmens parcial i final.

Per aquells estudiants que compleixin els requisits i es presentin a l'examen de reavaluació, la qualificació de l'examen de reavaluació 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 reavaluació és inferior a 5.0 substituirà la inicial únicament en el cas que sigui superior. Si la nota final després de la reavaluació és superior o igual a 5.0, la nota final de l'assignatura serà aprovat 5.0.

## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Mills, Anthony F. Transferencia de calor. México DF [etc.]: Irwin, 1995. ISBN 8480861940.
- Kreith, F.; Bohn, M.S. Principios de transferencia de calor. 6a ed. Madrid: International Thomson, cop. 2002. ISBN 8497320611.
- Incropera, F.P.; DeWitt, D.P. Fundamentos de transferencia de calor. 4ª ed. México: Prentice Hall, 1999. ISBN 9701701704.
- Eckert, E.R.G.; Drake, R.M. Analysis of heat and mass transfer. Washington: Hemisphere, 1972. ISBN 0891165533.
- Lienhard IV, J.H.; Lienhard V, J.H. A heat transfer textbook [en línia]. 3rd ed. Cambridge: Phlogiston Press, 2001 [Consulta: 12/05/2014]. Disponible a: <http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt.html>.

### Complementària:

- Bradshaw, Peter. An introduction to turbulence and its measurement. Oxford; New York: Pergamon Press, 1971. ISBN 080166202.
- Rohsenow, W.M.; Hartnett, J.P; Cho, Y.I. (eds.). Handbook of heat transfer. 3rd ed. New York [etc.]: McGraw-Hill, cop. 1998. ISBN 0070535558.
- Libby, Paul A. Introduction to turbulence. Bristol, PA: Taylor & Francis, 1996. ISBN 1560321008.
- Wilcox, David C. Turbulence modelling for CFD. 2nd ed. La Cañada, CA: DCW Industries, 1998. ISBN 0963605151.
- Patankar, Suhas V. Numerical heat transfer and fluid flow. Washington: New York: Hemisphere; McGraw-Hill, cop. 1980. ISBN 9780891165224.
- Cebeci, T.; Bradshaw, P. Physical and computational aspects of convective heat transfer. New York: Springer, 1984. ISBN 0387120971.

## RECURSOS

---

### Material audiovisual:

- Apunts fets pel professorat de l'assignatura