

# Guia docent

## 220111 - TT - Termodinàmica

Última modificació: 28/07/2022

**Unitat responsable:** Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

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

**Titulació:** GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS (Pla 2010). (Assignatura obligatòria).

**Curs:** 2022

**Crèdits ECTS:** 6.0

**Idiomes:** Català, Castellà

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Castro Gonzalez, Jesus

**Altres:** Carles David Pérez Segarra  
Oliva Llena, Asensio

### 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. Coneixements aplicats d'enginyeria tèrmica

### 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). 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 industrial.

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'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

---

Formació bàsica, en un primer nivell, en transferència de calor per conducció, convecció i radiació: aspectes fenomenològics, formulació matemàtica (lleis bàsiques de conservació i lleis constitutives) i tècniques de resolució analítica i numèrica.

Introducció en temàtiques d'aplicació tecnològica amb la finalitat de consolidar la formació bàsica i de donar unes primeres bases de càlcul i disseny de sistemes i equips tèrmics amb la finalitat d'augmentar la seva eficiència energètica i de reduir l'impacte ambiental. Es presentaran exemples relacionats amb els camps dels bescanviadors de calor, captadors solars, balanç de càrregues tèrmiques en sales i edificis, refrigeració de components elèctrics i electrònics.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

---

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

**Dedicació total:** 150 h



## CONTINGUTS

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

#### Descripció:

Tema 1. Introducció. Interès i motivació. Descripció de les fenomenologies bàsiques (conducció, convecció, radiació). Exemples d'aplicació industrial i social.

Tema 2. Transferència de calor per conducció. Formulació de l'equació de la transferència de calor per conducció (equació de l'energia+llei de Fourier) en forma integral i diferencial. Condicions inicials i de contorn.

Tema 3. Anàlisi de casos de resolució analítica en règim permanent: transferència de calor en plaques, cilindres, esferes, parets compostes, aletes, etc.

Tema 4. Anàlisi de casos de resolució analítica en règim transitori: transferència de calor en plaques, cilindres i esferes. Extensió al cas de situacions bidimensionals i tridimensionals.

Tema 5. Introducció als mètodes numèrics en transferència de calor: plantejament bàsic; discretització de les equacions; resolució de grans sistemes d'equacions algebraiques; exemples d'aplicacions a situacions multidimensionals i anàlisi de transitoris.

#### Objectius específics:

Llei de Fourier, raonar-la. Què és i què representa la conductivitat tèrmica. Deduir - raonar les unitats en què ve donada.

Relacionar el flux de calor en diferents direccions espaials  $x$ ,  $y$ ,  $n$ .

Saber i deduir l'equació diferencial de la conducció de calor en distintes referències (coordenades Cartesianes, cilíndriques, esfèriques), en transitori, amb propietats físiques variables, amb fonts internes ...

Entendre què és l'equació de Newton de la convecció, la seva relació amb la conducció de calor en l'última capa de fluid en contacte amb el contorn, ...

Saber resoldre la conducció en casos unidimensionals i permanents (plaques, parets cilíndriques, ...), casos unidimensionals amb fonts internes (plaques, cilindres, barres). Concepte del radi - diàmetre crític. Saber fer els exercicis/casos fets a classe i els proposats sobre parets planes, cilíndriques, barres ... Amb "n" capes de materials, amb o sense fonts internes, ...

Entendre bé la teoria d'aletes, les hipòtesis que comporta, la deducció de l'equació diferencial per diferents geometries d'aletes (secció transversal rectangular, aletes cilíndriques, aletes de secció variable en  $x$ , ...). Casos d'aletes amb propietats físiques variables. Recordar les formes de considerar les condicions de contorn en una aleta en voladís. Saber resoldre aquells casos d'aletes que tenen solució analítica: aleta empotrada a dos parets que separen tres fluids; estructures aletejades formades per creuaments d'aletes, ...

Saber resoldre els problemes transitoris que tenen solució analítica (plaques, cilindres - barres, paral·lepípedes, cilindre finit). Recordar el plantejament adimensionalitzat de les equacions amb el número de Biot i de Fourier (no cal aprendre fórmules de memòria) i saber resoldre els problemes proposats amb solució numèrica donada a classe.

Saber com es resol numèricament pel mètode d'Euler o similars una equació diferencial ordinària.

Entendre bé els mètodes numèrics de volums finits i diferències finites, sabent-los explicar sobre casos concrets (una aleta, un domini rectangular, un domini paret - aleta, ...) tant en situacions permanents com transitòries, i amb propietats físiques constants o variables. S'ha de saber discretitzar el domini, fer els balanços i comentar l'algorisme de resolució. Conèixer els mètodes de Gauss - Seidel, el TDMA o de Thomas, el Gauss - Seidel suportat amb el TDMA.

#### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

#### Dedicació: 40h

Grup gran/Teoria: 17h

Grup mitjà/Pràctiques: 3h

Aprenentatge autònom: 20h

## Mòdul 2. Transferència de calor per convecció

### Descripció:

Tema 6. Introducció. Tipus de fluxos i tipus de convecció. Deducció de les equacions bàsiques de conservació en forma diferencial (equacions de Navier-Stokes). Plantejament general del problema i condicions inicials i de contorn. Breu introducció a l'anàlisi de fluxos turbulents.

Tema 7. Convecció forçada. Fluxos externs i fluxos interns en règim laminar i turbulent. Anàlisi adimensional: obtenció dels grups característics. Exercicis d'aplicació.

Tema 8. Convecció natural. Fluxos externs i fluxos interns en règim laminar i turbulent. Anàlisi adimensional: obtenció dels grups característics. Exercicis d'aplicació.

Tema 9. Tècniques de resolució numèrica en casos unidimensionals permanents o transitoris. Acoblament amb els elements sòlids.

### Objectius específics:

Formulació integral de la convecció (equacions de conservació de la massa, quantitat de moviment i energia).

Deducció de les equacions de la convecció en forma diferencial (equacions de Navier-Stokes).

Anàlisi dimensional. Utilitat d'aquesta tècnica i procediment d'obtenció dels grups característics en casos de convecció forçada i de convecció natural (o lliure).

Justificació de les correlacions utilitzades per calcular els coeficients superficials de transferència de calor en convecció forçada i natural. Metodologia de càlcul de coeficients superficials de transferència de calor. Repassar casos de convecció forçada (flux en placa isoterma, flux exterior en un tub i en banc de tubs -sense i amb parets limitants -, flux en l'interior de tubs, ...) i convecció natural (flux en cavitats, flux exterior en cilindres horitzontals, cilindre vertical, placa vertical, ...).

### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

### Dedicació: 38h

Grup gran/Teoria: 16h

Grup mitjà/Pràctiques: 2h

Aprenentatge autònom: 20h

## Mòdul 3. Transferència de calor per radiació

### Descripció:

Tema 10. Introducció. Lleis bàsiques. Deducció de l'equació integro-diferencial de la transferència de calor per radiació. Propietats radiant. Plantejament general del problema i condicions de contorn.

Tema 11. Transferència de calor per radiació en medis no participants a la radiació. Cas de superfícies grises i difuses: factors de vista i mètode de les radiositats. Exemples d'aplicació.

Tema 12. Introducció a la transferència de calor en medis transparents a la radiació.

### Objectius específics:

Conceptes bàsics de radiació: flux de partícules (fotons) vs. ones electromagnètiques. Què és la intensitat radiant específica i entendre el seu caràcter espectral i direccional. Concepte d'absortivitat, reflectivitat i transmissivitat direccional i espectral. Cos negre i intensitat radiant específica del mateix. Concepte d'emissivitat. Llei de Kirchoff de la radiació.

Hipòtesis usuals: superfície opaca, grisa i difusa. Medi transparent a la radiació. Concepte de factor de vista, les seves propietats i el seu càlcul. Exemples de la seva avaluació en situacions tridimensionals i en situacions bidimensionals (aplicació del teorema de Hottel). Concepte de radiositat i d'irradiació. Formulació per superfícies grises i difuses (evitar aprendre de memòria les fórmules, molt important que quedi clar el concepte físic de cada terme). Avaluació del calor net de radiació. Aplicació a la resolució de problemes diversos.

### Activitats vinculades:

Classes de teoria, problemes i treball de curs.

### Dedicació: 22h

Grup gran/Teoria: 8h

Grup mitjà/Pràctiques: 2h

Aprenentatge autònom: 12h



#### Mòdul 4. Problemes combinats

**Descripció:**

Tema 13. Problemes on es presentin de forma combinada mecanismes de transferència de calor per conducció, convecció i radiació. Realització d'exercicis amb possible aplicació a camps d'interès industrial (bescanviadors de calor, sistemes actius d'aprofitament d'energia solar - captadors solars -; sistemes passius d'aprofitament de l'energia solar; balanç de càrregues tèrmiques en sales i edificis; etc.).

**Objectius específics:**

Problemes combinats (conducció+convecció+radiació). Molt important els casos realitzats a classe: paret vertical composta que separa dos fluids; bescanviador de doble tub; hivernacle; ... Prestar atenció als diferents nivells de simulació (analític, numéric unidimensional o multidimensional, formulació en règim permanent o transitori, etc.). En el cas de resolució utilitzant mètodes analítics presteu atenció a la formulació de les equacions i als algorismes de resolució del sistema d'equacions resultant. En el cas de resolució numèrica i pel tractament dels fluids cal tenir molt present el mètode tram a tram per l'obtenció del mapa de velocitats, pressions i temperatures. L'anàlisi de la conducció es realitza utilitzant tècniques de volums finits i d'acord amb les explicacions realitzades en el tema de la conducció. La formulació de la radiació es farà d'acord amb el mètode de les radiositats. Una vegada les equacions discretes s'han escrit i els coeficients empírics (coeficients de transferència de calor i fregament) i factors de vista s'han evaluat, cal tenir clar com és la resolució del sistema d'equacions discretes que s'obté en base als algorismes globals de resolució explicats tant pels casos de règim permanent com transitori.

**Activitats vinculades:**

Classes de problemes i treball de curs.

**Dedicació:** 51h

Grup gran/Teoria: 5h

Grup mitjà/Pràctiques: 8h

Aprenentatge autònom: 38h

## ACTIVITATS

#### CLASSES DE TEORIA

**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 4 àrees temàtiques o temes.

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 Termodinàmica 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 i un segon examen final.

**Dedicació:** 65h

Grup gran/Teoria: 25h

Aprenentatge autònom: 40h



## 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 i un examen final.

### Dedicació: 75h

Grup gran/Teoria: 21h

Grup mitjà/Pràctiques: 14h

Aprenentatge autònom: 40h

## TREBALL DE CURS

### Dedicació: 10h

Aprenentatge autònom: 10h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

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

Prova parcial de control. Ponderació: 10% de la nota final.

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

En el cas que la nota de l'examen parcial sigui inferior a 5, hi haurà al final del curs la possibilitat de reconduir aquesta nota. L'aplicació de la reconducció substituirà a la qualificació inicial sempre que sigui superior i amb un màxim de 5 punts. Aquest examen es farà el dia fixat al calendari acadèmic per a l'examen final.

La correcta presentació i defensa de la pràctica numèrica voluntària permetrà incrementar la nota final obtinguda per l'estudiant sempre que aquesta sigui superior a 5.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

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.



## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Holman, J. P. Transferencia de calor. México: Compañía Editorial Continental, 1986. ISBN 9682606497.
- Chapman, A. J. Transmisión del calor. 3ª ed. Madrid: Bellisco, 1990. ISBN 8485198425.
- Incropera, F. P.; DeWitt, D. P. Fundamentos de transferencia de calor. 4ª ed. México: Prentice Hall, 1999. ISBN 9701701704.
- Isachenko, V. P.; Osipova, V.; Sukomel, A. Transmisión de calor. Barcelona: Marcombo-Boixareu, 1973. ISBN 8426702392.
- Mills, A. F. Transferencia de calor. México: Irwin, 1995. ISBN 8480861940.
- Kreith, F.; Bohn, M. S. Principios de transferencia de calor. 6ª ed. Madrid: International Thomson, 2002. ISBN 8497320611.
- Lienhard IV, J. H.; Lienhard V, J. H. A heat transfer textbook [en línia]. 3rd ed. Cambridge: Phlogiston Press, 2003 [Consulta: 14/05/2020]. Disponible a: <http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt.html>.
- Çengel, Y.A. Heat and mass transfer: a practical approach. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2007. ISBN 0073129305.
- Welty, J. R.; Wicks, C. E.; Wilson, R. E. Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. 2ª ed. México: Limusa, 1999. ISBN 9681858964.

### Complementària:

- Wong, H. Y. Handbook of essential formulae and data on heat transfer for engineers. New York: Longman, 1977. ISBN 0582460506.
- Rohsenow, W. M.; Hartnett, J. P.; Cho, Y. I. Handbook of heat transfer. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0070535558.
- Eckert, E. R. G.; Drake, R. M. Heat and mass transfer. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1959.
- Patankar, S. V. Numerical heat transfer and fluid flow [en línia]. New York: McGraw-Hill, 1980 [Consulta: 16/11/2022]. Disponible a: <https://www-taylorfrancis-com.recursos.biblioteca.upc.edu/books/mono/10.1201/9781482234213/numerical-heat-transfer-fluid-flow-suhas-patankar>. ISBN 9780891165224.

## RECURSOS

---

### Material audiovisual:

- Apunts realitzats pel professorat de l'assignatura. Transparències, sobre parts de teoria o problemes proposats que es faran servir a classe

### Altres recursos:

- Apunts fets pel professorat de l'assignatura.