

## 240052 - Termodinàmica

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:	GRAU EN ENGINYERIA DE MATERIALS (Pla 2010). (Unitat docent Obligatòria) GRAU EN ENGINYERIA QUÍMICA (Pla 2010). (Unitat docent Obligatòria) GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS (Pla 2010). (Unitat docent Obligatòria)		
Crèdits ECTS:	6	Idiomes docència:	Català

### Professorat

Responsable:	XAVIER RAMIS JUAN
Altres:	XAVIER FERNÁNDEZ FRANCOS OSMAN KONURAY JOSEP L. MARTÍN GODOY JOSEP M. MORANCHO LLENA JOSEP M. SALLA TARRAGÓ

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

#### Específiques:

1. Coneixement de la termodinàmica aplicada i transmissió de calor. Principis bàsics i la seva aplicació a la resolució de problemes d'enginyeria.

### Metodologies docents

Durant les classes de teoria i problemes s'exposaran els principals aspectes teòrics de cadascun dels temes i es resoldran problemes d'aplicació pràctica. Alguns d'aquests problemes els resoldran els estudiants individualment o en grup i les dades necessàries per a resoldre's s'obtidran a partir de taules i gràfiques. També es proposarà als alumnes realitzar exercicis de disseny i final obert, fora de l'horari de classe, en què hauran de pensar en com es realitza un determinat procés, plantejar l'aplicació dels coneixements teòrics i procedir a la seva resolució numèrica. Per a resoldre aquest tipus de problema es podrà utilitzar algun programa informàtic tipus EES o equivalent. Tant els exercicis fets pels alumnes a classe com fora d'ella podran formar part de l'avaluació continuada de l'assignatura. Els alumnes realitzaran cinc sessions de pràctiques de laboratori de tres hores cadascuna. Totes les sessions de laboratori consistiran en la realització experimental d'una pràctica.

### Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

L'objectiu principal de l'assignatura és aplicar els principis de la Termodinàmica a processos d'interès industrial, com els de transformació de l'energia. Es dedicarà una especial atenció als anomenats cicles termodinàmics de producció de potència, de producció de fred i calor i a la termodinàmica de les reaccions de combustió i de l'aire humit.

Al finalitzar l'assignatura l'estudiantat ha de ser capaç de:

- Plantejar i resoldre els balanços d'energia, entropia i exergja de cicles termodinàmics i de dispositius i processos senzills relacionats amb la transformació de l'energia.
- Utilitzar taules i gràfiques de propietats termodinàmiques i d'altres eines que permeten trobar aquestes propietats.
- Analitzar si els resultats obtinguts en la resolució d'un problema són coherents amb el sistema estudiat.
- Medir experimentalment les propietats de fenòmens relacionats amb els continguts de l'assignatura.

## 240052 - Termodinàmica

### Hores totals de dedicació de l'estudiantat

Dedicació total: 150h	Hores grup gran:	50h	33.33%
	Hores grup mitjà:	0h	0.00%
	Hores grup petit:	10h	6.67%
	Hores activitats dirigides:	0h	0.00%
	Hores aprenentatge autònom:	90h	60.00%

## 240052 - Termodinàmica

### Continguts

<p>Tema 1. Propietats de les substàncies pures</p>	<p>Dedicació: 34h</p> <p>Grup gran/Teoria: 5h Grup mitjà/Pràctiques: 6h Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 21h</p>
<p>Descripció: Superfície PvT d'una substància pura. Diagrames Pv, Tv i PT. Taules i diagrames de propietats. Formes analítiques de relacionar propietats PvT. Càlcul de propietats termodinàmiques a partir del mètode de les funcions de discrepància.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 1. Pràctica 1. Propietats PvT d'una substància pura. Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Adquirir una metodologia per estimar propietats termodinàmiques de substàncies pures. Aplicar el balanç d'energia per a sistemes tancats a la resolució de problemes.</p>	
<p>Tema 2. Anàlisi energètica de sistemes oberts</p>	<p>Dedicació: 21h 30m</p> <p>Grup gran/Teoria: 3h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 3h Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 13h</p>
<p>Descripció: Balanç de massa i energia en sistemes oberts. Equació de continuïtat. Anàlisi en un volum de control per a sistemes estacionaris i transitoris. Aplicació del balanç d'energia en sistemes d'interès en enginyeria: ompliment i buidat de dipòsits, calderes, vàlvules, intercanviadors, toveres, difusors, compressors i turbines.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 2. Pràctica 2. Compressió de gasos a baixes pressions. Activitat 6. Prova individual d'avaluació continuada a classe Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Aplicar els balanços de massa i energia en sistemes oberts a la resolució de problemes.</p>	

## 240052 - Termodinàmica

<p>Tema 3. Balanços d'entropia i d'exergia en sistemes oberts</p>	<p>Dedicació: 15h Grup gran/Teoria: 3h Grup mitjà/Pràctiques: 3h Aprentatge autònom: 9h</p>
<p>Descripció: Balanç d'entropia en sistemes oberts. Anàlisi en un volum de control. Rendiment isentròpic. Diagrames T-s i h-s. Exergia. Treball perdut. Balanç d'exergia en sistemes oberts estacionaris. Rendiment exergètic.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Utilitzar dades d'entropia per calcular rendiments isentròpics. Aplicar el balanç d'entropia i exergia en les seves diferents formulacions a la resolució de problemes.</p>	
<p>Tema 4. Cicles de potència de turbina de vapor</p>	<p>Dedicació: 18h 30m Grup gran/Teoria: 3h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 4h Aprentatge autònom: 11h</p>
<p>Descripció: Mètode d'anàlisi dels cicles termodinàmics. Cicle de Rankine. Millores: sobreescalfament, rescalfament intermedi, regeneració. Cogeneració. Anàlisi exergètic d'una planta de turbina de vapor.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 6. Prova individual d'avaluació continuada a classe Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Realitzar diagrames esquemàtics i representacions T-s de cicles de potència de vapor. Analitzar energèticament i exergèticament els cicles de potència de Rankine.</p>	

## 240052 - Termodinàmica

<p>Tema 5. Cicles de potència de gas</p>	<p>Dedicació: 19h</p> <p>Grup gran/Teoria: 3h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 2h 30m Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 11h</p>
<p>Descripció: Motors de combustió interna alternatius. Diagrama indicador. Cicle d'Otto amb aire estàndard. Cicle Diesel amb aire estàndard. Cicle Dual amb aire estàndard. Cicles d'Ericsson i Stirling. Turbina de gas oberta i tancada. Cicle de Brayton amb aire estàndard. Cicle de Brayton regeneratiu. Turbina de gas amb rescalfament i refredament intermedi. Cicle combinat de gas i vapor.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 3. Pràctica 3. Motor Stirling Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Analitzar els cicles d'Otto, Diesel i Dual. Analitzar energèticament i exergèticament els cicles de turbina de gas.</p>	
<p>Tema 6. Cicles de refrigeració i bombes de calor</p>	<p>Dedicació: 15h</p> <p>Grup gran/Teoria: 2h Grup mitjà/Pràctiques: 2h Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 9h</p>
<p>Descripció: Cicle de refrigeració per compressió de vapor. Bomba de calor. Coeficient de funcionament. Propietats dels refrigerants. Cicles de refrigeració d'etapes múltiples i en cascada. Sistemes de refrigeració per gas.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 4. Pràctica 4. Cicle de refrigeració per compressió de vapor amb R-134a. Activitat 6. Prova individual d'avaluació continuada a classe Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Analitzar el cicles de refrigeració per compressió de vapor i de refrigeració amb gas.</p>	

## 240052 - Termodinàmica

<p>Tema 7. Mescles no reactivas de gasos ideals. Aire humit</p>	<p>Dedicació: 15h 30m Grup gran/Teoria: 2h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 2h Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 9h</p>
<p>Descripció: : Descripció de les mescles de gasos ideals. Conceptes bàsics de psicrometria. Aire humit. Balanços de massa i d'energia en sistemes amb aire humit. Temperatura de saturació adiabàtica i de bulb humit. Diagrama psicromètric. Processos de condicionament d'aire.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 5. Pràctica 5. Aire humit. Processos de condicionament d'aire Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Aplicar els principis de conservació de massa i energia a l'anàlisi de diferents processos de condicionament d'aire. Utilitzar el diagrama psicromètric per analitzar processos de condicionament d'aire.</p>	
<p>Tema 8. Mescles reactivas. Combustió</p>	<p>Dedicació: 11h 30m Grup gran/Teoria: 2h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 2h Aprentatge autònom: 7h</p>
<p>Descripció: Termodinàmica dels sistemes reactius. Combustió. Aire estequiomètric i excés d'aire. Balanços de massa i d'energia en mescles reactivas. Entropies absolutes. Entalpies estàndard de combustió i de formació. Potències calorífiques superior i inferior. Temperatura adiabàtica de flama. Balanç d'entropia en sistemes reactius. Anàlisi exergètic.</p> <p>Activitats vinculades: Activitat 8. Resolució de problemes fora de l'aula i/o Activitat 7. Prova en grup.</p> <p>Objectius específics: Aplicar balanços de matèria i energia a les mescles reactivas.</p>	

## 240052 - Termodinàmica

### Planificació d'activitats

<p><b>PRÀCTICA 1. PROPIETATS PVT D'UNA SUBSTÀNCIA PURA</b></p>	<p>Dedicació: 7h 30m Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 4h 30m</p>
<p><b>Descripció:</b> Realitzar en grups de dues persones una pràctica de laboratori sobre la determinació experimental de propietats PvT d'una substància pura.</p> <p><b>Material de suport:</b> Muntatge experimental per la determinació de la pressió, el volum i la temperatura d'una substància pura confinada en un sistema tancat.</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b> S'avaluarà l'activitat mitjançant el pre-laboratori, l'informe de post-laboratori i la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.</p> <p><b>Objectius específics:</b> Interpretar la superfície PvT de substàncies pures i les seves projeccions. Identificar els diferents estats d'un fluid. Identificar els diferents tipus d'equacions d'estat.</p>	
<p><b>PRÀCTICA 2. COMPRESSIÓ DE GASOS A BAIXES PRESSIONS</b></p>	<p>Dedicació: 7h 30m Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 4h 30m</p>
<p><b>Descripció:</b> Realitzar en grups de dues persones una pràctica de laboratori sobre la compressió de gasos a baixes pressions.</p> <p><b>Material de suport:</b> Muntatge experimental consistent en un cilindre-pistó amb tres sensors que permeten la mesura en temps real de la pressió, la temperatura i el volum.</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b> S'avaluarà l'activitat mitjançant el pre-laboratori, l'informe de post-laboratori i la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.</p> <p><b>Objectius específics:</b> Identificar que el treball i la calor són funcions de la trajectòria. Distingir els conceptes de procés isotèrmic, politròpic i adiabàtic. Relacionar, analíticament i de forma gràfica, coeficient politròpic, treball i calor. Comprendre el procés de funcionament d'una bomba de calor i d'un cicle de refrigeració.</p>	
<p><b>PRÀCTICA 3. MOTOR STIRLING</b></p>	<p>Dedicació: 7h 30m Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 4h 30m</p>
<p><b>Descripció:</b> Realitzar en grups de dues persones una pràctica de laboratori sobre un motor que utilitza aire com a fluid de treball i alcohol com a combustible i que opera segons un cicle Stirling.</p> <p><b>Material de suport:</b> Muntatge experimental consistent en un motor Stirling amb diferents sensors que permeten la mesura en temps real de la pressió, el volum i la temperatura del gas a l'interior del motor i el nombre de voltes que dona el motor.</p>	

## 240052 - Termodinàmica

Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:

S'avaluarà l'activitat mitjançant el pre-laboratori, l'informe de post-laboratori i la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.

Objectius específics:

Analitzar el cicle Stirling.

Descriure el principi de funcionament dels motors i cicles de refrigeració de gas.

Determinar el rendiment i el coeficient d'eficiència dels cicles Stirling reals i ideals.

### PRÀCTICA 4. CICLE DE REFRIGERACIÓ POR COMPRESSIÓ DE VAPOR AMB R-134A

Dedicació: 7h 30m

Grup petit/Laboratori: 3h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

Descripció:

Realitzar en grups de dues persones una pràctica de laboratori sobre un cicle de refrigeració per compressió de vapor que funciona amb R-134a com a refrigerant.

Material de suport:

Muntatge experimental consistent en un cicle de refrigeració per compressió de vapor amb R-134a. Manòmetres, termòmetres, rotàmetres i vatímetre que permeten mesurar diferents paràmetres experimentals de funcionament.

Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:

S'avaluarà l'activitat mitjançant el pre-laboratori, l'informe de post-laboratori i la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.

Objectius específics:

Analitzar un cicle de refrigeració per compressió de vapor.

Representar el diagrama P-h d'un cicle de refrigeració per compressió de vapor a partir de dades experimentals.

Aplicar balanços d'energia a un volum de control.

### PRÀCTICA 5. CALOR DE COMBUSTIÓ. BOMBA CALORIMÈTRICA

Dedicació: 7h 30m

Grup petit/Laboratori: 3h

Aprenentatge autònom: 4h 30m

Descripció:

Realitzar en grups de dues persones una pràctica de laboratori sobre la determinació del poder calorífic d'una substància sòlida orgànica.

Material de suport:

Bomba calorimètrica de volum constant. Bombona d'oxigen gas pressuritzat. Termòmetre de precisió.

Combustibles sòlids: àcid benzoic, naftalè, difenil.

Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:

S'avaluarà l'activitat mitjançant el pre-laboratori, l'informe de post-laboratori i la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.

Objectius específics:

Aplicar balanços de matèria i energia en mesclures reactives.

Calcular les energies internes de combustió a partir de les entalpies de combustió.

Utilitzar conceptes com: excés d'oxigen, temperatura adiabàtica, entalpia de combustió.



## 240052 - Termodinàmica

<b>PROVES INDIVIDUALS D'AVALUACIÓ CONTINUADA A CLASSE</b>	Dedicació: 1h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 0h 30m Aprentatge autònom: 1h
<p><b>Descripció:</b>  Prova individual a l'aula consistent en la realització d'un exercici per tal d'avaluar si s'han assolit els continguts mínims necessaris indispensables dels temes fins a la data en què es realitza la prova.</p> <p><b>Material de suport:</b>  Enunciat de la prova, calculadora i taules de Termodinàmica.</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b>  Devolució de la prova resolta, amb la corresponent retroalimentació del professorat.</p> <p><b>Objectius específics:</b>  Assolir els objectius específics del tema en el que es realitza la prova.</p>	
<b>PROVES EN GRUP</b>	Dedicació: 3h 30m Grup mitjà/Pràctiques: 1h 30m Aprentatge autònom: 2h
<p><b>Descripció:</b>  Sessió puzzle amb grups base de tres persones. Es distribuïran problemes numèrics de solució única als membres del grup, de tal manera que cada problema cobreixi parcialment els objectius d'aprenentatge que es pretenen assolir. Després de la resolució dels problemes pels diferents membres del grup, a la part final de la sessió el grup consensua una solució definitiva i la lliura al professor.</p> <p><b>Material de suport:</b>  Enunciat dels problemes, calculadora, taules de Termodinàmica, apunts de classe.</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b>  Devolució dels problemes resolts, amb la corresponent retroalimentació del professorat, a la sessió següent i reflexió en grup sobre els errors més destacables si s'escau. Alternativament es podrà lliurar la resolució dels problemes a ATENEA.</p> <p><b>Objectius específics:</b>  Assolir els objectius específics del tema en el que es realitza el taller.</p>	
<b>RESOLUCIÓ DE PROBLEMES FORA DE L'AULA</b>	Dedicació: 1h Aprentatge autònom: 1h
<p><b>Descripció:</b>  Resolució de problemes individualment fora de l'aula per tal de que l'alumnat assoleixi progressivament els objectius específics d'aprenentatge.</p> <p><b>Material de suport:</b>  Enunciats del problemes, calculadora, taules de Termodinàmica, llibres i apunts de classe.</p> <p><b>Descripció del lliurament esperat i vincles amb l'avaluació:</b>  Devolució dels problemes resolts, amb la corresponent retroalimentació del professorat.</p> <p><b>Objectius específics:</b>  Assolir els objectius específics del tema en el que es realitza l'activitat.</p>	

## 240052 - Termodinàmica

### EXAMEN PARCIAL

**Descripció:**

Avaluació dels coneixements adquirits.

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

Examen resolt.

### EXAMEN FINAL

**Descripció:**

Avaluació dels coneixements adquirits

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

Examen resolt.

### Sistema de qualificació

L'avaluació constarà de quatre notes:

- 1) Nota examen final (Nef). Nef és la nota de la prova de conjunt que es realitzarà en la data que fixi l'Escola i constarà fonamentalment d'un conjunt d'exercicis numèrics. Per a la realització de l'examen final es podrà portar un formulari d'un full d'extensió, el llibret de gràfiques i taules i la calculadora.
- 2) Nota prova parcial (Npp). Npp és la nota de la prova parcial que es realitzarà a meitat del quadrimestre en la data que fixi l'Escola i constarà de preguntes teòriques i exercicis numèrics. Per a la realització de la prova parcial no està permès portar altra documentació que el llibret de gràfiques i taules i la calculadora.
- 3) Nota laboratori (Nlab). Aquesta nota correspon a la nota de les pràctiques de laboratori i s'obtindrà a partir del treball de pre-laboratori, del informe de post-laboratori i de la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.
- 4) Nota d'avaluació continuada (Nac). Un 40% d'aquesta nota s'obtindrà a partir de tres proves individuals d'avaluació amb data prèviament determinada que es desenvoluparan al llarg del curs. El 60% per cent restant es fixarà a partir de la valoració que el professor faci del rendiment de l'estudiant al llarg del curs utilitzant paràmetres com entrega d'exercicis resolts fora de l'aula i proves en grup.

Els estudiants amb les pràctiques aprovades que vulguin convalidar-les, hauran de passar pel Laboratori de Termodinàmica (planta 8) i dir-ho expressament. Les pràctiques es convalidaran amb la nota de pràctiques obtingudes.

La nota final es calcula com el valor màxim de les dues fórmules següents:

$$N_{\text{final}} = 0,55 \cdot N_{\text{ef}} + 0,1 \cdot N_{\text{pp}} + 0,1 \cdot N_{\text{lab}} + 0,25 \cdot N_{\text{ac}}$$

$$N_{\text{final}} = 0,65 \cdot N_{\text{ef}} + 0,1 \cdot N_{\text{lab}} + 0,25 \cdot N_{\text{ac}}$$

La nota final de reavaluació,  $N_{\text{final, re}}$  es calcula d'acord a la fórmula:

$$N_{\text{final, re}} = 0,9 \cdot N_{\text{ef, re}} + 0,1 \cdot N_{\text{lab}}$$

on  $N_{\text{ef, re}}$  és la nota de l'examen de reavaluació

## 240052 - Termodinàmica

### Bibliografia

#### Bàsica:

Çengel, Yunus A. Termodinàmica. 6a ed. Mèxico: McGraw-Hill Interamericana, 2009. ISBN 9789701072868.

Moran, Michael J. Fundamentos de termodinàmica tècnica. 2a ed. Barcelona: Reverté, 2004. ISBN 8429143130.

#### Complementària:

Van Wylen, Gordon John. Fundamentos de termodinàmica. 2a ed. Mèxico: Limusa-Wiley, 1999. ISBN 9681851463.

Wark, K. Termodinàmica. 6a ed. Madrid: McGraw-Hill, 2001. ISBN 844812829X.

#### Altres recursos:

¿ Taules i gràfiques de propietats termodinàmiques.

¿ Termodinàmica. Test i problemes.

¿ A la plataforma ATENEA es podrà trobar material docent, com per exemple, guions de pràctiques de laboratori, enunciats de problemes i qüestionaris i proves tipus test amb la seva resolució. També es podrà trobar material audiovisual i informàtic propi de cada professor.