

# Guia docent

## 240752 - 240752 - Termodinàmica

Última modificació: 16/05/2023

**Unitat responsable:** Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona  
**Unitat que imparteix:** 724 - MMT - Departament de Màquines i Motors Tèrmics.

**Titulació:** GRAU EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS I ANÀLISI ECONÒMICA (Pla 2018). (Assignatura obligatòria).

**Curs:** 2023      **Crèdits ECTS:** 6.0      **Idiomes:** Anglès

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Fernandez Francos, Xavier

**Altres:** Fernandez Francos, Xavier  
Konuray, Ali Osman

### REQUISITS

---

Coneixements bàsics de termodinàmica adquirits a Física I i de càlcul

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

---

#### Específiques:

CEGTI 7. Coneixements de fluïds, termodinàmica aplicada, transmissió de calor i enginyeria tèrmica.

#### Genèriques:

CGGTI 3. Coneixement en matèries bàsiques i tecnològiques que capacitin per a l'aprenentatge de nous mètodes i teories, i doti de versatilitat per adaptar-se a noves situacions.

CGGTI 4. Capacitat per resoldre problemes amb iniciativa, presa de decisions, creativitat, raonament crític i de comunicar i transmetre coneixements, habilitats i destreses en el camp de l'Enginyeria Industrial.

CGGTI 5. Coneixements per a la realització de medicions, càlculs, valoracions, tasacions, peritacions, estudis, informes, plans de treball i altres treballs similars.

CGGTI10. Capacitat de treballar en un entorn multilingüe i multidisciplinar.

#### Transversals:

CT4. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinar, ja sigui com un membre més, o realitzant tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, assumint compromisos tenint en compte els recursos disponibles.

CT5. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informacions en l'àmbit d'especialitat i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

CT6. APRENENTATGE AUTÒNOM: Detectar mancances en el propi coneixement i superar-les mitjançant la reflexió crítica i l'elecció de la millor actuació per ampliar aquest coneixement.

CT7. TERCERA LLENGUA: Conèixer una tercera llengua, preferentment l'anglès, amb un nivell adequat oral i escrit, i en consonància amb les necessitats que tindran els titulats i titulades.

#### Bàsiques:

CBGTI2. Que els estudiants sàpiguen aplicar els seus coneixements al seu treball o vocació d'una forma professional i tinguin les competències que se solen demostrar mitjançant l'elaboració i defensa d'arguments i la resolució de problemes dins de la seva àrea d'estudi.

CBGTI5. Que els estudiants hagin desenvolupat aquelles habilitats d'aprenentatge necessàries per emprendre estudis posteriors amb un alt grau d'autonomia.

CBGTI4. Que els estudiants puguin transmetre informació, idees, problemes i solucions a un públic tant especialitzat, com no especialitzat.

## 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. Els alumnes aprendran les eines bàsiques per a l'anàlisi de processos energètics i a fer servir fonts de dades termodinàmiques en forma de taules i gràfics de propietats. S'animarà els estudiants a aprofundir el seu coneixement mitjançant recursos de software (Engineering Equation Solver EES, CoolProp) per a l'anàlisi ràpid de problemes i per l'estudi de situacions més complexes.

Es demanarà que els alumnes resolguin individualment un conjunt de proves a classe o a casa (es podrà fer servir la plataforma Atenea amb aquesta finalitat) com a forma d'avaluació continuada. Els alumnes realitzaran cinc sessions de pràctiques de laboratori (grups petits) de dues hores cadascuna.

## OBJECTIUS D'APRENTATGE 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 exergia 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.
- Analitzar l'aplicabilitat de models termodinàmics, fenòmens relacionats amb el contingut de l'assignatura i el funcionament de sistemes reals en base a dades experimentals.

## HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	50,0	33.33
Hores aprenentatge autònom	90,0	60.00
Hores grup petit	10,0	6.67

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### 1. Propietats de substàncies pures

#### Descripció:

Superfície PvT d'una substància pura. Diagrames Pv, Tv i PT. Taules i diagrames de propietats. Relacions PvT analítiques. Principi dels estats corresponents i funcions de discrepància.

#### Objectius específics:

Adquirir una metodologia per determinar i estimar propietats termodinàmiques de substàncies pures.  
Aplicar el balanç d'energia per a sistemes tancats en la resolució de problemes.

#### Activitats vinculades:

Activitat 1. Pràctica 1. Propietats PvT d'una substància pura.  
Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

#### Dedicació: 34h

Grup gran/Teoria: 5h  
Grup mitjà/Pràctiques: 6h  
Grup petit/Laboratori: 2h  
Aprenentatge autònom: 21h



## 2. Balanç energètic de sistemes oberts

### 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, vàvules, bescanviadors de calor, toveres, difusors, compressors i turbines

### Objectius específics:

Aplicar els balanços de massa i energia en sistemes oberts a la resolució de problemes.

### Activitats vinculades:

Activitat 2. Pràctica 2. Compresions de gasos a baixes pressions.

Activitat 6. Prova individual d'avaluació continuada a classe.

Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

### Dedicació: 21h 30m

Grup gran/Teoria: 3h 30m

Grup mitjà/Pràctiques: 3h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 13h

## 3. Balanços d'entropia i exergia en sistemes oberts

### 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.

### 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.

### Activitats vinculades:

Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

### Dedicació: 15h

Grup gran/Teoria: 3h

Grup mitjà/Pràctiques: 3h

Aprenentatge autònom: 9h

## 4. Cicles de potència de vapor

### Descripció:

Anàlisi de cicles termodinàmics. Cicle bàsic de Rankine. Millores del cicle de Rankine: sobreescalfament, reescalfament, regeneració. Cogeneració. Anàlisi exergètica de plantes de potència.

### Objectius específics:

Realitzar diagrames esquemàtics i representacions T-s de cicles de potència de Rankine.

Analitzar energèticament i exergèticament els cicles de potència de Rankine.

### Activitats vinculades:

Activitat 6. Prova individual d'avaluació continuada a classe.

Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

### Dedicació: 18h 30m

Grup gran/Teoria: 3h 30m

Grup mitjà/Pràctiques: 4h

Aprenentatge autònom: 11h



## 5. Cicles de potència de gas

### Descripció:

Motors de combustió interna alternatius. Diagrama indicador. Concicions d'aire estàndard i aire fred estàndard. Cicle Otto. Cicle Diesel. Cicle dual. Cicles d'Ericsson i Stirling. Turbina de gas oberta i tancada. Cicle de Brayton. Cicle de Brayton regeneratiu. Turbina de gas amb reescalfament i refredament intermedis. Cicle combinat de gas i vapor.

### Objectius específics:

Analitzar els cicles d'Otto, Diesel i Dual.  
Analitzar energèticament i energèticament els cicles de turbina de gas.

### Activitats vinculades:

Activitat 3. Pràctica 3. Motor Stirling.  
Activitat 6. Proves individuals d'avaluació continuada a classe  
Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

### Dedicació: 19h

Grup gran/Teoria: 3h 30m  
Grup mitjà/Pràctiques: 2h 30m  
Grup petit/Laboratori: 2h  
Aprentatge autònom: 11h

## 6. Cicles de refrigeració i bombes de calor

### Descripció:

Cicle de refrigeració per compressió de vapor. Bomba de calor. Coeficient de funcionament. Propietats dels refrigerants. Cicles de refrigeració multietapa i en cascada. Sistemes de refrigeració per gas.

### Objectius específics:

Analitzar els cicles de refrigeració per compressió de vapor i de refrigeració amb gas.

### Activitats vinculades:

Activitat 4. Pràctica 4. Cicle de refrigeració per compressió de vapor amb R-134a.  
Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

### Dedicació: 15h

Grup gran/Teoria: 2h  
Grup mitjà/Pràctiques: 2h  
Grup petit/Laboratori: 2h  
Aprentatge autònom: 9h



## 7. Mescles no reactives de gasos ideals: aire humit

### Descripció:

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.

### 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.

### Activitats vinculades:

Activitat 5. Pràctica 5. Processos de condicionament d'aire.  
Activitat 6. Proves individuals d'avaluació continuada a classe  
Activitat 7. Resolució problemes fora de l'aula

### Dedicació: 15h 30m

Grup gran/Teoria: 2h 30m  
Grup mitjà/Pràctiques: 2h  
Grup petit/Laboratori: 2h  
Aprenentatge autònom: 9h

## 8. Mescles reactives: combustió

### Descripció:

Termodinàmica dels sistemes reactius. Combustió. Aire estequiomètric i excés d'aire. Balanços de massa i d'energia en mescles reactives. 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.

### Objectius específics:

Aplicar balanços de matèria i energia a les mescles reactives.

### Activitats vinculades:

Activitat 7. Resolució de problemes fora de l'aula

### Dedicació: 11h 30m

Grup gran/Teoria: 2h 30m  
Grup mitjà/Pràctiques: 2h  
Aprenentatge autònom: 7h



## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

---

L'avaluació constarà de quatre notes:

- 1) Nota examen final (Mfe)
- 2) Nota d'examen parcial (Mpe)
- 3) Nota laboratori (Mlab)
- 4) Nota d'avaluació continuada (Mce)

La nota final Mfinal es calcularà com:

$$M_{\text{final}} = 0,55 \cdot M_{\text{fe}} + 0,1 \cdot \max(M_{\text{pe}}, M_{\text{fe}}) + 0,1 \cdot M_{\text{lab}} + 0,25 \cdot \max(M_{\text{ce}}, M_{\text{fe}})$$

On max() indica que es pendrà el valor més gran de les notes.

L'examen final es realitzarà al final del quadrimestre en la data que fixi l'Escola i consistirà en un conjunt d'exercicis numèrics. L'examen parcial 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 d'ambdues proves es podrà portar un formulari manuscrit, el llibre de gràfiques i taules i la calculadora.

La nota del laboratori correspon a les pràctiques de laboratori i s'obté a partir del treball de pre-laboratori, de l'informe de post-laboratori I de la valoració del professor sobre el rendiment de l'estudiant al laboratori.

Del 25 % corresponent a la nota d'avaluació continuada (Mce), un 10 % d'aquesta nota correspondrà a proves presencials (amb data prèviament determinada), i el 15 % a diferents proves d'avaluació continuada fora de l'aula.

Els estudiants suspesos tenen dret a un examen de reavaluació. En aquest cas, la nota final es calcularà com:

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

On Mre és la nota obtinguda a l'examen de reavaluació, que tindrà lloc a la data especificada per l'Escola. L'examen de reavaluació tindrà les mateixes característiques que l'examen final. Mlab és la nota de laboratori obtinguda a l'avaluació anterior.

Els estudiants que repeteixin l'assignatura amb les pràctiques aprovades podran conservar la nota anterior de pràctiques (Mlab) i per tant no hauran de repetir les pràctiques de laboratori. Els estudiants hauran de comunicar la seva intenció al coordinador de l'assignatura.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

---

### BIBLIOGRAFIA

---

#### Bàsica:

- Moran, M. J.; Shapiro, H. N. Fundamentos de termodinámica técnica [en línia]. 2a ed. Barcelona: Reverté, 2004 [Consulta: 07/09/2022]. Disponible a:

[https://www.ingebook-com.recursos.biblioteca.upc.edu/ib/NPcd/IB\\_Escritorio\\_Visualizar?cod\\_primaria=1000193&libro=7704](https://www.ingebook-com.recursos.biblioteca.upc.edu/ib/NPcd/IB_Escritorio_Visualizar?cod_primaria=1000193&libro=7704). ISBN 8429143130.

- Çengel, Yunus A [et al.]. Termodinámica [en línia]. 9a ed. México, D.F.: McGraw-Hill, 2019 [Consulta: 18/09/2020]. Disponible a: [http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB\\_BooksVis?cod\\_primaria=1000187&codigo\\_libro=8722](http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=8722). ISBN 9781456272081.

#### Complementària:

- Van Wylen, Gordon John; Sonntag, Richard Edwin; Borgnakke, Claus. Fundamentos de termodinámica. 2ª ed. México: Limusa-Wiley, cop. 1999. ISBN 9681851463.

- Wark, Kenneth. Termodinámica [en línia]. 6ª ed. Madrid [etc.]: McGraw-Hill, cop. 2001 [Consulta: 18/09/2020]. Disponible a: [http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB\\_BooksVis?cod\\_primaria=1000187&codigo\\_libro=4153](http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=4153). ISBN 844812829X.

### RECURSOS

---

#### 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 qüestions i proves tipus test amb la seva resolució. També es podrà trobar material propi de cada professor.