

## Guia docent

# 220251 - 220251 - Càlcul i Disseny de Màquines i Actuadors Elèctrics

Última modificació: 24/03/2022

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

**Unitat que imparteix:** 709 - DEE - Departament d'Enginyeria Elèctrica.

**Titulació:** MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL (Pla 2013). (Assignatura optativa).

**Curs:** 2021

**Crèdits ECTS:** 5.0

**Idiomes:** Català

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** JUAN MONTAÑA PUIG

**Altres:** JUAN MONTAÑA PUIG

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

---

**Específiques:**

2. Capacitat per al càlcul i disseny de màquines i actuadors elèctrics, amb coneixements de gestió eficient de sistemes elèctrics, i control eficient d'accionaments elèctrics.

### METODOLOGIES DOCENTS

---

L'assignatura s'organitza en:

1.- Classes en grups grans: En aquestes classes es desenvolupen les classes de teoria, resolució de problemes i les avaluacions corresponents a la primera i segona prova.

S'utilitzarà el model expositiu que el professor cregui més convenient per assolir els objectius que s'han fixat a l'assignatura. Es realitzaran activitats de curta duració com problemes, activitats de síntesi i preguntes directes.

3.- Classes en grups petits: En aquesta activitat es desenvolupen les pràctiques de laboratori. Es seguirà una metodologia d'aprenentatge basada en projectes (PBL) on l'estudiant treballarà per la consecució de les diferents parts.

Tan per les activitats de grup gran i grup petit, a l'estudiant se li lliurarà al principi de curs un document corresponent a un projecte real d'una màquina elèctrica. Aquest document servirà d'exemple en les exposicions i com a referència pels problemes i pràctiques.

### OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

---

Al finalitzar l'assignatura l'estudiant serà capaç de:

- Coneixer la metodologia de disseny d'una màquina elèctrica.
- Saber confeccionar totes les parts d'un projecte de disseny d'una màquina elèctrica.
- Capacitat per realitzar dissenys de màquines amb ajuda computacional.
- Disseny de forma eficient de les màquines elèctriques.
- Conèixer les normatives d'aplicació al disseny de les màquines elèctriques.

## HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

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

**Dedicació total:** 125 h

## CONTINGUTS

### Mòdul 1. Introducció

#### Descripció:

En aquest mòdul es presentarà l'assignatura així com la metodologia que es seguirà. Es realitzarà una revisió del tipus de màquines elèctriques així com les seves aplicacions. Es farà incís en les aplicacions actuals com la tracció elèctrica i la generació renovable que requereixen un re-disseny continu de les màquines elèctriques.

Un cop introduïdes les màquines i les seves aplicacions es descriuran les diferents fases que formen el projecte de disseny d'una màquina elèctrica. Seguidament es presentarà en detall el projecte que es facilitarà a l'estudiant i que servirà de model durant l'assignatura.

Finalment es presentarà el marc normatiu nacional (UNE-EN) com internacional (IEC, etc) que regula el disseny de les màquines elèctriques.

1.1 Presentació de l'assignatura.

1.2 Descripció dels diferents tipus de màquines elèctriques.

1.3 Aplicacions dels diferents tipus de màquines elèctriques i la necessitat del seu disseny.

1.4 Descripció del projecte de disseny de màquines elèctriques.

1.5 Presentació del projecte de referència que s'emprarà durant l'assignatura.

1.6 Normes.

#### Objectius específics:

- Aprendre a identificar els diferents tipus de màquines, les seves parts i les seves aplicacions.
- Conèixer la metodologia seguida en el disseny de màquines elèctriques i la normativa a aplicar.

#### Activitats vinculades:

Activitat 1

Activitat 2

**Dedicació:** 19h

Grup gran/Teoria: 3h

Grup petit/Laboratori: 1h

Aprenentatge autònom: 15h



## Mòdul 2. Càlcul paramètric

### Descripció:

En aquest mòdul es presentarà la metodologia del càlcul paramètric. Mitjançant les expressions que es deduiran es podran obtenir els amidaments generals d'una màquina elèctrica a partir de les seves especificacions. Es tractarà per separat les màquines de corrent continu i les de corrent altern. Finalment es discutiran les conclusions en relació al tamany de les màquines, significat tèrmic i concepte de semblança.

- 2.1 Introducció al càlcul paramètric.
- 2.2 Expressions paramètriques de les màquines de corrent continu.
- 2.3 Expressions paramètriques de les màquines de corrent altern.
- 2.4 Expressions paramètriques dels transformadors.
- 2.5 Conclusions del càlcul paramètric.

### Objectius específics:

- Saber obtenir els amidaments generals d'una màquina a partir de les especificacions.
- Saber obtenir les especificacions generals d'una màquina a partir de les seves dimensions.

### Activitats vinculades:

- Activitat 1
- Activitat 2
- Activitat 3
- Activitat 4

### Dedicació: 17h

- Grup gran/Teoria: 5h
- Grup petit/Laboratori: 2h
- Aprenentatge autònom: 10h



### Mòdul 3. Càlcul magnètic

**Descripció:**

Descripció.

Aquest mòdul consta de dues parts. A la primera part es realitzarà la formulació de sistemes electromecànics (motors i actuadors) per tal d'obtenir les forces i parells. A la segona part es presentarà ja específicament el dimensionament del circuit magnètic d'una màquina elèctrica.

- 3.1 Conceptes fonamentals de magnetisme.
- 3.2 Sistemes electromecànics: energies, esforços i pèrdues.
- 3.3 Parts del circuit magnètic.
- 3.4 Excitació del circuit magnètic.
- 3.5 Induccions a les diferents parts del circuit magnètic.
- 3.6 Excitació total.
- 3.7 Màquines amb imants permanents.

**Objectius específics:**

- Ser capaç de formular un circuit magnètic amb moviment.
- Saber dimensionar cadascuna de les diferents parts del circuit magnètic d'una màquina.

**Activitats vinculades:**

- Activitat 1
- Activitat 2
- Activitat 3
- Activitat 4
- Activitat 5

**Dedicació:** 25h

Grup gran/Teoria: 9h

Grup petit/Laboratori: 4h

Aprenentatge autònom: 12h

### Mòdul 4. Càlcul del circuit elèctric

**Descripció:**

En aquest mòdul es presentarà el mètode de càlcul per tal de dimensionar els conductors elèctrics d'una màquina. S'estudiaran els diferents tipus de bobinats.

- 2.1 Introducció al circuit elèctric.
- 2.2 Caigudes de tensió.
- 2.3 Disseny dels bobinats.
- 2.4 Altres elements del circuit elèctric

**Objectius específics:**

- Conèixer els tipus de conductors i elements auxiliars.
- Saber dimensionar els conductors d'una màquina elèctrica.

**Activitats vinculades:**

- Activitat 1
- Activitat 2
- Activitat 3
- Activitat 5

**Dedicació:** 19h

Grup gran/Teoria: 3h

Grup petit/Laboratori: 4h

Aprenentatge autònom: 12h



## Mòdul 5. Càlcul dielèctric

### Descripció:

Per tal de garantir l'aïllament dielèctric dels conductors, cal dimensionar els aïllants.

- 5.1 Introducció.
- 5.2 La ruptura dielèctrica.
- 5.3 Aïllaments emprats en les màquines elèctriques.
- 5.4 Dimensionament de l'aïllament dielèctric.
- 5.5 Assaigs de rigidesa dielèctrica i descàrregues parcials.

### Objectius específics:

- Entendre el procés de ruptura dielèctrica en aïllants.
- Saber dimensionar els aïllants dels conductors de les màquines elèctriques.

### Activitats vinculades:

- Activitat 1
- Activitat 2
- Activitat 3
- Activitat 5

### Dedicació: 19h

Grup gran/Teoria: 4h

Grup petit/Laboratori: 4h

Aprenentatge autònom: 11h

## Mòdul 6. Càlcul tèrmic

### Descripció:

Encara que el rendiment de les màquines elèctriques és elevat, existeix certa generació de calor que cal tenir en compte en el disseny de la màquina. En aquest mòdul es resumirà el procés de càlcul del circuit tèrmic de les màquines elèctriques.

- 6.1 Introducció
- 6.2 Generació i evacuació de calor.
- 6.3 Conducció tèrmica en els conductors.
- 6.4 Conducció tèrmica en les xapes de la màquina.
- 6.5 Convecció i radiació.
- 6.6 Sistemes de refrigeració de les màquines elèctriques.
- 6.4 Assaigs

### Objectius específics:

- Coneixer l'origen de la generació de calor a les màquines elèctriques.
- Identificar els processos de transferència de calor a les màquines elèctriques.
- Dissenyar el sistema tèrmic de les màquines elèctriques.

### Activitats vinculades:

- Activitat 1
- Activitat 3
- Activitat 5

### Dedicació: 13h

Grup gran/Teoria: 3h

Aprenentatge autònom: 10h



## Mòdul 7. Càlcul mecànic

### Descripció:

Els motors, actuadors i generadors elèctrics són conversos d'energia electromecànica. Així doncs és molt important el dimensionat dels elements emprats en la transmissió de potència mecànica. En aquest mòdul es presentarà el procés de càlcul dels elements mecànics de les màquines elèctriques.

- 7.1 Introducció
- 7.2 Elements giratoris.
- 7.3 Elements estàtics.
- 7.4 Equilibrat.
- 7.5 Vibracions.

### Objectius específics:

- Identificar i quantificar els esforços sotmesos a les parts mecàniques de les màquines elèctriques.
- Dimensionar les parts mecàniques de les màquines elèctriques.

### Activitats vinculades:

- Activitat 1
- Activitat 3
- Activitat 5

**Dedicació:** 13h

Grup gran/Teoria: 3h

Aprenentatge autònom: 10h

## ACTIVITATS

### ACTIVITAT 1: CLASSES PRESENCIALS (GRUP GRAN)

#### Descripció:

Classes presencials (grup gran) on s'impartiran els continguts principals de l'assignatura. En algunes de les sessions es duran a terme exercicis presencials a classe, de forma individual o en grups reduïts.

#### Objectius específics:

Transferir els coneixements necessaris per a una correcta interpretació dels continguts desenvolupats a les sessions de grups grans, resolució de dubtes en relació al temari de l'assignatura i desenvolupament de les competències específiques.  
Desenvolupament de la competències generals.

#### Material:

Apunts de l'assignatura.  
Projecte de referència lliurat.  
Bibliografia recomanada de l'assignatura.

#### Lliurament:

No hi ha lliuraments específics per aquesta activitat.



## ACTIVITAT 2: PRÀCTIQUES DE LABORATORI I SIMULACIÓ

### Descripció:

Activitats al laboratori i de simulació.

Pràctica 1 (1h, Laboratori): Tipus de màquines i els seus elements constructius.

Pràctica 2 (2h, Simulació): Introducció al programari d'elements finits pel disseny de màquines elèctriques.

Pràctica 3 (12 h, simulació): disseny d'una màquina elèctrica mitjançant elements finits

### Objectius específics:

- Saber identificar els diferents tipus de màquines i els seus elements constructius.
- Capacitat per dissenyar una màquina elèctrica mitjançant programari basat en el mètode dels elements finits.

### Material:

- Guions de les pràctiques.
- Programari.

### Lliurament:

Lliuraments associats a cada pràctica.

## ACTIVITAT 3: AUTOAVALUACIÓ

### Descripció:

Es lliuraran llistats d'exercicis ordenats d'acord amb les unitats didàctiques de la teoria i amb les respectives solucions numèriques per tal que l'estudiant treballi de forma autònoma i pugui validar els seus resultats.

Els dubtes que sorgeixin es podran discutir amb el professorat durant un període de temps establert en el llistat, amb l'objectiu de marcar el ritme de treball de l'estudiant adequant-lo al desenvolupament temporal de l'assignatura.

A cada exercici l'estudiant haurà de indicar la seva dedicació temporal i el grau d'aprenentatge assolit. Es lliuraran rúbriques per l'autoavaluació de cada exercici.

El lliurament del dossier d'autoavaluació amb la seva resolució tindrà un pes del 20 % de la nota de l'assignatura.

### Objectius específics:

L'objectiu d'aquest sistema autoavaluatiu és motivar a l'estudiant a "portar al dia" l'assignatura com a sistema per consolidar coneixements i assumir els conceptes de forma clara i sòlida que li permetin adquirir un nivell satisfactori. L'estudiant ha de ser capaç d'analitzar la situació plantejada a l'enunciat, estructurar la informació disponible per formular el problema i resoldre'l a partir dels coneixements adquirits.

### Material:

Dossier d'exercicis d'autoavaluació de l'assignatura.

### Lliurament:

Al finalitzar cada tema es lliuraran els exercicis d'autoavaluació d'acord amb la programació de l'assignatura.



#### ACTIVITAT 4: PROVA 1

**Descripció:**

Prova corresponent als continguts de la primera meitat del curs.  
El pes d'avaluació d'aquesta prova és del 30 % de la nota de l'assignatura.

**Objectius específics:**

La prova ha de demostrar que l'estudiant ha adquirit i assimilat els coneixements de càlcul paramètric i magnètic estudiats.

**Material:**

Enunciat de la prova.

**Lliurament:**

Enunciat de la prova amb les seves respostes.

**Competències relacionades:**

CEEELEC2. Capacitat per al càlcul i disseny de màquines i actuadors elèctrics, amb coneixements de gestió eficient de sistemes elèctrics, i control eficient d'accionaments elèctrics.

#### ACTIVITAT 5: PROVA 2

**Descripció:**

Prova corresponent als continguts de la primera meitat del curs.  
El pes d'avaluació d'aquesta prova és del 30 % de la nota de l'assignatura.

**Objectius específics:**

La prova ha de demostrar que l'estudiant ha adquirit i assimilat els coneixements de càlcul magnètic, elèctric, dielèctric, tèrmic i mecànic estudiats.

**Material:**

Enunciat de la prova.

**Lliurament:**

Enunciat de la prova amb les seves respostes.

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

La qualificació de l'assignatura (100 %) s'obté de les següents activitats:

- 30 % Nota de la Prova 1 (Activitat 4).
- 30 % Nota de la Prova 2 (Activitat 5).
- 20 % Nota dels exercicis d'autoavaluació (Activitat 3).
- 20 % Nota de pràctiques (Activitat 2).

Els resultats poc satisfactoris de la Prova 1 (Activitat 4) es podran reconduir mitjançant una prova escrita a realitzar-se dia fixat per l'examen final on es realitza la Prova 2 (Activitat 5). Aquesta prova hi poden accedir tots els estudiants amb una nota inferior a 5 de l'acte d'avaluació. La qualificació substitueix amb una qualificació màxima de 5 a la nota anterior sempre i quan aquesta sigui superior a 5 punts.

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.





## **NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.**

---

Les normes seran lliurades abans de la realització de cada prova.

## **BIBLIOGRAFIA**

---

### **Bàsica:**

- Pyrhönen, J.; Jokinen, T.; Hrabovcová, V. Design of rotating electrical machines. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. ISBN 9780470695166.
- Corrales Martín, J. Cálculo industrial de máquinas eléctricas. Barcelona: Marcombo Boixareu, 1982. ISBN 8426704387.
- Corrales Martín, J. Cálculo modular de máquinas eléctricas: manual práctico. Barcelona: Marcombo Boixareu, 1994. ISBN 8426709850.

### **Complementària:**

- Hameyer, K.; Belmans, R. Numerical modelling and design of electrical machines and devices. Southampton [etc.]: Wit Press, 1999. ISBN 1853126268.
- Corrales Martín, J. Cálculo óptimo de transformadores. Barcelona: UPB. ETSIIB: Marcombo, 1977. ISBN 8460010260.
- Hamdi, Essam S. Design of small electrical machines. Chichester [etc.]: John Wiley & Sons, 1994. ISBN 0471952028.

## **RECURSOS**

---

### **Altres recursos:**

- Documentació dels fons ABB i AEG de la Biblioteca del Campus de Terrassa (UPC).
- Martínez Barrios, Luis. Apunts de l'assignatura (Departament d'Enginyeria Elèctrica).
- Montañá Puig, Joan. Apunts de l'assignatura (Departament d'Enginyeria Elèctrica).