



# Guia docent

## 820143 - EMDEE - Disseny de Màquines Elèctriques

Última modificació: 14/06/2023

**Unitat responsable:** Escola d'Enginyeria de Barcelona Est  
**Unitat que imparteix:** 709 - DEE - Departament d'Enginyeria Elèctrica.  
**Titulació:** GRAU EN ENGINYERIA ELÈCTRICA (Pla 2009). (Assignatura optativa).  
**Curs:** 2023      **Crèdits ECTS:** 6.0      **Idiomes:** Català

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Ramon Bargalló Perpiña  
**Altres:** Primer quadrimestre:  
RAMON BARGALLO PERPIÑA - T11

### CAPACITATS PRÈVIES

---

Calcul diferencial i integral. Derivació i integració aproximada.  
Càlcul matricial.  
Desenvolupament en sèries de Fourier.  
Electromagnetisme.  
Coneixements adquirits a Màquines Elèctriques 2 (i màquines elèctriques 1)  
Coneixements de les funcionalitats de la calculadora científica i saber-les utilitzar  
Coneixements de MATLAB/OCTAVE.

### REQUISITS

---

Les adquirides havent cursat les assignatures de Màquines Elèctriques 1 i Màquines Elèctriques 2.

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

---

#### Específiques:

1. Capacitat per calcular i dissenyar màquines elèctriques.
2. Capacitat per aplicar amb bon criteri els reglaments i les normes.
3. Capacitat per a la síntesi de la informació i l'autoaprenentatge.

#### Transversals:

4. APRENENTATGE AUTÒNOM - Nivell 3: Aplicar els coneixements assolits a la realització d'una tasca en funció de la pertinència i la importància, decidint la manera de dur-la a terme i el temps que cal dedicar-hi i seleccionant-ne les fonts d'informació més adequades.
5. EMPRENEDORIA I INNOVACIÓ - Nivell 3: Utilitzar coneixements i habilitats estratègiques per a la creació i gestió de projectes, aplicar solucions sistèmiques a problemes complexos i dissenyar i gestionar la innovació en l'organització.

### METODOLOGIES DOCENTS

---

L'assignatura utilitza la metodologia expositiva per a les sessions teòriques, l'aprenentatge basat en projectes en les sessions de problemes i activitats dirigides. En les sessions de laboratori els estudiants hauran d'aplicar els coneixements adquirits a les sessions de teoria i problemes a l'obtenció de resultats demanats utilitzant una eina informàtica de disseny (programes basats en el mètode dels elements finits)



## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

Donar a l'estudiant una visió general del disseny de màquines elèctriques fent èmfasi en els mètodes recolzats per ordinador (elements finits, optimització, etc.)

- Exposar les regles i mètodes generals de dimensionat de les màquines elèctriques.
- Establir les aplicacions i limitacions dels materials electrotècnics emprats per a obtenir un disseny optimitzat respecte a criteris d'Enginyeria (tant tècnics com econòmics com de sostenibilitat, etc.)
- Entendre i utilitzar models de càlcul mitjançant el mètode dels elements finits.
- Entendre i utilitzar mètodes d'optimització per al disseny de les màquines i aparells elèctrics.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	30,0	20.00
Hores aprenentatge autònom	90,0	60.00
Hores grup petit	30,0	20.00

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### -1. Modelització de màquines elèctriques mitjançant la resolució de les equacions del camp electromagnètic.

#### Descripció:

Equacions de Maxwell. Relacions de constitució. Condicions de contorn. Anàlisi en 2D i 3D. Simetries. Resolució numèrica de les equacions del camp electromagnètic. El mètode dels elements finits. Càlcul de variables derivades. Anàlisi dels resultats. Distribucions de flux. Càlcul de f.e.m. Determinació de paràmetres: resistència, inductància, capacitat. Pèrdues. Càlcul de forces i parells.

#### Objectius específics:

Entendre i utilitzar les equacions de Maxwell aplicades a la descripció dels fenòmens que es produeixen en una màquina elèctrica. Entendre i aplicar un programari basat en el mètode dels EF per a l'anàlisi de màquines elèctriques. Entendre a analitzar els resultats obtinguts.

#### Activitats vinculades:

Laboratori:

1. Introducció a l'anàlisi mitjançant els EF: Anàlisi d'una bobina.
2. Anàlisi d'un actuador. Introducció al llenguatge LUA. Solució per diferents corrents i posicions. Creació d'animacions.

#### Dedicació: 13h

Grup gran/Teoria: 5h

Grup petit/Laboratori: 3h

Aprenentatge autònom: 5h

## -2. Debanats per màquines elèctriques

### Descripció:

Tipus de bobinats: pols sortints, ranurats, caps de bobina. Bobinats de fase. Anàlisi. Fmm generada. Fem induïda. Bobinats fraccionaris. Altres bobinats.

### Objectius específics:

Analitzar les característiques dels debanats i comprendre com afecta el seu disseny a la fmm i la fem.

### Activitats vinculades:

Laboratori

3. Disseny d'un debanat per a una màquina de CA. Anàlisi dels resultats. Propostes de millora.

### Dedicació: 18h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 10h

## -3. Conceptes generals i restriccions en el disseny de màquines elèctriques

### Descripció:

Expressions generals del parell. Normalització. Lleis de semblança. Modificacions i consideracions a tenir en compte en funció del camp de treball (flux constant, zona de debilitament del camp)

### Objectius específics:

Analitzar la dependència entre la potència o el parell, la velocitat, les limitacions dels materials i les dimensions de les màquines elèctriques.

### Dedicació: 16h

Grup gran/Teoria: 6h

Aprenentatge autònom: 10h

## -4. Mètodes d'optimització del disseny

### Descripció:

Formulació del problema. Restriccions. Mètodes generals de resolució. Exemple d'optimització de un transformador de potència i d'una màquina rotativa.

### Objectius específics:

Entendre quines variables intervenen en el disseny i plantejar com podem optimitzar el disseny. Presentar diverses tècniques d'optimització.

### Activitats vinculades:

Laboratori:

8. Optimització. Disseny òptim d'un actuador. Lligam entre FEMM i OptiY i Octave.

### Dedicació: 18h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 10h



#### -5. Determinació de paràmetres i pèrdues

**Descripció:**

Càlcul mitjançant EF dels paràmetres dels circuits equivalents de les màquines elèctriques. Càlcul de pèrdues.

**Objectius específics:**

Explotació dels resultats obtingut en l'anàlisi per EF a l'obtenció de diversos paràmetres d'interés.

**Activitats vinculades:**

Laboratori

4. Anàlisi d'un transformador. Punt de treball. Lligam entre FEMM i Octave.

**Dedicació:** 15h

Grup gran/Teoria: 3h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 10h

#### -6. Escalfament i refredament de les màquines elèctriques

**Descripció:**

Mètodes d'evacuació del calor: conducció, convecció i radiació. Circuits equivalent tèrmics. Càlcul de l'escalfament mitjançant elements finits.

**Objectius específics:**

Analitzar com es produeix l'esclafament i com s'evacua aquest en les màquines elèctriques. Calcular l'escalfament d'una màquina emprant diversos mètodes.

**Activitats vinculades:**

Laboratori:

7. Anàlisi tèrmic d'un transformador. Règim permanent. Règim transitori. Anàlisi combinat electromagnètic+tèrmic.

**Dedicació:** 18h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 10h

#### -7. Dimensionat de màquines elèctriques

**Descripció:**

Pautes generals per al dimensionat de les màquines elèctriques. Aplicació a: màquines asíncrones, síncrones amb imants permanents, altres. Cada curs, en funció del temps disponible, es desenvoluparà una o més pautes de càlcul en detall. Aplicacions.

**Objectius específics:**

Dissenyar de forma integral una màquina elèctrica.

**Activitats vinculades:**

Laboratori:

5. Anàlisi d'una màquina asíncrona. Característica mecànica. Càlcul de pèrdues, parell, etc.

6. Anàlisi d'una màquina síncrona amb imants permanents. Característica parell -posició. Determinació del "cogging" i de la fem induïda. Minimització del cogging. Forces radials.

**Dedicació:** 33h

Grup gran/Teoria: 9h

Grup petit/Laboratori: 4h

Aprenentatge autònom: 20h



## -8. Aïllament de les màquines elèctriques

### Descripció:

Materials per a l'aïllament. Monitorització i anàlisi de l'aïllament. Anàlisi de fiabilitat. Tècniques d'anàlisi predictiu

### Objectius específics:

Estudi de les limitacions dels sistemes aïllants i en com afecten al disseny de la màquina.

### Dedicació: 13h

Grup gran/Teoria: 3h

Aprenentatge autònom: 10h

## 9. Treball dels motors de corrent altern a velocitat variable

### Descripció:

Context: modificació de velocitat en màquines d'altern. Característiques a velocitat variable.

- Variació de velocitat en la màquina asíncrona. Mètodes convencionals. Variació del nombre de pols. Variació de la tensió aplicada. Variació de la tensió i la freqüència. Màquina asíncrona doblement alimentada.
- Models generals per a l'estudi de la variació de velocitat en màquines de corrent altern: models amb alimentació per corrent. Variables de control. Dependència del rang de treball del flux, relació de saliència i corrent aplicat. Àmbits de treball a parell constant i a potència constant. Màquines amb velocitat màxima finita i infinita.
- Màquina síncrona de pols llisos.
- Màquina síncrona de pols sortints.
- Màquina síncrona de reluctància.
- Màquina asíncrona alimentada en corrent.

### Objectius específics:

Entendre les variables que intervenen en la variació de velocitat d'un motor i els límits del camp de treball.

### Dedicació: 6h

Grup gran/Teoria: 4h

Aprenentatge autònom: 2h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Prova parcial: 20%

Prova final: 20%

Laboratori: 20%

Exercicis i problemes resolts a classe i a casa: 20%

Activitat dirigida (disseny integral d'una màquina elèctrica) : 20%

En ser l'avaluació continuada no es programara prova de reavaluació.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

Pels exàmens es pot portar tota la informació que es desitgi (prova a "llibre obert")

Cal portar calculadora científica i si cal utilitzar alguna aplicació informàtica es programarà la prova en una aula informàtica amb el programari adient. No es programara exàmen de reavaluació.



## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Pyrhönen, Juha; Jokinen, Tapani; Hrabovcová, Valéria. Design of rotating electrical machines [en línia]. Chichester: John Wiley & Sons, 2013 [Consulta: 04/05/2020]. Disponible a: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1414122>. ISBN 9781118581575.
- Hamdi, Essam S. Design of small electrical machines. Chichester [etc.]: John Wiley & Sons, cop. 1994. ISBN 0471952028.
- Gieras, Jacek F.; Wing, Mitchell. Permanent magnet motor technology : design and applications. 3rd ed. Boca Raton [etc.]: CRC Press, cop. 2010. ISBN 9781420064407.

### Complementària:

- Krishnan, Ramu. Switched reluctance motor drives : modeling, simulation, analysis, design and applications. Boca Raton [etc.]: CRC Press, cop. 2001. ISBN 0849308380.
- Bianchi, Nicola. Theory and design of fractional-slot pm machines. Padova: CLEUP, 2007. ISBN 9788861291225.
- Bianchi, Nicola. Design, analysis, and control of interior PM synchronous machines. Padova: CLEUP, 2004.