



# Guia docent

## 2400303 - 240MAU14 - Motors Elèctrics

Última modificació: 19/06/2026

**Unitat responsable:** Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona  
**Unitat que imparteix:** 709 - DEE - Departament d'Enginyeria Elèctrica.

**Titulació:** MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA D'AUTOMOCIÓ (Pla 2026). (Assignatura obligatòria).

**Curs:** 2026      **Crèdits ECTS:** 5.0      **Idiomes:** Català, Castellà

### PROFESSORAT

**Professorat responsable:** Montesinos Miracle, Daniel

**Altres:** Montesinos Miracle, Daniel  
Andres Martinez, Jose Antonio

### CAPACITATS PRÈVIES

Coneixements bàsics de circuits elèctrics, mecànica i física. Nocions elementals d'electrònica i màquines elèctriques.

### METODOLOGIES DOCENTS

Classes expositives en les quals es combinen teoria i problemes. El desenvolupament dels problemes es realitza de forma participativa. També hi ha pràctiques de laboratori i treballs dirigits que els estudiants realitzen fora de l'aula.

### OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

Al finalitzar l'assignatura, l'estudiant ha de ser capaç de:

Comprendre el paper dels motors elèctrics en el sector de l'automoció i els requisits del sistema de tracció.

Modelar el vehicle elèctric/híbrid per a l'anàlisi energètica, aplicant eines com la Representació Energètica Macroscòpica (REM) i el Control Basat en la Inversió (IBC).

Analitzar el funcionament, modelar i dissenyar el control de motors de corrent continu (DC), d'imants permanents (PMSM) i d'inducció.

Aplicar estratègies de control vectorial als principals tipus de motors elèctrics emprats en vehicles elèctrics.

Conèixer les perspectives de futur dels motors elèctrics per a la tracció.

Adquirir competències bàsiques en electrònica per comprendre els circuits de potència i de control dels accionaments en el sector de l'automòbil.

### HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

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

**Dedicació total:** 125 h



## CONTINGUTS

### Introducció als motors elèctrics en automoció

#### Descripció:

Aquest tema introductori situa l'estudiant en el context industrial i tecnològic dels motors elèctrics en el sector de l'automòbil, analitzant la situació actual del mercat mundial de vehicles elèctrics i híbrids. A partir d'aquí, s'introdueix el concepte de sistema de tracció, identificant els tipus de càrregues mecàniques i les característiques del sistema de tracció ideal, en el qual coexisteixen una zona de parell constant i una zona de potència constant. S'analitzen el flux energètic, les pèrdues i les característiques tèrmiques del conjunt, així com l'àrea d'operació segura. El tema finalitza amb els principis físics de generació de parell elèctric, que constitueixen la base comuna a tots els tipus de motors que s'estudiaran al llarg del curs.

#### Objectius específics:

En finalitzar aquest tema, l'estudiant comprendrà el context dels motors elèctrics en el sector de l'automoció, identificarà els principals tipus de sistemes de tracció i els seus requisits, i coneixerà els principis físics fonamentals de la generació de parell elèctric.

#### Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 4h

Aprenentatge autònom: 4h

### Modelat de vehicles per a l'anàlisi energètic

#### Descripció:

L'objectiu d'aquest tema és dotar l'estudiant de les eines necessàries per modelar el vehicle elèctric o híbrid des del punt de vista energètic. Es parteix de les equacions fonamentals de la dinàmica longitudinal del vehicle i s'estudien els perfils de conducció normalitzats que permeten avaluar el consum energètic en condicions representatives d'ús real. A continuació s'introdueix el modelat quasiestàtic, útil per al dimensionament energètic, i el modelat dinàmic, necessari per al disseny de controladors. Per a aquest darrer, s'utilitza la Representació Energètica Macroscòpica (REM), una metodologia gràfica que facilita la representació sistemàtica dels fluxos d'energia en sistemes de propulsió complexos, i la seva eina de disseny de control associada, el Control Basat en la Inversió (IBC). El tema finalitza amb la determinació dels requeriments que ha de complir el sistema de tracció en termes de parell, velocitat i potència.

#### Objectius específics:

En finalitzar aquest tema, l'estudiant serà capaç de formular les equacions dinàmiques del vehicle, interpretar perfils de conducció normalitzats, aplicar la REM per modelar sistemes de propulsió i dissenyar estructures de control mitjançant el IBC.

#### Activitats vinculades:

Tr1. Modelat del vehicle

Descripció: Estudi quasiestàtic de la demanda energètica d'un vehicle elèctric sobre un perfil de conducció normalitzat.

Objectius específics: Aplicar les equacions de dinàmica del vehicle per calcular les forces resistives i la potència demandada.

Obtenir el consum energètic sobre un cicle de conducció donat. Identificar els principals paràmetres que influeixen en l'autonomia del vehicle.

Material necessari: Enunciat i informació disponibles a Atenea. Ordinador personal amb llicència de MATLAB/Simulink.

Lliurament: Informe escrit en format PDF amb els resultats obtinguts i la seva anàlisi crítica.

Tr2. Modelat dinàmic i control. Aplicació de la REM i CBI

Descripció: Modelat dinàmic del sistema de propulsió d'un vehicle elèctric mitjançant la REM i disseny del control mitjançant el CBI.

Objectius específics: Construir el diagrama REM del sistema de propulsió. Derivar l'estructura de control CBI a partir del diagrama REM. Simular el sistema a MATLAB/Simulink i verificar el seguiment de la referència de velocitat.

Material necessari: Enunciat i informació disponibles a Atenea. Ordinador personal amb llicència de MATLAB/Simulink.

Lliurament: Informe escrit en format PDF i model de simulació de Simulink (.slx).

#### Dedicació: 32h

Grup gran/Teoria: 6h

Activitats dirigides: 18h

Aprenentatge autònom: 8h

## Motor DC

### Descripció:

Encara que el motor de corrent continu ha estat en gran mesura substituït per motors de corrent altern en les aplicacions de tracció modernes, el seu estudi resulta fonamental com a punt de partida pedagògic, ja que el seu model matemàtic és relativament senzill i permet introduir de forma natural els conceptes de llaç de parell i llaç de velocitat que es generalitzaran posteriorment. El tema aborda els principis de funcionament i el modelat matemàtic del motor DC, analitza el seu comportament en règim permanent i desenvolupa l'estructura de control en cascada formada pel regulador de corrent (parell) i el regulador de velocitat. El tema inclou també les limitacions operatives del motor i les estratègies de protecció que s'han de considerar en el disseny de l'accionament.

### Objectius específics:

En finalitzar aquest tema, l'estudiant comprendrà el funcionament del motor DC, serà capaç d'obtenir el seu model matemàtic i dissenyar llaços de control de corrent i velocitat mitjançant reguladors PI.

### Activitats vinculades:

Tr3. Modelat i control del motor DC

Descripció: Modelat matemàtic del motor DC i disseny dels llaços de control de corrent i velocitat.

Objectius específics: Obtenir el model de petita senyal del motor DC. Dissenyar i sintonitzar reguladors PI per als llaços de corrent i de velocitat. Validar el disseny mitjançant simulació a MATLAB/Simulink.

Material necessari: Enunciat i informació disponibles a Atenea. Ordinador personal amb llicència de MATLAB/Simulink.

Lliurament: Informe escrit en format PDF i model de simulació de Simulink (.slx).

### Dedicació: 26h

Grup gran/Teoria: 6h

Activitats dirigides: 12h

Aprenentatge autònom: 8h

## Motor PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)

### Descripció:

El motor síncron d'imants permanents (PMSM) és actualment la tecnologia més utilitzada en aplicacions de tracció elèctrica, gràcies a la seva elevada densitat de parell i potència i el seu alt rendiment. El tema comença amb els principis de funcionament i les característiques constructives del PMSM, per després introduir la transformació de Park com a eina matemàtica que permet obtenir un model dinàmic en el marc de referència dq, desacoblant els efectes del corrent de magnetització i del corrent de parell. A partir d'aquest model es dedueix l'equació de parell i es desenvolupa l'estructura de control vectorial orientat al camp, basada en reguladors de corrent en el marc dq. El tema finalitza amb les estratègies avançades de control: el MTPA (Maximum Torque Per Ampere), que optimitza el rendiment a la zona de parell constant, i el debilitament de camp, que permet estendre la zona d'operació més enllà de la velocitat base.

### Objectius específics:

En finalitzar aquest tema, l'estudiant dominarà la transformació de Park aplicada al motor PMSM, obtindrà el model en el marc de referència dq, comprendrà el control vectorial i sabrà aplicar estratègies avançades com el MTPA i el debilitament de camp.

### Activitats vinculades:

Tr4. Modelat i control del motor PMSM

Descripció: Modelat del motor PMSM en el marc de referència dq mitjançant la transformació de Park i implementació del control vectorial.

Objectius específics: Aplicar la transformació de Park per obtenir el model dq del PMSM. Analitzar l'equació de parell i la seva dependència amb els corrents d'eix d i q. Dissenyar i simular el control vectorial amb reguladors de corrent.

Material necessari: Enunciat i informació disponibles a Atenea. Ordinador personal amb llicència de MATLAB/Simulink.

Lliurament: Informe escrit en format PDF i model de simulació de Simulink (.slx).

### Dedicació: 30h

Grup gran/Teoria: 8h

Activitats dirigides: 10h

Aprenentatge autònom: 12h



### Motor d'inducció

**Descripció:**

El motor d'inducció ha estat històricament el motor elèctric més utilitzat en aplicacions industrials i encara té presència en algunes plataformes de vehicles elèctrics. Aquest tema presenta els seus principis de funcionament i analitza el seu comportament en règim permanent a través del circuit equivalent monofàsic. S'introdueix el control escalar V/f com a mètode senzill de regulació de velocitat, i se'n discuteixen les limitacions davant el control d'alt rendiment. A continuació, s'aplica la transformació de Park per obtenir el model dinàmic del motor d'inducció en el marc de referència dq, a partir del qual es dedueix l'equació de parell i s'estableixen les bases del control vectorial per orientació de camp, mostrant les seves similituds i diferències respecte al control del PMSM.

**Objectius específics:**

En finalitzar aquest tema, l'estudiant comprendrà el funcionament del motor d'inducció, aplicarà la transformació de Park per obtenir el seu model dinàmic i coneixerà les bases del control vectorial per orientació de camp.

**Dedicació:** 10h

Grup gran/Teoria: 4h

Aprenentatge autònom: 6h

### Perspectives de futur

**Descripció:**

Aquest tema de tancament ofereix una visió prospectiva de les tecnologies de motors elèctrics que estan emergint en el sector de la tracció elèctrica. S'analitzen els motors de flux axial, la topologia compacta i l'alta densitat de potència dels quals els converteixen en candidats especialment atractius per a aplicacions en vehicles lleugers, i els motors de reluctància síncrona, que prescindixen d'imants de terres rares i ofereixen una alternativa de menor cost i major robustesa. L'objectiu del tema és que l'estudiant sigui capaç d'avaluar críticament els avantatges i inconvenients d'aquestes tecnologies emergents davant les solucions consolidades, i de situar aquestes tendències en el context més ampli de l'electrificació del transport.

**Objectius específics:**

En finalitzar aquest tema, l'estudiant coneixerà les tecnologies emergents en motors elèctrics per a tracció, avaluarà els seus avantatges i inconvenients davant les tecnologies actuals i disposarà d'una visió prospectiva del sector.

**Dedicació:** 4h

Grup gran/Teoria: 2h

Aprenentatge autònom: 2h

### P1. Electrònica bàsica

**Descripció:**

Introducció al laboratori d'electrònica. Maneig dels instruments de mesura bàsics i anàlisi de circuits passius elementals.

**Objectius específics:**

Utilitzar correctament el multímetre i l'oscil·loscopi. Verificar experimentalment el comportament de circuits R-C, divisors de tensió i connexions sèrie-paral·lel.

**Activitats vinculades:**

Material necessari: El material de laboratori (components, plaques de proves, fonts d'alimentació i instruments) serà subministrat a la sessió de pràctiques.

Lliurament: Informe de pràctiques amb els resultats experimentals obtinguts i la seva anàlisi.

**Dedicació:** 2h

Grup petit/Laboratori: 2h



## P2. Transistors BJT, MOSFET. Diodes

### Descripció:

Estudi experimental dels dispositius semiconductors actius més utilitzats en electrònica de potència: díodes, transistors BJT i MOSFET.

### Objectius específics:

Traçar la corba característica del díode i analitzar el regulador sèrie amb díode Zener. Implementar i verificar el funcionament d'un inversor lògic amb BJT. Utilitzar un MOSFET com a interruptor per al control d'un motor DC.

### Activitats vinculades:

Material necessari: El material de laboratori serà subministrat a la sessió de pràctiques.

Lliurament: Informe de pràctiques amb els resultats experimentals obtinguts i la seva anàlisi.

### Dedicació: 4h

Grup petit/Laboratori: 4h

## P3. Amplificadors operacionals

### Descripció:

Estudi dels circuits bàsics amb amplificadors operacionals orientats al condicionament de senyal i al control analògic.

### Objectius específics:

Analitzar i verificar experimentalment els circuits inversor, no inversor, comparador, integrador i oscil·lador amb amplificador operacional.

### Activitats vinculades:

Material necessari: El material de laboratori serà subministrat a la sessió de pràctiques.

Lliurament: Informe de pràctiques amb els resultats experimentals obtinguts i la seva anàlisi.

### Dedicació: 4h

Grup petit/Laboratori: 4h

## P4. PWM, regulador de tensió motor DC

### Descripció:

Generació de senyal PWM i aplicació al control de tensió d'un motor DC mitjançant un convertidor bàsic.

### Objectius específics:

Generar i analitzar un senyal PWM analògic. Implementar un regulador de tensió per a un motor DC i verificar la seva resposta davant variacions de referència i de càrrega.

### Activitats vinculades:

Material necessari: El material de laboratori serà subministrat a la sessió de pràctiques.

Lliurament: Informe de pràctiques amb els resultats experimentals obtinguts i la seva anàlisi.

### Dedicació: 5h

Grup petit/Laboratori: 5h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

La nota final serà:

$Nota\ final = 0,50 \times Nota\ examen\ final + 0,30 \times Nota\ treballs\ dirigits + 0,20 \times Nota\ pràctiques\ de\ laboratori$

Els estudiants que no realitzin l'examen final o les pràctiques de laboratori seran avaluats amb NP.

En cas d'assistir a l'examen de reavaluació, s'aplicaran les mateixes expressions per al càlcul de les qualificacions però substituint la nota de l'examen final per la de l'examen de reavaluació.



## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

---

L'examen final es realitzarà en les dates i hores assenyalades per l'Escola.

L'examen final (igual que el de reavaluació) consta d'una part de conceptes teòrics i una altra de problemes.

Els treballs dirigits (Tr1-Tr4) s'entregaran en les dates indicades a l'inici del quadrimestre.

Els informes de pràctiques de laboratori s'entregaran en el termini indicat a l'inici de cada pràctica.

Per als exàmens, només es permetrà l'ús d'un bolígraf, un formulari d'una pàgina manuscrit i una calculadora per realitzar càlculs. Els exàmens són individuals i no es permet l'ús de cap altra eina diferent d'un bolígraf i una calculadora. No es permet l'ús de telèfons mòbils o altres dispositius amb connexió, ni l'ús d'eines d'intel·ligència artificial.

## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Husain, Iqbal. Electric and hybrid vehicles : design fundamentals . Second edition. Boca Raton, Florida : CRC Press, 2011. ISBN 978-1439811757.
- Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design. 2a. CRC Press,
- Lino Guzzella, Antonio Sciarretta . Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization. Springer Verlag,
- J. Larminie, J. Lowry. Electric Vehicle Technology Explained. John Wiley & Sons,
- John M. Miller. Propulsion systems for hybrid vehicles. The institution of electrical engineers,
- Energetic Macroscopic Representation (EMR) [en línia]. [Consulta: 08/06/2026]. Disponible a: <https://emr-website.univ-lille.fr/>.
- Ribbens, William B. Understanding automotive electronics : an engineering perspective . Eight edition. ©2017. ISBN 978-0-12-810434-7.
- Tom Denton. Automobile Electrical and Electronic Systems.