



# Guía docente

## 2400303 - 240MAU14 - Motores Eléctricos

Última modificación: 19/06/2026

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona  
**Unidad que imparte:** 709 - DEE - Departamento de Ingeniería Eléctrica.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN (Plan 2026). (Asignatura obligatoria).

**Curso:** 2026      **Créditos ECTS:** 5.0      **Idiomas:** Catalán, Castellano

### PROFESORADO

**Profesorado responsable:** Montesinos Miracle, Daniel

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

### CAPACIDADES PREVIAS

Conocimientos básicos de circuitos eléctricos, mecánica y física. Nociones elementales de electrónica y máquinas eléctricas

### METODOLOGÍAS DOCENTES

Clases expositivas en las que se combinan teoría y problemas. El desarrollo de los problemas se realiza de forma participativa. También hay prácticas de laboratorio y trabajos dirigidos que los estudiantes realizan fuera del aula.

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al finalizar la asignatura, el estudiante ha de ser capaz de:

- Comprender el papel de los motores eléctricos en el sector de la automoción y los requisitos del sistema de tracción.
- Modelar el vehículo eléctrico/híbrido para el análisis energético, aplicando herramientas como la Representación Energética Macroscópica (REM) y el Control Basado en la Inversión (IBC).
- Analizar el funcionamiento, modelar y diseñar el control de motores de corriente continua (DC), de imanes permanentes (PMSM) y de inducción.
- Aplicar estrategias de control vectorial a los principales tipos de motores eléctricos empleados en vehículos eléctricos.
- Conocer las perspectivas de futuro de los motores eléctricos para la tracción.
- Adquirir competencias básicas en electrónica para comprender los circuitos de potencia y de control de los accionamientos en el sector del automóvil.

### HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	15,0	12.00
Horas aprendizaje autónomo	80,0	64.00
Horas grupo grande	30,0	24.00

**Dedicación total:** 125 h

## CONTENIDOS

### Introducción a los motores eléctricos en automoción

**Descripción:**

Este tema introductorio sitúa al estudiante en el contexto industrial y tecnológico de los motores eléctricos en el sector del automóvil, analizando la situación actual del mercado mundial de vehículos eléctricos e híbridos. A partir de aquí, se introduce el concepto de sistema de tracción eléctrica, identificando los tipos de cargas mecánicas y las características del sistema de tracción ideal, en el que coexisten una zona de par constante y una zona de potencia constante. Se analizan el flujo energético, las pérdidas y las características térmicas del conjunto, así como el área de operación segura. El tema finaliza con los principios físicos de generación de par eléctrico, que constituyen la base común a todos los tipos de motores que se estudiarán a lo largo del curso.

**Objetivos específicos:**

Al finalizar este tema, el estudiante comprenderá el contexto de los motores eléctricos en el sector de la automoción, identificará los principales tipos de sistemas de tracción y sus requisitos, y conocerá los principios físicos fundamentales de la generación de par eléctrico.

**Dedicación:** 8h

Grupo grande/Teoría: 4h

Aprendizaje autónomo: 4h

### Modelado del vehículo para el análisis energético

**Descripción:**

El objetivo de este tema es dotar al estudiante de las herramientas necesarias para modelar el vehículo eléctrico o híbrido desde el punto de vista energético. Se parte de las ecuaciones fundamentales de la dinámica longitudinal del vehículo y se estudian los perfiles de conducción normalizados que permiten evaluar el consumo energético en condiciones representativas de uso real. A continuación se introduce el modelado cuasiestático, útil para el dimensionado energético, y el modelado dinámico, necesario para el diseño de controladores. Para este último, se utiliza la Representación Energética Macroscópica (REM), una metodología gráfica que facilita la representación sistemática de los flujos de energía en sistemas de propulsión complejos, y su herramienta de diseño de control asociada, el Control Basado en la Inversión (IBC). El tema finaliza con la determinación de los requerimientos que debe cumplir el sistema de tracción en términos de par, velocidad y potencia.

**Objetivos específicos:**

Al finalizar este tema, el estudiante será capaz de formular las ecuaciones dinámicas del vehículo, interpretar perfiles de conducción normalizados, aplicar la REM para modelar sistemas de propulsión y diseñar estructuras de control mediante el IBC.

**Actividades vinculadas:**

Tr1. Modelado del vehículo

Descripción: Estudio cuasiestático de la demanda energética de un vehículo eléctrico sobre un perfil de conducción normalizado.

Objetivos específicos: Aplicar las ecuaciones de dinámica del vehículo para calcular las fuerzas resistivas y la potencia demandada. Obtener el consumo energético sobre un ciclo de conducción dado. Identificar los principales parámetros que influyen en la autonomía del vehículo.

Material necesario: Enunciado e información disponibles en Atenea. Ordenador personal con licencia de MATLAB/Simulink.

Entrega: Informe escrito en formato PDF con los resultados obtenidos y su análisis crítico.

Tr2. Modelado dinámico y control. Aplicación de la REM e IBC

Descripción: Modelado dinámico del sistema de propulsión de un vehículo eléctrico mediante la REM y diseño del control mediante el IBC.

Objetivos específicos: Construir el diagrama REM del sistema de propulsión. Derivar la estructura de control IBC a partir del diagrama REM. Simular el sistema en MATLAB/Simulink y verificar el seguimiento de la referencia de velocidad.

Material necesario: Enunciado e información disponibles en Atenea. Ordenador personal con licencia de MATLAB/Simulink.

Entrega: Informe escrito en formato PDF y modelo de simulación de Simulink (.slx).

**Dedicación:** 32h

Grupo grande/Teoría: 6h

Actividades dirigidas: 18h

Aprendizaje autónomo: 8h

## Motor DC

### Descripción:

Aunque el motor de corriente continua ha sido en gran medida sustituido por motores de corriente alterna en las aplicaciones de tracción modernas, su estudio resulta fundamental como punto de partida pedagógico, ya que su modelo matemático es relativamente sencillo y permite introducir de forma natural los conceptos de lazo de par y lazo de velocidad que se generalizarán posteriormente. El tema aborda los principios de funcionamiento y el modelado matemático del motor DC, analiza su comportamiento en estado estacionario y desarrolla la estructura de control en cascada formada por el regulador de corriente (par) y el regulador de velocidad. El tema incluye también las limitaciones operativas del motor y las estrategias de protección que deben considerarse en el diseño del accionamiento.

### Objetivos específicos:

Al finalizar este tema, el estudiante comprenderá el funcionamiento del motor DC, será capaz de obtener su modelo matemático y diseñar lazos de control de corriente y velocidad mediante reguladores PI.

### Actividades vinculadas:

Tr3. Modelado y control del motor DC

Descripción: Modelado matemático del motor DC y diseño de los lazos de control de corriente y velocidad.

Objetivos específicos: Obtener el modelo de pequeña señal del motor DC. Diseñar y sintonizar reguladores PI para los lazos de corriente y de velocidad. Validar el diseño mediante simulación en MATLAB/Simulink.

Material necesario: Enunciado e información disponibles en Atenea. Ordenador personal con licencia de MATLAB/Simulink.

### Dedicación: 26h

Grupo grande/Teoría: 6h

Actividades dirigidas: 12h

Aprendizaje autónomo: 8h

## Motor PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)

### Descripción:

El motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) es actualmente la tecnología más utilizada en aplicaciones de tracción eléctrica, gracias a su elevada densidad de par y potencia y su alto rendimiento. El tema comienza con los principios de funcionamiento y las características constructivas del PMSM, para después introducir la transformación de Park como herramienta matemática que permite obtener un modelo dinámico en el marco de referencia dq, desacoplando los efectos de la corriente de magnetización y de la corriente de par. A partir de este modelo se deduce la ecuación de par y se desarrolla la estructura de control vectorial orientado al campo, basada en reguladores de corriente en el marco dq. El tema finaliza con las estrategias avanzadas de control: el MTPA (Maximum Torque Per Ampere), que optimiza el rendimiento en la zona de par constante, y el debilitamiento de campo, que permite extender la zona de operación más allá de la velocidad base.

### Objetivos específicos:

Al finalizar este tema, el estudiante dominará la transformación de Park aplicada al motor PMSM, obtendrá el modelo en el marco de referencia dq, comprenderá el control vectorial y sabrá aplicar estrategias avanzadas como el MTPA y el debilitamiento de campo.

### Actividades vinculadas:

Tr4. Modelado y control del motor PMSM

Descripción: Modelado del motor PMSM en el marco de referencia dq mediante la transformación de Park e implementación del control vectorial.

Objetivos específicos: Aplicar la transformación de Park para obtener el modelo dq del PMSM. Analizar la ecuación de par y su dependencia con las corrientes de eje d y q. Diseñar y simular el control vectorial con reguladores de corriente.

Material necesario: Enunciado e información disponibles en Atenea. Ordenador personal con licencia de MATLAB/Simulink.

Entrega: Informe escrito en formato PDF y model de simulación de Simulink (.slx).

### Dedicación: 30h

Grupo grande/Teoría: 8h

Actividades dirigidas: 10h

Aprendizaje autónomo: 12h

### Motor de inducción

**Descripción:**

El motor de inducción ha sido históricamente el motor eléctrico más utilizado en aplicaciones industriales y todavía tiene presencia en algunas plataformas de vehículos eléctricos. Este tema presenta sus principios de funcionamiento y analiza su comportamiento en régimen permanente a través del circuito equivalente monofásico. Se introduce el control escalar V/f como método sencillo de regulación de velocidad, y se discuten sus limitaciones. A continuación, se aplica la transformación de Park para obtener el modelo dinámico del motor de inducción en el marco de referencia dq, a partir del cual se deduce la ecuación de par y se establecen las bases del control vectorial por orientación de campo, mostrando sus similitudes y diferencias respecto al control del PMSM.

**Objetivos específicos:**

Al finalizar este tema, el estudiante comprenderá el funcionamiento del motor de inducción, aplicará la transformación de Park para obtener su modelo dinámico y conocerá las bases del control vectorial por orientación de campo.

**Dedicación:** 10h

Grupo grande/Teoría: 4h

Aprendizaje autónomo: 6h

### Perspectivas de futuro

**Descripción:**

Este tema de cierre ofrece una visión prospectiva de las tecnologías de motores eléctricos que están emergiendo en el sector de la tracción eléctrica. Se analizan los motores de flujo axial, cuya topología compacta y alta densidad de potencia los convierte en candidatos especialmente atractivos para aplicaciones en vehículos ligeros, y los motores de reluctancia síncrona, que prescindan de imanes de tierras raras y ofrecen una alternativa de menor coste y mayor robustez. El objetivo del tema es que el estudiante sea capaz de evaluar críticamente las ventajas e inconvenientes de estas tecnologías emergentes frente a las soluciones consolidadas, y de situar estas tendencias en el contexto más amplio de la electrificación del transporte.

**Objetivos específicos:**

Al finalizar este tema, el estudiante conocerá las tecnologías emergentes en motores eléctricos para tracción, evaluará sus ventajas e inconvenientes frente a las tecnologías actuales y dispondrá de una visión prospectiva del sector.

**Dedicación:** 4h

Grupo grande/Teoría: 2h

Aprendizaje autónomo: 2h

### P1. Electrónica básica

**Descripción:**

Introducción al laboratorio de electrónica. Manejo de los instrumentos de medida básicos y análisis de circuitos pasivos elementales

**Objetivos específicos:**

Utilizar correctamente el multímetro y el osciloscopio. Verificar experimentalmente el comportamiento de circuitos R-C, divisores de tensión y conexiones serie-paralelo.

**Actividades vinculadas:**

Material necesario: El material de laboratorio (componentes, placas de prueba, fuentes de alimentación e instrumentos) será suministrado en la sesión de prácticas.

Entrega: Informe de prácticas con los resultados experimentales obtenidos y su análisis.

**Dedicación:** 2h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h



## P2. Transistores BJT, MOSFET. Diodos

### Descripción:

Estudio experimental de los dispositivos semiconductores activos más utilizados en electrónica de potencia: diodos, transistores BJT y MOSFET.

### Objetivos específicos:

Trazar la curva característica del diodo y analizar el regulador serie con diodo Zener. Implementar y verificar el funcionamiento de un inversor lógico con BJT. Utilizar un MOSFET como interruptor para el control de un motor DC.

### Actividades vinculadas:

Material necesario: El material de laboratorio será suministrado en la sesión de prácticas.

Entrega: Informe de prácticas con los resultados experimentales obtenidos y su análisis.

### Dedicación: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

## P3. Amplificadores operacionales

### Descripción:

Estudio de los circuitos básicos con amplificadores operacionales orientados al acondicionamiento de señal y al control analógico.

### Objetivos específicos:

Analizar y verificar experimentalmente los circuitos inversor, no inversor, comparador, integrador y oscilador con amplificador operacional.

### Actividades vinculadas:

Material necesario: El material de laboratorio será suministrado en la sesión de prácticas.

Entrega: Informe de prácticas con los resultados experimentales obtenidos y su análisis.

### Dedicación: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

## P4. PWM, regulador de tensión motor DC

### Descripción:

Generación de señal PWM y aplicación al control de tensión de un motor DC mediante un convertidor básico.

### Objetivos específicos:

Generar y analizar una señal PWM analógica. Implementar un regulador de tensión para un motor DC y verificar su respuesta frente a variaciones de referencia y de carga.

### Actividades vinculadas:

Material necesario: El material de laboratorio será suministrado en la sesión de prácticas.

Entrega: Informe de prácticas con los resultados experimentales obtenidos y su análisis.

### Dedicación: 5h

Grupo pequeño/Laboratorio: 5h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

La nota final será:

$\text{Nota final} = 0,50 \times \text{Nota examen final} + 0,30 \times \text{Nota trabajos dirigidos} + 0,20 \times \text{Nota prácticas de laboratorio}$

Los estudiantes que no realicen el examen final o las prácticas o los trabajos dirigidos serán evaluados con NP.

En caso de asistir al examen de reevaluación, se aplicarán las mismas expresiones para el cálculo de las calificaciones, sustituyendo la nota del examen final por la del examen de reevaluación.



## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

---

El examen final (igual que el de reevaluación) se realizará en las fechas y horas señaladas por la Escuela.

El examen final (igual que el de reevaluación) consta de una parte de conceptos teóricos y otra de problemas.

Los trabajos dirigidos (Tr1–Tr4) se entregarán en las fechas indicadas al inicio del cuatrimestre.

Los informes de prácticas de laboratorio (P1-P4) se entregarán en el plazo indicado al inicio de cada práctica.

Para los exámenes, sólo se permitirá el uso de un bolígrafo, un formulario manuscrito de una página y una calculadora. Los exámenes son individuales y no se permite el uso de ninguna otra herramienta distinta de un bolígrafo y una calculadora. No se permite el uso de teléfonos móviles u otros dispositivos con conexión, ni el uso de herramientas de inteligencia artificial.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- 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 línea]. [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.