



## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre Completo	Accionamientos Eléctricos
Código	DIE-GITI-432
Título	<a href="#">Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales</a>
Impartido en	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales [Cuarto Curso]
Créditos	9,0
Carácter	Optativa (Grado)
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica

Datos del profesorado	
<b>Profesor</b>	
Nombre	Fidel Fernández Bernal
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	D-307 Alberto Aguilera 25
Correo electrónico	fidelf@icai.comillas.edu
<b>Profesores de laboratorio</b>	
<b>Profesor</b>	
Nombre	Carlos Domingo Gil
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	carlos.domingo@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Luis Díez Maroto
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	Luis.Diez@iit.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Lukas Sigrist
Departamento / Área	Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)
Despacho	Francisco de Ricci, 3
Correo electrónico	Lukas.Sigrist@iit.comillas.edu
Teléfono	4507

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA



## Contextualización de la asignatura

### Aportación al perfil profesional de la titulación

El control de velocidad y par para la optimización de bombas, trenes, vehículos eléctricos, generadores eólicos y un largo etcétera de aplicaciones, requiere de conocimientos multidisciplinares, y en especial de máquinas eléctricas y técnicas de control.

En esta asignatura se intenta dotar al alumno de esos extensos conocimientos a partir de los ya adquiridos en las asignaturas anteriores de máquinas eléctricas y control.

La asignatura tiene un claro carácter experimental por lo que los alumnos también serán capaces de realizar simulaciones detalladas con el ordenador y de programar y manejar variadores de velocidad comerciales.

### Prerrequisitos

Asignaturas relacionadas: Máquinas Eléctricas de 3º curso, primer semestre. Regulación automática de 3º curso, segundo semestre.

En el laboratorio de la asignatura se precisan conocimientos básicos de seguridad eléctrica, manejo de equipos de medida, montaje de esquemas eléctricos y la elaboración de informes de ensayos. Finalmente, se requiere el manejo adecuado de aplicaciones informáticas en la ingeniería como el Matlab/Simulink.

## Competencias - Objetivos

### Competencias

#### GENERALES

<b>CG03</b>	Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
<b>CG04</b>	Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.

#### ESPECÍFICAS

<b>CEE01</b>	Capacidad para el cálculo y diseño de máquinas eléctricas.
--------------	--

### Resultados de Aprendizaje

<b>RA1</b>	Comprender en detalle el control escalar de la máquina de inducción. Elegir el esquema de control más adecuado dependiendo de la aplicación. Programar los equipos correspondientes.
<b>RA2</b>	Conocer los modelos dinámicos de las máquinas eléctricas rotativas. Saber cuándo son aconsejables los modelos de régimen estacionario y cuándo los modelos dinámicos



<b>RA3</b>	Diseñar esquemas de control vectorial para las distintas máquinas estudiadas: inducción, síncrona, etc. Evaluar sus ventajas e inconvenientes y sus diversas aplicaciones. Elegir el esquema de control más adecuado dependiendo de la aplicación
<b>RA4</b>	Manejar herramientas de simulación de los esquemas de control estudiados siempre bajo la supervisión del sentido común y la correcta comprensión de los fenómenos.

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### TEORÍA

##### ***Tema 1: Introducción a los accionamientos eléctricos***

- 1.1 Qué son.
- 1.2 Para qué sirven.
- 1.3 Ejemplos de la industria.

##### ***Tema 2: Modelado de los sistemas mecánicos rotativos dinámicos***

- 2.1 Introducción
- 2.2 Ecuación dinámica de sistemas rodantes.
- 2.3 Esquema general de análisis con máquinas eléctricas rotativas.
- 2.4 Engranajes y poleas.
- 2.5 Resonancia torsional y analogía eléctrica.
- 2.6 Unitarias en los sistemas mecánicos.

##### ***Tema 3: Control de velocidad escalar del motor de inducción***

- 3.1 Introducción
- 3.2 Repaso de los principios básicos de funcionamiento de la máquina de inducción: Esquema equivalente de régimen permanente, curvas par-s y cálculos básicos. Régimen permanente vs. régimen dinámico.
- 3.3 Principios del control de flujo constante.
- 3.4 Zonas de operación y limitaciones.
- 3.5 El control V/f y la compensación de caída de tensión.
- 3.6 Arranque suave.
- 3.7 Esquemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado, compensación del deslizamiento.



#### ***Tema 4: PWM escalar y efectos sobre el motor de inducción***

- 4.1 Repaso de electrónica de potencia y de los elementos de conmutación.
- 4.2 Repaso del principio de funcionamiento del PWM sinusoidal, PWM trifásico.
- 4.3 Efectos sobre el motor de inducción de armónicos y limitaciones.

#### ***Tema 5: Máquina síncrona de polos salientes. Ejes dq.***

- 5.1 Circuito equivalente. Valores típicos. Ensayos.
- 5.2 Repaso: principios básicos, tipos, circuito equivalente, par y potencia, ángulo de carga.
- 5.3 Problemática de los polos salientes.
- 5.4 Esquema equivalente de régimen permanente en ejes dq.

#### ***Tema 6: Teoría de los vectores espaciales en sistemas trifásicos***

- 6.1 Introducción.
- 6.2 Vectores espaciales en sistemas trifásicos: descripción matemática y gráfica.
- 6.3 Sistemas de referencia: transformada de Park.
- 6.4 Vector espacial flujo de entrehierro y tensión inducida.
- 6.5 PWM vectorial.
- 6.6 Descripción dinámica de sistemas R-L trifásicos.
- 6.7 Esquema dinámico general de máquinas trifásicas.
- 6.8 Ecuación general de producción de par.

#### ***Tema 7: Modelo dinámico de la máquina síncrona***

- 7.1 Modelo dinámico sin devanados amortiguadores: Motor síncrono de imanes permanentes, Motor síncrono de reluctancia.
- 7.2 Modelo con devanados amortiguadores.
- 7.3 Relación con el modelo de régimen permanente. Parámetros típicos.

#### ***Tema 8: Modelo dinámico del motor de inducción***

- 8.1 Modelo de máquina doblemente alimentada.
- 8.2 Rotor en cortocircuito.
- 8.3 Relación con el régimen permanente.

#### ***Tema 9: Control vectorial***

- 9.1 Estructura general de los esquemas de control.



**9.2** Principio del grado de libertad.

**9.3** Control vectorial del motor de inducción: control directo e indirecto.

**9.4** Control vectorial del motor síncrono de imanes permanentes.

**9.5** Control vectorial del motor síncrono de reluctancia.

**9.6** Uso del DSP para la implementación del control. Convertidores A/D. Entradas/salidas digitales. Interrupciones.

**9.7** El encoder como elemento de medida de la velocidad y la posición. Tipos. Esquemas. Funcionamiento.

### **Tema 10: Diseño de reguladores vectoriales**

**10.1** Modelos simplificados de las máquinas con control en corriente.

**10.2** Modelado del inversor.

**10.3** Esquemas PID en ejes dq.

**10.4** Diseño de reguladores de desacoplo i/v. Ejemplos de diseño.

### **Tema 11: Introducción al control de aerogeneradores y FACTS**

**11.1** Control de aerogeneradores: topologías y esquemas básicos.

**11.2** FACTS. El principio de control PQ vectorial. Topologías básicas. Esquema de control básico.

### **Tema 12: Control de la máquina de corriente continua y Brushless DC**

**12.1** Introducción.

**12.2** Principios básicos de la máquina DC.

**12.3** Modelo equivalente.

**12.4** Control de velocidad.

**12.5** Motor Brushless DC: funcionamiento y control básicos.

## **LABORATORIO**

**Práctica 1: Introducción al Simulink y a la simulación de máquinas eléctricas rotativas.**

**Práctica 2: Modelos de régimen permanente vs. modelos de régimen dinámico**

**Práctica 3: Control V/f del motor de inducción. Simulación característica estática.**

**Práctica 4: Control V/f del motor de inducción. Variador comercial. Uso básico.**

**Práctica 5: Control V/f del motor de inducción. Variador comercial. PWM y transitorios de arranque.**



**Práctica 6: Control V/f del motor de inducción. Simulación rampa de arranque y frenado.**

**Práctica 7: Control V/f del motor de inducción. Simulación PWM.**

**Práctica 8: Transitorios en máquina síncrona. Ejes dq y cambio de sistemas de referencia.**

**Práctica 9: Transitorios en máquina síncrona. Devanados amortiguadores.**

**Práctica 10: Control vectorial en máquina de inducción. Lazo de corriente.**

**Práctica 11: Control vectorial en máquina de inducción. Lazo de velocidad.**

## METODOLOGÍA DOCENTE

### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

#### Metodología Presencial: Actividades

1. **Lección expositiva:** Exposición de los principales conceptos y procedimientos mediante la explicación por parte del profesor.
2. **Resolución en clase de problemas ejemplo:** Resolución de algún problema clave para situar al alumno en contexto. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.
3. **Resolución en clase de problemas propuestos:** Resolución de problemas que el alumno ha debido preparar previamente. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.
4. **Resolución grupal de problemas.** El profesor planteará pequeños problemas que los alumnos resolverán en pequeños grupos en clase y cuya solución discutirán con el resto de grupos.
5. **Prácticas de laboratorio.** Se formarán grupos de trabajo que tendrán que realizar prácticas de laboratorio regladas. Las prácticas de laboratorio requerirán de la realización de un trabajo previo de preparación y finalizar con la redacción de un informe de laboratorio. Previamente a toda práctica de laboratorio se realizará una pequeña prueba para comprobar la preparación de la misma.

#### Metodología No presencial: Actividades

1. **Estudio del material presentado en clase.** Actividad realizada individualmente por el estudiante repasando y completando lo visto en clase.
2. **Estudio del material teórico no presentado en clase.** Algunos temas serán estudiados por el alumno sin presentación teórica en clase. Se mandarían problemas y actividades individuales y cooperativas que luego se discutirán en clase para asegurarse de la correcta comprensión por parte del alumno.
3. **Resolución de problemas propuestos.** La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.
4. **Preparación de las prácticas** de laboratorio y elaboración de los informes de laboratorio.

El objetivo principal del trabajo no presencial es entender y comprender los conceptos de la asignatura, que sólo pueden alcanzarse mediante el trabajo del alumno.

## RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO



<b>HORAS PRESENCIALES</b>		
Clase magistral y presentaciones generales	Resolución en clase de problemas prácticos	Prácticas de laboratorio, trabajo previo e informe posterior
36,00	32,00	22,00
<b>HORAS NO PRESENCIALES</b>		
Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos por parte del alumno	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos por parte del alumno	Prácticas de laboratorio, trabajo previo e informe posterior
60,00	73,00	47,00
<b>CRÉDITOS ECTS: 9,0 (270,00 horas)</b>		

## EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

<b>Actividades de evaluación</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Peso</b>
<b>Pruebas tipo problema o caso práctico</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Prueba de seguimiento.</li><li>• Examen Final.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comprensión de conceptos.</li><li>• Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.</li><li>• Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.</li><li>• Presentación y comunicación escrita.</li></ul>	50 %
<b>Pruebas tipo test</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Selección de la respuesta correcta</li></ul>	15 %
<b>Examen de simulación de laboratorio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad para la creación de modelos de simulación dinámica</li><li>• Ajuste correcto de los parámetros de simulación.</li><li>• Análisis crítico de los resultados obtenidos</li><li>• Presentación y comunicación escrita.</li></ul>	17.5 %
<b>Informes de laboratorio.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis crítico de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.</li><li>• Presentación y comunicación escrita.</li><li>• Capacidad de trabajo en grupo.</li><li>• Entusiasmo en la realización de la</li></ul>	17.5 %



tarea.

## Calificaciones

### Convocatoria Ordinaria

**Nota Total:** 65% Teoría + 35% Laboratorio.

- **Teoría** (sobre 100%): 1x30% prueba de seguimiento, 70% examen final. La prueba de seguimiento se realizará en horas de clase.
- **Laboratorio** (sobre 100%): 20% cálculos previos, 10% trabajo en el laboratorio, 20% informes de los ensayos, 50% examen práctico final. La nota del examen práctico final **debe ser igual o superior a 5** para aprobar el laboratorio.

Para aprobar la asignatura se exige una **nota mínima de 5 en teoría y laboratorio**. Si se aprueba una parte y se suspende otra, en el acta figurará la calificación de la parte suspendida y se guardará la calificación de la parte aprobada hasta la convocatoria extraordinaria.

### Convocatoria Extraordinaria

**Nota Total:** 65% Teoría + 35% Laboratorio.

- **Teoría** (sobre 100%): 30% calificación que obtuvo el alumno en su **evaluación continua** de la teoría (prueba de seguimiento), 70% examen convocatoria extraordinaria.
- **Laboratorio** (sobre 100%): 50% calificación que obtuvo el alumno en su **evaluación continua** del laboratorio (pruebas de preparación, trabajo en el laboratorio e informes), 50% examen convocatoria extraordinaria. La nota del examen de la convocatoria extraordinaria **debe ser igual o superior a 5** para aprobar el laboratorio.

Para aprobar la asignatura se exige una **nota mínima de 5 en teoría y laboratorio**.

## PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

Actividades	Fecha de realización	Fecha de entrega
Ver tabla adjunta al final del documento		

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica

- Novotny D. W., Lipo T. A., *Vector control and dynamics of AC drives*, Oxford University Press, 1996.
- Krause P.C., Wasynczuk O., Sudhoff S. D., *Analysis of electric machinery*, IEEE Press, 1995.

### Bibliografía Complementaria





# COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

**GUÍA DOCENTE  
2018 - 2019**

- Boldea I., Nasar S. A., *Vector control of AC drives*, CRC press, 1992.
- Leonhard W., *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag, 2º ed., 1990.
- Barnes, M., *Practical Variable Speed Drives and Power Electronics*, Elsevier, 2003.