

## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre	Sistemas de Energía Eléctrica
Código	DIE GITI 323
Titulación	Master Ingeniería Industrial (MII)
Curso	3º
Cuatrimestre	2º
Créditos ECTS	6 ECTS
Carácter	Obligatoria
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Área	Electrotecnia
Universidad	Comillas
Horario	
Profesores	Enrique Lobato,
Descriptor	Sistemas de Energía Eléctrica

Datos del profesorado	
Coordinador de la teoría, laboratorio y profesor de teoría y laboratorio	
Nombre	Enrique Lobato
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	C/ Francisco de Ricci nº3
e-mail	enrique.lobato@comillas.edu
Teléfono	
Tutorías	Se comunicará el primer día de clase

Datos del profesorado	
Profesor de teoría y laboratorio	
Nombre	
Departamento	
Despacho	
e-mail	
Teléfono	
Tutorías	

Datos del profesorado	
Profesor de teoría y laboratorio	
Nombre	
Departamento	
Despacho	
e-mail	
Teléfono	
Tutorías	

<b>Datos del profesorado</b>	
<b>Profesor de teoría y laboratorio</b>	
Nombre	
Departamento	
Despacho	
e-mail	
Teléfono	
Tutorías	

<b>Datos del profesorado</b>	
<b>Profesor de laboratorio</b>	
Nombre	
Departamento	
Despacho	
e-mail	
Teléfono	
Tutorías	

<b>Datos del profesorado</b>	
<b>Profesor de laboratorio</b>	
Nombre	
Departamento	
Despacho	
e-mail	
Teléfono	
Tutorías	

## **DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA**

### **Contextualización de la asignatura**

#### **Aportación al perfil profesional de la titulación**

Esta asignatura entronca con otras asignaturas de la rama eléctrica, en particular con asignaturas más básicas como circuitos y electrotecnia, y asignaturas más avanzadas como máquinas eléctricas. En este sentido, la asignatura pretende afianzar las capacidades y conocimientos adquiridos en asignaturas anteriores, preparar al alumno para asignaturas futuras y, además, capacitar al alumno en las competencias propias de esa asignatura.

Entre las aportaciones específicas al perfil profesional de la asignatura figuran:

1. Conocer los elementos que componen un Sistema Eléctrico de Potencia y saber asociar a cada elemento el modelo adecuado para cada tipo de análisis.
2. Comprender los aspectos básicos que influyen en la planificación de la operación económica y la explotación de la generación en un sistema de energía eléctrica.
3. Conocer y aplicar de forma simplificada el método de flujo de cargas en corriente continua para determinar las tensiones en diferentes nudos de un sistema eléctrico, y la potencia transportada por sus líneas y transformadores.
4. Conocer los aspectos fundamentales relacionados con el control de las plantas de generación y de los sistemas de energía eléctrica, las acciones que se pueden realizar para mantener el sistema en un estado de funcionamiento seguro, las limitaciones existentes, etc.
5. Conocer los criterios de diseño y operación de los sistemas de control de una central eléctrica que permiten su adecuada participación en el control del sistema eléctrico.
6. Analizar el estado de un sistema eléctrico y determinar si se deben realizar cambios en sus elementos para que la operación del sistema se pueda realizar de forma segura,

en particular sin afectar al suministro de energía a los clientes.

7. Conocer las características y funcionamiento del control tensión/reactiva. Comprender el efecto que tiene la inclusión de elementos de control de tensión en un sistema eléctrico. Analizar el comportamiento esperado en el sistema ante determinadas acciones de control.

8. Conocer las características y funcionamiento del control frecuencia/potencia. Comprender los diferentes lazos de regulación relacionados con este control, sus objetivos y características de respuesta, y la interacción entre ellos.

#### Prerequisitos

Electrotecnia básica: resolución de circuitos y redes de alterna monofásicas y trifásicas.  
Regulación automática, estadística básica

### BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

#### Contenidos - Bloques Temáticos

##### Teoría

##### Tema 1: Introducción

- 1.1 Descripción de un sistema eléctrico de potencia. Finalidad. Estructura. Representación
- 1.2 Introducción a la explotación de los sistemas eléctricos de potencia
- 1.3 Introducción al control de los sistemas eléctricos de potencia. Variables que deben ser supervisadas y controladas.

##### Tema 2: ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA. FLUJOS DE CARGA. CONTROL Q-V

- 2.1 Elementos de los sistemas de energía eléctrica: líneas, transformadores, máquinas síncronas, cargas.
- 2.2 Flujos de carga. Formulación. Métodos de resolución (Gauss-Seidel, Newton-Raphson, desacoplado, desacoplado rápido, flujo de cargas en continua)
- 2.3 Control de tensión en nudos de la red de Transporte
- 2.4 Medios para el control de la tensión: generador/compensador síncrono, condensadores/reactancias, transformadores con tomas, desconexión de líneas, compensación serie/paralelo, SVC, STATCOM, deslastre de demanda.
- 2.5 Control tensión en régimen dinámico. Propiedades. Lazos de control primario, secundario y terciario.
- 2.6 Control de tensión en nudos de la red de distribución

##### Tema 3: CONTROL DE FRECUENCIA-POTENCIA

- 3.1 Introducción
- 3.2 Modelo del regulador de turbina
- 3.3 Funcionamiento en paralelo de grupos
- 3.4 Modelo de sistema eléctrico
- 3.5 Regulación primaria
- 3.6 Líneas de interconexión
- 3.7 Regulación primaria: sistema de dos áreas
- 3.8 Regulación secundaria
- 3.9 Implementación de un sistema de AGC

##### Tema 4: ESTIMADOR DE ESTADO

- 4.1 Conceptos básicos: utilidad
- 4.2 Estimador de estado lineal
- 4.3 Observabilidad. Medidas virtuales y pseudo-medidas
- 4.4 Detección e identificación de datos erróneos

##### Prácticas de Laboratorio

**Práctica 1: Análisis estático de flujo de cargas con PSS/E**

**Práctica 2: Análisis estático del control de tensión con PSS/E.**

**Práctica 3: Control frecuencia-potencia: Simulación de Regulación primaria (Matlab)**

Simulink).

**Práctica 4: Control frecuencia-potencia: Simulación del Regulación Secundaria (AGC) en sistemas interconectados (Matlab-Simulink).**

**Práctica 5: Estimación de Estado**

## Competencias – Resultados de Aprendizaje

### Competencias

#### Competencias Básicas y Generales

- CG01 - Capacidad para el desarrollo de proyectos en el ámbito de la Ingeniería Industrial.
- CG03 - 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.
- CG04 - 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.

#### Competencias Específicas

CEE6 - Conocimiento sobre sistemas eléctricos de potencia y sus aplicaciones.

### Resultados de Aprendizaje

Al final de curso los alumnos deben ser capaces de:

- RA1. Conocer los elementos que componen un Sistema Eléctrico de Potencia y saber asociar a cada elemento el modelo adecuado para cada tipo de análisis.
- RA2. Comprender los aspectos básicos que influyen en la planificación de la operación económica y la explotación de la generación en un sistema de energía eléctrica.
- RA3. Conocer y aplicar de forma simplificada el método de flujo de cargas en corriente continua para determinar las tensiones en diferentes nudos de un sistema eléctrico, y la potencia transportada por sus líneas y transformadores.
- RA4. Conocer los aspectos fundamentales relacionados con el control de las plantas de generación y de los sistemas de energía eléctrica, las acciones que se pueden realizar para mantener el sistema en un estado de funcionamiento seguro, las limitaciones existentes, etc.
- RA5. Conocer los criterios de diseño y operación de los sistemas de control de una central eléctrica que permiten su adecuada participación en el control del sistema eléctrico.
- RA6. Analizar el estado de un sistema eléctrico y determinar si se deben realizar cambios en sus elementos para que la operación del sistema se pueda realizar de forma segura, en particular sin afectar al suministro de energía a los clientes.
- RA7. Conocer las características y funcionamiento del control tensión/reactiva. Comprender el efecto que tiene la inclusión de elementos de control de tensión en un sistema eléctrico. Analizar el comportamiento esperado en el sistema ante determinadas acciones de control.
- RA8. Conocer las características y funcionamiento del control frecuencia/potencia. Comprender los diferentes lazos de regulación relacionados con este control, sus objetivos y características de respuesta, y la interacción entre ellos.

## METODOLOGÍA DOCENTE

Aspectos metodológicos generales de la asignatura	
Metodología Presencial: Actividades	Competencias
<p>1. <b>Lección expositiva:</b> exposición de los principales conceptos y procedimientos mediante la explicación por parte del profesor. Incluirá presentaciones dinámicas, pequeños ejemplos prácticos y la participación reglada o espontánea de los estudiantes. Previa a las sesiones teóricas se podrán realizar pequeñas pruebas para evaluar el trabajo no presencial de los alumnos.</p> <p>2. <b>Resolución en clase de problemas ejemplo:</b> resolución de algún problema clave para situar al alumno en contexto. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.</p> <p>3. <b>Resolución en clase de problemas propuestos:</b> resolución de problemas que el alumno ha debido preparar previamente. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa.</p> <p>4. <b>Resolución grupal de problemas:</b> el profesor planteará pequeños problemas que los alumnos resolverán en pequeños grupos en clase y cuya solución discutirán con el resto de grupos.</p> <p>5. <b>Prácticas de laboratorio:</b> 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 finalizarán con la redacción de un informe de laboratorio.</p> <p>6. <b>Tutorías:</b> se realizarán en grupo e individualmente para resolver las dudas que se les planteen a los alumnos después de haber trabajado los distintos temas. Y también para orientar al alumno en su proceso de aprendizaje.</p>	<p><b>CG01, CG03 y CEE6</b></p> <p><b>CG04</b></p> <p><b>CG04</b></p> <p><b>CG04</b></p> <p><b>CG01, CG03, CG04 y CEE6</b></p>
Metodología No presencial: Actividades	Competencias
<p>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.</p> <p>1. <b>Estudio del material previo a la clase:</b> actividad realizada individualmente por el alumno que, previamente a la clase, preparará los contenidos de la siguiente clase. Los alumnos dispondrán de la documentación necesaria para realizar este estudio previo.</p> <p>2. <b>Estudio del material presentado en clase:</b> actividad realizada individualmente por el estudiante repasando y completando lo visto en clase.</p> <p>3. <b>Resolución de problemas propuestos:</b> el alumno resolverá de forma individual los problemas propuestos que luego serán comentados en clase.</p> <p>4. <b>Preparación de las prácticas de laboratorio:</b> se formarán grupos de laboratorio que deberán preparar las prácticas antes de la sesión en el laboratorio..</p>	<p><b>CG01, CG03 y CEE6</b></p> <p><b>CG01, CG03, CG04 y CEE6</b></p> <p><b>CG01, CG03, CG04 y CEE6</b></p> <p><b>CG01, CG03, CG04 y CEE6</b></p>

<p>5. <b>Elaboración de los informes de laboratorio:</b> tras la sesión de laboratorio los alumnos elaborarán un informe en el que se recogerá los análisis y discusión crítica de las simulaciones realizadas.</p>	<p><b>CG04</b></p>
---	--------------------

Semana	ACTIVIDADES PRESENCIALES				ACTIVIDADES NO PRESENCIALES				RESULTADOS APRENDIZAJE
	h/s	CLASE TEORIA Y PROBLEMAS	LABORATORIO	EVALUACION	h/s	ESTUDIO PERSONAL	LABORATORIO PREPARACION	LABORATORIO INFORMES	Resultados Aprendizaje
1	4	Tema1 (4h)			2	Estudio y resolución de problemas (2h)			CG01, CG03, y CEE6
2	4	Tema2 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)			CG01, CG03, CG04 y CEE6
3	4	Tema2 (4h)			8	Estudio y resolución de problemas (5h)			CG01, CG03, CG04 y CEE6
4	4	Tema2 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 1 (2h)		CG01, CG03, CG04 y CEE6
5	4	Tema2 (2h)	Practica1 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 1 (3h)	CG01, CG03, CG04 y CEE6
6	4	Tema2 (4h)			9	Estudio y resolución de problemas (7h)	Preparación Práctica 2 (2h)		CG01, CG03, CG04 y CEE6
7	4	Tema3 (2h)	Practica2 (2h)		10	Estudio y resolución de problemas (7h)		Informe Practica 2 (3h)	CG01, CG03, CG04 y CEE6
8	1			Examen Inter (1h)	9	Estudio y resolución de problemas (7h)			CG01, CG03, CG04 y CEE6
9	4	Tema3 (4h)			8	Estudio y resolución de problemas (5h)			CG01, CG03, CG04 y CEE6
10	4	Tema3 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 3 (2h)		CG01, CG03, CG04 y CEE6
11	4	Tema3 (2h)	Practica3 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 3 (3h)	CG01, CG03, CG04 y CEE6
12	4	Tema3 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 4 (2h)		CG01, CG03, CG04 y CEE6
13	4	Tema3 (2h)	Practica4 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 4 (3h)	CG01, CG03, CG04 y CEE6
14	4	Tema4 (4h)			11	Estudio y resolución de problemas (11h)			CG01, CG03, CG04 y CEE6
15	4	Tema4 (2h)	Practica5 (2h)		11	Estudio y resolución de problemas (11h)	Preparación Práctica 5 (2h)	Informe Practica 5 (3h)	CG01, CG03, CG04 y CEE6

## EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

TEORÍA (75/100)		
Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
Pruebas de seguimiento	<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>	30%
Examen Final	<ul style="list-style-type: none"><li>- Comprensión de conceptos mediante preguntas test.</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>	70%
LABORATORIO (25/100)		
Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
Preparación e informe escrito	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lectura previa de las guías de la práctica.</li><li>- Obtención de cálculos previos pedidos</li><li>- Comunicación oral, razonamiento y justificación</li><li>- Juicio crítico</li><li>- Análisis crítico de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.</li><li>- Presentación y comunicación escrita.</li></ul>	100%
Para ponderar teoría (80%) y laboratorio (20%) hay que obtener, al menos, una puntuación de 5 sobre 10 en cada parte.		

### Criterios de Calificación

#### Convocatoria ordinaria

- **Nota Total:** 80% Teoría + 20% Laboratorio.
- **Teoría** (sobre 100%): 30% pruebas intermedias de seguimiento, 70% examen final. Las pruebas de seguimiento se realizarán en horas de clase.
- **Laboratorio** (sobre 100%): preparación e informes de los ensayos
- 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:** 80% Teoría + 20% Laboratorio
- **Teoría** (sobre 100%): 30% pruebas intermedias de seguimiento, 70% examen convocatoria extraordinaria.
- **Laboratorio** (sobre 100%): calificación que obtuvo el alumno en su **evaluación continua** del laboratorio (preparación e informes de los ensayos)
- 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. Si se repite la asignatura no se conservará la nota de la parte aprobada si se diera el caso.

### RESUMEN PLAN DE LOS TRABAJOS Y CRONOGRAMA

Actividades Presenciales y No presenciales	Fecha de realización	Fecha de entrega
• Examen Intersemestral y Examen Final	Semana 8 y periodo de exámenes ordinarios	
• Prácticas de laboratorio	Semanas 5,7,11,13,15	
• Lectura y estudio de los contenidos teóricos en el libro de texto	Después de cada clase	
• Resolución de los problemas propuestos	Semanalmente	
• Entrega de los problemas propuestos		Se indicará en las clases
• Preparación de Examen intersemestral y final	Semanalmente	
• Elaboración de los informes de laboratorio	Semanas 5,7,11,13,15	Semanas 5,7,11,13,15

RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO			
HORAS PRESENCIALES			
Lección magistral	Resolución de problemas	Prácticas laboratorio	Evaluación
26	20	10	4
HORAS NO PRESENCIALES			
Teoría estudio previo (TPRE)	Teoría estudio posterior (TPOS)	Laboratorio preparación (LPRE)	Laboratorio informe (LINF)
25	65	12	18
CRÉDITOS ECTS:			6 (180 horas)

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica

- “Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica”. Coordinador A. Gómez Expósito. Ed. McGraw-Hill.

### Bibliografía Complementaria

- “Power Generation Operation & Control”. Wood, A.J. - Wollenberg, B.C. John Wiley.
- “Electric Energy Systems Theory. An introduction”. O.I. Elgerd. Ed. McGraw-