



## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre completo	Sistemas de Energía Eléctrica
Código	DIE-GITI-323
Título	<a href="#">Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales por la Universidad Pontificia Comillas</a>
Impartido en	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales [Tercer Curso]
Nivel	Reglada Grado Europeo
Cuatrimestre	Semestral
Créditos	6,0 ECTS
Carácter	Obligatoria (Grado)
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Responsable	Enrique Lobato Miguélez
Horario	2 días por semana, en horario de tarde (16:00 a 20:00, diferente en función del grupo y profesor)
Horario de tutorías	Solicitar cita previa al profesor
Descriptor	Esta asignatura revisa los elementos componentes de un sistema de energía eléctrica (SEE), el análisis permanente de los SEE, y los dos controles fundamentales de un SEE: control tensión-reactiva y control frecuencia-potencia. A su vez introduce el problema de estimación de estado aplicado a un SEE

Datos del profesorado	
<b>Profesor</b>	
Nombre	Óscar García Amorós
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	ogamoros@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Alberto Carlos Barrado Sánchez
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	abarrado@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Enrique Lobato Miguélez
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	Francisco de Ricci, 3 [D-102]
Correo electrónico	Enrique.Lobato@iit.comillas.edu
Teléfono	6302
<b>Profesor</b>	
Nombre	Francisco Echavarren Cerezo
Departamento / Área	Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)



<b>Despacho</b>	Francisco de Ricci, 3 [D-104]
<b>Correo electrónico</b>	Francisco.Echavarren@iit.comillas.edu
<b>Teléfono</b>	4283
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Francisco Javier Renedo Anglada
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Despacho</b>	Francisco de Ricci, 3
<b>Correo electrónico</b>	Javier.Renedo@iit.comillas.edu
<b>Teléfono</b>	4509
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Nicolás Afonso Ferrer
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	nafonso@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Alberto Luis Mariscal Rivas
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	almariscal@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Álvaro Benítez Domínguez
<b>Departamento / Área</b>	Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)
<b>Correo electrónico</b>	abenitez@comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Andrés Fernández Ramos
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	aframos@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Carlo de Paolis Robles
<b>Departamento / Área</b>	Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)
<b>Correo electrónico</b>	cdepaolis@comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Javier Cimadevila García
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	javiercg@comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Martín Pérez-Bustos Manzanque



<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	mperezbustos@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Santiago Sanz Ruiz
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	ssanz@icai.comillas.edu
<b>Profesores de laboratorio</b>	
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Agustín Díaz García
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	adiazg@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Alezeia González García
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	alezeia.gonzalez@iit.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Javier Herrero Fuerte
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	j.herrero@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Juan Julián Peiró Peña
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Correo electrónico</b>	jjpeiro@comillas.edu

## 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

## Competencias - Objetivos

### Competencias

#### GENERALES

<b>CG01</b>	Capacidad para el desarrollo de proyectos en el ámbito de la Ingeniería Industrial.
<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>CEE06</b>	Conocimiento sobre sistemas eléctricos de potencia y sus aplicaciones
--------------	---

## Resultados de Aprendizaje

<b>RA1</b>	Conocer los elementos que componen un Sistema Eléctrico de Potencia y saber asociar a cada elemento el modelo adecuado para cada tipo de análisis
<b>RA2</b>	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 y 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 y potencia. Comprender los diferentes lazos de regulación relacionados con este control, sus objetivos y características de respuesta, y la interacción entre ellos.

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### TEORÍA

##### I. INTRODUCCIÓN

1. Descripción de un sistema eléctrico de potencia. Finalidad. Estructura. Representación
2. Introducción a la explotación de los sistemas eléctricos de potencia
3. Introducción al control de los sistemas eléctricos de potencia. Variables que deben ser supervisadas y controladas.

##### II. ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA. FLUJOS DE CARGA. CONTROL Q-V

1. Elementos de los sistemas de energía eléctrica: líneas, transformadores, máquinas síncronas, cargas.
2. Flujos de carga. Formulación. Métodos de resolución (Gauss-Seidel, Newton-Raphson, desacoplado, desacoplado rápido, flujo de cargas en continua)
3. Control de tensión en nudos de la red de Transporte
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.
5. Control tensión en régimen dinámico. Propiedades. Lazos de control primario, secundario y terciario.
6. Control de tensión en nudos de la red de distribución

##### III. CONTROL DE FRECUENCIA-POTENCIA

1. Introducción
2. Modelo del regulador de turbina
3. Funcionamiento en paralelo de grupos
4. Modelo de sistema eléctrico



5. Regulación primaria
6. Líneas de interconexión
7. Regulación primaria: sistema de dos áreas
8. Regulación secundaria
9. Implementación de un sistema de AGC

#### IV. ESTIMADOR DE ESTADO

1. Conceptos básicos: utilidad
2. Estimador de estado lineal
3. Observabilidad. Medidas virtuales y pseudo-medidas
4. Detección e identificación de datos erróneos

#### LABORATORIO

##### 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

### METODOLOGÍA DOCENTE

#### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

##### Metodología Presencial: Actividades

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 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. | CG01, CG03, CEE06 |
| 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.   | CG04              |
| 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.  | CG04              |
| 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.   | CG04              |



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.	CG01, CG03, CG04, CEE06
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.	CG01, CG03, CG04, CEE06

### Metodología No presencial: Actividades

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.	CG01, CG03, CEE06
2. <b>Estudio del material presentado en clase:</b> actividad realizada individualmente por el estudiante repasando y completando lo visto en clase.	CG01, CG03, CG04, CEE06
3. <b>Resolución de problemas propuestos:</b> el alumno resolverá de forma individual los problemas propuestos que luego serán comentados en clase.	CG01, CG03, CG04, CEE06
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..	CG01, CG03, CG04, CEE06
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	CG04

### RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

HORAS PRESENCIALES			
Clase magistral y presentaciones generales	Resolución en clase de problemas prácticos	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos por parte del alumno	Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos por parte del alumno
26.00	20.00	10.00	4.00
HORAS NO PRESENCIALES			
Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos por parte del alumno	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos por parte del alumno	Estudios y Trabajos de carácter práctico individual	
30.00	60.00	30.00	
<b>CRÉDITOS ECTS: 6,0 (180,00 horas)</b>			

### EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	Peso



Prácticas de laboratorio: comprende preparación e informe escrito de prácticas (75%, grupal) y examen de laboratorio (25%, individual)	<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><li>• Capacidad para utilizar los programas de simulación empleados</li></ul>	20
Exámenes de teoría: comprende una prueba de seguimiento (30%) y un examen final (70%)	<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>	80

## Calificaciones

### Convocatoria ordinaria

- **Nota Total:** 80% Teoría + 20% Laboratorio.
- **Teoría** (sobre 100%): 30% pruebas intermedias de seguimiento, 70% examen final.
- **Laboratorio** (sobre 100%): 75% preparación e informes de los ensayos, 25% examen práctico final. Para ponderar la nota de preparación e informes en la nota de laboratorio, hay que obtener, al menos, una puntuación de 5 sobre 10 en el examen final de laboratorio. Si la nota del examen de laboratorio es inferior a 5, la nota de laboratorio coincidirá con la nota del examen de laboratorio, y por tanto estará suspenso y deberá repetir el examen de laboratorio en la convocatoria extraordinaria.

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.

La asistencia a las prácticas es obligatoria. Cualquier práctica que no se asista, figurará la nota de cero en dicha práctica para el alumno ausente. Si no se entrega un informe de práctica en el plazo establecido a través de Moodle, figurará un cero en todos los integrantes del grupo de la práctica. Adicionalmente:

- La ausencia a dos prácticas o más conllevará la pérdida de la convocatoria ordinaria
- La ausencia a tres prácticas o más, conllevará la pérdida de la convocatoria ordinaria y extraordinaria.
- No se permite en ningún caso (justificado o no justificado) realizar una práctica en otro día u otro grupo del asignado al grupo al que el alumno pertenezca.
- No se permite en ningún caso (justificado o no justificado) entregar una práctica fuera del plazo establecido a través del Moodle.

La falta de asistencia a más del 15% de las clases podrá provocar la pérdida del derecho a presentarse al examen de la convocatoria ordinaria (e incluso de la convocatoria extraordinaria) de la asignatura (artículo 93.3 del Reglamento General, y artículos 7.2 y 7.3 de las Normas Académicas)

### Convocatoria Extraordinaria



- **Nota Total:** 80% Teoría + 20% Laboratorio
- **Teoría** (sobre 100%): 30% pruebas intermedias de seguimiento, 70% examen convocatoria extraordinaria.
- **Laboratorio** (sobre 100%): 75% calificación que obtuvo el alumno en su **evaluación continua** del laboratorio (preparación e informes de los ensayos), 25% examen convocatoria extraordinaria. Para ponderar la nota de preparación e informes en la nota de laboratorio, hay que obtener, al menos, una puntuación de 5 sobre 10 en el examen final de laboratorio. Si la nota del examen de laboratorio es inferior a 5, la nota de laboratorio coincidirá con la nota del examen de laboratorio, y por tanto estará suspenso.

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.

La falta de asistencia a más del 15% de las clases podrá provocar la pérdida del derecho a presentarse al examen de la convocatoria ordinaria (e incluso de la convocatoria extraordinaria) de la asignatura (artículo 93.3 del Reglamento General, y artículos 7.2 y 7.3 de las Normas Académicas)

## PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

Actividades	Fecha de realización	Fecha de entrega
Examen Intersemestral y Examen Final	Semana 8 y periodo de exámenes ordinarios	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 sesión presencial	
Resolución de los problemas propuestos	Semanalmente	Se indicará en las clases
Elaboración de los informes de laboratorio	Semanas 5,7,11,13,15	Semanas 6,8,12,14,16

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica

Electric Energy Systems: Analysis and Operation (Electric Power Engineering Series) 1st Edition, CRC press, edited by [Antonio Gomez-Exposito](#) (Author), [Antonio J. Conejo](#) (Author), [Claudio Canizares](#) (Author)

### 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-

En cumplimiento de la normativa vigente en materia de **protección de datos de carácter personal**, le informamos y recordamos que puede consultar los aspectos relativos a privacidad y protección de datos que ha aceptado en su matrícula entrando en esta web y pulsando "descargar"

[https://servicios.upcomillas.es/sedelectronica/inicio.aspx?csv=02E4557CAA66F4A81663AD10CED66792](https://servicios.upcomillas.es/sedeelectronica/inicio.aspx?csv=02E4557CAA66F4A81663AD10CED66792)



# COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

**GUÍA DOCENTE**

**2022 - 2023**