

FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre	Control de los Sistemas de Energía Eléctrica
Código	DIE IND 511
Titulación	Master Ingeniería Industrial (MII)
Curso	1º
Cuatrimestre	2º
Créditos ECTS	6 ECTS
Carácter	Obligatoria
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Área	Electrotecnia
Universidad	Comillas
Horario	
Profesores	Enrique Lobato, Ignacio Egido, Jesús Chapado, Eduardo Pilo
Descriptor	Control de los 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	Ignacio Egido
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	D - 312
e-mail	egido@comillas.edu
Teléfono	
Tutorías	Se comunicará el primer día de clase

Datos del profesorado	
Profesor de teoría y laboratorio	
Nombre	Jesús Chapado
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	
e-mail	jchapado@gasnatural.com
Teléfono	
Tutorías	Se comunicará el primer día de clase

Datos del profesorado	
Profesor de teoría y laboratorio	
Nombre	Eduardo Pilo
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	
e-mail	Eduardo.pilo@comillas.edu
Teléfono	
Tutorías	Se comunicará el primer día de clase

Datos del profesorado	
Profesor de laboratorio	
Nombre	Agustín Díaz García
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	
e-mail	agustin.diaz@ree.es
Teléfono	
Tutorías	Se comunicará el primer día de clase

Datos del profesorado	
Profesor de laboratorio	
Nombre	Javier Herrero Fuerte
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	
e-mail	j.herrerofuerte@gmail.com
Teléfono	
Tutorías	Se comunicará el primer día de clase

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 o instalaciones 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 aspectos fundamentales relacionados con el control de sistemas de energía eléctrica, las acciones que se pueden realizar para mantener el sistema en un estado de funcionamiento seguro, las limitaciones existentes, etc.
2. Establecer relaciones entre las acciones que se llevan a cabo en un sistema eléctrico y las consecuencias que tienen, eligiendo las que resultan más adecuadas.
3. Conocer la legislación básica, en particular la relacionada con los denominados procedimientos de operación y las normas de ENTSOE, que marcan la forma de operar y controlar el sistema eléctrico español y europeo.
4. Conocer los sistemas que deben existir en una central de generación eléctrica para permitir realizar las acciones de control necesarias para mantener el correcto funcionamiento de un sistema eléctrico.
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 y aplicar el método de flujo de cargas para determinar las tensiones en diferentes nudos de un sistema eléctrico, y la potencia transportada por sus líneas y transformadores.

8. Comprender los objetivos de un estimador de estado y las dificultades existentes cuando se desea conocer el estado de un sistema eléctrico. Aplicar los algoritmos de estimación de estado para determinar las variables importantes de un sistema eléctrico a partir de las medidas disponibles.

9. Analizar las contingencias que pueden ocurrir durante la operación de un sistema eléctrico, determinando las consecuencias que provocarían. Determinar las acciones a llevar a cabo para solucionar o aliviar las consecuencias negativas de una determinada contingencia.

10. 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. Diseñar el mejor conjunto de acciones de control para mantener un perfil de tensiones adecuado en el sistema.

11. 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. Analizar la respuesta esperada en el sistema tras la ocurrencia de un problema y la actuación del control. Diseñar y ajustar los parámetros del sistema de control para obtener una respuesta adecuada.

12. Buscar información relacionada con un determinado problema que se deba abordar y, a partir de la lectura de bibliografía relacionada, comprender los aspectos fundamentales relacionados con dicho tema.

13. Presentar y defender, tanto oralmente como por escrito, los resultados obtenidos de un determinado análisis del estado de un sistema eléctrico y las modificaciones necesarias para una operación segura.

Prerequisitos

Electrotecnia básica: resolución de circuitos y redes de alterna monofásicas y trifásicas

BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

Contenidos – Bloques Temáticos

Teoría

Tema 1: CONTROL DE FRECUENCIA-POTENCIA

- 1.1 Introducción
- 1.2 Modelo del regulador de turbina
- 1.3 Funcionamiento en paralelo de grupos
- 1.4 Modelo de sistema eléctrico
- 1.5 Regulación primaria
- 1.6 Líneas de interconexión
- 1.7 Regulación primaria: sistema de dos áreas
- 1.8 Regulación secundaria
- 1.9 Implementación de un sistema de AGC

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-Rapshon, 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: SEGURIDAD DE LOS SISTEMA DE TRANSPORTE y DISTRIBUCIÓN

- 3.1 Estados del sistema eléctrico. Coste de la seguridad. Medidas correctivas y preventivas.
- 3.2 Evaluación de la seguridad en redes de transporte. Análisis de contingencias. Factores de distribución. Operación del sistema en situación de alerta y emergencia.
- 3.3 Evaluación de la seguridad en redes de distribución

Tema 4: ESTIMADOR DE ESTADO

- 4.1 Conceptos básicos: utilidad
- 4.2 Estimador de estado lineal
- 4.3 Estimador de estado no lineal
- 4.4 Observabilidad. Medidas virtuales y pseudo-medidas
- 4.5 Detección e identificación de datos erróneos

Prácticas de Laboratorio

Práctica 1: Control frecuencia-potencia: Simulación de Regulación primaria (Matlab Simulink).

Práctica 2: Control frecuencia-potencia: Simulación del Regulación Secundaria (AGC) en sistemas interconectados (Matlab-Simulink).

Práctica 3: Análisis estático de flujo de cargas con PSS/E

Práctica 4: Análisis estático del control de tensión con PSS/E.

Práctica 5: Análisis de seguridad en redes de distribución con PSS/E.

Práctica 6: Estimación de Estado

Competencias - Resultados de Aprendizaje

Competencias

Competencias Generales

- CG1. Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de: métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecánica de medios continuos, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.
- CG4. Realizar investigación, desarrollo e innovación en productos, procesos y métodos.
- CG10. Saber comunicar las conclusiones –y los conocimientos y razones últimas que las sustentan– a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CG11. Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando de un modo autodirigido o autónomo.
- CG12. Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

Competencias de Formación Básica

- CB4. Ser capaces de predecir y controlar la evolución de situaciones complejas mediante el desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías de trabajo

adaptadas al ámbito científico/investigador, tecnológico o profesional concreto, en general multidisciplinar, en el que se desarrolle su actividad.

CB5. Saber transmitir de un modo claro y sin ambigüedades a un público especializado o no, resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica o del ámbito de la innovación más avanzada, así como los fundamentos más relevantes sobre los que se sustentan.

CB6. Haber desarrollado la autonomía suficiente para participar en proyectos de investigación y colaboraciones científicas o tecnológicas dentro su ámbito temático, en contextos interdisciplinares y, en su caso, con una alta componente de transferencia del conocimiento.

Competencias Específicas

CMT1. Conocimiento y capacidad para el análisis y diseño de sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica..

CMI1. Capacidad para el diseño, construcción y explotación de plantas industriales.

Resultados de Aprendizaje

Al final de curso los alumnos deben ser capaces de:

RA1. Conocer los aspectos fundamentales relacionados con el control de sistemas de energía eléctrica, las acciones que se pueden realizar para mantener el sistema en un estado de funcionamiento seguro, las limitaciones existentes, etc.

RA2. Establecer relaciones entre las acciones que se llevan a cabo en un sistema eléctrico y las consecuencias que tienen, eligiendo las que resultan más adecuadas.

RA3. Conocer la legislación básica, en particular la relacionada con los denominados procedimientos de operación y las normas de ENTSOE, que marcan la forma de operar y controlar el sistema eléctrico español y europeo.

RA4. Conocer los sistemas que deben existir en una central de generación eléctrica para permitir realizar las acciones de control necesarias para mantener el correcto funcionamiento de un sistema eléctrico.

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 y aplicar el método de flujo de cargas para determinar las tensiones en diferentes nudos de un sistema eléctrico, y la potencia transportada por sus líneas y transformadores.

RA8. Comprender los objetivos de un estimador de estado y las dificultades existentes cuando se desea conocer el estado de un sistema eléctrico. Aplicar los algoritmos de estimación de estado para determinar las variables importantes de un sistema eléctrico a partir de las medidas disponibles.

RA9. Analizar las contingencias que pueden ocurrir durante la operación de un sistema eléctrico, determinando las consecuencias que provocarían. Determinar las acciones a llevar a cabo para solucionar o aliviar las consecuencias negativas de

una determinada contingencia.

- RA10. 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. Diseñar el mejor conjunto de acciones de control para mantener un perfil de tensiones adecuado en el sistema.
- RA11. 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. Analizar la respuesta esperada en el sistema tras la ocurrencia de un problema y la actuación del control. Diseñar y ajustar los parámetros del sistema de control para obtener una respuesta adecuada.
- RA12. Buscar información relacionada con un determinado problema que se deba abordar y, a partir de la lectura de bibliografía relacionada, comprender los aspectos fundamentales relacionados con dicho tema.
- RA13. Presentar y defender, tanto oralmente como por escrito, los resultados obtenidos de un determinado análisis del estado de un sistema eléctrico y las modificaciones necesarias para una operación segura.

METODOLOGÍA DOCENTE

Aspectos metodológicos generales de la asignatura	
Metodología Presencial: Actividades	Competencias
<p>1. Lección expositiva: 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. 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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 finalizarán con la redacción de un informe de laboratorio.</p> <p>6. Tutorías: 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>CG1 y CB4</p> <p>CG1, CG10, CB4 y CMT1</p> <p>CG10, CG11, CG12</p> <p>CG4 y CB5</p> <p>CG4, CG10, CG12, CB5, CMT1 y CMI1</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. Estudio del material previo a la clase: 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. Estudio del material presentado en clase: actividad realizada individualmente por el estudiante repasando y completando lo visto en clase.</p> <p>3. Resolución de problemas propuestos: el alumno resolverá de forma individual los problemas propuestos que luego serán comentados en clase.</p> <p>4. Preparación de las prácticas de laboratorio: se formarán grupos de laboratorio que deberán preparar las prácticas antes de la sesión en el laboratorio..</p>	<p>CG1, CG4 y CB6</p> <p>CG1</p> <p>CG11, CMT1 y CMI1</p> <p>CG4 y CB4</p>

<p>5. Elaboración de los informes de laboratorio: 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>CB5 y CB6</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	Introduccion (2h)+Tema1 (2h)			2	Estudio y resolución de problemas (2h)			RA1
2	4	Tema1 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 1 (2h)		RA11 y RA12
3	4	Tema1 (2h)	Practica1 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 1 (3h)	RA11, RA12 y RA13
4	4	Tema1 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 2 (2h)		RA11 y RA12
5	4	Tema2 (2h)	Practica2 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 2 (3h)	RA4, RA5, RA6, RA7, RA12 y RA13
6	4	Tema2 (3h)		Prueba repaso electrotecnia (1 h)	9	Estudio y resolución de problemas (7h)	Preparación Práctica 3 (2h)		RA4, RA5, RA6, RA7 y RA12
7	4	Tema2 (2h)	Practica3 (2h)		10	Estudio y resolución de problemas (7h)		Informe Practica 3 (3h)	RA4, RA5, RA6, RA7, RA12 y RA13
8	4	Tema2 (3h)		Examen Inter (1h)	9	Estudio y resolución de problemas (7h)	Preparación Práctica 4 (2h)		RA4, RA5, RA6, RA7 y RA12
9	4	Tema2 (2h)	Practica4 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 4 (3h)	RA4, RA5, RA6, RA7, RA12 y RA13
10	4	Tema2 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 5 (2h)		RA2, RA10 y RA12
11	4	Tema2 (2h)	Practica5 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 5 (3h)	RA2, RA10, RA12 y RA13
12	4	Tema3 (4h)			7	Estudio y resolución de problemas (5h)	Preparación Práctica 6 (2h)		RA2, RA10 y RA12
13	4	Tema4 (2h)	Practica6 (2h)		8	Estudio y resolución de problemas (5h)		Informe Practica 6 (3h)	RA8, RA12 y RA13
14	4	Tema4 (4h)			11	Estudio y resolución de problemas (11h)			RA8 y RA12
15	4	Tema4 (2h)		Examen laboratorio (2h)	11	Estudio y resolución de problemas (11h)			RA8 y RA12

EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

TEORÍA (75/100)		
Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
Pruebas de seguimiento	<ul style="list-style-type: none">- Comprensión de conceptos.- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.- Presentación y comunicación escrita.	30%
Examen Final	<ul style="list-style-type: none">- Comprensión de conceptos.- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.- Presentación y comunicación escrita.	70%
LABORATORIO (25/100)		
Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
Preparación e informe escrito	<ul style="list-style-type: none">- Lectura previa de las guías de la práctica.- Obtención de cálculos previos pedidos- Comunicación oral, razonamiento y justificación- Juicio crítico- Análisis crítico de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.- Presentación y comunicación escrita.	50%
Examen Final	<ul style="list-style-type: none">- Capacidad para utilizar los programas de simulación empleados- Análisis crítico de los resultados obtenidos- Presentación y comunicación escrita	50%
Para ponderar teoría (75%) y laboratorio (25%) hay que obtener, al menos, una puntuación de 5 sobre 10 en cada parte.		

Criterios de Calificación

Convocatoria ordinaria

- **Nota Total:** 75% Teoría + 25% 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%): 50% preparación e informes de los ensayos, 50% examen práctico final.
- 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:** 75% Teoría + 25% Laboratorio
- **Teoría** (sobre 100%): 30% pruebas intermedias de seguimiento, 70% examen convocatoria extraordinaria.
- **Laboratorio** (sobre 100%): 50% calificación que obtuvo el alumno en su **evaluación continua** del laboratorio (preparación e informes de los ensayos), 50% examen 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. 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
• Pruebas de evaluación del rendimiento	Semana 6	
• Examen Intersemestral y Examen Final	Semana 8 y periodo de exámenes ordinarios	
• Prácticas de laboratorio	Semanas 3,5,7,9,12,13	
• 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 4,6,8,10,13,14	Semanas 5,7,9,12,13,15

RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

HORAS PRESENCIALES			
Lección magistral	Resolución de problemas	Prácticas laboratorio	Evaluación
24	20	12	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-