



FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
NombreCompleto	Control de los sistemas de energía eléctrica
Código	DIE-IND-511
Título	Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Impartido en	Máster Universitario en Ingeniería Industrial [Primer Curso]
Nivel	Postgrado Oficial Master
Cuatrimestre	Semestral
Créditos	6,0
Carácter	Obligatoria
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Responsable	Enrique Lobato Miguélez
Horario	2 días por semana en bloques de dos horas en horario de 8 a 12
Horario de tutorías	Solicitar cita previa al profesor
Descriptor	Se revisan los elementos componentes de una sistema de energía eléctrica (SEE), se analiza un SEE en regimen permanente y se describen los dos lazos de control principales en un SEE: control tensión-reactiva y control frecuencia-potencia. A su vez se describe el problema de estimación de estado aplicado a un SEE

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Eduardo Pilo de la Fuente
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	eduardo.pilo@icai.comillas.edu
Profesor	
Nombre	Ignacio Egido Cortés
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Despacho	Alberto Aguilera 25 [D-312]
Correo electrónico	egido@comillas.edu
Teléfono	4282
Profesor	
Nombre	Jesús Chapado Tebar
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	jchapado@icai.comillas.edu



Profesor	
Nombre	María Inmaculada Blázquez García
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	miblazquez@icai.comillas.edu
Profesor	
Nombre	Agustín Díaz García
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	adiazg@icai.comillas.edu
Profesor	
Nombre	Alezeia González García
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	alezeia.gonzalez@iit.comillas.edu
Profesor	
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
Profesor	
Nombre	Javier Herrero Fuerte
Departamento / Área	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Correo electrónico	j.herrero@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 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.



Electrotecnia básica: resolución de circuitos y redes de alterna monofásicas y trifásicas. Regulación Automática. Estadística básica.

Competencias - Objetivos

Competencias

GENERALES

BA04	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.
BA05	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.
BA06	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.
CG01	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.
CG04	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.

ESPECÍFICAS

CMI01	Capacidad para el diseño, construcción y explotación de plantas industriales
CMT01	Conocimiento y capacidad para el análisis y diseño de sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

Resultados de Aprendizaje



RA1	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.
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 planta 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.

BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

Contenidos – Bloques Temáticos

TEORÍA

TEMA 1. CONTROL 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

TEMA2. ELEMENTOS SEE. FLUJO DE CARGAS. CONTROL TENSIÓN-REACTIVA

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

TEMA 3. SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

1. Estados del sistema eléctrico. Coste de la seguridad. Medidas correctivas y preventivas.
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. Evaluación de la seguridad en redes de distribución

TEMA 4. ESTIMACIÓN DE ESTADO

1. Conceptos básicos: utilidad
2. Estimador de estado lineal
3. Estimador de estado no lineal
4. Observabilidad. Medidas virtuales y pseudo-medidas
5. Detección e identificación de datos erróneos

LABORATORIO

PRÁCTICAS

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

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. 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.
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.

BA04, CG01

BA04, CG01,
CG10, CMT01

CG10, CG11, CG12



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.	BA05, CG04
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.	BA05, CG10, CG12, CG04, CMI01, CMT01
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.	BA04, BA05, BA06, CG01, CG10, CG11, CG12, CG04, CMI01, CMT01

Metodología No presencial: Actividades

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.	BA06, CG01, CG04
2. Estudio del material presentado en clase: actividad realizada individualmente por el estudiante repasando y completando lo visto en clase.	CG01
3. Resolución de problemas propuestos: el alumno resolverá de forma individual los problemas propuestos que luego serán comentados en clase.	CG01, CMI01, CMT01
4. Preparación de las prácticas de laboratorio: se formarán grupos de laboratorio que deberán preparar las prácticas antes de la sesión en el laboratorio..	BA04, CG04
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.	BA05, BA06

RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

HORAS PRESENCIALES		
Clase magistral y presentaciones generales	Resolución en clase de problemas prácticos	Prácticas de laboratorio
24,00	24,00	12,00
HORAS NO PRESENCIALES		



Estudio y resolución de problemas prácticos fuera del horario de clase por parte del alumno	Trabajos de carácter práctico individual	Prácticas de laboratorio
60,00	30,00	30,00
CRÉDITOS ECTS: 6,0 (180,00 horas)		

EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	Peso
Examen intersemestral (30%) y Examen final (70%)	<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. 	75 %
Prácticas de laboratorio: preparación e informe escrito de prácticas (75% grupal) y examen individual de laboratorio (25%)	<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. • Capacidad para utilizar los programas de simulación empleados 	25 %

Calificaciones

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%): 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/hora con otro grupo diferente 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.

Convocatoria extraordinaria

- **Nota Total:** 75% Teoría + 25% 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.

PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

Actividades	Fecha de realización	Fecha de entrega
Examen intersemestral y Examen Final	Semana 8 y periodo de exámenes ordinarios	
Prácticas de laboratorio	Semanas 3,4,7,9,12,13	



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

**GUÍA DOCENTE
2018 - 2019**

Lectura y estudio de los contenidos teóricos en material y bibliografía	Después de cada clase	
Resolución de problemas propuestos	Semanalmente	Se indicará en las clases
Prácticas de laboratorio y realización y entrega de informes de laboratorio	Semanas 4,6,8,10,13,14	Semanas 5,7,9,12,13,15

BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

Bibliografía Básica

Electric Energy Systems: Analysis and Operation (Electric Power Engineering Series), CRC press, 1st Edition 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-