

FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre	Explotación de los Sistemas de Energía Eléctrica
Código	DIE-IND-522
Titulación	Máster Universitario en Ingeniería Industrial (MII)
Curso	Primero
Cuatrimestre	1º
Créditos ECTS	6
Carácter	Obligatorio
Departamento	Ingeniería Eléctrica
Área	Sistemas de Energía Eléctrica
Coordinador	Michel Rivier Abbad

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Michel Rivier Abbad
Departamento	Ingeniería Eléctrica
Área	Sistemas de Energía Eléctrica
Despacho	D-504 – IIT - Edificio Santa Cruz de Marcenado 26
e-mail	michel.rivier@comillas.edu
Teléfono	91 540 61 11
Horario de Tutorías	Solicitar cita por correo electrónico

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Javier García González
Departamento	Ingeniería Eléctrica
Área	Sistemas de Energía Eléctrica
Despacho	D-502 – IIT - Edificio Santa Cruz de Marcenado 26
e-mail	javiergg@comillas.edu
Teléfono	91 540 63 05
Horario de Tutorías	Solicitar cita por correo electrónico

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Pablo Rodilla Rodríguez
Departamento	Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)
Área	Regulación y economía de la Energía
Despacho	D-501 - Edificio Santa Cruz de Marcenado 26
e-mail	pablo.rodilla@iit.comillas.edu
Teléfono	91 542 28 00 (ext 2745)
Horario de Tutorías	Se comunicará el primer día de clase.

Datos del profesorado

Profesor

Nombre	Jaime Román Úbeda
Departamento	Gestión de Riesgos y Middle Office de Endesa
Área	
Despacho	
e-mail	jrubeda@comillas.edu
Teléfono	
Horario de Tutorías	Se comunicará el primer día de clase.

DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

Contextualización de la asignatura

Aportación al perfil profesional de la titulación

En el perfil profesional del Máster Universitario en Ingeniería Industrial (MII), esta asignatura proporciona al estudiante los principios básicos y los conceptos más avanzados de la explotación de los sistemas de energía eléctrica. En particular se profundiza en los aspectos técnico-económicos de la operación conjunta de la generación y transporte de energía eléctrica tanto en un entorno centralizado, como en un entorno liberalizado (mercados eléctricos).

Los alumnos se han familiarizado en el Grado y en el primer semestre del Máster con el funcionamiento técnico de un sistema de energía eléctrica (circuitos, electrotecnia en sistemas trifásicos equilibrados y desequilibrados, flujos de carga, estudio de faltas, control de sistemas de energía eléctrica, ...). Esta asignatura proporciona los conocimientos necesarios para operar técnica y económicamente un sistema de energía eléctrica.

Al finalizar el curso los alumnos deben dominar los distintos tipos de actividades presentes en el sector eléctrico, desde el negocio de generación al de la comercialización, pasando por los negocios del transporte y la distribución. Deben adquirir los conocimientos para entender y discutir los principios teóricos y prácticos que guían las decisiones de despacho de los grupos de generación en un sistema eléctrico desde el corto hasta el largo plazo, y para los diversos tipos de tecnologías involucradas: térmicas, hidráulicas, renovables, etc. Así mismo han de familiarizarse tanto con los esquemas de organización del sistema eléctrico de tipo centralizado (como aún existen en muchos países del mundo), como con los esquemas descentralizados que han dado lugar a la creación de los mercados eléctricos. Deben entender el funcionamiento de los mercados eléctricos, los conceptos de costes y precios marginales en los que se fundamentan, y las implicaciones que las distintas restricciones de red, medioambientales o de cualquier otra índole tienen sobre los precios de la electricidad.

Prerrequisitos

No se exigen requisitos previos, aunque es muy recomendable tener conocimientos básicos de flujos de carga (la aproximación linealizada es suficiente) y de optimización.

BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

Contenidos – Bloques Temáticos

BLOQUE 1:

Tema 1: VISIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO Y EXPLOTACIÓN ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

- 1.1 Descripción técnica y funcional de un sistema de energía eléctrica.
- 1.2 Introducción al problema de explotación de las centrales de generación eléctrica en un contexto centralizado y descentralizado.
- 1.3 Costes del sistema eléctrico
- 1.4 Conceptos de mix de generación. Costes fijos y costes variables. Funciones de consumo.
- 1.5 Fiabilidad y energía no suministrada.
- 1.6 Formulación elemental de un problema de planificación centralizada de la expansión de la generación en un sistema eléctrico.

Tema 2: DESPACHO ECONÓMICO DE UNIDADES GENERADORAS.

- 2.1 Despacho económico sin red.
- 2.2 Coste marginal del sistema.
- 2.3 Despacho económico con red. Factores de pérdidas y restricciones de capacidad de la red
- 2.4 Consideración de restricciones técnicas y medioambientales adicionales.

Tema 3: ASIGNACIÓN DE UNIDADES Y COORDINACIÓN HIDROTÉRMICA.

- 3.1 Programación semanal.
- 3.2 Programación de generadores con energía limitada.
- 3.3 Coordinación hidrotérmica de corto y largo plazo.
- 3.4 Valor del agua.

Tema 4: EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

- 4.1 Teoría económica de mercados de competencia perfecta.
- 4.2 Teoría de mercados con competencia oligopolista.
- 4.3 Descripción del mercado de electricidad español: mercado diario e intradiarios, servicios complementarios y restricciones.
- 4.4: La tarifa eléctrica.

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.
- CG5. Realizar la planificación estratégica y aplicarla a sistemas tanto constructivos como de producción, de calidad y de gestión medioambiental.
- CG6. Gestionar técnica y económicamente proyectos, instalaciones, plantas, empresas y centros tecnológicos.
- CG12. Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

Competencias de Formación Básica

- CB1. Haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en uno o más campos de estudio.
- CB2. Saber aplicar e integrar sus conocimientos, la comprensión de estos, su fundamentación científica y sus capacidades de resolución de problemas en entornos nuevos y definidos de forma imprecisa, incluyendo contextos de carácter multidisciplinar tanto investigadores como profesionales altamente especializados.
- CB7. Ser capaces de asumir la responsabilidad de su propio desarrollo profesional y de su especialización en uno o más campos de estudio.

Competencias del módulo de Tecnologías industriales

- CMT1. Conocimiento y capacidad para el análisis y diseño de sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.
- CMT6. Conocimientos y capacidades que permitan comprender, analizar, explotar y gestionar las distintas fuentes de energía.

Competencias del módulo de Instalaciones, plantas y construcciones complementarias

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. Tener una visión general de la estructura y funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica.

RA2. Comprender los aspectos que influyen en la planificación de la expansión de la generación en un sistema de energía eléctrica.

RA3. Comprender los aspectos que influyen en la planificación de la operación económica y la explotación de la generación en un sistema de energía eléctrica.

RA4. Argumentar la influencia del sector eléctrico en otros sectores económicos

RA5. Aplicar las técnicas de programación matemática para optimizar la operación económica del sistema eléctrico.

RA6. Analizar los resultados obtenidos por modelos de apoyo a la planificación de sistemas eléctricos.

RA7. Conocer los fundamentos técnicos y económicos de los mercados de energía eléctrica, comprendiendo el papel que juegan los servicios complementarios.

RA8. Comprender y analizar el efecto de las restricciones técnicas y medioambientales en la planificación de la operación de la generación y en la formación del precio de la energía eléctrica

RA9. Conocer el funcionamiento del mercado eléctrico español.

METODOLOGÍA DOCENTE

Aspectos metodológicos generales de la asignatura

Metodología Presencial: Actividades

Competencias

1. **Clase magistral y presentaciones generales.** 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. **(30 horas).**

CG1, CG12, CB1, CMT1, CMT2 y CMI1

<p>2. Resolución en clase de problemas prácticos. Resolución de unos primeros problemas para situar al alumno en contexto. La resolución correrá a cargo del profesor y los alumnos de forma cooperativa. (20 horas).</p> <p>3. Resolución grupal de problemas y estrategia. El profesor planteará pequeños problemas que los alumnos resolverán en pequeños grupos en clase y cuya solución discutirán con el resto de grupos. (4 horas).</p> <p>4. Simulación de toma de decisiones: los alumnos compiten en un mercado simulado tomando decisiones de operación de las centrales generadoras y de oferta en el mercado o ejecutan simulaciones en ordenador. (6 horas).</p> <p>5. 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>CG5, CG6, CB2, CMT1, CMT2 y CMI1</p> <p>CG12, CB7, CMT1, CMT2 y CMI1</p> <p>CG5, CG6, CB7, CMT1, CMT2 y CMI1</p>
<p>Metodología No presencial: Actividades</p>	<p>Competencias</p>
<p>El objetivo principal del trabajo no presencial es llegar a entender y comprender los conceptos teóricos de la asignatura, así como ser capaz de poner en práctica estos conocimientos para resolver los diferentes tipos de problemas</p> <p>1. Estudio de los conceptos teóricos. El alumno debe realizar un trabajo personal posterior a las clases teóricas para comprender e interiorizar los conocimientos aportados en la materia (40 horas).</p> <p>2. Resolución de problemas prácticos fuera del horario de clase por parte del alumno. El alumno debe utilizar e interiorizar los conocimientos aportados en la materia. La corrección a la clase se realizará por parte de alguno de los alumnos o el profesor según los casos. La corrección individualizada de cada ejercicio la realizará el propio alumno u otro compañero según los casos (método de intercambio). La resolución de estos problemas exigirá un tiempo previo de asimilación de conceptos por parte del alumno. (60 horas).</p> <p>3. Trabajos de carácter práctico individual. Actividades de</p>	<p>CB1 CB2, CMT1, CMT2 y CMI1</p> <p>CG4, CB7, CMT1, CMT2 y CMI1</p>

Semana	ACTIVIDADES PRESENCIALES			ACTIVIDADES NO PRESENCIALES			Resultados de aprendizaje		
	h/s	Clase teoría/problemas	Evaluación	h/s	Asimilación de conceptos	Resolución de problemas	Trabajos individuales y grupales	Resultados de aprendizaje	Descripción
1	4	Presentación (1 hora) + Teoría Tema 1 (3 horas)		4	Estudiar y asimilar conceptos Tema 1 (4 horas)			RA1 y RA6	Entender los principales componentes y como está estructurado un sistema de energía eléctrica. Entender los paradigmas organizativos centralizado y de mercado del sector eléctrico.
2	4	Teoría Tema 1 (1 hora) + problemas Tema 1 (3 horas)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 1 (2 horas)	Problema mix óptimo generación (4 horas)	Trabajo búsqueda información relevante (2 horas)	RA2 y RA3	Entender los conceptos de costes fijos y variables de las tecnologías de generación. Entender el mix tecnológico.
3	4	Teoría Tema 1 (2 horas) + problemas Tema 1 (2 horas)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 1 (2 horas)	Problema mix óptimo generación con hidráulica (4 horas)	Trabajo búsqueda información relevante (2 horas)	RA1 y RA2	Desglose de costes. Entender los aspectos que influyen en la planificación de la expansión de la generación y cómo se puede modelar matemáticamente.
4	4	Teoría Tema 2 (1 hora) + problemas Tema 1 (1 hora) + juego ofertas (2 horas)		8	Completar el estudio conceptos Tema 1 (2 horas)	Juego de ofertas simplificado en el mercado + Problema expansión de la generación (4 horas)	Trabajo búsqueda información relevante (2 horas)	RA3 y RA6	Entender los conceptos input/output de una central, sus costes medios y marginales. Entender la oferta de una central térmica en un mercado eléctrico.
5	4	Teoría Tema 2 (3 horas) + problemas Tema 2 (1 hora)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 2 (2 horas)	Empezar los problemas de despacho de unidades ignorando la red (6 horas)		RA4 y RA8	Asimilar las técnicas de programación matemática que permiten analizar el problema del despacho económico
6	4	Teoría Tema 2 (2 horas) + problemas Tema 2 (2 horas)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 2 (2 horas)	Completar problemas despacho sin y empezar los de despacho con red (6 horas)		RA3 y RA5	Entender los principios básicos del despacho económico y de los costes marginales del sistema, como base de los precios de energía en los mercados eléctricos.
7	4	Teoría Tema 2 (1 hora) + problemas Tema 2 (3 horas)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 2 (2 horas)	Completar problemas despacho con red (6 horas)		RA3 y RA7	Entender los principios del despacho económico de las unidades de generación ante cualquier tipo de restricción (red, emisiones, carbón) que se le imponga al sistema
8	4	Teoría Tema 3 (2 horas)	Prueba evaluación Temas 1 y 2 (2 horas)	8	Completar estudio conceptos Tema 2 y empezar con los del Tema 3 (3 horas)	Repaso problemas despacho unidades (5 horas)		RA3	Entender la problemática y planteamiento de la asignación semanal de unidades de generación
9	4	Teoría Tema 3 (3 horas) + problemas Tema 3 (1 hora)		6	Estudiar y asimilar conceptos Tema 3 (2 horas)	Problemas de asignación de unidades (4 horas)		RA4	Asimilar las técnicas de programación matemática que permiten analizar el problema de la asignación de unidades
10	4	Teoría Tema 3 (3 horas) + problemas Tema 3 (1 hora)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 3 (2 horas)	Problemas de asignación de unidades (6 horas)		RA3 y RA4	Entender la problemática y planteamiento de la coordinación hidrotérmica.
11	4	Teoría Tema 3 (2 horas) + problemas Tema 3 (2 horas)		10	Estudiar y asimilar conceptos Tema 3 (4 horas)	Problemas de coordinación hidrotérmica (6 horas)		RA3 y RA6	Entender el concepto de valor marginal del agua como elemento clave en la coordinación hidrotérmica centralizada y en las ofertas de la generación hidráulica en sistemas liberalizados
12	4	Teoría Tema 4 (1 hora) + simulaciones en ordenador (2h)	Prueba evaluación Temas 2 y 3 (1 hora)	10	Completar estudio conceptos Tema 3 y empezar con los del Tema 4 (3 horas)	Repaso problemas asignación unidades y coordinación hidrotérmica (3 horas)	Trabajo de simulación con el ordenador: juego de mercado y otros (4 horas)	RA5	Aplicación práctica del despacho, asignación de unidades y coordinación hidrotérmica
13	4	Teoría Tema 4 (2 horas) + simulaciones en ordenador (2 horas)		9	Estudiar y asimilar conceptos Tema 4 (3 horas)		Trabajo de simulación con el ordenador: juego de mercado y otros (6 horas)	RA6	Entender los fundamentos económicos que rigen los mercados eléctricos. Aplicación práctica con un ejercicio de mercado
14	4	Teoría Tema 4 (2 horas) + problemas Tema 4 (2 horas)		9	Estudiar y asimilar conceptos Tema 4 (3 horas)	Problemas mercado (2 horas)	Trabajo de simulación con el ordenador: juego de mercado y otros (4 horas)	RA6	Conocer los distintos tipos de mercado eléctrico.
15	4	Teoría Tema 4 (1 hora) + problemas Tema 4 (3 horas)		8	Estudiar y asimilar conceptos Tema 4 (4 horas)	Problemas mercado (4 horas)		RA9	Conocer el funcionamiento del mercado eléctrico español

EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
<p><u>Realización de exámenes:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Examen Final 	<ul style="list-style-type: none"> Haber alcanzado los conocimientos mínimos exigidos para aprobar la asignatura. 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. 	65%
<p><u>Evaluación del Rendimiento.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Pruebas realizadas en clase durante las semanas 8 y 12. Trabajos y participación en resolución de ejercicios. Tareas y participación en clase. 	<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. 	35%

Criterios de Calificación

La calificación de la asignatura se obtendrá como:

Convocatoria Ordinaria:

- Un 65% la calificación del examen final. El examen final se compondrá de una parte de evaluación teórica (en torno a 15%) y una parte de evaluación práctica (en torno a un 50%).
- Un 35% será la nota de seguimiento: pruebas realizadas durante las horas de clase en las semanas 8 y 12 (25%), notas de los ejercicios y prácticas realizados en clase y fuera de clase, así como la participación en clase (10%).

Para aprobar la asignatura en la convocatoria ordinaria los alumnos tienen que tener al menos 5 puntos sobre 10 en el examen final de la asignatura.

Convocatoria Extraordinaria:

- Un 20% la nota que obtuvo el alumno en su evaluación formativa (15% la de las pruebas realizadas durante el curso y 5% la de los ejercicios y prácticas realizados en clase y fuera de clase, así como la participación en clase).
- Un 80% la nota del examen de la convocatoria extraordinaria.

Para aprobar la asignatura en la convocatoria extraordinaria los alumnos tienen que tener al menos 5 puntos sobre 10 en el examen final de la asignatura.

La no asistencia a más del 15% de las horas presenciales de esta asignatura tiene como consecuencia la imposibilidad de presentarse a la convocatoria ordinaria.

RESUMEN PLAN DE LOS TRABAJOS Y CRONOGRAMA

Actividades Presenciales y No presenciales	Fecha de realización	Fecha de entrega
• Pruebas de evaluación del rendimiento	Semanas 8 y 12 (a confirmar según marcha del curso)	
• Examen Final	Periodo de exámenes ordinarios	
• Trabajo de búsqueda de información	Semanas 2,3 y 4	
• Simulaciones, juegos y otros ejercicios	Semanas 2, 3, y 11-14	
• 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 las pruebas que se realizarán durante las horas de clase	Semanas 8 y 12	
• Preparación del Examen final	Mayo y Junio	

RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO			
HORAS PRESENCIALES			
Lección magistral	Resolución de problemas	Simulaciones, trabajos grupales y juego mercados	Evaluación
30	21	6	3
HORAS NO PRESENCIALES			
Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos	Realización de trabajos colaborativos	Estudio
10	60	10	40
CRÉDITOS ECTS:			6 (180 horas)

BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

Bibliografía Básica

Libros de texto

- Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Gerald B. Sheble. Power Generation, Operation and Control, 3rd Edition. Wiley. Diciembre 2013.
- Antonio Gómez-Expósito, Antonio Conejo, Claudio Cañizares (editores). Electric Energy Systems – Analysis and Operation. CRC Press. 2009.

Bibliografía Complementaria

Libros de texto

- A. Gómez Expósito (Coordinador). Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica. Mc Graw Hill. 2002.
- Página Web de Red Eléctrica de España: www.ree.es
- Página Web de OMIE: www.omie.es
- Página Web de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia: www.cnmc.es