



## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
<b>NombreCompleto</b>	Explotación de los sistemas de energía eléctrica
<b>Código</b>	DIE-IND-522
<b>Título</b>	<a href="#">Máster Universitario en Ingeniería Industrial</a>
<b>Impartido en</b>	Máster Universitario en Ingeniería Industrial [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Administración de Empresas [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Sector Eléctrico [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Mast. Univ. Inves. en Modelado de Sistemas de Ingen. [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial + Máster en Industria Conectada / in Smart Industry [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial + Máster in Smart Grids [Primer Curso] Máster Universitario en Ingeniería Industrial + Máster en Ingeniería para la Movilidad y Seguridad [Primer Curso]
<b>Nivel</b>	Postgrado Oficial Master
<b>Cuatrimestre</b>	Semestral
<b>Créditos</b>	6,0
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Responsable</b>	Michel Rivier Abbad
<b>Horario de tutorías</b>	solicitar cita por correo electrónico al profesor

Datos del profesorado	
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Andrés Diego Díaz Casado
<b>Correo electrónico</b>	andres.diaz@comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Efraim Centeno Hernández
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Despacho</b>	Santa Cruz de Marcenado 26 [D-601]
<b>Correo electrónico</b>	Efraim.Centeno@iit.comillas.edu
<b>Teléfono</b>	6279



<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Javier García González
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Despacho</b>	Alberto Aguilera 25 [D-502] Santa Cruz de Marcenado 26
<b>Correo electrónico</b>	Javier.Garcia@iit.comillas.edu
<b>Teléfono</b>	6305
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Michel Luis Rivier Abbad
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Despacho</b>	Santa Cruz de Marcenado 26 [D-504]
<b>Correo electrónico</b>	Michel.Rivier@iit.comillas.edu

## 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.



## Competencias - Objetivos

### Competencias

#### GENERALES

<b>BA01</b>	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.
<b>BA02</b>	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.
<b>BA07</b>	Ser capaces de asumir la responsabilidad de su propio desarrollo profesional y de su especialización en uno o más campos de estudio.
<b>CG01</b>	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.
<b>CG05</b>	Realizar la planificación estratégica y aplicarla a sistemas tanto constructivos como de producción, de calidad y de gestión medioambiental.
<b>CG06</b>	Gestionar técnica y económicamente proyectos, instalaciones, plantas, empresas y centros tecnológicos.
<b>CG12</b>	Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

#### ESPECÍFICAS

<b>CMIO1</b>	Capacidad para el diseño, construcción y explotación de plantas industriales
<b>CMT01</b>	Conocimiento y capacidad para el análisis y diseño de sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.
<b>CMT06</b>	Conocimientos y capacidades que permitan comprender, analizar, explotar y gestionar las distintas fuentes de energía

### Resultados de Aprendizaje

<b>RA1</b>	Tener una visión general de la estructura y funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica.
------------	--



<b>RA2</b>	Comprender los aspectos que influyen en la planificación de la expansión de la generación en un sistema de energía eléctrica.
<b>RA3</b>	Comprender los aspectos que influyen en la planificación de la operación económica y la explotación de la generación en un sistema de energía eléctrica.
<b>RA4</b>	Ser capaces de comprender la influencia del sector eléctrico en otros sectores económicos.
<b>RA5</b>	Aplicar las técnicas de programación matemática adecuadas para el análisis y planificación de la operación económica del sistema eléctrico.
<b>RA6</b>	Analizar los resultados obtenidos por modelos de apoyo a la planificación de sistemas eléctricos.
<b>RA7</b>	Conocer los fundamentos técnicos y económicos de los mercados de energía eléctrica.
<b>RA8</b>	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.
<b>RA9</b>	Conocer el funcionamiento del mercado eléctrico español.

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### **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.

## **METODOLOGÍA DOCENTE**

### **Aspectos metodológicos generales de la asignatura**

#### **Metodología Presencial: Actividades**

**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)**.

BA01, CG01,  
CG12, CMI01,  
CMT01, CMT06

**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)**.

BA02, CG05,  
CG06, CMI01,  
CMT01, CMT06

**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)**.

BA07, CG12,  
CMI01, CMT01,  
CMT06

**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

BA07, CG05,  
CG06, CMI01,



mercado o ejecutan simulaciones en ordenador. **(6 horas)**.

CMT01, CMT06

**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

### Metodología No presencial: Actividades

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

BA01, BA02,  
CMI01, CMT01,  
CMT06

**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)**.

**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)**.

BA07, CMI01,  
CMT01, CMT06

**Trabajos de carácter práctico individual.** Actividades de aprendizaje que se realizarán de forma individual fuera del horario lectivo, que requerirán algún tipo de investigación o la lectura de distintos textos, y la búsqueda de la información relevante pertinente. Estos trabajos exigirán un tiempo previo de asimilación de conceptos por parte del alumno **(10 horas)**

BA07, CG05,  
CG06, CMI01,  
CMT01, CMT06

1. **Simulación de toma de decisiones y estrategia.** Los alumnos compiten en un mercado simulado, tomando decisiones de operación de las centrales generadoras y elaborando sus ofertas y/o utilizan herramientas de apoyo a la decisión similares a las utilizadas en los departamentos de gestión de energía de las compañías eléctricas (despacho económico generación-red, asignación de unidades, etc.). **(10 horas no presenciales)**

CMI01, CMT01,  
CMT06

### RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

HORAS PRESENCIALES			
Clase magistral y presentaciones generales	Resolución en clase de problemas prácticos	Resolución grupal de problemas	Juego de estrategia
26,00	20,00	10,00	4,00



HORAS NO PRESENCIALES	
Trabajos de carácter práctico individual	Estudio y resolución de problemas prácticos fuera del horario de clase por parte del alumno
60,00	60,00
<b>CRÉDITOS ECTS: 6,0 (180,00 horas)</b>	

## EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	Peso
Examen Final	<ul style="list-style-type: none"><li>• Haber alcanzado los conocimientos mínimos exigidos para aprobar la asignatura.</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>	65 %
Pruebas realizadas en clase en torno a las semanas 8 y 12. Trabajos y participación en resolución de ejercicios. Tareas y participación en clase.	<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></ul>	35 %

## Calificaciones

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 torno a 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.

## **PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA**

<b>Actividades</b>	<b>Fecha de realización</b>	<b>Fecha de entrega</b>
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	Diciembre	

## **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.

### Webgrafía

- Página Web de Red Eléctrica de España: [www.ree.es](http://www.ree.es)
- Página Web de OMIE: [www.omie.es](http://www.omie.es)
- Página Web de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia: [www.cnmc.es](http://www.cnmc.es)

## RESUMEN PLAN DE LOS TRABAJOS Y CRONOGRAMA

Actividades Presenciales y No presenciales	Fecha de realización	Fecha de entrega
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pruebas de evaluación del rendimiento</li></ul>	Semanas 8 y 12 (a confirmar según marcha del curso)	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Examen Final</li></ul>	Periodo de exámenes ordinarios	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Trabajo de búsqueda de información</li></ul>	Semanas 2,3 y 4	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Simulaciones, juegos y otros ejercicios</li></ul>	Semanas 2, 3, y 11-14	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lectura y estudio de los contenidos teóricos en el libro de texto</li></ul>	Después de cada clase	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Resolución de los problemas propuestos</li></ul>	Semanalmente	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Entrega de los problemas propuestos</li></ul>		Se indicará en las clases
<ul style="list-style-type: none"><li>• Preparación de las pruebas que se realizarán durante las horas de clase</li></ul>	Semanas 8 y 12	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Preparación del Examen final</li></ul>	Mayo y Junio	