

## Guía docente

### 220610 - 220610 - Microredes y Optimización Energética

Última modificación: 11/04/2025

**Unidad responsable:** Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa

**Unidad que imparte:** 710 - EEL - Departamento de Ingeniería Electrónica.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL (Plan 2012). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2025

**Créditos ECTS:** 5.0

**Idiomas:** Castellano

#### PROFESORADO

---

**Profesorado responsable:** José Luis Romeral

**Otros:** Juan Antonio Ortega

#### COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

---

##### Específicas:

1. Capacidad para investigar, diseñar, desarrollar y caracterizar micro-redes de energía eléctrica con penetración de renovables y conexión a redes eléctricas, con algoritmos de supervisión, control y diagnóstico de la instalación.
2. Capacidad para investigar, diseñar y desarrollar sistemas de control y de optimización de flujos de energía en micro-redes de energía eléctrica con algoritmos complejos para su estabilidad.

##### Transversales:

3. EMPREDEDURÍA E INNOVACIÓN: Conocer y entender la organización de una empresa y las ciencias que definen su actividad; capacidad para entender las normas laborales y las relaciones entre la planificación, las estrategias industriales y comerciales, la calidad y el beneficio.
4. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.
5. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar ya sea como un miembro más, o realizando tareas de dirección con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.
6. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de la especialidad y valorar de forma crítica los resultados de esta gestión.

#### METODOLOGÍAS DOCENTES

---

El Curso se estructura en:

- Clases de teoría. Los contenidos del curso son expuestos por el profesor, con ayuda de elementos audiovisuales, en clases interactivas con participación de los estudiantes, tanto para la presentación de casos de uso como para la discusión de los contenidos y ejemplos mostrados. En particular, en algunos temas, se invitará a expertos exteriores tanto profesionales como científicos, para un conocimiento más actual de las problemática y tendencias en microredes de energía y sistemas de optimización energética.
- Clases de Laboratorio. Las clases prácticas de laboratorio incluyen trabajos de simulación en MATLAB/Simulink y experiencias con equipos reales de conexión a red de generadores eólicos y fotovoltaicos, así como con sistemas de almacenamiento de energía en forma de baterías químicas, supercondensadores y celdas de combustible. El objetivo es introducir al alumno a la metodología científica de definición y resolución de problemas, así como a las técnicas de comunicación de resultados.

La plataforma ATENEA será utilizada como herramienta de soporte para todas las actividades descritas, incluyendo el depósito de material docente, el programa de actividades, y la propuesta y recogida de trabajos y ejercicios de los alumnos, además de servir de canal de comunicación continuo durante el curso entre el alumno y el profesor.

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

El objetivo del curso es definir y describir los elementos que forman una microred eléctrica, incluyendo generadores renovables, consumidores y sistemas de almacenamiento, y describir las herramientas de supervisión y monitorización de producción y consumos eléctricos y energéticos.

Se presentan y analizan las ecuaciones de la microred, y se estudian los sistemas de supervisión y control de la misma, tanto en pequeña como en gran señal.

Sobre los modelos de microred, se estudian los conceptos de optimización energética y económica de la misma, y se discuten las pautas de su aplicación, teniendo en cuenta la seguridad, la eficiencia y la rentabilidad. Se presentan finalmente aplicaciones de microredes reales en el entorno industrial y doméstico, con integración de renovables y suministro de energía al vehículo eléctrico.

Se introducen también los conceptos de supervisión y optimización energética, y las herramientas de supervisión y gestión de microredes eléctricas, como BMS (Building Management System) y EMS (Energy Management System).

La asignatura incluye prácticas experimentales sobre modelos de simulación MATLAB-Simulink, y plantas reales con control Hardware in the Loop (HIL), incluyendo generación eólica y fotovoltaica, y sistemas de almacenamiento químico y eléctrico. Asimismo, se presenta el software de simulación ALTENER para modelado y simulación energética en plantas y edificios.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas aprendizaje autónomo	80,0	64.00
Horas grupo grande	31,0	24.80
Horas grupo pequeño	14,0	11.20

**Dedicación total:** 125 h

## CONTENIDOS

### TEMA 1.- Generación Distribuida: Concepto y ventajas frente a Generación Centralizada

#### Descripción:

Se presenta la definición y características esenciales de la Generación Distribuida (G.D.), destacando las ventajas e inconvenientes respecto a la generación clásica centralizada. Asimismo, se presenta la evolución tecnológica de los sistemas de generación y distribución, revisando el nacimiento y colapso de los sistemas distribuidos primitivos, el desarrollo de las grandes distribuciones con generación en cabecera, el auge y saturación de las grandes redes eléctricas malladas de distribución, y el nacimiento y expansión de las redes eléctricas de generación distribuida como integradoras de energías sostenibles y renovables.

Los contenidos son los siguientes:

- 1.1. - Breve historia de la distribución eléctrica.
- 1.2. - La generación centralizada. Sistemas de distribución en árbol y redes malladas.
- 1.3. - El colapso de las redes de distribución. Problemas estructurales de infraestructuras, control y gestión de la energía.
- 1.4. - Generación distribuida: concepto, ventajas e inconvenientes
- 1.5. - La integración de renovables. Tecnologías renovables y parques de producción de energía renovable.

**Dedicación:** 5h

Grupo grande/Teoría: 1h

Aprendizaje autónomo: 4h

## TEMA 2.- Microredes Eléctricas

### Descripción:

Se presenta el concepto de microred, con generación, almacenamiento y consumo local, y se discuten las tecnologías de la misma, desde el punto de vista del control de energía y la seguridad.

Los contenidos son:

- 2.1. - Concepto de microred. Descripción de sus elementos: generadores, acumuladores y consumidores.
- 2.2. - Modos de funcionamiento de la microred: Conexión a la red de distribución y operación aislada.
- 2.3. - Tecnologías aplicadas a Microredes: Electrónica de Potencia, Informática y TIC.
- 2.4. - Generadores basados en inversores y sistemas de almacenamiento. Sensores e Instrumentación.
- 2.5. - Aplicaciones de micro redes: Integración de Renovables, Almacenamiento y Redistribución de Energía, Sistemas para el Autoconsumo Energético, Infraestructuras de Recarga del Vehículo Eléctrico, Aprovechamiento de la Energía Solar, etc.

### Dedicación: 10h

Grupo grande/Teoría: 3h

Aprendizaje autónomo: 7h

## TEMA 3.- Gestión de flujos energéticos y estabilidad de la Microred

### Descripción:

Se describen los componentes de la microred, y se presentan los modelos matemáticos de la misma, que servirán para introducir y discutir los algoritmos de control y supervisión de la operación de la misma, tanto en modo de conexión a la red de distribución, como en modo de operación aislado de la red.

Los contenidos son:

- 3.1. - Componentes y Modelos de la microred. Modelos matemáticos de pequeña señal y de gran señal.
- 3.2. - Control de microredes. Diseño de control interno de tensión y corriente y control de generadores en la microred: Control Drop.
- 3.3. - Algoritmos de control lineales y no lineales.
- 3.4. - Calidad de la energía. Calidad de potencia, armónicos y flujos de potencia
- 3.5. - Análisis de la estabilidad en gran señal. Operación en Modo "Islanding"
- 3.6. - Control jerárquico y distribuido en Microgrids. Integración del control, la supervisión y la seguridad.

### Actividades vinculadas:

Prácticas de Laboratorio:

Práctica 1: Modelos eléctricos de consumidores y generadores en una microred. Flujos de Energía. Simulación MATLAB-Simulink.

Práctica 2: Control de la Microred en MATLAB-Simulink. Control de tensión y frecuencia.

### Dedicación: 39h

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 6h

Aprendizaje autónomo: 27h

#### TEMA 4.- Smart Grids e integración energética en la ciudad

##### Descripción:

En este Tema se introduce al concepto de Smart City por integración de tecnologías energética, eléctrica, electrónica, informática y de telecomunicaciones.

Asimismo, se describen algunos de los servicios disponibles en las futuras Smart Cities.

Los contenidos son los siguientes:

- 4.1. - Concepto de Smart City: integración de energía, comunicaciones y control
- 4.2. - Smart Energy e integración de renovables de baja y media potencia. Balance cero de energía. Situación normativa.
- 4.3. - Los vectores energéticos y las tecnologías de almacenamiento local
- 4.4. - Generación personal descentralizada. Micro generación eólica, solar y geotérmica. Cogeneración. Diseño de la microred.
- 4.5. - El vehículo eléctrico y las tecnologías G2V y V2G.

##### Actividades vinculadas:

Prácticas de Laboratorio:

Práctica 3: Supervisión y control de una microred en laboratorio.

##### Dedicación: 15h

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 10h

#### TEMA 5.- Optimización energética. Auditorías y Protocolos de Actuación. El papel de las ESCO

##### Descripción:

Se describen los conceptos de Auditoría y Certificación Energética, y se describen los equipos y protocolos necesarios para su realización, así como el papel que juegan las empresas ESCO en los procesos de explotación y optimización energética.

Los contenidos específicos son:

- 5.1. - Auditoría Energética: protocolos de medición, verificación y control
- 5.2. - Certificación energética de viviendas: Índice HERS y normativas
- 5.3. - Métodos simplificados de certificación energética. Herramientas de simulación software.
- 5.4. - Ejecución de Auditorías. Suministros energéticos y metodología
- 5.5. - Equipos de medida, adquisición y toma de datos para la auditoría y la gestión energética.
- 5.6.- Tecnologías de Ahorro Energético con Microredes Eléctricas..
- 5.7.- Las empresas ESCO de servicios energéticos.

##### Actividades vinculadas:

Prácticas de Laboratorio:

Práctica 4: Herramientas para la certificación energética. Ejemplos de aplicación.

##### Dedicación: 13h

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 8h

## TEMA 6.- Predicción de Generación y Curvas de Demanda.

### Descripción:

Se introducen en este Tema los algoritmos de modelado de consumidores y productores, para la supervisión y la optimización energética, y las técnicas de optimización del mix energético resultante.

Los contenidos son los siguientes:

- 6.1. - Modelos matemáticos de generación y consumo. Modelos paramétricos y estadísticos.
- 6.2. - Modelado automático. Filtrado y tratamiento de los datos.
- 6.3. - Supervisión, diagnóstico y pronóstico de consumos.
- 6.4. - Curvas de Predicción de la Demanda. Modelos teóricos y ajustes operativos
- 6.5.- Microredes de generación - consumo. El HUB energético.
- 6.6. - Optimización energética y económica. Criterios para la optimización.

### Objetivos específicos:

.

### Actividades vinculadas:

Prácticas de Laboratorio:

Práctica 5: Control de generación y consumo en una microred. Optimización energética y verificación experimental.

### Dedicación: 28h

Grupo grande/Teoría: 8h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

Aprendizaje autónomo: 16h

## TEMA 7.- Sistemas inteligentes de Gestión de Energía, iEMS

### Descripción:

Se presentan en este Tema los sistemas de supervisión y gestión de energía en edificios y plantas industriales, y las tendencias en automatización e integración de los mismos.

Los contenidos son:

- 7.1.- Building Management System, BMS. Concepto y componentes.
- 7.2.- Buses de interconexión, terminales HMI y gestión de datos en BMS.
- 7.3.- Energy Management Systems, EMS. EN 16001 y ISO 50001.
- 7.4.- Inteligencia Artificial en la Gestión de Energía: sistemas iEMS
- 7.5.- Integración de BMS/iEMS en sistemas de supervisión y control de plantas. Intercambio de datos SQL, OPC y CSV.

### Dedicación: 12h

Grupo grande/Teoría: 4h

Aprendizaje autónomo: 8h

## Exámenes

### Descripción:

Exámenes de la Asignatura según calendario de exámenes de la ETSEIAT

### Dedicación: 3h

Grupo grande/Teoría: 3h

## ACTIVIDADES

### EXPOSICIÓN DE CONTENIDOS

**Descripción:**

La Actividad sigue el modelo de exposición de la clase participativa.

Los contenidos de la asignatura serán expuestos y discutidos en clase, con interrelación y participación de los estudiantes en forma de preguntas e intervenciones relacionadas con el material, las aplicaciones, o las previsiones de futuro de la tecnología. Como material de apoyo, se utilizarán los apuntes y libros seleccionados, además de bibliografía actualizada extraída de publicaciones técnicas y científicas.

Esta actividad se evalúa con la realización de dos pruebas escritas, siguiendo el calendario de los exámenes programados en la ETSEIAT.

**Objetivos específicos:**

El objetivo específico es el de transmitir y enseñar al alumno la tecnología relacionada con las microredes eléctricas, su implantación, control y explotación desde el punto de vista de la seguridad y la eficiencia energética.

**Material:**

Apuntes de clase y Referencias Bibliográficas

**Dedicación:** 91h

Aprendizaje autónomo: 63h

Grupo grande/Teoría: 28h

## LABORATORIO EXPERIMENTAL

### Descripción:

La actividad está relacionada con el análisis de laboratorio y el desarrollo de metodologías experimentales. Durante la actividad, varias prácticas experimentales se llevarán a cabo, mediante el uso de las instalaciones de laboratorio: MATLAB / Simulink, Unidad de Control DSPACE, Convertidores de Potencia conectados a red y sistemas de almacenamiento físico de energía. Las Prácticas están relacionadas con los modelos eléctricos de las microrredes, su supervisión, control y gestión, y con la presentación de herramientas de análisis y evaluación de la eficiencia energética. Software específico MATLAB/Simulink y PSPICE será utilizado en la actividad, y podrá invitarse a expertos exteriores para la presentación de las herramientas más actuales relacionadas con el diseño, control y supervisión de microrredes eléctricas y los sistemas de gestión energética de microrredes.

Cada práctica consta de tres partes: la preparación por parte de los estudiantes, la ejecución de acuerdo a la secuencia fijada, y la realización del informe final.

Los estudiantes deben preparar un informe detallado, que se presentará al profesor después de cada práctica.

Todos los materiales necesarios para la realización de las prácticas del laboratorio experimental estarán a cargo del profesor, incluyendo los modelos de simulación para el entrenamiento del estudiante en las técnicas de modelado y control.

### Objetivos específicos:

El objetivo específico de esta actividad es preparar al alumno para aplicar los conocimientos teóricos en el estudio de casos de aplicación. Asimismo, desde el punto de vista de la metodología de resolución de problemas, los estudiantes deben ser capaces de analizar el problema, para responder a preguntas como "¿Cuáles son los datos disponibles?" ¿Cuáles son las relaciones entre ellos? Cuál es el objetivo final real?, y así sucesivamente.

Además, el estudiante debe ser capaz de desarrollar un plan para resolver el problema, teniendo en cuenta las posibles soluciones de acuerdo a la información dada y lo que se requiere, y la determinación de los principios y las relaciones que vinculan a datos conocidos con lo desconocido.

Por último, para resolver el problema el estudiante tiene que saber cómo utilizar la información recibida o medida, y las ecuaciones y las relaciones que la ligan, siguiendo las normas e instrucciones sobre los signos, las unidades y las cifras significativas.

Una vez obtenidas las soluciones, deben ser revisadas para ver si la respuesta es lógica y razonable se consigue, y los valores significativos y las unidades correctas.

Al final de esta actividad, los estudiantes deben ser capaces de:

- Adquirir habilidades experimentales sobre microrredes eléctricas, especialmente en lo referido a la supervisión y el control
- Aprender a describir las actividades realizadas, de conformidad con las especificaciones esperadas en un Informe Técnico.
- Saber tratar los datos experimentales y extraer conclusiones.

### Material:

Todos los materiales necesarios para la realización de las prácticas del laboratorio experimental estarán a cargo del profesor, incluyendo los modelos de simulación para el entrenamiento del estudiante en las técnicas de modelado y control.

### Entregable:

Informes de Prácticas, según la relación siguiente:

Práctica 1: Modelos eléctricos de consumidores y generadores en una microrred. Flujos de Energía. Simulación MATLAB-Simulink.

Práctica 2: Control de la Microrred en MATLAB-Simulink. Control de tensión y frecuencia.

Práctica 3: Supervisión y control de una microrred en laboratorio.

Práctica 4: Herramientas para la certificación energética. Ejemplos de aplicación sobre una microrred.

Práctica 5: Control de generación y consumo en una microrred. Optimización energética y verificación experimental.

### Dedicación: 31h

Aprendizaje autónomo: 17h

Grupo pequeño/Laboratorio: 14h



## EXÁMENES

**Descripción:**

Pruebas escritas para la evaluación del conocimiento y habilidades del estudiante.

**Entregable:**

Según el calendario de exámenes de ETSEIAT

**Dedicación:** 3h

Grupo grande/Teoría: 3h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

El sistema de calificación se basa en el siguiente algoritmo:

- NP1: Nota del Examen Parcial
- NP2: Nota de Examen Final
- LAB: Nota de Laboratorio

La Nota final se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{NOTA FINAL} = 0,30 \text{ NP1} + 0,40 \text{ NP2} + 0,30 \text{ LAB}$$

Para aquellos estudiantes que cumplan los requisitos y se presenten al examen de reevaluación, la calificación del examen de reevaluación substituirá las notas de todos los actos de evaluación que sean pruebas escritas presenciales (controles, exámenes parciales y finales) y se mantendrán las calificaciones de prácticas, trabajos, proyectos y presentaciones obtenidas durante el curso.

Si la nota final después de la reevaluación es inferior a 5.0 substituirá la inicial únicamente en el caso de que sea superior. Si la nota final después de la reevaluación es superior o igual a 5.0, la nota final de la asignatura será aprobado 5.0.

## BIBLIOGRAFÍA

**Básica:**

- Gellings, C.W. The smart grid: enabling energy efficiency and demand response. Lilburn: Fairmont Press : Taylor & Francis, 2009. ISBN 1439815747.
- Majumder, R. Microgrid: stability analysis and control: modeling, stability analysis and control of microgrid for improved power sharing and power flow management. Saarbrücken: VDM, 2010. ISBN 978-3-639-24769-5.
- Professors assignatura. Apunts de classe.

## RECURSOS

**Otros recursos:**

Las prácticas sobre microred real se realizarán en el Laboratorio de Microredes Eléctricas MCIA - CTM.