Guía docente
295321 - 295SE011 - Modelización y Control en Tiempo Real de Sistemas Energéticos

Última modificación: 13/06/2025

Unidad responsable: Escuela de Ingeniería de Barcelona Este
Unidad que imparte: 710 - EEL - Departamento de Ingeniería Electrónica.

Titulación: MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS PARA SISTEMAS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS (Plan 2025). (Asignatura obligatoria).

Curso: 2025 **Créditos ECTS:** 6.0 **Idiomas:** Catalán, Castellano, Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: ROBERT PIQUÉ LÓPEZ

Otros: SERGIO GIRALDO MUÑOZ
XAVIER ROSET I JUAN

CAPACIDADES PREVIAS

Las necesarias según la procedencia de los estudiantes de ingreso.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Conocimientos:
K4. Identificar metodologías para el estudio de impacto ambiental de un sistema eléctrico distribuido con fuente renovable y relacionarlo con el proceso de descarbonización de la generación energética.
K1. Identificar los diferentes recursos renovables como fuentes de energía eléctrica.
K2. Identificar las particularidades estructurales y funcionales, y la normativa aplicable, de los sistemas eléctricos descentralizados.

Habilidades:
S1. Analizar, diseñar y evaluar la fiabilidad y el ciclo de vida de los sistemas eléctricos descentralizados basados en fuentes energéticas renovables. Evaluar la fiabilidad y el ciclo de vida de un sistema distribuido de generación de energía a partir de recursos renovables.
S3. Estimar el impacto y las necesidades de nuevos modelos de consumo eléctrico, relacionándolo con el cambio de modelo energético derivado de la descarbonización de las fuentes de energía.
S2. Analizar los subsistemas electrónicos necesarios en una central energética renovable y evaluar las tecnologías de automatización y control para la gestión energética de redes y microrredes eléctricas inteligentes de un sistema energético descentralizado.

Competencias:
C3. Desarrollar la capacidad de evaluar las desigualdades por razón de sexo y género, para diseñar soluciones.
C1. Integrar los valores de la sostenibilidad, entendiendo la complejidad de los sistemas, con el fin de emprender o promover acciones que restablezcan y mantengan la salud de los ecosistemas y mejoren la justicia, generando así visiones para futuros sostenibles.
C2. Identificar y analizar problemas que requieran tomar decisiones autónomas, informadas y argumentadas, para actuar con responsabilidad social, siguiendo valores y principios éticos.

METODOLOGÍAS DOCENTES

AF.1.- Exposición de contenidos teóricos.
AF.2.- Resolución de ejercicios, problemas y casos.
AF.3.- Sesiones de trabajo práctico en el laboratorio.
AF.4.- Discusión de problemas o artículos científicos.
AF.5.- Participación en seminarios y conferencias.
AF.6.- Realización de trabajo individual y cooperativo.
AF.7. Sesiones en laboratorios informáticos o de simulación.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al cursar la asignatura MCSE-296SE011 (Modelización y Control en Tiempo Real de Sistemas Energéticos) el estudiante adquirirá capacidades dirigidas al conocimiento, análisis, diseño, explotación y mantenimiento orientados al control en tiempo real de sistemas energéticos distribuidos, en base a las metodologías y procedimientos actuales, y con énfasis en los sistemas energéticos distribuidos renovables, prestando especial atención a las configuraciones de microrredes (smart microgrids) eléctricas.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	28,0	18.67
Horas grupo grande	28,0	18.67
Horas aprendizaje autónomo	94,0	62.67

Dedicación total: 150 h

CONTENIDOS

1.- INTRODUCCIÓN A LA MODELIZACIÓN Y AL CONTROL DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

Descripción:
Revisión de conceptos básicos necesarios para la asignatura y descripción de metodologías genéricas para la modelización y simulación de sistemas energéticos.

Objetivos específicos:
Potencia. Energía. Transferencia de Energía. Caminos orientados. Flujos de Potencia/Energía. Concepto de sistema energético. Descripciones Funcional y Estructural.
Generalidades sobre Modelización y Simulación. Modelización/Simulación Causal. Modelización/Simulación Acausal. Ejemplos: PSIM, Simulink, Modelica.

Actividades vinculadas:
Trabajo en el laboratorio de las metodologías básicas para la modelización y simulación funcional y estructural, causal y acausal de Sistemas Energéticos.

Dedicación: 18h
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 4h
Aprendizaje autónomo: 10h

2.- MICRORREDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA

Descripción:
Conceptos básicos sobre Microrredes Eléctricas y sus Sistemas de Gestión de Energía, herramientas básicas para las transiciones Energética y de Movilidad en el horizonte 2040 de la Unión Europea.

Objetivos específicos:
Transiciones H2040 de la UE. Concepto de Microred Eléctrica. Bloques constitutivos. Tipo de microredes eléctricas. Conexiones. Modos operativos. Estados.
Caracterización Energética de Microredes. Grafos asociados a una microred. Matrices propias de los grafos. Vectores de potencia (energía) y de flujos. Ecuaciones básicas vectoriales y matriciales.
Sistemas de gestión de energía de tres niveles. Caracterización Estructural. Caracterización Funcional.

Actividades vinculadas:
Visita a las instalaciones fotovoltaicas del grupo EPIC.
Estudio y ensayo de las microrredes basadas en ondulador híbrido del laboratorio E3PACS. Primera parte: Aspectos Estructurales (Blogs, Instrumentación auxiliar, Elementos de Maniobra y Protección).

Dedicación: 13h
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 4h
Aprendizaje autónomo: 5h

3.- MODELIZACIÓN Y CONTROL GENERALIZADOs EN TIEMPO REAL DE CONVERTIDORES ESTÁTICOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Descripción:
Conceptos previos y sistemática para la modelización y control en tiempo real de los convertidores estáticos empleados en los sistemas energéticos.

Objetivos específicos:
Interruptores. Características Estática y Dinámica. Interruptores ideales. Magnitudes Moduladas o Conmutadas.
Función de Conmutación. Matriz de Conmutación. Función de Conexión. Matriz de Conexión.
Control interno y Control externo de los interruptores. Representación Funcional Dinámica. Estados y Transiciones. Interruptores típicos. Reglas de Transferencia de Energía.
Células de Conmutación. Funciones de modulación (o Conversión). Modelización Instantánea. Ejemplos típicos para conversores estáticos de los sistemas eléctricos distribuidos.

Actividades vinculadas:
Estudio de algunos casos de aplicación.

Dedicación: 20h
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 4h
Aprendizaje autónomo: 12h

4.- INTRODUCCIÓN AL CONTROL EN TIEMPO REAL DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

Descripción:
Conceptos y requerimientos para el Control en Tiempo Real de Sistemas Energéticos.

Objetivos específicos:
Procesamiento de Energía y Procesamiento de Información.
Principios de Interacción, Holismo y Causalidad Física. Modelizaciones Estática, Casi-estática y Dinámica.
Bloques constitutivos de los Sistemas Energéticos: Fuentes, Convertidores, Acumuladores y Distribuidores.
Control en Tiempo Real de Sistemas Energéticos.
Aproximación PIL (Procesor In Loop). Aproximación HIL (Hardware In the Loop).

Actividades vinculadas:
Estudio y ensayo de las microredes basadas en ondulador híbrido del laboratorio E3PACS. Segunda parte: Aspectos Funcionales (Modos Operativos y Modos Funcionales, Estados, Sistema de Gestión de Energía).

Dedicación: 20h
Grupo grande/Teoría: 4h
Grupo mediano/Prácticas: 6h
Aprendizaje autónomo: 10h

5.- REPRESENTACIÓN ENERGÉTICA MACROSCÓPICA Y CONTROL BASADO EN INVERSIÓN

Descripción:
La Representación Energética Macroscópica (REM) y el Control Basado en Inversión (CBI) permiten un procedimiento sistemático para la implementación de modelos y estrategias propias para el control en tiempo real de sistemas energéticos.

Objetivos específicos:
Representación Energética Macroscópica (REM). Sistemas, Subsistemas y Blogs. Puertas y Enlaces. Formalismo REM. Principios. Acción y Reacción. Caminos de las variables de acción y reacción. Blogs (Fuentes, Convertidores, Acumuladores y Distribuidores). Adecuación al Control en Tiempo Real de Sistemas Energéticos. Ejemplos de modelización de los blogs.
Control Basado en Inversión (CBI). Principio Básico. Caminos de sintonización. Caminos de control. Control Máximo por Inversión. Controladores. Sensores/Captadores. Estimadores. Reglas de inversión de los bloques REM. Controladores por inversión directa con y sin absorción de perturbación. Controladores por inversión indirecta con y sin absorción de perturbación. Estrategias. Emulación/Simulación HIL bajo el formalismo REM.
Ejemplos de aplicación.

Actividades vinculadas:
Ejemplos de aplicación de la sistémica REM+CBI.
Introducción al Hardware-In-the-Loop con equipos y softwares Typhoon HIL (C).
Se incluye seminario de formación y acceso y uso de de recursos de la Typhoon HIL Academia.

Dedicación: 50h
Grupo grande/Teoría: 10h
Grupo mediano/Prácticas: 10h
Aprendizaje autónomo: 30h

6.- PROYECTO EN GRUPOS REDUCIDOS

Descripción:
Resolución de un proyecto "PBL" en grupos colaborativos informales.

Objetivos específicos:
Cada grupo colaborativo informal resolverá un caso concreto de modelización y control en tiempo real de un sistema energético.

Dedicación: 29h
Grupo grande/Teoría: 2h
Grupo mediano/Prácticas: 4h
Actividades dirigidas: 8h
Aprendizaje autónomo: 15h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

Los componentes del polinomio de calificación son Prueba escrita individual (EE), Prácticas y trabajo en el laboratorio (PR), Resolución de ejercicios propuestos (EP) y Resolución de un caso concreto en grupo informal (TG), aplicándose los siguientes pesos:

Calificación del Examen Escrito Individual (EE): 30%
Calificación de las Prácticas (PR): 30%
Calificación de los Ejercicios Propuestos (EP): 20%
Calificación del Trabajo en Grupo (TG): 20%

Así pues, la calificación final de la asignatura viene dada por: N_Curso = 0,3·EE + 0,3·PR + 0,20·EP + 0,20·TG

Aparte de las pruebas programadas indicadas anteriormente se pueden realizar, dentro del horario de clase y sin previo aviso, pruebas complementarias no programadas, como aspectos de evaluación formativa (teoría, ejercicios), resolución de problemas, mejora de los resultados de evaluación, etc., las cuales pueden modular al alza las calificaciones de estas pruebas programadas inicialmente.

De acuerdo con la normativa académica:

Esta asignatura se considera de evaluación continuada y, por tanto, no dispone de examen "final" en el sentido clásico.

No está sujeta a reevaluación.

La realización de las actividades prácticas (trabajo en el laboratorio, realización de informes y, en su caso, preparaciones previas de las prácticas) es condición necesaria para superar la asignatura. Si no se realizan las prácticas la calificación de la asignatura será, como máximo, Suspenso 3,5.

NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Es necesario llevar, y en su caso mostrar, un identificador personal válido (DNI, pasaporte o carné de estudiante).

Las pruebas online, en su caso, se regirán por la normativa que las regula.

De acuerdo con el apartado 3.1.3 de la Normativa Académica de los Estudios de Grado y Máster de la UPC, la realización de las prácticas de laboratorio es obligatoria para optar al apto de la asignatura.

OTROS

[Plagio / Fraude] Las acciones irregulares que pueden conducir a una variación significativa de la calificación de uno o más estudiantes constituyen una realización fraudulenta de un acto de evaluación. Esta acción comporta la calificación descriptiva de suspenso y numérica de 0 del acto de evaluación y de la asignatura, sin perjuicio del proceso disciplinario que pueda derivarse como consecuencia de los actos realizados. (Normativa Académica de los Estudios de Grado y Máster de la UPC. (Apartado 3.1.2.)

[Código Éitco de la UPC] (Acuerdo CG/2022/02/30 del Consejo de Gobierno, apartado 4.2) El estudiantado, ..., debe aprovechar de manera eficiente y responsable todos los recursos que la Universidad pone a su disposición, ya sean materiales o inmateriales. Así pues, no sólo debe esforzarse por alcanzar el nivel más alto de conocimientos, sino que también debe tener una consideración especial por el carácter público de los recursos que la sociedad invierte en su formación. Debe mantener una actitud participativa en todas las actividades formativas, facilitar la tarea del profesorado y participar activamente en los procesos de evaluación del profesorado. También debe poner en valor su esfuerzo personal en todas las actuaciones, debe probar su honradez e integridad en los actos de evaluación, y debe promover estas actitudes entre los compañeros de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- Systemic design methodologies for electrical energy systems : analysis, synthesis and management. Hoboken, N. J: John Wiley and Sons Inc, 2012. ISBN 9781118569863.
- Sechilariu, Manuela; Locment, Fabrice. Urban DC microgrid : intelligent control and power flow optimization. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2016. ISBN 9780128037362.
- Rekioua, Djamila; Matagne, Ernest. Optimization of photovoltaic power systems : modelization, simulation and control [en línea]. London: Springer, 2012 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-1-4471-2403-0. ISBN 9786613574985.
- Energy management of distributed generation systems. Rijeka: InTech, 2016. ISBN 9789535124733.
- Distributed energy systems : design, modeling, and control. First edition. Boca Raton (Florida): CRC Press, 2023. ISBN 9781032134253.
- Power electronics in smart electrical energy networks [en línea]. London: Springer, 2008 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-1-84800-318-7. ISBN 9781848003170.
- Bollen, Math H. J.; Hassan, Fainan. Integration of distributed generation in the power system [en línea]. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, 2011 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: https://onlinelibrary-wiley-com.recursos.biblioteca.upc.edu/doi/book/10.1002/9781118029039. ISBN 9781118029039.

Complementaria:

- Bevrani, Hassan; François, Bruno; Ise, Toshifume. Microgrid dynamics and control. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2017. ISBN 9781119263708.
- Fritzson, Peter. Principles of object-oriented modeling and simulation with modelica 3. 3 : A cyber-physical approach. New Edition (2nd & subsequent). Hoboken, USA: Wiley, 2015. ISBN 9781118858974.
- Hautier, Jean-Paul; Caron, Jean-Pierre. Convertisseurs statiques. Méthodologie causale de modélisation et de commande. Editions Technip, 1998. ISBN 9782710807452.
- Ghosh, Arindam; Zare, Firuz. Control of power electronic converters with microgrid applications. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2023. ISBN 9781119815464.
- Kals, Johannes. ISO 50001 energy management systems : what managers need to know about energy and business administration. New York: Business Expert Press, 2015. ISBN 9781631570094.
- Rigatos, Gerasimos. Intelligent renewable energy systems : modelling and control [en línea]. Cham: Springer International Publishing, 2016 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-3-319-39156-4. ISBN 3319391569.
- Modeling, identification and control methods in renewable energy systems [en línea]. Singapore: Springer Singapore, 2019 [Consulta: 12/09/2025]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-981-13-1945-7. ISBN

9811319456.
- Keyhani, Ali; Marwali, Mohammad N.; Dai, Min. Integration of green and renewable energy in electric power systems. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. ISBN 9780470187760.