

## PROGRAMA DE CURSO CONTROL AVANZADO DE MICRO-REDES

### A. Antecedentes Generales del curso:

<b>1. Departamento</b>	Eléctrica					
<b>2. Nombre del curso</b>	Control Avanzado de Micro-redes					
<b>3. Nombre del curso en inglés</b>	Advanced Control of Microgrids					
<b>3. Código del Curso</b>	EL7058			<b>4. Créditos del curso</b>	6 créditos	
<b>5. Horas semanales</b>	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
<b>6. Carácter del curso</b>	Obligatorio		Electivo	X	<b>Electivo de línea de especialización</b>	
				X	<b>Electivo de postgrado</b>	
<b>7. Requisitos</b>	<b>EL 4004 Fundamentos de Control de Sistemas.</b> <b>Y</b> <b>EL 4001 Conversión de la Energía y Sistemas Eléctricos.</b>					

### B. Propósito del curso:

Este curso "Control Avanzado de Micro-redes" tiene como principal propósito entregar a las(os) estudiantes los fundamentos de las micro-redes, modelar y analizar la dinámica de estos sistemas, y aplicar estrategias de control para operarlas. Se hará énfasis en metodologías avanzadas de control de reciente aplicación en micro-redes como teoría de sistemas multiagentes, control basado en la teoría de consenso y control predictivo. Se estudiará además el despacho económico de carga, utilizando sistemas de control distribuido.

Para aplicar la teoría presentada en el curso se espera que durante el curso las(os) estudiantes realicen trabajos de simulación en software adecuado, diseñando los sistemas de control y evaluando el desempeño de estos. Se espera además que las(os) estudiantes implementen experiencias demostrativas en los sistemas experimentales disponibles en el laboratorio de control de micro-redes.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG) del pregrado del programa de Ingeniería Civil Eléctrica:

Competencias específicas:

CE1: Formular, analizar, simular y usar modelos físico-matemáticos que caractericen sistemas dinámicos y fuentes de incertidumbre.

CE2: Concebir y aplicar conocimientos de ciencias físicas y matemáticas para el desarrollo de soluciones tecnológicas a problemáticas de la Ingeniería Eléctrica y áreas afines.

CE4: Concebir, diseñar y evaluar, dispositivos, sistemas y desarrollos científico-tecnológicos para la solución de problemas en el ámbito de la Ingeniería Eléctrica, considerando especificaciones técnicas, así como requerimientos económicos, ambientales, sociales y éticos.

CE5: Resolver problemas y optimizar soluciones en el ámbito de la Ingeniería Eléctrica utilizando conceptos, enfoques y metodologías apropiadas. Competencias genéricas:

CG1: Comunicación profesional y académica

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG4: Trabajo en equipo

Ejecutar con su equipo, de forma estratégica, diversas actividades formativas propuestas, considerando la autogestión de sí mismo y la relación con el otro, asumiendo diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos y objetivos, sin discriminar por género u otra razón.

Además, tributa a las siguientes competencias de los programas de postgrado (Magíster y Doctorado):

- Crear una sólida formación teórica y técnica en tópicos avanzados de Ingeniería Eléctrica.
- Trabajar en la frontera del conocimiento.
- Desarrollar habilidades para la investigación.

### C. Resultados de Aprendizaje

Competencias Específicas	Resultados de Aprendizaje
CE1-CE2	RA1. Modela fenomenológicamente la operación de micro-redes AC, DC y AC/DC.
CE4	RA2. Conoce el estado del arte relacionado con el desarrollo de sistemas de control multiagente, control por consenso y control predictivo para micro-redes, considerando previamente la definición y alcances del problema, a fin de establecer el estado de investigación actual del problema a solucionar.
CE5	RA3. Implementa controladores de micro-redes, considerando la utilización de herramientas como Matlab o PLECS a fin de evaluar el desempeño de soluciones propuestas ante efectos de cambios de carga.
Competencias Genéricas	Resultados de Aprendizaje
CG4	RA4. Trabajando en grupo, identifica un problema específico en una aplicación de su elección y propone una solución de acuerdo con información disponible en la literatura.
CG1	RA5. Redacta informes y realiza presentaciones de los problemas relacionados con el diseño, implementación y puesta en práctica de sistemas de control avanzado de micro-redes expresando de manera efectiva, clara y precisa los resultados obtenidos en cada fase de la investigación realizada a fin de comunicar dichos resultados.

**C. Unidades Temáticas:**

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	RA1, RA4, RA5	<b>Fundamentos Básicos de Electrónica de Potencia y sus Aplicaciones en Micro-redes</b>	2
Contenidos		Indicador de logro	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Arquitectura básica de convertidores fuente de voltaje y fuente de corriente. Convertidores DC-DC y convertidores DC-AC.</li> <li>Convertidores de varios niveles y sus aplicaciones.</li> <li>Convertidores para conectar sistemas de almacenamiento a la micro-red.</li> <li>Modulación PWM.</li> <li>Lazos de control interno en coordenadas naturales, alfa-beta y d-q.</li> <li>Convertidor back-to-back y su aplicación a micro-redes.</li> <li>Filtros tipo LC y LCL.</li> <li>PLLs y su aplicación en micro-redes</li> <li>Conceptos y aplicaciones de Impedancia virtual, damping activo e inercia sintética</li> <li>Control de convertidores para operación en modo grid-forming, grid-supporting y grid following.</li> <li>Micro-redes AC, DC y AC/DC</li> </ol>		<p>Al final de la unidad el/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Reconoce los componentes de un convertidor fuente de voltaje y convertidores back-to-back.</li> <li>Entiende los principios básicos de modulación PWM,</li> <li>Reconoce las ventajas y desventajas de algunas topologías de convertidores, como convertidores NPC, convertidor de dos niveles y convertidores back-to-back.</li> <li>Modela convertidores utilizando software adecuado como PLECS y Matlab.</li> <li>Define sistemas de control de convertidores en distintas coordenadas.</li> <li>Modela los sistemas de control apropiados para diferentes aplicaciones, por ejemplo, grid-forming, grid following, alimentación de cargas aisladas etc.</li> <li>Define filtros LC y LCL.</li> <li>Reconoce las aplicaciones, ventajas y desventajas de utilizar sistemas con damping activo e impedancia virtual.</li> <li>Reconoce las aplicaciones, ventajas y desventajas de las micro-redes AC, DC y AC/DC.</li> <li>Trabaja planificadamente con su equipo en la resolución de problemas en el modelamiento y control de convertidores en software especializado.</li> <li>Argumenta por escrito, los resultados obtenidos, fundamentando, de manera concisa, su comportamiento y procedimiento de validación.</li> </ol>	
Bibliografía de la Unidad		[2][4]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
2	RA1, RA3	<b>Arquitecturas de Control de Micro-redes</b>	4
Contenidos		Indicador de logro	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Control jerárquico de micro-redes</li> <li>Control centralizado vs. control distribuido. Principios básicos.</li> <li>Sistemas de comunicaciones para esquemas de control centralizado secundario.</li> <li>Control interno, control primario, control secundario y control terciario. Droop potencia activa-frecuencia y droop potencia reactiva-voltaje.</li> <li>Diseño de controladores droop y aplicaciones de impedancia virtual</li> <li>Aplicaciones del análisis modal y la matriz de participación en el análisis de estabilidad.</li> <li>Control Secundario de voltaje y frecuencia.</li> <li>Retardos de comunicaciones y pérdidas de paquetes en el desempeño de los sistemas de control.</li> </ol>		<p>Al final de la unidad el/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Explica las capas de control existentes en un sistema de control de micro-redes.</li> <li>Explica, como opera el control droop de potencia activa vs. voltaje y potencia activa vs. corriente</li> <li>Explica la metodología de diseño de sistemas de control para las capas de control existentes en micro-redes AC y DC.</li> <li>Evalúa el desempeño de los sistemas de control considerando las perturbaciones, cambios de puntos de operación y fallas de operación en unidades de generación y convertidores. que podrían existir en una micro-red.</li> <li>Analiza la estabilidad de micro-redes AC y DC utilizando análisis modal en espacio de estado y matriz de participación.</li> <li>Evalúa sistemas de control secundario considerando retardos de transporte y pérdidas de paquetes en la comunicación.</li> </ol>	
Bibliografía de la Unidad		[1][2][6][8]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	RA1, RA3, RA4	<b>Control basado en Teoría de Consenso Aplicado a Micro-redes</b>	4
Contenidos		Indicador de logro	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Principios básicos de control distribuido y control predictivo distribuido.</li> <li>Definiciones básicas: matriz de adyacencia, Laplaciano, spanning tree.</li> <li>Sistemas multiagente; control por consenso.</li> <li>Control cooperativo distribuido aplicado a los sistemas de control primarios de una micro-red.</li> <li>Control droop-free y control de tiempo finito.</li> <li>Control cooperativo distribuido aplicado a los sistemas de control secundario de una micro-red.</li> <li>Control predictivo secundario de micro-redes.</li> <li>Despacho económico de carga utilizando control multiagente, control por consenso y control predictivo.</li> <li>Micro-redes híbridas de generación, AC/DC.</li> <li>Estabilidad de sistemas de control cooperativo distribuido considerando modelos de pequeña señal.</li> </ol>		<p>Al final de la unidad el/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Explica los conceptos relacionados con control cooperativo distribuido y sus aplicaciones a micro-redes AC, DC y AC/DC.</li> <li>Reconoce la importancia de las redes de comunicaciones para el sistema de control distribuido.</li> <li>Reconoce las diferencias entre micro-redes AC, DC e híbridas, entendiendo las distintas metodologías para implementar control distribuido y control predictivo distribuido.</li> <li>Diseña sistemas de control cooperativo para el control primario, secundario y terciario de micro-redes AC, DC e híbridas.</li> <li>Conoce distintas metodologías de control cooperativo distribuido incluyendo control droop-free y control de tiempo finito.</li> <li>Implementa modelos de pequeña señal que permiten diseñar controladores y analizar los valores propios del sistema.</li> <li>Trabaja planificadamente con su equipo en la resolución de problemas en el control secundario de microrredes en software especializado.</li> </ol>	
Bibliografía de la Unidad		[1][3][5][6][8]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	RA2, RA4, RA5	<b>Sistemas de Gestión de Energía para micro-redes y Coordinación de Micro-redes</b>	4
Contenidos		Indicador de logro	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Principios básicos de modelación empírica (ARIX; modelos difusos y redes neuronales).</li> <li>Conceptos básicos de optimización no lineal para control predictivo.</li> <li>Sistemas de gestión de energía (EMS) incluyendo gestión de demanda (DSM).</li> <li>Modelación predictiva de recursos renovables y consumo de micro-redes.</li> <li>Estrategias de control para EMSs.</li> <li>Arquitecturas de control centralizada, descentralizada, distribuida para EMSs.</li> <li>Control predictivo para EMS, centralizado y distribuido. Casos con DSM.</li> <li>Esquemas de coordinación de micro-redes.</li> <li>Estrategias de control centralizado y distribuido para coordinación de micro-redes.</li> </ol>		<p>Al final de la unidad el/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Explica la modelación predictiva para la operación de los sistemas de gestión de energía.</li> <li>Reconoce los modelos de la dinámica de los sistemas de gestión de energía para el despacho económico de las unidades de la micro-red.</li> <li>Diseña estrategias de control de los sistemas de gestión de energía para el despacho económico de las unidades de la micro-red.</li> <li>Analiza los modelos de la dinámica y estrategias de control de los sistemas de gestión de energía para la coordinación de micro-redes.</li> <li>Evalúa los esquemas de predicción basados en lógica difusa y redes neuronales para los recursos y consumos de las micro-redes.</li> <li>Analiza y diseña los sistemas de control predictivo para la optimización de micro-redes.</li> <li>Trabaja planificadamente con su equipo en la resolución de problemas en el control terciario de microrredes en software especializado.</li> <li>Argumenta por escrito, los resultados obtenidos, fundamentando, de manera concisa, su comportamiento y procedimiento de validación.</li> </ol>	
Bibliografía de la Unidad		<b>[3][7][9]</b>	

#### D. Estrategias de enseñanzas:

La metodología de trabajo para conseguir los resultados planteados para el proceso de enseñanza—aprendizaje está basada en la participación activa de los alumnos. Las principales actividades a realizar son:

- Clases expositivas.
- Análisis de artículos y capítulos de libros.
- Proyecto de curso en software especializado: PLECS, Matlab/Simulink.

- Laboratorios.

#### E. Estrategias de evaluación:

La evaluación estará orientada a verificar avances de parte de las(os) estudiantes y demostración de resultados de aprendizaje mediante:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
• Controles.	Evalúa los RA1, RA2
• Ejercicios grupales.	Evalúa los RA3, RA4
• Elaboración de informes grupales.	Evalúa RA5
• Examen.	Evalúa los RA1, RA2

Al inicio de cada semestre el académico o académica informará a las(os) estudiantes sobre los tipos de evaluación, cantidad, así como las ponderaciones correspondientes.

#### F. Recursos bibliográficos:

##### Bibliografía obligatoria:

- [1] Q. Shafiee, M. Naderi, H. Bevrani, "Microgrids: Dynamic Modeling, Stability and Control", Wiley-IEEE Press, 2024.
- [2] Josep M. Guerrero (Editor), R. Kandari (Editor), "Microgrids: Modeling, Control, and Applications", Academic Press, 2021.
- [3] J. Hu, J. Guerrero, S. Islam, "Model Predictive Control for Microgrids: From power electronic converters to energy management", IET, 2021

##### Bibliografía complementaria:

- [4] F. Blaabjerg (Editor), "Control of power electronic converters and systems", Academic Press, 2018.
- [5] A. Bidram, V. Nasirian, A. Davoudi, F. Lewis, "Cooperative Synchronization in Distributed Microgrids Control", Springer, ISBN 978-3-319-50808-5, 2014.
- [6] E. Espina, J. Llanos, C. Burgos R. Cardenas, M. Martinez, D. Saez. "Distributed Control Strategies for Microgrids: An Overview", IEEE Access, Vol. 8, pp. 193412-193448, October 2020, 10.1109/ACCESS.2020.3032378.
- [7] Raya-Armenta, J., Bazmohammadi, N., Avina-Cervantes, J., Sáez, D., Vasquez, J. C. and Guerrero, J. "Energy Management System Optimization in Islanded Microgrids: An Overview and Future Trends", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 149, October 2021, 111327, doi.org/10.1016/j.rser.2021.111327.
- [8] Serban, I., Céspedes, S., Marinescu, C., Azurdia-Meza, C., Gómez, J, Sáez, D. "Communication Requirements in Microgrids: a Practical Survey," IEEE Access, vol. 8, pp. 47694-47712, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977928.

[9] Cartagena, O., Parra, S., Muñoz-Carpintero, D., Marín, L., Sáez, D., “Review on Fuzzy and Neural Prediction Interval Modelling for Nonlinear Dynamical Systems”, in IEEE Access, vol. 9, pp. 23357-23384, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3056003.

**G. Datos Generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:**

Vigencia desde:	Mayo de 2024
Elaborado por:	Alex Navas, Roberto Cárdenas y Doris Sáez Hueichapan
Validado por:	Comité Técnico Docente y Comité de Postgrado del DIE
Revisado por:	Académicos del área de Control Área de Gestión Curricular – AGC