

PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
EL7055	Modelos Avanzados de Sistemas Distribución y Redes Inteligentes			
Nombre en Inglés				
Advance Models of Distribution Systems and Smart Grids				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	4	1	4
Requisitos			Carácter del Curso	
EL4103 Sistemas de Energía y Equipos Eléctricos MA3701/IN3701 Optimización			Electivo línea de especialización de Sistemas de Energía.	
Competencia a las que el curso tributa				
<p>Competencias específicas</p> <p>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.</p> <p>CE3 Analizar, usar experimentos e interpretar sus resultados para la verificación y validación de desarrollos tecnológicos.</p> <p>CE5 Resolver problemas y optimizar soluciones en el ámbito de la Ingeniería Eléctrica utilizando conceptos, enfoques y metodologías apropiadas.</p> <p>Competencias genéricas</p> <p>CG1 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 diversos.</p> <p>CG4 Trabajar en equipo en la ejecución de diversas actividades formativas propuestas, de forma estratégica, 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.</p>				
Propósito del curso				
<p>Este curso “Modelos Avanzados de Sistemas Distribución y Redes Inteligentes” tiene como principal propósito entregar a los estudiantes los fundamentos físico-matemáticos de la modelación detallada de los sistemas eléctricos de distribución, metodologías y herramientas necesarias para la realización de modelos físicos y probabilísticos para determinar los perfiles de consumo de potencia o inyección de potencia, según corresponda, de nuevas tecnologías bajas en emisiones de carbono conectadas a las redes de distribución (e.g., vehículos eléctricos, bombas de calor, micro-cogeneración, sistemas de almacenamiento), así como también, el análisis estadístico de perfiles de recurso energético primario (e.g., radiación solar, viento, caudales de agua) para su conversión en perfiles de generación distribuida. Con dichos modelos más el entendimiento acabado de los sistemas de distribución, los estudiantes pueden modelar, simular y analizar en detalle, los impactos técnicos y económicos de las nuevas tecnologías en los sistemas de distribución tanto de baja como de media tensión.</p>				

Una vez que tales impactos se encuentran dimensionados, se estudian tecnologías inteligentes que permiten minimizarlos, para ello se analizan los requerimientos de comunicación y tele comando que son necesarios para controlar los elementos activos de la red (e.g., inversores de paneles solares, sistemas de almacenamiento, cambiadores de tap bajo carga, interruptores tele-comandados, etc.), estudiando sus mecanismos y modelos de control en forma independiente, para luego coordinar en conjunto su operación a través de modelos de optimización. Adicionalmente, se estudian los conceptos de calidad de suministro y resiliencia en los sistemas de distribución para posteriormente cuantificar los beneficios que los recursos distribuidos (tanto de generación como nuevas cargas) y redes inteligentes producen en el incremento de ambos conceptos en los sistemas de distribución. Este análisis se realiza a través de simulaciones de Monte Carlo y de la modelación de tasas de falla y eventos de baja probabilidad y alto impacto en la operación de los sistemas de distribución con recursos distribuidos y redes inteligentes. Finalmente, se estudian los desafíos regulatorios que impone la incorporación de tecnologías bajas en emisiones de carbono (de generación y de carga) a los sistemas de distribución.

Resultados de Aprendizaje

Al final del curso se espera que el estudiante sea capaz de:

- RA1. Modelar a través de modelos físico-matemáticos la operación en régimen permanente de sistemas eléctricos de distribución tanto de media como de baja tensión.
- RA2. Modelar los requerimientos de potencia de vehículos eléctricos, bombas de calor y micro cogeneración a partir de sus respectivos modelos de operación física (modelos termodinámicos para calefacción y modelos de transporte para vehículos eléctricos).
- RA3. Modelar perfiles de generación distribuida de diversas tecnologías a través del análisis estadístico de perfiles de recursos primarios de energía (por ejemplo: radiación solar, viento, caudales).
- RA4. Simular y analizar la operación en régimen permanente de los sistemas eléctricos de distribución con y sin la presencia de tecnologías bajas en emisiones de carbono.
- RA5. Modelar y simular la operación y control de tecnologías inteligentes (ejemplo, manejo de inversores, baterías, puntos de enmallamiento de red, etc.) en sistemas de distribución.
- RA6. Analizar desde una perspectiva técnica y económica los beneficios de la adopción de redes inteligentes en los sistemas de distribución.
- RA7. Optimizar la operación de los recursos distribuidos (tales como generación, consumo, baterías, tecnologías de control y tele-comando, etc.) en redes de distribución.
- RA8. Analizar los desafíos regulatorios que impone la incorporación de tecnologías bajas en emisiones de carbono (de generación y de carga) a los sistemas de distribución.

Metodología Docente	Evaluación General
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clases expositivas. • Laboratorios computacionales. • Elaboración de un proyecto de investigación. • Presentación oral del proyecto. 	<p>La evaluación permitirá que los estudiantes demuestren los resultados del proceso de enseñanza aprendizaje a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nota de controles. • Nota de trabajo de investigación en equipo. • Nota de tareas

Unidades Temáticas

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1 y RA8	Modelación de sistemas de distribución	3
Contenidos		Resultado de aprendizaje de la unidad	Referencias a la bibliografía
<ol style="list-style-type: none"> 1. Introducción y motivación. 2. Descripción de los sistemas de distribución desde una perspectiva técnica (equipos relevantes, diseño y planificación) y regulatoria (contexto internacional y marco regulatorio chileno). 3. Modelación físico y matemática de los sistemas de distribución y sus principales componentes. 4. Descripción de los desafíos regulatorios en el segmento de distribución (mirada de futuro) 	<p>Al final de esta unidad, el estudiante será capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Comprender las principales diferencias de modelación entre sistemas de distribución (de media y baja tensión) y los sistemas tradicionales de generación/transmisión en alta tensión. 2. Modelar la operación en régimen permanente de sistemas de distribución (tanto de media como de baja tensión). 3. Comprender las principales barreras y desafíos regulatorios para la incorporación redes inteligentes y nuevas tecnologías 	<p>BB: [1] Cap. 1, 5, 6, 7 [2] Cap. 1 [2] Cap. 4, 6</p> <p>BC: [3] Cap. 1, 4, 6. [4] [7] Cap. 5, 14.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2 y RA3	Modelación de tecnologías bajas en emisiones de carbono	3
Contenidos		Resultado de aprendizaje de la unidad	Referencias a la bibliografía
<ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción de tecnologías bajas en emisiones de carbono conectadas a redes de distribución considerando tanto nuevas cargas como generación distribuida. 2. Modelación físico-matemática de los requerimientos térmicos de cargas de distribución (e.g., requerimientos de calor de un hogar durante invierno). 3. Modelación físico matemática de la operación de bombas de calor y cogeneración residencial para suministrar los requerimientos de calor de un hogar y con ello sus retiros/inyecciones de potencia. 4. Modelación probabilística de los requerimientos de potencia de vehículos eléctricos desde el sistema de distribución. 5. Modelación de perfiles de generación distribuida a partir del análisis estadístico de perfiles diarios de recursos primarios de energía (e.g., viento, solo, agua). 		<p>Al final de esta unidad, el estudiante será capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Entender los elementos principales (tipo, tamaños, requerimientos y/o inyecciones en la red, potenciales beneficios e impactos) que caracterizan a las tecnologías bajas en emisiones de carbono conectadas a los sistemas de distribución. 2. Modelar la operación de las tecnologías bajas en emisiones de carbono, identificando los requerimientos o inyecciones de potencia que realizan desde o hacia la red. 	<p>BB: [1] Cap. 2, 7. [2] Cap. 2, 3.</p> <p>BC: [3] Cap. 2, 10 [6] Cap. 1, 2.</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA4	Simulación de sistemas de distribución y tecnologías bajas en emisiones de carbono	3
Contenidos		Resultado de aprendizaje de la unidad	Referencias a la bibliografía
<ol style="list-style-type: none"> 1. Simulación de redes de distribución con y sin presencia de tecnologías bajas en emisiones de carbono (tanto nuevas cargas como generación distribuida). 2. Impactos técnicos de la generación distribuida y nuevas cargas (vehículos eléctricos, bombas de calor) en redes de distribución. 3. Descripción de los conceptos de calidad de suministro y resiliencia en los sistemas de distribución. 4. Análisis de confiabilidad y resiliencia en sistemas de distribución con y sin la presencia de tecnologías bajas en emisiones de carbono. 5. Impactos económicos de tecnologías bajas en emisiones de carbono en los sistemas de distribución. 		<p>Al final de esta unidad, el estudiante será capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Simular redes de distribución con y sin la adopción de tecnologías bajas en emisiones de carbono. 2. Determinar el impacto técnico en las principales variables de la red de distribución, en régimen permanente, provocado por la adopción de tecnologías bajas en emisiones de carbono. 3. Comprender los conceptos de calidad de suministro y resiliencia en sistemas de distribución. 4. Determinar el impacto en la calidad de suministro y resiliencia provocado por la adopción de tecnologías bajas en emisiones de carbono en los sistemas de distribución. 5. Determinar y comprender los impactos económicos de la incorporación de tecnologías bajas en emisiones de carbono en las redes de distribución. 	<p>BB: [1] Cap. 12 [2] Cap. 3</p> <p>BC: [3] Cap. 10 [6] Cap. 3, 4 [8] Cap. 2, 8 [9]</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA5 y RA6	Redes Inteligentes: Manejo activo de elementos distribuidos	3
Contenidos		Resultado de aprendizaje de la unidad	Referencias a la bibliografía
<ol style="list-style-type: none"> Descripción de las redes inteligentes y su rol como facilitadoras para la incorporación de tecnologías bajas en emisiones de carbono en los sistemas de distribución. Caracterización y descripción de los principales mecanismos de redes inteligentes (tanto centralizados como descentralizados) a ser considerados para su incorporación en los sistemas de distribución. Modelación de la operación y control de elementos activos conectados a los sistemas de distribución. Tales como: inversores de paneles solares, sistemas de almacenamiento, puntos de enmallamiento de red, cambiadores de tap de transformadores de distribución, etc. Simulación de la operación de elementos activos en sistemas de distribución, considerando diversas estrategias de control y su interacción con las tecnologías bajas en emisiones de carbono. Análisis de los impactos técnicos y económicos del uso de redes inteligentes en los sistemas de distribución, considerando sus aportes a la adopción de 		<p>Al final de esta unidad, el estudiante será capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Comprender los principales mecanismos de redes inteligentes que pueden ayudar a mitigar los impactos de tecnologías bajas en emisiones de carbono y a incrementar la calidad de suministro y resiliencia de los sistemas de distribución. Modelar y simular la operación y control de elementos activos en redes de distribución con presencia de tecnologías bajas en emisiones de carbono. Analizar técnica y económicamente soluciones de redes inteligentes a través del manejo activo de elementos distribuidos para hacer frente a distintos desafíos (e.g. adopción de tecnologías bajas en emisiones de carbono, calidad de suministro, resiliencia, etc.) 	<p>BB: [2] Cap. 3</p> <p>BC: [3] Cap. 7 [5] Cap. 3, 4 [6] Cap. 6 [8] Cap. 4, 7. [9]</p>

tecnologías bajas en carbono, al aumento de la calidad de suministro y al aumento de la resiliencia.		
------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA7	Redes inteligentes: Optimización de las redes de distribución	3
Contenidos		Resultado de aprendizaje de la unidad	Referencias a la bibliografía
<ol style="list-style-type: none"> Introducción a los problemas de optimización en redes eléctricas. Resolución de problemas en redes de distribución vía programación lineal y programación lineal entera mixta. Determinación de la operación óptima de elementos activos en sistemas de distribución considerando distintas funciones objetivo. (e.g., minimización de impactos de tecnologías bajas en emisiones de carbono, aumento de la calidad de suministro, aumento de la resiliencia, etc.). Determinación de la operación óptima de elementos activos y tecnologías bajas en emisiones de carbono en sistemas de distribución considerando distintas funciones objetivo. (e.g., minimización de impactos de tecnologías bajas en emisiones de carbono, aumento de la calidad de suministro, aumento de la resiliencia, recuperación de servicio frente a desastres naturales, etc.). 		<p>Al final de esta unidad, el estudiante será capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Comprender las particularidades en la resolución de problemas de optimización en redes de distribución. Resolver problemas de optimización en sistemas de distribución. Optimizar elementos activos y tecnologías bajas en emisiones de carbono en las redes de distribución. 	<p>BB: [1] Cap. 11 [2] Cap. 3</p> <p>BC: [5] Cap. 3 [6] Cap. 5 [8] Cap. 3, 9. [9] [10] Cap. 6, 7, 10 y 11</p>

Bibliografía General

Bibliografía básica (BB):

- [1] Turan Gonen, "Electric Power Distribution Engineering", Second Edition. CRC Press, 2007.
- [2] Stuart Borlase, "Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions", Second Edition. CRC Press, 2012.

Bibliografía complementaria (BC):

- [3] William H, Keresting, "Distribution System Modeling and Analysis". CRC Press, 2012.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, "Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers," 2014.
- [5] Math H.J. Bollen, "The Smart Grid: Adapting the Power System to New Challenges: Synthesis Lectures on Power Electronics", Morgan & Claypool Publishers, 2011.
- [6] N. Jenkins, G. Strbac and J. Ekanayake, "Distributed Generation", The Institution of Engineering and Technology, 2010.
- [7] Ignacio J. Pérez-Arriaga, "Regulation of the Power Sector", Springer, 2013.
- [8] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, "Microgrids and Active Distribution Networks", The Institution of Engineering and Technology, 2010.
- [9] Dr. Luis F. Ochoa, "OpenDSS Training Material." [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/luisfochoa/research/openss-training>.
- [10] Dimitris Bertsimas, John Tsitsiklis, "Introduction to linear optimization", third edition, Athena Scientific Series in Optimization and Neural Computation, 2008.

Vigencia desde:	
Elaborado por:	Alejandro Navarro Espinosa