

## PROGRAMA DE CURSO

### CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS ELÉCTRICOS

#### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Eléctrica (DIE)					
Nombre del curso	Conversión de la energía y sistemas eléctricos	Código	EL4111	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Energy conversion and Electric power systems</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	EL3101: Análisis y diseño de circuitos eléctricos					

#### B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que el estudiantado evalúe el comportamiento eléctrico, magnético y mecánico de máquinas eléctricas y otros sistemas de conversión de energía, convencional y renovables, utilizando modelos analíticos. Para ello, se resuelven problemas que involucren conversión de energía, mediante un modelamiento físico-matemático y modelos circuitales.

Asimismo, se utilizan distintos métodos para determinar parámetros de los modelos que representan los diferentes sistemas de conversión de energía. El estudiantado trabaja con datos de laboratorio de carácter demostrativo.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG)

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.

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

CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1	RA1: Elabora y utiliza modelos analíticos para evaluar el comportamiento eléctrico, magnético y mecánico de máquinas eléctricas y otros sistemas de conversión de energía, mediante el uso de ecuaciones en régimen permanente.
CE2	RA2: Resuelve problemas que involucren conversión de energía en sistemas eléctricos, considerando modelamientos físico-matemáticos y modelos circuitales, para analizar la operación y eficiencia de máquinas eléctricas y otros sistemas de conversión convencionales y renovables.
CE5	RA3: Utiliza, de manera analítica, datos dados de diversos métodos de ensayos y pruebas para determinar los parámetros de los modelos que representan distintos sistemas de conversión de energía en sistemas eléctricos.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG5	RA4: Analiza el funcionamiento y eficiencia de sistemas de energía renovables no convencionales, considerando ventajas, potencialidades y limitaciones de cada uno, para su uso en sistemas eléctricos.

**D. Unidades temáticas:**

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Fundamentos de la conversión de la energía y sistemas eléctricos	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>1.1. Descripción del sector eléctrico: estructura básica y organización, tipos de centrales generadoras de energía eléctrica, equipos de transmisión, redes de distribución eléctrica.</p> <p>1.2. Conceptos matemáticos básicos para el estudio de sistemas trifásicos.</p> <p>1.3. Conceptos básicos de la conversión de la energía. Definiciones generales de generador y motor.</p> <p>1.4. Circuitos magnéticos (ideales y reales) con núcleos ferromagnéticos, análisis energéticos de circuitos magnéticos, inductancias propias y mutuas.</p> <p>1.5. Máquinas básicas: Ecuaciones generales de fuerza a partir de la energía acumulada en el campo magnético; motores rotatorios básicos; generadores rotatorios básicos.</p> <p>1.6. Conversión estática de la energía: Fundamentos de la electrónica de potencia; convertidores de potencia, rectificadores e inversores.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identifica los componentes básicos de circuitos magnéticos, motores y generadores eléctricos, considerando las leyes físicas del electromagnetismo y conceptos matemáticos básicos para sistemas trifásicos.</li> <li>2. Resuelve problemas que involucran circuitos magnéticos y máquinas eléctricas básicas, utilizando ecuaciones generales de fuerza.</li> <li>3. Resuelve problemas que involucran conversión estática de la energía mediante electrónica de potencia.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>[1] Cap. 1, 3, 4. [2] Cap. 1, 2, 4, 8. [3] Cap. 1, 2.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA3	Transformadores	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Transformadores monofásicos.</p> <p>2.1.1. Transformador ideal y real: Circuitos equivalentes, valores de placa o nominales, evaluación del comportamiento eléctrico en régimen permanente.</p> <p>2.1.2. Pruebas para determinar los parámetros del modelo circuital (ensayo de cortocircuito y circuito abierto).</p> <p>2.1.3. Conexión del transformador monofásico como autotransformador.</p> <p>2.2. Transformadores trifásicos.</p> <p>2.2.1. Características principales de las diversas conexiones de transformadores trifásicos. Designaciones normalizadas (grupos de conexión).</p> <p>2.2.2. Resolución de sistemas de potencia trifásicos con transformadores.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcula el valor de los parámetros del modelo circuital, considerando datos de pruebas de ensayo de cortocircuito y circuito abierto.</li> <li>2. Utiliza modelos circuitales para analizar y evaluar el comportamiento de transformadores monofásicos, considerando su operación en régimen permanente.</li> <li>3. Identifica las diversas conexiones de transformadores trifásicos y los desfases involucrados, considerando designaciones normalizadas.</li> <li>4. Resuelve problemas de sistemas de potencia trifásicos con transformadores, determinando su operación en régimen permanente.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>[1] Cap. 2.</p> <p>[2] Cap. 3.</p> <p>[3] Cap. 2.</p>	



Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA3	Máquinas de corriente continua	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Máquina de corriente continua. Elementos constituyentes: enrollados de armadura y de campo, conmutador, etc. 3.2. Principio de operación como generador de excitación independiente en régimen permanente. Curvas características de generador. 3.3. Principio de operación como motor de excitación independiente en régimen permanente. Curvas características de motor. 3.4. Modelo circuital y características de operación en régimen permanente de motores y generadores en conexión shunt y serie. 3.5. Métodos reostáticos y electrónicos para la partida y control de velocidad de motores de corriente continua. 3.6. Máquinas de corriente continua especiales (e.g. brushless DC, stepper).		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Utiliza los principios de funcionamiento de la máquina de corriente continua, analizando su operación y comportamiento como motor o generador.</li><li>2. Usa, de manera analítica, datos dados acerca del comportamiento de máquinas de corriente continua (laboratorios demostrativos).</li><li>3. Modela y analiza el comportamiento en régimen permanente de motores y generadores de corriente continua en conexión de campo independiente, <i>shunt</i> y serie, obteniendo sus curvas características.</li><li>4. Analiza los métodos reostáticos y electrónicos, según ventajas y limitaciones y que se utilizan para la partida y control de velocidad de motor de corriente continua.</li></ol>	
Bibliografía de la unidad		[1] Cap. 7. [2] Cap. 5. [3] Cap. 8, 9.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA3	Máquinas de corriente alterna	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>4.1. Máquina sincrónica trifásica</p> <p>4.1.1. Principio de funcionamiento como generador y como motor. Campo magnético rotatorio.</p> <p>4.1.2. Máquina de rotor cilíndrico: circuito equivalente, comportamiento electromecánico en régimen permanente. Control de la magnitud y frecuencia de la tensión generada en funcionamiento aislado.</p> <p>4.1.3. Máquinas de rotor cilíndrico conectadas a una red infinita, sincronización a la red, diagrama fasorial.</p> <p>4.1.4. Control de flujos de potencia activa y reactiva. Límites de la carta de operación (diagrama P-Q).</p> <p>4.1.5. Máquinas sincrónicas especiales (e.g. máquina de imanes permanentes).</p> <p>4.2. Máquina de inducción</p> <p>4.2.1. Principio de funcionamiento: campo magnético rotatorio, deslizamiento, características constructivas y de diseño.</p> <p>4.2.2. Circuito equivalente y evaluación del comportamiento electromecánico en régimen permanente.</p> <p>4.2.3. Esquemas de partida y control electrónico de velocidad de motores de inducción de jaula de ardilla. Partidores <math>Y\Delta</math>, partidores suaves, variadores de frecuencia, etc.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Utiliza el concepto de campo magnético rotatorio, para analizar el funcionamiento del generador y del motor sincrónico, a través del uso de datos dados (laboratorios demostrativos).</li> <li>Modela el comportamiento en régimen permanente de la máquina sincrónica de rotor cilíndrico, evaluando la operación de esta, en funcionamiento aislado y conectado a una red infinita.</li> <li>Obtiene la carta de operación del generador sincrónico mediante el uso del circuito equivalente de la máquina sincrónica trifásica y sus parámetros.</li> <li>Analiza el funcionamiento de la máquina de inducción trifásica, utilizando los conceptos de campo magnético rotatorio y deslizamiento, entre otros aspectos.</li> <li>Obtiene el circuito equivalente de la máquina de inducción trifásica, mediante datos dados (laboratorios demostrativos) de pruebas de rotor bloqueado y prueba en vacío.</li> <li>Modela el funcionamiento de máquinas de inducción trifásicas en régimen permanente utilizando su circuito equivalente.</li> <li>Verifica condiciones de partida y régimen permanente en el modelo circuital, usando esquemas de arranque y de control de velocidad para motores de inducción.</li> <li>Resuelve problemas de sistemas de potencia trifásicos con máquinas de corriente alterna, determinando su operación en régimen permanente.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>[1] Cap. 5.</p> <p>[2] Cap. 6, 7.</p> <p>[3] Cap. 4-6.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA3, RA4	Generación convencional, no convencional y renovable en sistemas eléctricos de potencia	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Energías renovables (solar, eólica, hidroeléctrica, entre otras). 5.2. Almacenamiento de energía (baterías, celdas de combustible e hidrógeno, volantes de inercia, entre otros). 5.3. Generación térmica de energía. 5.4. Resolución de sistemas eléctricos de potencia		El/la estudiante: 1. Analiza sistemas de generación renovables (solar, eólica, hidroeléctricas, entre otras), convencional y no convencional de energía, considerando criterios técnicos, económicos y medioambientales en cuanto a su operación y comportamiento. 2. Identifica los principios de funcionamiento de sistemas de almacenamiento de energía, considerando su uso en otros sistemas de generación renovable, convencional y no convencional. 3. Aplica modelos circuitales en la evaluación del comportamiento de sistemas de generación renovables, convencional y no convencional de energía, así como de sistemas de almacenamiento, considerando la eficiencia de la operación, así como sus ventajas y limitaciones. 4. Resuelve problemas de sistemas eléctricos de potencia trifásicos, determinando su operación en régimen permanente.	
Bibliografía de la unidad		[2] Cap. 9, 10, 11, 12. [3] Cap 5.	

### E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- Clases expositivas.
- Resolución de problemas.
- Laboratorios demostrativos.

### F. Estrategias de evaluación:

El curso tiene distintas instancias de evaluación tales como:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles (2)</li> </ul>	Control 1 evalúa RA1 Control 2 evalúa RA2, RA3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tareas (3)</li> </ul>	Evalúan los RA2 y RA3, RA4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examen</li> </ul>	Evalúa los RA1, RA2, RA3 y RA4

Al inicio de cada semestre, el cuerpo académico informará sobre los tipos de evaluación, la cantidad y las ponderaciones correspondientes.

### G. Recursos bibliográficos:

#### Bibliografía obligatoria:

- [1] Fitzgerald, A. E., CHARLES KINGSLEY, AND STEPHEN D. UMANS. S. (2004). **Máquinas Eléctricas**. México: McGraw-Hill, 6a. ed.
- [2] Romo, J., Vargas, L., et al. (2006). **Apuntes de Conversión Electromecánica de la Energía**. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile.
- [3] Brokering, W., Palma, R., Vargas, L. (2018). **Atrapando el sol en los sistemas eléctricos de potencia**. Primera Edición. ISBN: 978-956-398-395-1, [Disponible] Online: <http://sepsolar.centroenergia.cl/>.

#### Bibliografía complementaria:

- [4] Vargas, L., Haas, J., Reyes, L., Salinas, F. y Morata, D. (2020). Generación de Energía Eléctrica con fuentes renovables. Editorial Universitaria, Universidad de Chile.
- [5] Sanz, J. (2002). **Máquinas Eléctricas**. Madrid: Prentice Hall.
- [6] Gómez Expósito, A. (2003). **Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica**, McGraw-Hill, ISBN: 94-481-3592-X.
- [7] Nasar, S.A., Unnewehr, L.E. (1983). *Electromechanics and Electric Machines*. New York: John Wiley & Sons.
- [8] Gourishankar, V. (1990). Conversión de Energía Electromecánica. México: Ed. Alfaomega.
- [9] Langsdorf, A.S. (1979). Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna. México: McGraw-Hill.
- [10] Chapman, S. J. (2005). Máquinas Eléctricas. 4a. ed. México: McGraw-Hill.
- [11] Glover, D., Sarma, M. (1987). *Power System Analysis and Design*. Primera Edición. PWS Publishers, Boston. ISBN: 0-534-07860-5, 1987.
- [12] Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. McGraw-Hill, ISBN: 0-07-561634-3.
- [13] Grainger, J., Stevenson, W. (1996). **Análisis de Sistemas de Potencia**. MCGRAW-HILL, Segunda Edición, ISBN: 970-10-0908-8.
- [14] El-Hawary, M. E. (1995). *Electrical Power Systems*. IEEE Press, Power Systems Engineering Series, ISBN 0-7803-1140-X.
- [15] Gross, C.A. (1979). *Power System Analysis*. John Wiley & Sons, ISBN 0-471-01899-6.

### H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Otoño, 2022
Elaborado por:	Patricio Mendoza, Rodrigo Moreno, Claudia Rahmann
Validado por:	Validación CTD ampliado de Eléctrica
Revisado por:	Área de Gestión Curricular