

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura: <b>Conversión de la Energía I</b>
Carrera: <b>Ingeniería Eléctrica</b>
Clave de la asignatura: <b>ELC-0510</b>
Horas teoría-horas práctica-créditos: <b>4-2-10</b>

## 2.- HISTORIA DEL PROGRAMA

<b>Lugar y fecha de elaboración o revisión</b>	<b>Participantes</b>	<b>Observaciones (cambios y justificación)</b>
Instituto Tecnológico de Morelia, del 31 de mayo al 4 de junio del 2004.	Representante de las academias de ingeniería eléctrica de los Institutos Tecnológicos.	Reunión nacional de evaluación curricular de la carrera de Ingeniería Eléctrica
Institutos Tecnológicos de Chihuahua, La Laguna, Morelia, Oaxaca, Tlalnepantla y Veracruz, de junio a octubre del 2004.	Academias de Ingeniería Eléctrica	Análisis y enriquecimiento de las propuestas de los programas diseñados en la reunión nacional de evaluación
Instituto Tecnológico de Mérida, del 18 al 22 de octubre del 2004	Comité de consolidación de la carrera de Ingeniería Eléctrica	Definición de los programas de estudio de la carrera de Ingeniería Eléctrica

### 3.- UBICACIÓN DE LA ASIGNATURA

#### a).- Relación con otras asignaturas del plan de estudio

Anteriores		Posteriores	
Asignaturas	Temas	Asignaturas	Temas
Circuitos Eléctricos II	- Técnicas de análisis de circuitos <ul style="list-style-type: none"><li>• en C. A.</li><li>• potencia eléctrica</li><li>• Circuitos polifásicos</li><li>• Circuitos con acoplamientos magnéticos</li></ul>	Conversión de la Energía II	- Fundamentos de las máquinas sincrónicas
		Control de máquinas eléctricas	- Arranque y control de los motores eléctricos
		Sistemas Eléctricos de Potencia	- Circuito equivalente del transformador y método por unidad.
Física II	- Leyes del electromagnetismo		

#### b).- Aportación de la asignatura al perfil de la carrera

- Conocer, analizar y seleccionar transformadores y motores de inducción
- Analizar la operación de transformadores y motores de inducción para diferentes cargas
- Participar en grupos de trabajo, contribuye en la dirección, aportar soluciones, supervisar y adaptar.
- Modelar las máquinas eléctricas y utilizar métodos computacionales para su análisis.

#### 4.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO

- Conocerá el principio de operación de los transformadores y motores de inducción
- Será capaz de analizar la operación en estado estacionario de transformadores y motores de inducción
- Utilizará los modelos de las máquinas eléctricas para simular su operación con elementos computacionales
- Será capaz de seleccionar motores de inducción y controlará y regulará su velocidad.

## 5.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Circuitos magnéticos	<ul style="list-style-type: none"><li>1.1 Introducción<ul style="list-style-type: none"><li>1.1.1 Conversión de la energía</li><li>1.1.2 Transformación de la energía en dispositivos electromecánicos y electromagnéticos.</li></ul></li><li>1.2 Campo Magnético<ul style="list-style-type: none"><li>1.2.1 Leyes del electromagnetismo</li></ul></li><li>1.3 Circuitos Magnéticos<ul style="list-style-type: none"><li>1.3.1 Materiales ferromagnéticos</li><li>1.3.2 Saturación magnética</li><li>1.3.3 Circuitos magnéticos serie – paralelo</li><li>1.3.4 Entrehierros</li><li>1.3.5 Características de magnetización</li><li>1.3.6 Circuitos magnéticos excitados con C.A. senoidal</li><li>1.3.7 Energía almacenada y pérdidas en el núcleo</li><li>1.3.8 Forma de onda y circuito equivalente</li></ul></li></ul>
2	Transformadores	<ul style="list-style-type: none"><li>2.1 Elementos de un transformador<ul style="list-style-type: none"><li>2.1.1 Tipos de núcleos</li><li>2.1.2 Componentes de un transformador de potencia</li></ul></li><li>2.2 El transformador ideal<ul style="list-style-type: none"><li>2.2.1 Características de un transformador ideal</li><li>2.2.2 Relaciones de tensiones y corrientes en un transformador ideal</li><li>2.2.3 Impedancias referidas</li></ul></li></ul>
3	Operación con carga y circuitos equivalentes del transformador	<ul style="list-style-type: none"><li>3.1 Circuito equivalente básico<ul style="list-style-type: none"><li>3.1.1 El transformador real</li><li>3.1.2 Circuitos equivalentes básicos referidos a cualquiera de los devanados</li></ul></li><li>3.2 Circuitos equivalentes aproximados</li><li>3.3 Operación con carga</li></ul>

## 5.- TEMARIO (Continuación)

Unidad	Temas	Subtemas
4	Pruebas de circuito abierto y corto circuito en transformadores	4.1 Determinación de los parámetros del transformador 4.1.1 Prueba de circuito abierto 4.1.2 Prueba de corto circuito 4.1.3 Prueba de excitación con corriente directa. 4.2 Regulación de tensión 4.2.1 Concepto de regulación de tensión 4.2.2 Diagramas fasoriales con cargas de diferente factor de potencia 4.2.3 Cálculo de la regulación de tensión para distintas cargas. 4.3 Eficiencia 4.3.1 Diagrama de flujo de potencia en un transformador. 4.3.2 Cálculo de eficiencia para diferentes cargas. 4.3.3 Característica de eficiencia contra carga en transformadores.
5	Conexiones en transformadores	5.1 Conexiones trifásicas 5.1.1 Unidades trifásicas y bancos trifásicos 5.1.2 Conexión estrella-estrella 5.1.3 Conexión delta-estrella 5.1.4 Conexión estrella-delta 5.1.5 Conexión delta-delta 5.1.6 Delta abierta 5.1.7 Conexiones especiales 5.2 Circuitos equivalentes 5.3 Diagramas fasoriales 5.4 Comportamiento en condiciones de falla 5.4.1 Método por unidad 5.4.2 Modelo matemático del transformador 5.4.3 Simulación de fallas 5.5 Los diferentes tipos de transformadores y sus aplicaciones 5.5.1 Autotransformadores 5.5.2 Transformadores multidevanados 5.5.3 Transformadores de instrumentos

## 5.- TEMARIO (Continuación)

Unidad	Temas	Subtemas
6	Motores de inducción	6.1 Principio de funcionamiento del motor trifásico de inducción. 6.1.1 Aspectos constructivos de un motor trifásico de inducción. 6.1.2 Campo magnético giratorio 6.1.3 Devanados 6.2 Circuito equivalente 6.3 Ecuaciones de par y potencia 6.4 Característica par contra velocidad 6.4.1 Curva característica de par contra velocidad. 6.4.2 Variación de la característica par contra velocidad para los motores jaula de ardilla. 6.4.3 Característica par contra velocidad para los motores de rotor devanado. 6.4.4 Clasificación NEMA. 6.5 Arranque y control de velocidad de los motores de inducción. 6.5.1 Arranque de motores 6.5.2 Control de velocidad 6.5.3 Letra de código para motores de inducción. 6.6 Pruebas de vacío y de rotor bloqueado. 6.7 Valores nominales 6.7.1 Datos de placa 6.8 Aplicaciones de los motores trifásicos de inducción.
7	Motores monofásicos de inducción	7.1 El motor monofásico de inducción 7.1.1 Elementos básicos de los motores monofásicos. 7.1.2 Teoría del doble campo giratorio 7.1.3 Teoría de los campos cruzados 7.2 Arranque de los motores monofásicos de inducción 7.2.1 Devanados de fase partida 7.2.2 Motores con capacitor de arranque 7.2.3 Motores con capacitor permanente 7.3 Control de velocidad de los motores monofásicos de inducción. 7.4 Motor de polos sombreados 7.5 Aplicaciones de los motores monofásicos.

## **6.- APRENDIZAJES REQUERIDOS**

- Leyes que rigen el comportamiento de los dispositivos electromagnéticos.
- Solución de ecuaciones diferenciales.
- Técnicas de análisis de circuitos eléctricos y magnéticos.
- Manejo y operación de equipos de medición.

## **7.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS**

- Realizar investigación sobre transformadores y motores de inducción y preparar una presentación gráfica utilizando herramientas computacionales (Power Point), en donde se muestren cortes transversales de este tipo de máquinas y sus aplicaciones.
- Efectuar prácticas de laboratorio para validar los aspectos teóricos propuestos en el aula.
- Realizar simulaciones del comportamiento de transformadores y motores de inducción utilizando herramientas computacionales y comparar los resultados obtenidos en la práctica con los de la simulación, comentar y argumentar sobre las posibles diferencias.
- Realizar talleres de solución de problemas aplicando herramientas computacionales durante el desarrollo del curso.
- Efectuar visitas a industrias donde se utilicen este tipo de máquinas y elaborar un informe.

## **8.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN**

- Reportes de las prácticas realizadas en el laboratorio .
- Considerar los reportes de investigaciones documentales y experimentales como parte de su evaluación.
- Elaboración de informes y mesas de discusión de las visitas realizadas a entidades industriales y de servicios
- Participación del alumno durante el análisis de casos que se efectúe en el aula.
- Reportes de la simulación e interpretación de resultados de ésta
- Exámenes orales y escritos

## 9.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

### Unidad 1.- Circuito Magnético

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>	<b>Fuentes de información</b>
El estudiante será capaz de aplicar las leyes del electromagnetismo para analizar y modelar los circuitos magnéticos.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigar acerca de las leyes del electromagnetismo y establecer las relaciones entre las variables eléctricas y las variables magnéticas.</li><li>• Resolver problemas sobre la aplicación de las leyes del electromagnetismo.</li><li>• Efectuar una investigación documental acerca de las propiedades magnéticas de los materiales</li><li>• Verificar y comparar las propiedades magnéticas de los materiales ferromagnéticos realizando práctica de laboratorio.</li><li>• Establecer las relaciones entre las cantidades de campo magnético y las de circuitos eléctricos e inducir la concepción de circuito magnético, con el fin de resolver problemas de estructuras magnéticas.</li><li>• Resolver problemas sobre estructuras magnéticas excitadas con corriente alterna senoidal y analizar los resultados.</li><li>• Modelar el circuito equivalente de estructuras ferromagnéticas.</li><li>• Resolver problemas utilizando herramientas computacionales.</li></ul>	1 2 3 4 5 6

## Unidad 2: Transformadores

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de información
<p>Identificará las partes de un transformador y conocerá la función que cada una de estas partes tiene. Conocerá, entenderá y verificará el principio de operación del transformador.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un gráfico donde se muestre un corte transversal del transformador, señalando en él cada una de sus partes.</li> <li>• Visitar instalaciones en donde existan transformadores de diferentes tipos.</li> <li>• Explicar el fenómeno de inducción electromagnética.</li> <li>• Construir un transformador elemental para verificar en él las relaciones de un transformador ideal, discutir y argumentar sobre las diferencias que se presentan.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para visualizar las formas de onda de la corriente de excitación y del lazo de histéresis.</li> </ul>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p>

## Unidad 3: Operación con carga y circuitos equivalentes del transformador

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de información
<p>Derivará circuitos eléctricos equivalentes de transformadores y los aplicará para caracterizar su operación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar la ley de inducción de Faraday para derivar las relaciones necesarias en circuitos magnéticamente acoplados que conduzcan a la obtención de circuitos eléctricos equivalentes</li> <li>• Derivar circuitos equivalentes aproximados de transformadores y discutir sobre las condiciones bajo las cuales son válidos.</li> <li>• Analizar el transformador bajo carga para obtener las relaciones existentes entre tensiones y corrientes.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para observar el comportamiento bajo carga. Hacer un análisis de diferentes condiciones de carga.</li> </ul>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p>



#### Unidad 4: Pruebas de circuito abierto y corto circuito en transformadores

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de información</b>
Determinará los parámetros del transformador y calculará la regulación y la eficiencia para distintas condiciones de carga	<ul style="list-style-type: none"><li>• Buscar información sobre las condiciones bajo las que se realizan las pruebas de corto circuito y circuito abierto en transformadores.</li><li>• Realizar una práctica de laboratorio haciendo las pruebas de corto circuito y de circuito abierto para determinar los parámetros del transformador bajo prueba.</li><li>• Resolver problemas sobre el cálculo de la regulación de tensión bajo diferentes condiciones de carga.</li><li>• Buscar información acerca de las derivaciones (taps) para mejorar la regulación de tensión.</li><li>• Investigar acerca del flujo de potencia en transformadores y resolver problemas sobre cálculo de eficiencia.</li><li>• Generar la curva de eficiencia contra carga para el transformador bajo prueba.</li><li>• Validar resultados de la práctica con la simulación utilizando un paquete computacional.</li></ul>	1 2 3 4 5 6

## Unidad 5: Conexiones en transformadores

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de información
<p>Realizará conexiones trifásicas y comprenderá las características y aplicaciones de cada una de estas conexiones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar qué es un banco trifásico y qué es un transformador trifásico y donde se utilizan.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para determinar las marcas de polaridad de los devanados de un transformador.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio en donde se hagan todas las conexiones y se comprueben todas las relaciones entre tensiones y corrientes.</li> <li>• Investigar acerca de las conexiones especiales de transformadores y cuales son sus aplicaciones.</li> <li>• Resolver problemas para transformadores trifásicos con diferentes condiciones de carga.</li> <li>• Investigar sobre los transformadores de instrumentos y transformadores especiales y elaborar un reporte acerca de este tipo de transformadores.</li> <li>• En el laboratorio conectar un transformador de dos devanados como autotransformador y reportar sobre sus relaciones de voltaje y corriente y discutir acerca de las aplicaciones de autotransformadores.</li> <li>• Experimentar en el laboratorio acerca de los efectos del desbalance de carga en la operación de transformadores con el neutro aterrizado y no aterrizado.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">5</p> <p style="text-align: center;">6</p>

## Unidad 6: Motores de inducción

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
<p>Analizará, controlará y seleccionará motores trifásicos de inducción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buscar información gráfica que muestre los cortes transversales de motores de inducción.</li> <li>• Elaborar un gráfico en la computadora en donde se muestre como se produce el campo magnético giratorio.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para visualizar el campo magnético giratorio.</li> <li>• Investigar acerca de la forma de distribuir los devanados que se emplean en los motores de inducción.</li> <li>• Mediante pruebas de laboratorio obtener el circuito equivalente de un motor de inducción y resolver problemas para diferentes condiciones de carga.</li> <li>• Investigar y hacer un reporte acerca de la clasificación NEMA que se aplica a motores de inducción.</li> <li>• Investigar acerca de los métodos de arranque y control de velocidad de motores de inducción</li> </ul>	<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">5</p>

## Unidad 7: Motores monofásicos de inducción

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de información
Conocerá, analizará, controlará y seleccionará motores monofásicos de inducción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buscar una representación gráfica en donde aparezca un corte transversal de un motor monofásico, e investigar las partes que lo componen y las funciones que cada componente tiene en su operación.</li> <li>• Investigar y elaborar un reporte acerca de las teorías del doble campo giratorio.</li> <li>• Elaborar un trabajo en donde se expliquen los diferentes tipos de motores monofásicos de acuerdo con el método de arranque.</li> <li>• Investigar acerca de los métodos de control de velocidad de los motores monofásicos de inducción y elaborar un reporte.</li> <li>• Elaborar un cuadro sinóptico donde aparezcan todos los tipos de motores monofásicos, sus características y aplicaciones.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">5</p>

### 10.- FUENTES DE INFORMACIÓN

- 1 Chapman Stephen J., *Máquinas eléctricas*, Ed. Mc Graw Hill, 2004
- 2 Fitzgerald, Kinsgley, Umans, *Máquinas eléctricas*, Ed. Mc Graw Hill 2004
- 3 Cathey J., Joseph, *Máquinas eléctricas Análisis y diseño aplicando MATLAB*, Ed. Mc Graw Hill
- 4 Richrdson, Caisse, *Máquinas eléctricas rotativas y transformadores*, Ed. Prentice Hall
- 5 Kosow, I., *Máquinas eléctricas y transformadores*, Ed. Prentice-Hall
- 6 Robert Stein/ William T Hunt Jr., *Electric Power System Components (Transformer and rotating machines)*, Ed. Van Nostrand Reinhold. 1991
- 7 Paul C. Krause, *Analysis of Electric Machinery*, Ed. McGraw Hill
- 8 Standard 112 , Test procedure for polyphase induction motors and generators, IEEE
- 9 Standard 141 Test Procedure for Single-Phase Induction Motors. IEEE
- 10 ANSI IEEE Std C57 100-1986 Transformadores en aceite
- 11 ANSI IEEE Std C57.105-1978 IEEE Guide for application of transformer connections in three-phase distribution systems
- 12 ANSI IEEE Std C57.13-1978 IEEE Requirements for instruments transformers
- 13 ANSI IEEE Std C57.12.80 1978 IEEE Standard terminology for power and distribution transformers

## 11.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Características magnéticas de los materiales
- Identificación de las partes de un transformador
- Medición de resistencia de devanados y de resistencia de aislamiento
- Prueba de polaridad de transformador y relación de transformación
- Prueba con carga de un transformador monofásico
- Pruebas de vacío y de corto circuito
- Conexiones trifásicas
- Conexión en paralelo monofásico y trifásico
- Conexión de un transformador como autotransformador
- Conexión de transformadores de instrumento
- Conexión delta abierta
- Identificación de las partes de motor de inducción trifásico
- Medición de resistencia de devanados y de la resistencia de aislamiento
- Relación de transformación motor de inducción, efecto deslizamiento
- Pruebas de vacío y rotor bloqueado
- Arranque motor de inducción
- Control de velocidad de motor de inducción
- Prueba con carga del motor de inducción. trifásico
- Conexión del motor de inducción. monofásico
- Arranque motor de inducción monofásico