

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura :	<b>Transformadores</b>
Carrera :	<b>Ingeniería Eléctrica</b>
Clave de la asignatura :	<b>ELF-1027</b>
SATCA <sup>1</sup>	<b>3 - 2 - 5</b>

## 2.- PRESENTACIÓN

### **Caracterización de la asignatura.**

Esta materia se aplica en el estudio y modelado de los sistemas eléctricos de potencia, coordinación de protecciones, en subestaciones eléctricas y en una gama de situaciones en el que el uso del transformador es imprescindible, ya que es el equipo que se emplea para enlazar dos o más niveles de tensión diferentes, a la misma frecuencia y de manera segura.

La asignatura está relacionada con las materias previas: análisis de circuitos eléctricos II, electricidad y magnetismo, cuyas competencias son: conocer, analizar, resolver, modelar, y conectar dispositivos electromagnéticos.

Las materias que tienen una relación posterior en la retícula son: instalaciones eléctricas, legislación en materia eléctrica, instalaciones eléctricas industriales, control de máquinas eléctricas, uso eficiente de la energía instrumentación y modelado de sistemas eléctricos de potencia.

### **Intención didáctica.**

La experiencia educativa se divide en cuatro unidades.

En la primera unidad se presenta las leyes que rigen a los circuitos magnéticos. El enfoque de este tema es para que el estudiante conozca y comprenda la influencia de los materiales ferrosos en un circuito magnético. Que a su vez pueda plantear circuitos magnéticos para evaluar la energía necesaria y obtener los flujos que se requieran bajo la influencia de diferentes materiales así como los espacios al aire.

En la segunda unidad se refiere al principio básico de operación de un transformador y las partes con las que está construido. El enfoque de esta unidad está relacionado con el objetivo de que el estudiante conozca la influencia de cada una de las partes en la operación del transformador y la forma como se modificaría ésta, en el caso de que se encuentren en mal estado, esto, para que el estudiante sea capaz de operar

---

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

correctamente el transformador y reconocer en esta operación posibles fallas.

En la tercera unidad se ven los parámetros que permiten valorar el comportamiento del transformador en estado estable en dos puntos fundamentales que son la regulación y la eficiencia a través del planteamiento del diagrama fasorial y el circuito equivalente. El enfoque de esta unidad es que el estudiante sea capaz de operar el transformador de tal manera que sea lo más eficiente posible y provea de los niveles de voltaje demandados por la carga. Se consideran prácticas de laboratorio para que el estudiante adquiera la habilidad de determinar el circuito equivalente del transformador y poder simular su comportamiento y poder operar y seleccionar los transformadores adecuados en un sistema eléctrico. Se espera que el estudiante sea capaz de desarrollar pruebas para poder determinar el estado en que se encuentran las partes que componen el transformador.

La cuarta unidad trata el uso del transformador en configuraciones útiles como son conexión en paralelo, conexiones trifásicas, conexión delta abierta, y casos particulares como son el autotransformador y los transformadores de instrumento. El enfoque de esta unidad, es que el alumno sea capaz de aplicar los conocimientos de unidades anteriores para aplicarlos a conexiones donde se demande un trabajo en paralelo o alguna conexión especial de los transformadores, siempre con el objetivo primordial de ser eficiente en el manejo de energía, así como considerar los efectos que se pueden presentar de los parámetros que pueden afectar la calidad de la energía.

Durante el desarrollo de la asignatura, se formarán equipos de trabajo para ir desarrollando las tareas de investigación y prácticas de laboratorio, con el fin de integrar participativamente a todos los alumnos, siempre supervisados en todo momento por el profesor, para que el aprendizaje sea homogéneo, cuidando la seguridad de los alumnos y del manejo de los equipos.

### 3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p><b>Competencias específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aplicar los conocimientos adquiridos en los procesos de conversión y transformación de la energía eléctrica para analizar la operación en estado estacionario de los transformadores y determinar su comportamiento dentro del sistema eléctrico; así como su utilización de manera segura, comprometido con el cuidado del medio ambiente</li></ul>	<p><b>Competencias genéricas:</b></p> <p><u>Competencias instrumentales</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad de análisis y síntesis</li><li>• Capacidad de organización y planificación</li><li>• Comunicación oral y escrita en la lengua nativa</li><li>• Conocimiento de una lengua extranjera</li><li>• Conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio</li><li>• Capacidad de gestión de la información</li><li>• Resolución de problemas</li><li>• Toma de decisiones</li></ul> <p><u>Competencias interpersonales</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Trabajo en equipo</li><li>• Trabajo en un equipo de carácter interdisciplinar</li><li>• Trabajo en un contexto internacional</li><li>• Habilidades en las relaciones interpersonales</li><li>• Razonamiento crítico</li><li>• Compromiso ético</li></ul> <p><u>Competencias sistémicas</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aprendizaje autónomo</li><li>• Adaptación a nuevas situaciones</li><li>• Creatividad</li><li>• Liderazgo</li><li>• Conocimiento de otras culturas y costumbres</li><li>• Iniciativa y espíritu emprendedor</li><li>• Motivación por la calidad</li><li>• Sensibilidad hacia temas medioambientales</li></ul>
--	---

#### 4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

<b>Lugar y fecha de elaboración o revisión</b>	<b>Participantes</b>	<b>Evento</b>
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato del 24 al 28 de agosto de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Ciudad Juárez, Coahuila, Coatzacoalcos, Culiacán, Durango, Hermosillo, La Laguna, Mérida, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Saltillo, Tlalnepantla, Valle De Bravo y Veracruz.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Eléctrica.
Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 1 de septiembre al 15 de diciembre de 2009.	Academias de Ingeniería Eléctrica de los Institutos Tecnológicos de: Aquí va los tec	Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Instituto Tecnológico de Mexicali del 25 al 29 de enero del 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Ciudad Juárez, Coahuila, Coatzacoalcos, Culiacán, Durango, Hermosillo, La Laguna, Mérida, Mexicali, Orizaba, Pachuca, Saltillo, Tlalnepantla, Valle De Bravo y Veracruz.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

## 5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

Aplicar los conocimientos adquiridos en los procesos de conversión y transformación de la energía eléctrica para analizar la operación en estado estacionario de los transformadores y determinar su comportamiento dentro del sistema eléctrico; así como su utilización de manera segura, comprometido con el cuidado del medio ambiente.

## 6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Aplica los conceptos y leyes fundamentales que se emplean en el análisis en estado estable de circuitos eléctricos excitados con corriente alterna, con apoyo de herramientas de análisis y simulación.
- Aplica los conceptos de la teoría de los campos eléctricos y magnéticos para determinar su comportamiento en el estudio de cualquier dispositivo electromagnético.
- Utiliza un software matemático para la simulación del comportamiento bajo distintas condiciones de operación.
- Aplica los conocimientos del álgebra compleja para analizar los circuitos eléctricos equivalentes.

## 7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Circuitos magnéticos	1.1 Conversión de energía electromecánica 1.2 Leyes del electromagnetismo 1.3 Materiales magnéticos y sus propiedades 1.4 Circuitos magnéticos
2	Transformador eléctrico	2.1 Funcionamiento del transformador 2.2. Partes del transformador 2.3 Diferentes tipos de transformadores y sus aplicaciones 2.4 Transformador ideal 2.5 Normas y especificaciones aplicables en el cuidado del medio ambiente.
3	Operación con carga y circuitos equivalentes del transformador	3.1 Transformador real 3.2 Diagrama fasorial 3.3 Circuito equivalente de un transformador 3.4 Modelado de un circuito equivalente de un transformador utilizando software 3.5 Interpretar los datos de placa del transformador 3.6 Pruebas básicas a transformadores 3.6.1 Relación de transformació 3.6.2 Polaridad 3.6.3 Resistencia de devanados

		<p>3.6.4 Resistencia de aislamiento</p> <p>3.6.5 Rigidez dieléctrica del aceite</p> <p>3.6.6 Pruebas especiales</p> <p>3.7 Determinación de los parámetros del transformador empleando la prueba de corto circuito y de circuito abierto</p> <p>3.8 Cálculo de regulación de tensión</p> <p>3.9 Determinación de las pérdidas y cálculo de la eficiencia</p>
4	Conexiones del transformador	<p>4.1 Conexiones trifásicas (Circuito equivalente y diagramas fasoriales)</p> <p>4.2 Conexión delta abierta</p> <p>4.3 Paralelo de transformadore</p> <p>4.4 Autotransformador</p> <p>4.5 Transformador de corriente</p> <p>4.6 Transformador de potencial</p>

## **8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS**

El profesor debe:

Ser conocedor de la disciplina que está bajo su responsabilidad, conocer su origen y desarrollo histórico para considerar este conocimiento al abordar los temas. Desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo; orientar el trabajo del estudiante, fomentar el trabajo cooperativo y la toma de decisiones. Mostrar flexibilidad en el seguimiento del proceso formativo y propiciar la interacción entre los estudiantes. Tomar en cuenta el conocimiento de los estudiantes como punto de partida para la construcción de nuevos conocimientos.

- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Ejemplo: buscar y contrastar definiciones de las leyes electromagnéticas que gobiernan en el transformador.
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la integración y la colaboración entre los estudiantes.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios a la que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.
- Facilitar el contacto directo con materiales e instrumentos, al llevar a cabo actividades prácticas, para contribuir a la formación de las competencias para el trabajo experimental como: identificación manejo y control de variables eléctricas y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, trabajo en equipo.
- Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.

## 9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

La evaluación debe ser continua y formativa por lo que se debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

- Reportes escritos de las observaciones hechas durante las actividades, prácticas (de campo o en laboratorio), investigación documental, simulaciones, entre otras.
- Lectura y revisión de textos.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.

## 10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

### Unidad 1: Circuitos Magnéticos

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Aplicar las leyes del electromagnetismo para comprender el comportamiento de los circuitos magnéticos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigar las propiedades magnéticas de la materia e identificar cuáles son las características magnéticas que tienen distintos materiales.</li><li>• Obtener y utilizar las relaciones de campo magnético para varios materiales ferromagnéticos.</li><li>• Conocer las analogías existentes entre el circuito magnético y el circuito eléctrico</li><li>• Analizar el comportamiento de dispositivos electromagnéticos de variadas configuraciones excitados por corriente directa.</li><li>• Buscar información acerca del efecto de los campos magnéticos alternos en estructuras ferromagnéticas</li><li>• Reflexionar acerca de la eficiencia energética en este tipo de dispositivos e inducir una forma de modelar las pérdidas de energía</li><li>• Resolver problemas de análisis cuantitativo y cualitativo de circuitos magnéticos excitados con corriente directa y con corriente alterna</li><li>• Visitar instalaciones diversas en donde existan transformadores</li></ul>



## Unidad 2: Transformador eléctrico

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Interpretar el funcionamiento del transformador e identificar sus partes, así como la clasificación de los diferentes tipos para explicar su comportamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigar los diferentes tipos de transformadores y hacer una presentación en Power Point</li><li>• Obtener un diagrama donde se muestre el despiece de un transformador y reflexiona acerca de la función que desempeña cada una de sus partes</li><li>• Aplicar las relaciones tensión – corriente en un transformador ideal</li><li>• Formar grupos de trabajo para resolver problemas de análisis de sistemas eléctricos donde existan transformadores ideales</li><li>• Visitar una empresa que fabrique transformadores</li></ul>

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

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Obtener los parámetros eléctricos realizando pruebas a transformadores para representar el circuito equivalente y con ello, determinar la regulación de tensión, pérdidas y eficiencia apoyándose con software de simulación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formar mesas de discusión para comentar y reflexionar acerca de la forma de modelar los efectos que se presentan en un transformador real.</li><li>• Analizar el uso pertinente de los circuitos equivalentes aproximados</li><li>• Utilizar un software para el análisis del circuito equivalente</li><li>• En equipos de trabajo discutir y</li></ul>

	<p>reflexionar acerca del significado de regulación de tensión y de eficiencia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceder a resolver problemas de análisis de regulación y de eficiencia para diferentes condiciones de carga</li> <li>• Buscar información acerca de los datos de placa en un transformador para conocer sus parámetros y valores nominales.</li> <li>• Buscar información sobre los transformadores trifásicos, especificar sus características físicas y su forma de operación.</li> <li>• Realizar pruebas eléctricas a transformadores para determinar los parámetros eléctricos a emplear en el circuito equivalente</li> <li>• Investigar los criterios para seleccionar la capacidad de un transformador de acuerdo con las características de la carga por alimentar</li> <li>• En grupos de trabajo y en horas extraclase desarrollar un banco de ejercicios previos al examen de evaluación.</li> </ul>
--	---

#### **Unidad 4: Conexiones de Transformadores**

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Distinguir las necesidades y requerimientos en las conexiones de transformadores trifásicos, de instrumento y autotransformadores utilizando procedimientos prácticos para su conexión a la red eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar esquemáticamente tres transformadores monofásicos en banco trifásico, estrella - estrella, estrella – delta, delta - estrella y delta – delta. Obtener los diagramas fasoriales correspondientes y en mesa redonda discutir e interpretar los resultados</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigar las formas de transferir energía trifásica utilizando dos unidades monofásicas conectadas en banco, analizar la operación, limitaciones y propiedades que tiene cada una de ellas</li><li>• Analizar las razones para conectar en paralelo a los transformadores, discutir las alternativas y seleccionar para un caso determinado la opción más adecuada</li><li>• Discutir en mesas de trabajo las razones de utilizar transformadores multidevanado y concluir los casos en los que es conveniente utilizarlos.</li><li>• Hacer un análisis comparativo de un autotransformador contra un transformador y sacar conclusiones</li><li>• Buscar información sobre los transformadores de instrumentos, especificar sus características físicas, su forma de operación y de conexión.</li><li>• En grupos de trabajo y en horas extraclase desarrollar un banco de ejercicios previos al examen de evaluación.</li></ul>
--	---

Haga clic aquí para escribir texto.

## 11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Pedro Avelino Pérez, *Transformadores de distribución*, Ed. Reverté, 2ª edic.
2. Felipe Corcoles López, *Transformadores*, Ediciones UPC 2004
3. E.E. Staff del M.I.T, *Circuitos magnéticos y transformadores*, Editorial reverté
4. José Manuel espinosa Malea, Enrique F. Belenguer Balaguer, Universitat Jaume
5. Catálogos de fabricantes de transformadores
6. Kosow, Irving L. *Máquinas eléctricas y transformadores*. Segunda edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Impresora y maquiladora de libros MIG, S.A. de C.V., México D.F. 1996.
7. Fitzgerald, Kingsley, Kusko, *Máquinas eléctricas*, McGraw Hill 6ta. Edición
8. Cathey, J. Joseph, *Máquinas eléctricas, análisis y diseño aplicanco Matlab*, McGraw Hill. 2002
9. Krause, Paul, Wasynczuk Oleg and Scott D, *Analysis of Electric Machinery*, McGraw Hill, 1995
10. Richardson D., *Máquinas eléctricas rotativas y transformadores*, McGraw Hill, 4ta Ed.
11. Chapman, Stephen J. *Máquinas eléctricas*. Cuarta edición. Mc. Graw Hill. México D.F. 2005.
12. Fraile Mora J, *Máquinas eléctricas*, McGraw Hill, 6ta Ed.
13. Comisión Federal de Electricidad, *Manual de pruebas a transformadores*, edición vigente
14. ANSI IEEE Std C57 100-1986 *Transformadores en aceite*
15. ANSI IEEE Std C57.105-1978 *IEEE Guide for application of transformer connections in three-phase distribution systems*
16. ANSI IEEE Std C57.12.80 1978 *IEEE IEEE Standard terminology for power and distribution transformers*
17. ANSI IEEE Std C57.13-1978 *IEEE Requirements for instruments transformers*
18. Álvarez, Manuel, *Transformadores*, Alfaomega, 2009

## 12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Curva de magnetización de materiales ferrosos
- Prueba de principio de inducción electromagnética
- Prueba de relación de transformación
- Prueba de polaridad
- Prueba de resistencia de devanados
- Prueba de resistencia de aislamiento
- Prueba de vacío
- Prueba de corto circuito
- Prueba con carga a diferentes factores de potencia
- Conexiones trifásicas Y/Y ; Y/D ; D/D
- Conexión en paralelo
- Conexión de autotransformador
- Conexión de transformadores de corriente monofásica y trifásica
- Conexión de transformador de potencial monofásica y trifásica