

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Transformadores
Clave de la asignatura:	ELF-1027
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería Eléctrica

2. Presentación

<p>Caracterización de la asignatura</p> <p>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 las 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.</p> <p>La asignatura está relacionada con las materias previas: análisis de circuitos eléctricos II y electricidad y magnetismo, cuyas competencias son: conocer, analizar, resolver, modelar, y conectar dispositivos electromagnéticos.</p> <p>Las materias que tienen una relación posterior en la retícula son: instalaciones eléctricas, legislación en materia eléctrica, instalaciones eléctricas industriales, control de máquinas eléctricas, instrumentación y modelado de sistemas eléctricos de potencia.</p>
<p>Intención didáctica</p> <p>La asignatura se divide en cinco temas.</p> <p>En el primer tema se presentan 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 ferromagnéticos en un circuito magnético. Que a su vez, pueda analizar circuitos magnéticos para obtener la energía necesaria y obtener los flujos en medios de diferentes materiales.</p> <p>El segundo tema se refiere al principio básico de operación de un transformador y las partes con las que está construido. El enfoque de esta unidad tiene como objetivo 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, para que el estudiante sea capaz de operar correctamente el transformador y reconocer en esta operación, posibles fallas.</p> <p>En el tercer tema se abordan 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 objetivo de este tema 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 tensión 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, 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.</p> <p>El cuarto tema trata el uso del transformador en configuraciones tales como, conexión en paralelo, conexiones trifásicas, conexión delta abierta y conexiones especiales, y casos particulares, como son el autotransformador y los transformadores de instrumento. El enfoque de este tema, es que el alumno sea</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

capaz de aplicar los conocimientos de temas anteriores para aplicarlos a conexiones donde se demande un trabajo en paralelo o alguna conexión especial de los transformadores.

En el tema cinco se desarrollan las pruebas de campo de transformadores, se describen cada una de ellas con el fin de verificar su estado.

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 el manejo de los equipos.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
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, 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 las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.
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, 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 las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.
Instituto Tecnológico de la Laguna, del 26 al 29 de noviembre de 2012.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Culiacán, Hermosillo, La Laguna, Mexicali, Oaxaca, Pachuca, Querétaro, Tuxtla Gutiérrez y Veracruz.	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica.
Instituto Tecnológico de Toluca, del 10 al 13 de febrero de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Boca del Río, Celaya, Mérida, Orizaba, Puerto Vallarta y Veracruz.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de Ingenierías, Licenciaturas y Asignaturas Comunes del SNIT.

<p>Tecnológico Nacional de México, del 25 al 26 de agosto de 2014.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Apizaco, Boca del Río, Celaya, Cerro Azul, Cd. Juárez, Cd. Madero, Chihuahua, Coacalco, Coatzacoalcos, Durango, Ecatepec, La Laguna, Lerdo, Matamoros, Mérida, Mexicali, Motúl, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Poza Rica, Progreso, Reynosa, Saltillo, Santiago Papasquiari, Tantoyuca, Tlalnepantla, Toluca, Veracruz, Villahermosa, Zacatecas y Zacatepec. Representantes de Petróleos Mexicanos (PEMEX).</p>	<p>Reunión de trabajo para la actualización de los planes de estudio del sector energético, con la participación de PEMEX.</p>
------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia específica de la asignatura
<p>Aplica 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 determina su comportamiento dentro del sistema eléctrico, así como su utilización, de manera segura, comprometido con el cuidado del medio ambiente.</p>

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • 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. • Adquiere los conocimientos para analizar campos eléctricos, magnéticos, y de conducción en regímenes estáticos y cuasi estáticos; así mismo campos de conducción variables en el tiempo y campos electromagnéticos. El análisis anterior orientado a las áreas de generación de potencia eléctrica, maquinaria eléctrica rotatoria, equipo eléctrico industrial, de potencia y comunicaciones.

6. Temario

No.	Nombre de 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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. Interpretación de los datos de placa del transformador. 3.6. Determinación de los parámetros del transformador empleando la prueba de corto circuito y de circuito abierto. 3.7. Cálculo de regulación de tensión. 3.8. Determinación de las pérdidas y cálculo de la eficiencia.
4	Conexiones del transformador	<ul style="list-style-type: none"> 4.1. Prueba de marcas de polaridad. 4.2. Conexiones trifásicas del transformador (Circuito equivalente y diagramas fasoriales). 4.3. Conexiones especiales. 4.4. Conexión de transformadores en paralelo. 4.5. Autotransformador. 4.6. Transformador de corriente. 4.7. Transformador de potencial.
5	Selección y pruebas de campo del transformador	<ul style="list-style-type: none"> 5.1. Selección de la capacidad del transformador. 5.2. Pruebas de inspección del transformador. 5.3. Prueba de resistencia de aislamiento de los devanados. 5.4. Prueba de resistencia de aislamiento del núcleo. 5.5. Pruebas del factor de potencia. 5.6. Prueba de corriente de excitación 5.7. Prueba de relación de transformación. 5.8. Prueba de verificación de impedancia. 5.9. Prueba de resistencia óhmica de los devanados. 5.10. Prueba de rigidez dieléctrica del aceite. 5.11. Protección de los transformadores

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1.Circuitos Magnéticos

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Aplica las leyes del electromagnetismo para comprender el comportamiento de los circuitos magnéticos</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar las propiedades magnéticas de la materia e identifica cuáles son las características magnéticas que tienen distintos materiales. • Obtener y utilizar las relaciones de campo magnético para varios materiales ferromagnéticos. • Conocer las analogías existentes entre el circuito magnético y el circuito eléctrico. • Analizar el comportamiento de dispositivos electromagnéticos de variadas configuraciones excitados por corriente directa. • Buscar información acerca del efecto de los campos magnéticos alternos en estructuras ferromagnéticas. • Resolver problemas de análisis de circuitos magnéticos excitados con corriente directa y con corriente alterna. • Realizar visitas a diversas subestaciones eléctricas de la localidad y elaborar reporte.
2. Transformador eléctrico	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analiza el funcionamiento del transformador e identifica sus partes, para realizar la clasificación de los diferentes tipos.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar los diferentes tipos de transformadores. • Investigar los diferentes tipos de enfriamiento. • Investigar las diferentes partes constitutivas del transformador y definir la función que desempeña cada una de ellas. • Aplicar las relaciones de transformación de tensión y corriente en un transformador ideal. • Resolver problemas de análisis de sistemas eléctricos donde existan transformadores ideales. • Realizar visita a una empresa que fabrique transformadores y elaborar reporte.
3. Operación con carga y circuitos equivalentes del transformador	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Obtiene los parámetros eléctricos de los transformadores, realizando las pruebas de corto circuito y circuito abierto, para determinar el</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el uso pertinente de los circuitos equivalentes.

<p>circuito equivalente y con ello, calcula la regulación de tensión, pérdidas y eficiencia, apoyándose con software de simulación</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • En equipos de trabajo discutir y reflexionar acerca del significado de regulación de tensión y de eficiencia. • Utilizar software para realizar el modelado del circuito equivalente. • Investigar acerca de los datos de placa en un transformador para conocer sus parámetros y valores nominales. • Realizar pruebas de corto circuito y circuito abierto a transformadores para determinar los parámetros eléctricos del circuito equivalente. • Resolver problemas de análisis de regulación y de eficiencia para diferentes condiciones de carga.
<p>4. Conexiones de Transformadores</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>Analiza las necesidades y requerimientos en las conexiones de transformadores trifásicos, de instrumento y autotransformadores, utilizando procedimientos prácticos para su conexión a la red eléctrica</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza la prueba de marca de polaridad empleando los métodos de golpe inductivo y el método de los tres vóltmetros. • Conectar esquemáticamente tres transformadores monofásicos en banco trifásico, estrella-estrella, estrella-delta, delta-estrella y delta-delta. • Obtener los diagramas fasoriales y sus circuitos equivalentes correspondientes a cada una de las conexiones trifásicas e interpretar los resultados. • Conectar dos transformadores monofásicos en delta abierta y analizar su comportamiento. • Investigar y analizar el comportamiento de transformadores en conexión Scott y zig-zag. • Analizar las condiciones requeridas para conectar en paralelo a los transformadores trifásicos y realizar la conexión. • Analizar las razones de utilizar transformadores multidevanados y determinar los casos en los que es conveniente utilizarlos. • Analizar el funcionamiento de un autotransformador y compararlo con el de un transformador. • Realizar la conexión de un transformador como autotransformador y aplicarle carga. • Investigar información sobre los transformadores de instrumentos, especificando sus características físicas, su forma de operación y de conexión.

5. Selección y pruebas de campo del transformador	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Usa el equipo de medición para el estudio de variables eléctricas de baja tensión, aplicando los procedimientos de seguridad.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar los criterios para seleccionar la capacidad de un transformador de acuerdo con las características de la carga por alimentar. • Realizar una inspección visual y verificar a detalle los diferentes componentes del transformador. • Realizar la prueba de resistencia de aislamiento a devanados utilizando el megaóhmetro e interpretar los resultados. • Realizar la prueba de resistencia de aislamiento al núcleo utilizando el megaóhmetro e interpretar los resultados. • Investigar el procedimiento para la prueba de factor de potencia al aislamiento y la interpretación de los resultados. • Investigar el procedimiento para la prueba de corriente de excitación, realizar la prueba correspondiente e interpretar los resultados. • Investigar el procedimiento para la prueba de relación de transformación, realizar la prueba correspondiente e interpretar los resultados • Investigar el procedimiento para la prueba de verificación de impedancia, realizar la prueba correspondiente e interpretar los resultados • Investigar el procedimiento para la prueba de resistencia óhmica de devanados, realizar la prueba correspondiente e interpretar los resultados • Investigar el procedimiento para la prueba de rigidez dieléctrica del aceite, realizar la prueba correspondiente e interpretar los resultados • Investigar los esquemas de protección de los transformadores para fallas internas y externas.

8. Prácticas

- Curva de magnetización de materiales ferromagnéticos.
- Lazo de histéresis.
- Prueba de relación de transformación.
- Prueba de vacío.
- Prueba de corto circuito.
- Prueba con carga a diferentes factores de potencia.
- Prueba de polaridad.
- Conexiones trifásicas Y/Y ; Y/D ; D/D; D/Y.

- Conexiones Especiales.
- Conexión en paralelo de transformadores.
- Conexión de autotransformador.
- Conexión de transformadores de corriente monofásica y trifásica.
- Conexión de transformador de potencial monofásica y trifásica.
- Prueba de resistencia óhmica de devanados.
- Prueba de resistencia de aislamiento.
- Prueba de resistencia de aislamiento del núcleo.
- Prueba de factor de potencia del aislamiento.
- Prueba de verificación de impedancia.
- Prueba de corriente de excitación.
- Prueba de relación de transformación.
- Prueba de rigidez dieléctrica del aceite.

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación por competencias

Instrumentos y herramientas sugeridas para evaluar las actividades de aprendizaje:

- Reportes escritos de las observaciones hechas durante las actividades, así como de las conclusiones obtenidas de dichas observaciones.
- Información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos.
- Descripción de otras experiencias concretas que podrían realizarse adicionalmente.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Reportes escritos de las visitas de campo.
- Reporte de los trabajos de simulación por computadora.
- Reporte de las prácticas de laboratorio.
- Presentación de los trabajos de investigación.

11. Fuentes de información

1. Gonen T., (2012). *Electrical Machines with MATLAB*. (2ª Ed.). CRC Press.
2. Nasar S.. (1997) *Electric Machines and. Electromechanics*. (2ª Ed.). McGraw-Hill
3. Gross Ch. A.. (2006). *Electric Machines*. (1ª Ed). CRC Press
4. Chee-Mun O.(1997). *Dynamic Simulation of Electric Machinery Using MatLab/Simulink*. Prentice Hall
5. Richardson D. (1997), *Máquinas eléctricas rotativas*. Prentice-Hall & IBD
6. Kosow I. L. (2009). *Máquinas eléctricas y transformadores*. (1ª. Ed.). Reverté.
7. Fitzgerald A. E. (1995) *Máquinas eléctricas*, McGraw Hill.
8. Cathey, J. J.,(2002). *Máquinas eléctricas, análisis y diseño aplicando Matlab*, McGraw Hill.
9. Krause P., Wasynczuk O.and Sudhoff S. D. y Pekarek S. (2013). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. (3ª Ed.). Wiley-IEEE Press
10. Chapman S. J. (2005) *Máquinas eléctricas*. (4ª Ed.). Mc. Graw-Hill.
11. E.E. Staff del M.I.T, (2009) *Circuitos magnéticos y transformadores*, Reverté.
12. Comisión Federal de Electricidad, *Manual de pruebas a transformadores*, edición vigente
13. ANSI IEEE Std C57 100-1986 *Transformadores en aceite*
14. ANSI IEEE Std C57.105-1978 *IEEE Guide for application of transformer connections in three-phase distribution systems*
15. ANSI IEEE Std C57.12.80 1978 *IEEE IEEE Standard terminology for power and distribution transformers*
16. ANSI IEEE Std C57.13-1978 *IEEE Requirements for instruments transformers*.
17. Technology Suite. Recuperado de http://mathonweb.com/technology_suite.htm
18. Corriente Alterna. Aula Moisan. Recuperado de <http://www.aulamoisan.com/software-moisan/corriente-alterna>
19. Transformadores Monofásicos. Aula Moisan. Recuperado de <http://www.aulamoisan.com/software-moisan/transformadores-monofasicos>
20. Catálogos de fabricantes de transformadores