

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Sistemas Eléctricos de Potencia
Clave de la asignatura:	EMF-1024
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería Electromecánica

2. Presentación

<p>Caracterización de la asignatura</p> <p>Esta asignatura considera el análisis en estado estable de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP). El curso parte de la consideración de que el alumno ha adquirido las competencias previas correspondientes a las materias de máquinas eléctricas y análisis de circuitos eléctricos. Por tanto, se analiza especialmente el comportamiento de las líneas de transmisión y su modelado mediante parámetros distribuidos, así como los modelos aproximados de líneas considerando parámetros concentrados.</p> <p>Asimismo, se considera el problema de flujos de potencia, en el cuál se estudia de manera detallada la deducción de las ecuaciones de balance de potencia. Dado que el conjunto de ecuaciones algebraicas resultante es no lineal, se emplean métodos iterativos para su solución, que son abordados con el suficiente nivel de profundidad para que el alumno sea capaz de implementar algoritmos computacionales de solución, utilizando lenguajes de alto nivel para su fácil implementación.</p> <p>El empleo de software de alto nivel y especializado juega un papel muy importante en la comprensión y asimilación de conceptos. Será posible con estos medios que el alumno compruebe y valide los diferentes modelos estudiados en el curso, implementará algoritmos computacionales de solución y se concentrará en los conceptos esenciales.</p> <p>La importancia de esta asignatura reside en que servirá como plataforma para el análisis de fenómenos de gran relevancia en la operación y control de los SEP. Así, el adquiere la habilidad de modelar matemáticamente los sistemas de potencia, resolverlos utilizando diferentes técnicas y obtener su punto operativo en estado estacionario. Además, la asignatura logrará que el alumno desarrolle su capacidad de auto aprendizaje que le sirva para analizar la operación y control de un SEP.</p>
<p>Intención didáctica</p> <p>La primera parte del curso comprende un repaso de conceptos de teoría de circuitos, tales como potencia compleja, factor de potencia, etc. El profesor debe relacionarlo directamente con los SEP.</p> <p>La segunda parte del curso comprende el modelado de las líneas de transmisión de una red eléctrica, de tal manera que el ingeniero desarrolle la habilidad necesaria para seleccionar el modelo adecuado, que vaya acorde con el fenómeno que esté analizando. Deberá ser capaz de comprobar y validar los modelos de las líneas de transmisión utilizando software de alto nivel y software especializado que contenga los modelos implementados.</p> <p>La tercera parte del curso analiza el problema de flujos de potencia y las técnicas de solución del conjunto de ecuaciones resultante. El alumno debe desarrollar la habilidad para elaborar sus propios algoritmos de solución. Nuevamente el uso del software antes mencionado juega un papel muy importante, y el profesor debe de fomentar la creatividad del ingeniero para que la implementación de algoritmos sea una tarea motivante en el análisis. Una vez que se han implementado los algoritmos de solución, el profesor debe de utilizar software especializado para dar énfasis en los problemas más</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

comunes en la operación de los SEP. Esto permitirá que el ingeniero desarrolle su capacidad de razonamiento y pueda dar una interpretación adecuada del punto operativo en estado estable.

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: Apizaco, Centla, Ciudad Jiménez, Ciudad Juárez, Delicias, Huichapan, Irapuato, Jocotitlán, La Sierra Norte de Puebla, Lagos de Moreno, Lázaro Cárdenas, Lerdo, Libres, Linares, Los Mochis, Minatitlán, Occidente del Estado de Hidalgo, Ocotlán, Oriente del Estado de Hidalgo, Parral, Puerto Vallarta, Tamazula De Gordiano, Tijuana, Tlalnepantla, Tlaxco, Toluca, Tuxtepec, Xalapa y Zacatecas.	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: Apizaco, Centla, Ciudad Jiménez, Ciudad Juárez, Huichapan, Irapuato, Jocotitlán, La Sierra Norte de Puebla, Lagos de Moreno, Lázaro Cárdenas, Lerdo, Libres, Los Mochis, Mexicali, Minatitlán, Occidente del Estado de Hidalgo, Ocotlán, Oriente del Estado de Hidalgo, Parral, Puerto Vallarta, Tamazula de Gordiano, Tlaxco, Toluca, Tuxtepec, Xalapa y Zacatecas.	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: Apizaco, Oriente del Estado de Hidalgo, La Paz, La Región Sierra, Los Cabos, Delicias, Ensenada, Chihuahua, Iguala, Lázaro Cárdenas, Lerdo, Los Ríos, Matamoros, Minatitlán, Mulegé, Nuevo Casas Grandes,	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.

	Puerto Progreso, Puerto Vallarta, Tapachula y Zacatepec.	
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.
Tecnológico Nacional de México, del 25 al 26 de agosto de 2014.	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 Papasquiario, Tantoyuca, Tlalnepantla, Toluca, Veracruz, Villahermosa, Zacatecas y Zacatepec. Representantes de Petróleos Mexicanos (PEMEX).	Reunión de trabajo para la actualización de los planes de estudio del sector energético, con la participación de PEMEX.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> Identifica los elementos básicos que componen y se consideran para el análisis de sistemas eléctricos de potencia. Aplica la teoría de electricidad y magnetismo, así como especificaciones de diseño de conductores para el cálculo de parámetros de líneas de transmisión. Representa por medio de un circuito y matemáticamente un sistema de potencia práctico en estado estacionario para realizar un estudio de grupos de elementos electromecánicos interconectados. Realiza el análisis de flujos de potencia para obtener puntos de estado estacionario y análisis de contingencias de un sistema eléctrico de potencia. Conoce los principios para la operación y control de un sistema eléctrico de potencia para darle aplicaciones en sistemas electromecánicos.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> Conoce la teoría del cálculo matricial. Conoce la teoría del cálculo diferencial e integral Soluciona sistemas de ecuaciones algebraicas lineales y no lineales. Conoce las leyes fundamentales de la electricidad y magnetismo. Aplica la teoría de análisis de circuitos para resolver circuitos en corriente directa, monofásicos y trifásicos en corriente alterna.

- Conoce los principios de operación y modelado de máquinas eléctricas estáticas y rotatorias.
- Conoce y aplicar modelos matemáticos para analizar el comportamiento de redes eléctricas.
- Conoce la teoría de electricidad y magnetismo, así como especificaciones de diseño de conductores.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Conceptos Básicos	1.1. Introducción a los conceptos básicos. 1.2. Potencia en circuitos de CA monofásicos. 1.3. Potencia compleja. 1.4. El triángulo de potencia. 1.5. Dirección del flujo de potencia. 1.6. Voltaje, corriente y potencia en circuitos trifásicos balanceados. 1.7. Cantidades por unidad. 1.8. Cambio de base de cantidades en por unidad.
2	Impedancia serie de líneas de transmisión	2.1 Tipos de conductores. 2.2 Resistencia y valores tabulados. 2.3 Inductancia de un conductor debida al flujo Interno, línea monofásica de dos conductores y conductores compuestos. 2.4 Enlaces de flujo entre dos puntos externos a un conductor aislado y dentro de un grupo. 2.5 Uso de tablas. 2.6 Inductancia de líneas trifásicas con espaciamento equilátero y asimétrico. 2.7 Cálculo de inductancia para conductores agrupados.
3	Capacitancia en líneas de transmisión	3.1. Campo eléctrico de un conductor largo y recto. 3.2. Diferencia de potencial entre dos puntos debida a una carga. 3.3. Capacitancia de una línea de dos conductores. 3.4. Capacitancia de una línea trifásica con espaciamento equilátero. 3.5. Capacitancia de una línea trifásica con espaciamento asimétrico. 3.6. Efecto del suelo sobre la capacitancia de las líneas de transmisión trifásicas. 3.7. Cálculos de capacitancia para conductores agrupados. 3.8. Líneas trifásicas con circuitos paralelos.
4	Líneas de transmisión	4.1. Representación de líneas.

		<p>4.2. La línea de transmisión corta.</p> <p>4.3. La línea de longitud media.</p> <p>4.4. La línea de transmisión larga: solución de ecuaciones diferenciales.</p> <p>4.5. La línea de transmisión larga: interpretación de las ecuaciones.</p> <p>4.6. La línea de transmisión larga: forma hiperbólica de las ecuaciones.</p> <p>4.7. El circuito equivalente de una línea larga.</p> <p>4.8. Flujo de potencia a través de una línea de transmisión.</p> <p>4.9. Compensación reactiva de las líneas de transmisión.</p> <p>4.10. Uso de software especializado para el análisis de líneas de transmisión.</p>
5	Análisis de flujos de potencia	<p>5.1. Introducción al problema de flujos de potencia.</p> <p>5.2. El método de Gauss-Seidel.</p> <p>5.3. EL método de Newton-Raphson.</p> <p>5.4. La solución de flujos de potencia de Newton-Raphson.</p> <p>5.5. El método desacoplado de flujos de potencia.</p> <p>5.6. Estudios de flujos de potencia en el diseño y operación de sistemas.</p> <p>5.7. Análisis de contingencias N-1 en base a flujos de potencia.</p> <p>5.8. Uso de software para realizar análisis de flujos de potencia.</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Conceptos Básicos	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Recopilar, organizar, analizar e interpretar los diagramas de alambrado y control con la simbología americana y europea. Identificar las partes de un arrancador magnético combinado. Conocer la función de cada relevador en el control y protección de los motores, así como seleccionar y calcular sus principales elementos</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos básicos de la carrera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representar un sistema eléctrico de potencia por medio de un diagrama unifilar. • Calcular la potencia compleja monofásica y trifásica de circuitos que representan un sistema eléctrico de potencia. • Realizar problemas de corrección del factor de potencia en base al triangulo de potencia. • Discutir resultados obtenidos de un análisis de dirección de flujo de potencia. • A partir de un sistema eléctrico de potencia, realizar la selección de base para la representación de parámetros, voltajes y

<ul style="list-style-type: none"> Habilidades de gestión de información. Habilidades de investigación. Capacidad de aprender. 	corrientes en cantidades por unidad, realizar cambio de base.
2. Impedancia serie de líneas de transmisión	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Determinar la resistencia serie de conductores en base a su longitud y temperatura. Calcular la inductancia serie de líneas de transmisión monofásicas y trifásicas</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de análisis y síntesis. Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones. Habilidades de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar el concepto de resistencia, ecuación para calcular la resistencia de un conductor largo y corrección por temperatura. Reportar la ley de Ampere para el cálculo de intensidad de campo magnético, conceptos de Flujo magnético, enlace de flujo e inductancia. Resolver problemas de cálculo de inductancia de líneas de transmisión considerando factores de composición y distribución geométrica de conductores y utilizar tablas de características eléctricas de conductores.
3. Capacitancia de líneas de transmisión	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Calcular la capacitancia asociada a líneas de transmisión, monofásicas y trifásicas.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de análisis y síntesis. Capacidad de organizar y planificar. Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones. Habilidades de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtener la ecuación que determinar el campo eléctrico debido a una carga y a un conductor largo infinito aplicando la ley de Gauss. Deducir la ecuación de la diferencia de potencial entre dos puntos producida por una carga puntual. Investigar y deducir el concepto de capacitancia en conjunto a la ecuación para una línea de dos conductores paralelos. Resolver problemas de cálculo de capacitancia de líneas trifásicas sin considerar el efecto del suelo, en circuitos paralelos y considerando el efecto del suelo. Investigar y discutir el método de las imágenes. Realizar un programa computacional para el cálculo de parámetros de líneas.
4 Líneas de Transmisión	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analizar las relaciones voltaje corriente de líneas de transmisión considerando diferentes modelos matemáticos.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de análisis y síntesis. Capacidad de organizar y planificar. Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Deducción del modelo matemático de la línea corta, línea media (parámetros concentrados) y línea larga (parámetros distribuidos). Deducir la ecuación de flujo de potencia a través de una línea de transmisión. Investigar y discutir el concepto de compensación reactiva de la línea de transmisión.

<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar reportes de análisis de resultados de prácticas de laboratorio asociadas al capítulo.
5 Análisis de Flujos de Potencia	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Conocer y resolver el problema de de flujos de potencia. Conocer la aplicación del análisis de flujos de potencia como una herramienta para la operación de sistemas eléctricos de potencia. Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos generales básicos. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades de investigación. • Manejo de software computacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la formulación del problema de flujos de potencia en forma polar. • Aplicar el método de Gauss-Seidel y Newton-Raphson para el análisis de flujos de potencia de un sistema eléctrico pequeño. • Aplicar el método desacoplado rápido para el análisis de flujos de potencia de un sistema eléctrico pequeño. • Utilizar software para realizar el análisis de flujos de potencia de redes de gran escala. • Realizar el análisis de contingencias N-1 para simular condiciones de operación insegura de un sistema eléctrico y proponer acciones correctivas para contingencias dañinas.

8. Práctica(s)

- Cálculo y medición de potencia activa y reactiva monofásica.
- Cálculo y medición de potencia activa y reactiva trifásica en un sistema balanceado.
- Corrección del factor de potencia.
- Sincronización de un generador síncrono al sistema eléctrico nacional.
- Armar un sistema máquina-línea-carga para comprobar resultados proporcionados por medio de simulaciones del análisis de flujos de potencia.
- Cálculo experimental de las curvas PV a diferentes factores de potencia en líneas compensadas y no compensadas.
- Compensar en serie una línea de transmisión para ver su efecto en su regulación de voltaje y en su SIL.
- Compensar en paralelo una línea de transmisión para ver su efecto en su regulación de voltaje y en su SIL.

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
El profesor evalúa en forma continua y formativa, por lo que debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

- Información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos.
- El nivel de comprensión de conceptos por medio de reportes escritos de las observaciones hechas durante las actividades, así como de las conclusiones obtenidas de dichas observaciones.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Desarrollo teórico de temas mediante exposiciones.
- Reportes de investigaciones hechas en equipo y de manera individual.
- Realización de prácticas de laboratorio.

11. Fuentes de información

1. Gomez, Expósito, A. J. (2009). *Electric Energy Systems*: (1 Ed). USA: CRC Press.
2. El-Abiad, G. W. (1968). *Computer methods in power system analysis*. USA: Mc. Graw Hill Kogashuka.
3. Grainger, J. J. y Stevenson, W. D. (1999). *Análisis de sistemas de potencia*. México: Mc Graw Hill.
4. Saadat, H. (2002). *Power system analysis* (2 Ed). Mc Graw Hill.
5. Siskind, C. S. (1963). *Electrical Control System in Industry*. U.S.A: Mc. Graw Hill.
6. Wollemberg, A. J. (1996). *Power generation operation and control* (2 Ed). New York, USA: Wiley Interscience.