

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura :	<b>Modelado de Sistemas Eléctricos de Potencia</b>
Carrera :	<b>Ingeniería Eléctrica</b>
Clave de la asignatura :	<b>ELF-1020</b>
SATCA <sup>1</sup>	<b>3 - 2 - 5</b>

## 2.- PRESENTACIÓN

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

Esta asignatura aporta al perfil del ingeniero electricista la capacidad de interpretar, representar, calcular y explicar el comportamiento de las cargas y flujos de potencia en un sistema eléctrico de media y alta tensión, incluyendo el análisis bajo condiciones de falla, conceptos requeridos para operar eficientemente los mismos.

Permite introducir al alumno en la temática del análisis metodológico de los sistemas eléctricos de potencia interconectados para comprender el manejo de la carga en operación normal o transitoria a través de las líneas de transmisión, subestaciones y redes distribución de energía eléctrica.

Es una asignatura introductoria al resto de los temas propios de la especialidad en potencia o bien, como parte del tronco básico de la carrera de ingeniería eléctrica, permite ampliar el panorama del campo de acción de todo ingeniero electricista, introduciéndolo al manejo de la potencia en gran escala.

### **Intención didáctica.**

El contenido está organizado en cuatro unidades, las dos primeras dedicadas a la presentación conceptual de las técnicas de modelado en estado estacionario de los componentes de potencia del sistema eléctrico, como líneas y transformadores, dejando las otras dos para las actividades de aplicación en el modelado de flujo de potencias y la última para el análisis de las condiciones de falla.

En las dos primeras unidades se deberá enfatizar la presentación conceptual y la obtención analítica de los parámetros de modelación correspondientes, pero habrá de dejarse espacio suficiente para su resolución con los paquetes de software sugeridos, permitiendo que el alumno adopte las dos situaciones de manejo y obtenga una comparativa de evaluación propia que le permita comprobar las ventajas de uno y otro para su beneficio posterior en los temas de aplicación.

---

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

Las dos siguientes unidades se destinan al análisis mediante simulación de las condiciones operativas de los sistemas eléctricos, tanto para el manejo de la carga, como para las situaciones de fallas eléctricas que todo sistema eléctrico de potencia está sujeto en su operación, conceptos que se requerirán en otras materias posteriores a ésta, donde se cubrirán los aspectos complementarios de los SEP's. como: estabilidad de sistemas; despacho económico de carga; protecciones eléctricas; diseño de subestaciones de potencia, líneas de transmisión y redes de distribución.

### 3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p><b>Competencias específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Interpretar, representar, calcular y explicar el comportamiento de las cargas y flujos de potencia en un sistema eléctrico de media y alta tensión, incluyendo el análisis bajo condiciones de falla, para operar eficientemente los mismos</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>• Conocimientos básicos de la carrera</li><li>• Comunicación oral y escrita</li><li>• Habilidades básicas de manejo de la computadora</li><li>• Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas</li><li>• Solución de problemas</li><li>• Toma de decisiones</li></ul> <p><u>Competencias interpersonales</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad crítica y autocrítica</li><li>• Trabajo en equipo</li><li>• Habilidades interpersonales</li></ul> <p><u>Competencias sistémicas</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Habilidades de investigación</li><li>• Capacidad de aprender</li><li>• Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones</li><li>• Habilidad para trabajar en forma autónoma</li><li>• Capacidad para diseñar y gestionar proyectos</li></ul>
---	---

#### 4.- HISTORIA 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, 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: Aguascalientes, Chetumal, Durango, La Laguna, Hermosillo y Veracruz	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

Interpretar, representar, calcular y explicar el comportamiento de las cargas y flujos de potencia en un sistema eléctrico de media y alta tensión, incluyendo el análisis bajo condiciones de falla, para operar eficientemente los mismos

## 6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Conoce, comprende y aplica los conceptos y leyes fundamentales que se emplean en el análisis en estado permanente de circuitos eléctricos excitados con corriente alterna, con apoyo de herramientas de análisis y simulación.
- Comprende y aplica los métodos numéricos para la solución de modelos matemáticos de problemas de ingeniería eléctrica, empleando herramientas computacionales.
- Conoce el principio de operación de los transformadores así como su aplicación dentro de un sistema eléctrico.
- Aplica los fundamentos de las máquinas sincrónicas para analizar su operación en estado estacionario.
- Utiliza los modelos matemáticos de estas máquinas para simular diferentes condiciones de operación.
- Utiliza apropiadamente los instrumentos de medición y prueba, para la medición e interpretación de variables eléctricas en componentes y circuitos eléctricos.

## 7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Modelado de Líneas de Transmisión y Transformadores Para el Análisis en Estado Estacionario.	1.1 Conceptos básicos. 1.2 Cálculo de parámetros serie de la línea de transmisión aérea: R y L. 1.3 Cálculo de parámetros en derivación: C. 1.4 Efecto de tierra en los parámetros de líneas de transmisión. 1.5 Modelado de la línea de transmisión 1.6 Análisis y operación de la línea de transmisión en régimen permanente. 1.7 Límites de transmisión de potencia y cargabilidad. 1.8 Modelación de Transformadores con relación de vueltas no nominal. 1.9 Modelación de Transformadores Defasadores.
2	Representación de los	2.1 Conceptos básicos de la representación de los SEP.

	Sistemas Eléctricos.	<p>2.2 Diagramas trifilares y unifilares.</p> <p>2.3 Valores en Por Unidad.</p> <p>2.4 Matrices de red. Interpretación y obtención de YBUS y ZBUS.</p>
3	Análisis de Flujos de Carga	<p>3.1 Formulación del problema</p> <p>3.2 Método iterativo de Gauss</p> <p>3.3 Método iterativo de Gauss-Seidel</p> <p>3.4 Método de Newton-Raphson</p> <p>3.5 Métodos desacoplados.</p> <p>3.6 Método de CD</p>
4	Análisis de Fallas	<p>4.1 Naturaleza y consideraciones básicas de fallas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición del periodo subtransitorio, transitorio y régimen permanente. Corrientes subtransitoria, transitoria y en régimen permanente.</li> <li>• Capacidad momentánea e interruptiva de los interruptores.</li> <li>• Capacidad de corto circuito o nivel de falla.</li> <li>• Cálculo de corto circuito trifásico.</li> </ul> <p>4.2 Componentes simétricas.</p> <p>4.3 Modelado a secuencia cero de elementos de transmisión, con énfasis en transformadores.</p> <p>4.4 Modelado de fallas asimétricas mediante el método de componentes simétricas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla de línea a tierra</li> <li>• Falla entre fases.</li> <li>• Falla de doble fase a tierra.</li> <li>• Ejemplos y aplicaciones,</li> </ul> <p>4.5 Análisis de fallas en sistemas de gran escala.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción: formulación del problema.</li> <li>• Ecuaciones generales de falla. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ En forma de impedancia.</li> <li>○ En forma de admitancia.</li> </ul> </li> <li>• Obtención de las matrices de falla.</li> </ul>

## **8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS**

El profesor deberá ser conocedor de esta disciplina, tanto en el campo académico, como en ejercicio de la profesión, para considerar este conocimiento al abordar los temas correspondientes de la asignatura de Modelado de Sistemas Eléctricos de Potencia. Deberá de desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo; orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía, el trabajo cooperativo y la toma de decisiones. Mostrará flexibilidad en el seguimiento del proceso formativo y propiciará la interacción entre sus estudiantes.

- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes.
- Propiciar el uso de tecnologías en el desarrollo de los contenidos de la asignatura.
- Propiciar, en el estudiante, el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, las cuales lo encaminan hacia la investigación, la aplicación de conocimientos y la solución de problemas.
- Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de 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.
- Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución.
- Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.

## 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, considerando:

- Reportes de observaciones de las actividades realizadas.
- Reportes de investigación documental.
- Descripción de otras experiencias concretas que podrían realizarse adicionalmente.
- Exámenes para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Reportes de simulación, tareas del uso de software, etc.

## 10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

### Unidad 1: Modelado de Líneas de Transmisión y Transformadores para el Análisis en Estado Estacionario

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Obtener el comportamiento en régimen permanente de líneas de transmisión y transformadores de potencia, identificando las condiciones de estabilidad entre los diversos tipos de instalaciones y sus cargas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Experimentar con software el cálculo de parámetros de líneas aéreas de transmisión, comparando los valores de parámetros de líneas de circuito simple con doble circuito. Además se sugiere que se comparen los valores de líneas con conductor simple en las fases, con líneas compuestas de multiconductores.</li><li>• Calcular curvas de capacidad de carga (cargabilidad) para distintos tipos de líneas.</li><li>• Investigar las características y construcción de los transformadores con relación de vueltas no nominal y defasadores. Además, investigar las alternativas existentes en la familia de dispositivos FACTS, que sustituyen a los transformadores mencionados.</li></ul>

### Unidad 2: Representación de los Sistemas Eléctricos

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
---	-----------------------------------

<p>Representar mediante diagramas unifilares y matrices de red normalizados, la modelación de SEP's., para el posterior análisis de su estabilidad operativa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener diagramas unifilares de sistemas eléctricos reales, con el fin de familiarizarse con estos.</li> <li>• Conocer el sistema por unidad para circuitos monofásicos y generalizar para circuitos trifásicos haciendo una adecuada selección de las bases.</li> <li>• Cambiar a una nueva base de cálculo de todos los valores conocidos por unidad dados en otra base.</li> <li>• Dibujar el diagrama unifilar de un sistema de potencia usando símbolos normalizados.</li> <li>• Obtener el circuito equivalente de un sistema de potencia usando el diagrama unifilar y los circuitos equivalentes simplificados de todos los elementos del sistema.</li> <li>• Calcular por unidad los valores de las impedancias equivalentes de los elementos de un sistema de potencia para dibujar el diagrama de impedancias con</li> <li>• Obtener matrices de red de sistemas eléctricos, usando MATLAB</li> </ul>
---	---

### Unidad 3: Análisis de Flujos de Potencia

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Utilizando la metodología normalizada, simular el comportamiento de los flujos de carga de un SEP., para analizar sus condiciones operativas reales y tomar las decisiones necesarias.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolver sistemas simples mediante software adecuado, con el fin de que se familiarice con los conceptos.</li> <li>• Resolver mediante software apropiado un problema de flujos de potencia de un sistema representativo (Ward-Hale por ejemplo), comparando los efectos de diferentes factores de aceleración en el método de Gauss-Seidel.</li> <li>• Resolver mediante software apropiado un problema de flujos de potencia de un sistema representativo (Ward-Hale por ejemplo), comparando características de simulación (número de iteraciones, precisión, etc) entre los métodos Gauss-Seidel y Newton-Raphson.</li> </ul>

#### Unidad 4: Análisis de Fallas

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Obtener, mediante la modelación correspondiente, las corrientes de corto circuito y condiciones de falla de un SEP, que permitan la toma de decisiones en el diseño y operación del mismo.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigar las aplicaciones asociadas al análisis de fallas eléctricas.</li><li>• Describir los métodos numéricos utilizados para la solución del problema.</li><li>• Comentar las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de solución, tiempos de iteración, convergencia, etc.</li><li>• Utilizar un software comercial o didáctico para conocer ejemplos y comentar resultados en clase.</li><li>• Discutir las aplicaciones del estudio de flujos de carga.</li><li>• Obtener las redes de secuencia para diversos ejemplos de sistemas eléctricos.</li><li>• Determinar las corrientes de corto circuito y voltajes en sistemas eléctricos para diferentes tipos de fallas usando software</li></ul>

Haga clic aquí para escribir texto.

## 11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Grainger, Stevenson, *Análisis de Sistemas de Potencia*, Ed. McGraw Hill. 1996. ISBN 970-10-0908-8
2. Stagg-El Abiad, *Computer Methods for Power Systems Analysis*, Ed. Mc Graw Hill. 1989
3. H. Saadat, *Power system analysis*, Ed. McGraw-Hill, 2nd edition.
4. D. Glover, M. Sarma, *Sistemas de potencia, análisis y diseño*, Ed. Thomson Learning, 3rd edition.
5. Anderson, Paul, *Analysis of faulted power system*, Ed. IEEE press.1995. ISBN 0-78031145-0
6. Gómez Expósito, A., *Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica*, Ed. Mc Graw-Hill, Madrid, 2002.
7. Martínez, J.L., Riqueleme, J., Romero, E. , Rosendo, J.A., Gómez Expósito, A., *Sistemas Eléctricos de Potencia Problemas y Ejercicios Resueltos*, Ed. Pearson Educación, Madrid, 2003. 285. ISBN: 84-205-3558-3.
8. Weedy, B.M., Cory,B.J., *Electric power systems*, Ed. John Wiley, 4th.
9. Coria, L., *Notas de la materia Sistemas Eléctricos de Potencia I*.

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Instituto Tecnológico de Morelia.  
2004

## 12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Cálculo de parámetros de líneas de transmisión en computadora.  
Comparación de corridas con líneas de circuito simple, con: a) conductores sencillos, b) haces de conductores.
- Obtención de el límite máximo de transferencia de potencia de una línea, usando un programa de flujos.
- Estudio de capacidad de carga de una línea de transmisión (Cargabilidad).
- Análisis del efecto de compensación en líneas de transmisión.  
(a) Compensación reactiva en derivación. Efecto sobre el voltaje en la línea de transmisión.  
(b) Compensación capacitiva serie. Efecto sobre la cargabilidad de la línea de transmisión.
- Formación de matrices de red con software especializado.
- Familiarización con la simulación de flujos de potencia.
- Análisis del efecto del factor de aceleración en el método de Gauss-Seidel.  
Obtención de la curva número de Iteraciones - Factor de Aceleración.
- Comparación del desempeño de los métodos de Gauss-Seidel y Newton-Raphson en los análisis de flujos de potencia.
- Efecto de la variación de la inyección de potencia reactiva en un bus, sobre el voltaje en dicho bus.
- Análisis del efecto del transformador con cambiador de derivación (tap)

(TCUL, OLTC), sobre la potencia reactiva, así como el efecto del transformador defasador sobre la potencia activa.

- Análisis de sensibilidad (pequeños cambios de estado en el sistema) del sistema eléctrico de potencia.
- Obtención de las curvas PV y QV con el programa de flujos de potencia.