

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Sistemas Eléctricos de Potencia
Clave de la asignatura:	SUF-1703
Créditos (Ht-Hp_ créditos):	3-2-5
Carrera:	Ingeniería Eléctrica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura
<p>Esta asignatura aporta al perfil de egreso del Ingeniero(a) en Eléctrica conocimientos sobre la operación, control y análisis de los sistemas eléctricos de potencia.</p> <p>Esta asignatura se relaciona con modelado de sistemas eléctricos de potencia e instalaciones eléctricas en las cuales se adquieren las siguientes competencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proyección de instalaciones eléctricas de manejo y utilización de fuerza, en media y baja tensión, para la utilización en sistemas industriales y de servicios de alto consumo, respetando la normatividad vigente y utilizando paquetes computacionales adecuados. • Análisis del comportamiento de las cargas y flujos de potencia en un sistema eléctrico de potencia, incluyendo las condiciones bajo situaciones de falla del sistema eléctrico para tomar las decisiones correspondientes, que permitan una mejor utilización de la instalación, evitando condiciones inestables en el manejo de la energía eléctrica y formas de prevenir las contingencias en su operación. <p>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. 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.</p>
Intención didáctica
<p>En el primer tema se analiza los controles automáticos utilizados en sistemas de potencia en condiciones normales de operación, se describen los controles del generador.</p> <p>El segundo y tercer tema describe como la salida de potencia real de cada unidad generadora controlada en un área se elige para satisfacer una carga determinada y minimizar los costos de operación totales del área.</p>

En el cuarto tema se resuelve y evalúa la estimación de estados basándose en datos recolectados por medidores e información sobre los parámetros de los modelos de los componentes de la red. Esta recolección de información implica al análisis de mediciones muy grandes en la corriente y tensión, modelamiento de redes externas y detección de errores en las mediciones de los parámetros que describen el estado de la red, estos últimos se conocen con el nombre de *errores grandes o groseros* en los cuales, una función debe detectar las mediciones erróneas y eliminarlas o sustituirlas. Generalmente estos errores son causados por pérdida de comunicación con medidores o introducción de ruido de en la medida, por mala calibración o por defectos en los equipos.

En el quinto tema se formula y comprueba el tema de Análisis de Estabilidad. La estabilidad de los sistemas se refiere a la capacidad de las máquinas síncronas para pasar luego de una perturbación de un punto de operación de estado estable a otro sin perder sincronismo.

Se deben realizar las actividades prácticas en forma secuencial, de acuerdo al avance teórico del curso, para apoyar el proceso de enseñanza aprendizaje.

Las estrategias de enseñanza aprendizaje se plantearán en base a los objetivos de cada tema y a los resultados obtenidos en el cuestionario de canales de acceso para identificar los estilos de aprendizaje.

En la evaluación se consideran aspectos de conocimientos teóricos sobre las dos máquinas rotatorias y habilidades para conocer, identificar, comparar y diferenciar los diferentes tipos de fallas de estos elementos, a partir de mediciones hechas en laboratorio o en campo.

La evaluación final se realizará de los conocimientos teóricos en forma escrita y con la evaluación práctica, verificando la integración de la teoría a ésta.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones

Instituto Tecnológico de La Laguna Junio 2017	Academia de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna	Diseño curricular de la Especialidad: Sistemas de Utilización de la Energía Eléctrica
--	---	---

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Analiza y evalúa el comportamiento dinámico del sistema ante diferentes disturbios que puedan conducir a un estado de operación inseguro.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Representa mediante diagramas unifilares y matrices de red normalizados, la modelación de SEP's., para el posterior análisis de su estabilidad operativa. • 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. • 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. • 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. • Determinar el comportamiento de los generadores síncronos conectados en paralelo para simular su desempeño, bajo diferentes condiciones de operación, en estado estacionario dinámico. • El estudiante deberá conocer la definición de variable aleatoria y los conceptos sobre media, varianza y covarianza aplicados a variables aleatorias gaussianas. Deberá conocer acerca de la distribución chi-cuadrada y su aplicación en la detección de experimentos errados. • El estudiante deberá conocer y haber aplicado la técnica de estimación de mínimos cuadrados. Es importante que el estudiante tenga claridad acerca de las ideas que están detrás de ésta técnica.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1.	Control de Generación	<p>1.1 Modelado del gobernador de velocidad y característica estática</p> <p>1.2 Modelo del control de generación de una unidad conectada a un bus finito y a un bus infinito</p> <p>1.3 Control de generación para el caso multimáquina</p> <p>1.4 Control de generación por áreas e implementación del control automático de generación. Definición del Error de Área de Control (EAC)</p>
2.	Despacho económico de carga	<p>2.1 Despacho económico clásico. Regla de costos incrementales iguales.</p> <p>2.2 Despacho Económico considerando pérdidas en líneas.</p> <p>2.3 Calculo de los factores de penalización</p> <p>2.4 Despacho económico de carga en el contexto de un mercado de energía.</p>
3.	Predespacho de carga	<p>3.1 Definición del problema de predespacho.</p> <p>3.2 Programación Dinámica</p> <p>3.3 Solución del problema del predespacho mediante programación dinámica.</p>
4.	Estimación de Estados	<p>4.1 Aplicación del método de mínimos cuadrados al problema de estimación de redes lineales.</p> <p>4.2 Análisis estadístico de los errores estimados.</p> <p>4.3 Detección de mediciones malas</p> <p>4.4 Aplicación del método de mínimos cuadrados al problema de estimación en redes no lineales (sistemas de potencia)</p>
5	Análisis de estabilidad	<p>5.1. Definición de Estabilidad transitoria</p> <p>5.2. Formulación del problema de estabilidad transitoria de una máquina conectada a un bus infinito (MBI).</p> <p>5.3. Solución en SIMULINK del problema MBI.</p>

		<p>5.4. Aplicación del criterio de Áreas Iguales para la prueba de estabilidad.</p> <p>5.5. Formulación del problema de estabilidad transitoria en sistema multimáquinas (MM).</p> <p>5.6. Solución en SIMULINK del problema MM.</p>
--	--	--

7. Actividades de aprendizaje de los temas

TEMA 1	
Control de Generación	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analiza y determina el comportamiento dinámico del sistema ante diferentes disturbios que puedan conducir a un estado de operación insegura.</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. 	<p>Explicar con detalle la operación y el modelado del gobernador de velocidad.</p> <p>Investigar el concepto de coherencia aplicado a la dinámica de unidades, para que el alumno tenga una idea clara de la división de un SEP en áreas de control.</p> <p>Desarrollar ejemplos de simulación de sistemas de control de generación con un área de control y dos áreas de control a fin de ilustrar el efecto de los diferentes parámetros que usa el modelo de estos sistemas: la constante de inercia, la de regulación, la de amortiguamiento de la carga.</p> <p>Investigar buscarán información acerca de los valores típicos que tienen las constantes del párrafo anterior en tanto en el sistema eléctrico nacional como en sistemas altamente desarrollados como el USA.</p> <p>Describir la operación del Control Automático de Generación en forma esquemática, haciendo énfasis en el concepto de Error de Área de Control.</p> <p>Resolver problemas de Control de Generación para ser resueltos por los</p>

	alumnos organizados en equipos. De las fuentes de información citadas se pueden tomar algunos problemas y otros los puede formular con ayuda de personal de análisis de las áreas de control.
<p align="center">TEMA 2</p> <p align="center">Despacho Económico de Carga</p>	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Formula y expone acerca del comportamiento del sistema eléctrico, su relación con las distintas variables eléctricas y su control.</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 • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad de trabajo en equipo. • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. 	<p>Exponer la formulación del problema de despacho de carga y la solución al caso en que se desprecian las pérdidas de transmisión y se consideran los límites de generación. Deberá hacer énfasis en las definiciones y conceptos relacionados con: Costos de Producción(F), Gasto (H), Costos incrementales, La lambda del sistema.</p> <p>Realizar el despacho de carga en equipos aplicados a los sistemas de prueba que les haya pasado el profesor. Además, tendrán que verificar el efecto del despacho calculado en la red eléctrica por medio de una corrida de flujos.</p> <p>Realizar problemas de despacho de carga y un algoritmo de solución al caso en que se consideran las pérdidas de transmisión así como los límites de generación, haciendo énfasis en el concepto de factores de penalización. Además, formulará una o dos formas de calcular los factores de penalización.</p> <p>Realizar el despacho de carga con pérdidas en equipos aplicados a los sistemas de prueba.</p> <p>Verificar el efecto del despacho calculado en la red eléctrica por medio de una corrida de flujos. Usando el PW Simulator el alumno debe resolver el mismo problema y compara los resultados con los obtenidos con sus propios cálculos.</p>

	Describir el efecto de los mercados de energía en el despacho de carga y realizar una discusión amplia en clase.
TEMA 3 Predespacho económico	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Resuelve con detalle un caso de predespacho aplicando la programación dinámica.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. 	<p>Formular el problema de predespacho y hará una descripción de todos los tipos de restricciones que aplica a éste problema. En ésta fase.</p> <p>Investigar acerca de los diferentes ciclos de carga en áreas de control del sistema eléctrico y del mismo sistema interconectado.</p> <p>Describir el algoritmo de programación dinámica aplicado a un problema sencillo como el problema del transporte</p> <p>Aplicar programación dinámica para resolver en clase y con todo detalle un caso de predespacho.</p> <p>Resolver casos de estudio formulados por el profesor. Además, investigarán sobre las herramientas de cálculo que son usadas en nuestro sistema eléctrico nacional para resolver el problema de predespacho.</p>
TEMA 4 Estimación de estados	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Resuelve y evalúa problemas de estimación de estados en sistemas de potencia así como un algoritmo de solución.</p>	<p>Exponer sobre la utilidad de un estimador de estados en un sistema eléctrico de potencia como parte central de las aplicaciones de un Sistema de Administración de Energía, como el que se usa en el sistema eléctrico nacional.</p>

<p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. 	<p>Formular la solución al problema de estimación de estados aplicado a sistemas eléctricos lineales usando la técnica de mínimos cuadrados.</p> <p>Deberá hacer énfasis en la importancia que tiene la redundancia en las mediciones.</p> <p>Exponer la metodología usada para detectar mediciones malas basada en la aplicación de la distribución chi – cuadrada de la función objetivo y la aplicará a un ejemplo en forma exhaustiva.</p> <p>Resolver en forma individual de 2 a 3 casos de estimación de estados de sistemas lineales como base de entrenamiento para comprender mejor la estimación en sistemas no lineales.</p> <p>Formular el problema de estimación de estados en sistemas de potencia así como un algoritmo de solución.</p> <p>Desarrollar un programa en MATLAB o MATHCAD para resolver el problema de estimación de estados.</p>
<p style="text-align: center;">TEMA 5</p> <p style="text-align: center;">Análisis de Estabilidad</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s): Formula y comprueba el problema de estabilidad transitoria en sistemas multimáquina.</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 	<p>Describir cualitativa del problema de estabilidad en una máquina síncrona conectada a un bus infinito, y desarrollará la formulación matemática del mismo.</p> <p>Realizar prácticas de simulación para ilustrar el fenómeno de estabilidad transitoria de una máquina conectada aun bus infinito. Establecerá el efecto que tiene la constante de inercia, la severidad de la falla y la localización de la falla.</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. 	<p>Investigar sobre información en la red acerca de los grandes apagones que hayan sido consecuencia de problemas de inestabilidad en todo el mundo.</p> <p>Formular el problema de estabilidad transitoria en sistemas multimáquina. El profesor usará algún modelo de simulación para sistemas mutlimáquina, por ejemplo un modelo en SIMULINK .</p> <p>Ilustrar el efecto que tiene la severidad y localización de la falla sobre la estabilidad de las máquinas a través de la observación de las incursiones de los ángulos relativos de los rotores.</p>
--	--

8. Práctica(s)

1. Introducción al PW SIMULATOR o algún otro simulador que permita estudios de flujos de carga y despacho. En ésta primera práctica el profesor debe mostrar como ajustar controles como el AVR, GENERACION y TAPS para resolver problemas operativos en sistemas eléctricos de potencia. Se sugieren dos sesiones de 2 hs. Cada una
2. Introducción al MATLAB y al SIMULINK. Esta práctica se aprovecha para ilustrar el uso de SIMULINK para simular el modelo de un sistema de control de generación. Es muy importante que el profesor haga deje bien claro la forma como se pueden comunicar MATLAB y SIMULINK a través de lo que se llama en MATLAB “workspace”. Se sugieren dos sesiones de 2 horas cada una.
3. Sistema de control de generación de dos áreas interconectadas. Esta es una práctica de simulación en donde el profesor ilustrará a los alumnos conceptos de control de generación como regulación primaria, regulación secundaria y error de área de control. Se sugieren dos sesiones de 2hs. Cada una
4. Despacho Económico de Carga. El profesor desarrollará un programa para despacho económico de carga de acuerdo al algoritmo que él haya descrito en clase y realizará casos de estudio. Los resultados del despacho los usará en un programa de flujos para observar si serían violados algunos límites de operación segura. Si usa el PW SIMULATOR, éste programa trae la aplicación de despacho de carga, y puede verificar así los resultados obtenidos con el algoritmo usado por el profesor.
5. Estimación de Estados. El profesor encargará sus alumnos un programa en MATLAB para realizar Estimación de Estados. En 2 sesiones de prácticas, de 2hs. Cada una el profesor supervisará el desarrollo del programa hasta su terminación satisfactoria.

6. En SIMULINK el profesor desarrollará un modelo del problema de estabilidad máquina bus infinito y simulará un caso de estudio. Después de esto el profesor distribuirá entre los alumnos integrados en equipos sistemas máquina – bus infinito y les solicitará que mediante estudios de simulación determinen el tiempo crítico de clareo de una falla que les especifique el profesor.

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

- La evaluación debe ser un proceso continuo, dinámico y flexible enfocado a la generación de conocimientos sobre el aprendizaje, la práctica docente y el programa en sí mismo.
- Debe realizarse una evaluación diagnóstica al inicio del semestre para partir de saberes previos, expectativas e intereses que tengan los estudiantes.
- Durante el desarrollo del curso debe llevarse a cabo una evaluación formativa que permita retroalimentar el proceso de aprendizaje y establecer las estrategias para el logro de los objetivos establecidos.
- Al finalizar el curso debe realizarse una evaluación sumativa que se vincula con aquellas acciones que se orientan a dar cuenta de productos, saberes, desempeños y actitudes que se deben considerar para la calificación.
- Se sugiere utilizar como herramienta de evaluación el portafolio de evidencias y como instrumento la lista de cotejo y la rúbrica.

11. Fuentes de información

1. *Duncan, J&Mulukutla, S. (2001). Power System Analysis and Design (with CD-ROM). ? : Brooks Cole.*
2. *Arillaga, J&Watson, N. (2001). Computer Modelling of Electrical Power Systems. USA: John Wiley & Sons.*
3. *Bergen, A&Vittal, V. (2000). Power Systems Analysis. ? : Prentice Hall.*