



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Guía docente de la asignatura “Sistemas de Energía Eléctrica”



Titulación: Grado en Ingeniería Eléctrica

Curso 2013/14

Guía Docente

1. Datos de la asignatura

Nombre	Sistemas de Energía Eléctrica				
Materia	Sistemas Eléctricos				
Módulo	Materias específicas				
Código	506104002				
Titulación/es	Grado en Ingeniería Eléctrica				
Plan de estudios	5061				
Centro	ETS de Ingeniería Industrial				
Tipo	Obligatoria				
Periodo lectivo	Primer cuatrimestre	Curso	4º		
Idioma	Español				
ECTS	6	Horas / ECTS	30	Carga total de trabajo (horas)	180
Horario clases teoría	Consultar web ETSII		Aula	Consultar web	
Horario clases prácticas	Consultar web ETSII		Lugar	Consultar web	

2. Datos del profesorado

Profesor responsable	Dr. Antonio Gabaldón Marín		
Departamento	Ingeniería Eléctrica		
Área de conocimiento	Ingeniería Eléctrica		
Ubicación del despacho	1ª planta del Hospital de Marina (Campus Muralla del Mar)		
Teléfono	968 33 89 44	Fax	
Correo electrónico	Antonio.gabaldon@ upct.es		
URL / WEB	http://www.gestiondelademanda.es		
Horario de atención / Tutorías	Ver web o tablón de anuncios del Departamento		
Ubicación durante las tutorías	1ª planta del Hospital de Marina (Muralla del Mar)		

3. Descripción de la asignatura

3.1. Presentación

La asignatura de Sistemas de Energía Eléctrica es una asignatura avanzada dentro de la titulación de Grado, y pretende centrar su estudio en una introducción al análisis sistemático de sistemas eléctricos mallados (red de transporte) y en el estudio de los principales problemas del sistema tanto en régimen permanente como en transitorio. Por todo ello, la asignatura se plantea como una incursión en cuatro frentes: analizar en detalle algunos elementos importantes de los sistemas, pero desde el punto de vista del control: generadores y transformadores, sin caer en un mero equivalente eléctrico. El segundo frente trata de analizar los principales problemas del sistema en régimen permanente, sobre todo a niveles de generación y de transporte: flujo de potencias, control de tensión y frecuencia. El tercer bloque se dedica al estudio de cortocircuitos asimétricos y a la introducción al problema de la estabilidad. Por último se hace una incursión en un tema diferente, pero de interés cada vez mayor, como es la descripción de los mercados eléctricos, en los que algunas de las herramientas estudiadas en los tres primeros bloques son de inmediata aplicación a los mercados, y ayudan a comprender la estructura de los mismos.

3.2. Ubicación en el plan de estudios

La asignatura “Sistemas de Energía Eléctrica” se estudia en cuarto curso (primer cuatrimestre). Previamente el alumno ya ha adquirido conocimientos científico-técnico básicos en las materias “Matemáticas”, “Física”, “Informática”, “Circuitos” que se necesitan en los diversos temas en los que se desarrolla la asignatura. También serán útiles los conocimientos más técnicos de las materias “Líneas y Redes” y “Máquinas Eléctricas” que permitirán aplicar los modelos de los elementos que constituyen los Sistemas Eléctricos, así como su control (aspectos básicos de control se habrán estudiado en “Regulación Automática”). Los conceptos técnico-constructivos estudiados en “Instalaciones Eléctricas” permitirán poner en valor la importancia de la caracterización de la red de transporte de energía.

3.3. Descripción de la asignatura. Adecuación al perfil profesional

Los conocimientos que se adquirirán en la asignatura permitirán a un graduado adquirir las bases necesarias para analizar el funcionamiento de un Sistema Eléctrico y hacerlo más seguro y eficiente. Tan sólo a modo de ejemplo, comentar que la industria de producción de equipos eléctricos y de generación y transporte de energía eléctrica es quizás el sector productivo más grande en volumen de actividad y negocios, en el ámbito industrial, a nivel mundial.

3.4. Relación con otras asignaturas. Prerrequisitos y recomendaciones

A pesar de tratarse de una asignatura tecnológica avanzada, se necesita haber adquirido los conocimientos y competencias de materias básicas y comunes de la rama de Ingeniería Industrial, como “Matemáticas I y II”, “Física”, “Informática”, “Tecnología Eléctrica”, “Regulación Automática”, necesarios para seguir y comprender la asignatura. Entre estos:

- Sistemas de ecuaciones lineales.
- Cálculo diferencial e integral básico.
- Campo y potencial eléctricos.
- Corriente alterna.
- Operaciones básicas con variable compleja.
- Métodos numéricos
- Modelado de sistemas de control: análisis de respuesta transitoria y estabilidad.
- Modelos de máquinas eléctricas

Además se necesita haber adquirido conocimientos de la mayoría de materias específicas de la Ingeniería Eléctrica, como por ejemplo:

- Modelos eléctricos. Modelo de parámetros concentrados y distribuidos
- Subestaciones de transformación.
- Aplicaciones de la electrónica de potencia en sistemas eléctricos.

Asimismo, a través de esta asignatura se adquieren conocimientos básicos para poder desarrollar el “Trabajo Fin de Grado”.

3.5. Medidas especiales previstas

Materiales teórico-prácticos en la página web de la asignatura.

Test de auto-evaluación por cada tema de la asignatura.

4. Competencias

4.1. Competencias específicas de la asignatura (según el plan de estudios)

Conocimiento sobre sistemas eléctricos de potencia y sus aplicaciones

4.2. Competencias genéricas / transversales (según el plan de estudios)

COMPETENCIAS INSTRUMENTALES (Aquellas que tienen una función de medio o herramienta para obtener un determinado fin):

- T1.1 Capacidad de análisis y síntesis
- T1.2 Capacidad de organización y planificación
- T1.3 Comunicación oral y escrita en lengua propia
- T1.5 Habilidades básicas computacionales
- T1.6 Capacidad de gestión de la información
- T1.7 Resolución de problemas

COMPETENCIAS PERSONALES (Características requeridas a las diferentes capacidades que hacen que las personas logren una buena interrelación social con los demás):

- T2.3 Habilidades en las relaciones interpersonales

COMPETENCIAS SISTÉMICAS (Suponen destrezas y habilidades relacionadas con la comprensión de la totalidad de un sistema o conjunto. Requieren una combinación de imaginación, sensibilidad y habilidad que permite ver cómo se relacionan y conjugan las partes en un todo):

- T3.1 Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica
- T3.2 Capacidad de aprender
- T3.3 Adaptación a nuevas situaciones
- T3.4 Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
- T3.7 Habilidad de realizar trabajo autónomo

4.3. Objetivos generales / competencias específicas del título (según el plan de estudios)

Objetivos generales:

- Haber demostrado poseer y comprender los conocimientos en el ámbito de la Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electricidad, que parte de la base de la educación secundaria general y se suele encontrar a un nivel, que si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- Saber aplicar sus conocimientos al ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial de una forma rigurosa y mediante la elaboración y defensa de argumentos, así como la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- Ser capaz de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- Ser capaz de transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado en la lengua propia y en al menos una lengua extranjera.
- Haber desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

CONOCIMIENTOS DISCIPLINARES

E1.1 Conocimiento en las materias básicas matemáticas, física, química, organización de empresas, expresión gráfica, estadística e informática, que capaciten al alumno para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías.

E1.2 Conocimientos en materias tecnológicas para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos.

E1.3 Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

COMPETENCIAS PROFESIONALES

E2.1 Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería industrial que tengan por objeto, de acuerdo con los conocimientos específicos adquiridos, la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización en función de la ley de atribuciones profesionales.

E2.2 Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

E2.3 Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.

E2.4 Capacidad de dirección de las actividades objeto de los proyectos de ingeniería descritos en la competencia E2.1, así como de organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones.

OTRAS COMPETENCIAS QUE EL ALUMNO PUEDE ADQUIRIR

E3.1 Experiencia laboral mediante convenios Universidad-Empresa.

4.4. Resultados esperados del aprendizaje

Las competencias específicas y objetivos de aprendizaje que se desarrollarán con la asignatura, y que se indican a continuación, permitirán que el alumno al finalizar el curso sea capaz de:

R1) Conocer y comprender la estructura básica de los Sistemas de Energía Eléctrica, sus elementos y sus funciones, representando éstos correctamente en un diagrama eléctrico, tanto en régimen permanente como en transitorio.

R2) Comprender y analizar el funcionamiento de la máquina sincrónica y el transformador como elemento de control de la tensión o de los flujos de potencia.

R3) Conocer el comportamiento de una máquina, y de ello, ser capaz de ver la misma como parte integrante de un sistema mayor - el Sistema Eléctrico-, siendo capaz de definir las relaciones entre sistema y máquina.

R4) Analizar y comprender el funcionamiento de un Sistema de Energía Eléctrica en régimen permanente y en estado de funcionamiento normal, resolviendo problemas asociados a la regulación de tensión, regulación de frecuencia-potencia, el flujo de carga o la operación técnica y económica del mismo.

R5) Analizar y comprender el funcionamiento del Sistema Eléctrico en régimen transitorio, ser capaz de analizar matemáticamente los fenómenos de cortocircuitos (simétricos y asimétricos) y, al menos en casos simplificados, analizar la pérdida de estabilidad del sistema, y describir medidas correctoras de la misma.

R6) Enumerar los diferentes tipos de mercados eléctricos que se han establecido en los países industrializados, distinguiendo entre productos económicos, de operación y de planificación a medio plazo. Comprender y asignar valores a las ofertas de compra y venta de energía, en especial comprender los modelos de costes de la generación eléctrica.

R7) Reconocer las nuevas herramientas y teorías aplicadas a diferentes campos de la Electrotecnia, y en particular de los sistemas eléctricos.

R8) Describir el funcionamiento de un programa de simulación de Sistemas Eléctricos por ordenador. Determinar los valores de las magnitudes eléctricas y económicas fundamentales en el sistema físico real con ayuda del programa

5. Contenidos

5.1. Contenidos (según el plan de estudios)

Transformadores y elementos de control del sistema eléctrico. Flujo de potencia en sistemas eléctricos. Sistemas de control de la frecuencia y de la tensión en generadores eléctricos. Operación del sistema de generación y de transporte. Introducción a la estabilidad de los sistemas eléctricos. Mercados eléctricos

5.2. Programa de teoría

TEMA I. ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ENERGÍA

Lección 1. Generadores sincrónicos.

- Diseños básicos.
- Modelo del generador en régimen permanente: teoría de las dos reacciones.
- Ecuaciones de Potencia suministrada por la máquina.
- Transitorios en circuitos magnéticos: inercia magnética.
- Transitorios en el eje q y en el eje d.
- Reactancias transitorias.
- Fem transitoria.
- Diagramas fasoriales.
- Potencia en régimen transitorio.
- Modelos a las redes de secuencia.

Lección 2. El transformador trifásico como elemento de control

- Utilidad de los transformadores como elemento de regulación bajo carga.
- Transformadores de regulación de tensión y de fase.
- Efecto de los transformadores en el reparto de carga.
- Modelo de los transformadores a las redes de secuencia.

TEMA II. EL SISTEMA ELÉCTRICO EN RÉGIMEN PERMANENTE.

Lección 3. El flujo de potencias o de cargas.

- Estados de operación del Sistema Eléctrico.
- Relación potencia-frecuencia (lazo P-f)
- Relación tensión-potencia reactiva (lazo U-Q).
- Flujo de potencia: definiciones
- Un ejemplo sencillo: sistema eléctrico de dos nudos.
- Generalización de ecuaciones a un SEE de n-nudos.

Lección 4. Soluciones computacionales del flujo de carga.

- Técnicas de resolución: problemática.
- Método de Gauss-Seidel.
- Método de Newton-Raphson.
- Aspectos computacionales en grandes sistemas
- Simplificaciones del problema.
- Control del flujo de potencia desde el nivel de generación.

- Control del flujo de potencia con transformadores.

Lección 5. El control automático de la generación (AGC): el lazo primario de control de la frecuencia.

- Introducción: control de frecuencia y despacho económico.
- Controles de un generador: lazos de tensión y frecuencia.
- El lazo de control ALFC (automatic-load frequency control)
- Respuesta del grupo turbina-generador y del regulador de velocidad.
- Cierre del lazo de control ALFC
- Grupo generador conectado a un bus de potencia infinita.
- Respuesta dinámica del lazo ALFC.

Lección 6. El control automático de la generación (AGC): el lazo secundario de control de la frecuencia.

- Introducción
- El lazo secundario ALFC o lazo de "reset".
- Respuesta estática y dinámica del lazo ALFC
- Control de potencia: sistema de varios generadores.
- División del sistema eléctrico: concepto de área de control.

Lección 7. El control de tensión el generador: lazo AVR.

- El lazo de control de tensión AVR (automatic voltage regulator).
- Ecuaciones del sistema de control.
- Parámetros típicos de los bloques del sistema.
- Respuesta del lazo AVR en régimen permanente.
- Respuesta del lazo AVR en régimen dinámico.
- Compensación del sistema para la mejora de la estabilidad del lazo.

TEMA III. EL SISTEMA ELÉCTRICO EN RÉGIMEN TRANSITORIO

Lección 8. Cortocircuitos simétricos en sistemas de gran dimensión

- Equivalente de Thévenin de un Sistema Eléctrico.
- Cálculo de tensiones de vacío: flujo de carga.
- Matriz de impedancias de nudo en estudios de cortocircuitos.
- Interpretación física de la matriz Z-BUS
- Cálculos sistemáticos de los cortocircuitos simétricos.
- Obtención de las potencias de cortocircuito en los nudos.

Lección 9. Cortocircuitos asimétricos en grandes sistemas.

- Análisis de cortocircuitos asimétricos: planteamiento del problema.
- Hipótesis del problema.
- Equivalentes a las redes de secuencia.
- Ejemplos de cortocircuitos en sistemas simples: conexión de redes de secuencia.
- Modelado matricial del sistema: matrices de buses.
- Ecuaciones de impedancias y admitancias.
- El teorema de superposición en el cálculo de cortocircuitos.

Lección 10. Análisis de estabilidad

- Hipótesis de partida. Modelos de los elementos.
- Primer caso: SEE con un único generador.
- Método de la igualdad de Áreas.
- Métodos de mejora de la estabilidad.
- Estabilidad en sistemas eléctricos simplificados.

TEMA IV. MERCADOS ELÉCTRICOS

Lección 11. Costes y beneficios: el despacho económico y la gestión de la demanda.

- Tipos de unidades de generación y sus modelos de coste.
- Operación de un sistema de centrales térmicas.
- Despacho económico sin pérdidas: formulación y restricciones.
- Estimación de pérdidas: fórmulas de George y de Kron.
- Operación de un sistema con pérdidas.
- Operación de centrales hidráulicas: restricciones.
- Ecuaciones de coordinación de un sistema térmico-hidráulico.
- El valor de la energía eléctrica para el usuario final.
- La gestión de la demanda.
- La eficiencia en el uso de la energía

Lección 12. Introducción a los Mercados Eléctricos.

- Estructura del mercado eléctrico. Agentes y actividades.
- Mercados eléctricos y mercados de energía.
- Mercados a corto plazo y a largo plazo.
- El mercado diario de energía eléctrica.
- Los mercados a muy corto plazo: mercados intradiarios.
- Mercados de servicios complementarios.
- Mercados de capacidad: pagos por capacidad.
- Costes adicionales.
- Algunos ejemplos de mercados a nivel internacional.

5.3. Programa de prácticas

Denominación de la práctica	Duración (h)	Tipo de práctica (Aula, laboratorio, informática)	Ubicación física (sede Dpto., aula informática, ...)
Flujo de cargas	4h	Aula informática	Dpto. de Ing. Eléctrica (ETSII, Hospital de Marina)
Simulación del lazo de control ALFC	2h	Aula informática	Dpto. de Ing. Eléctrica (ETSII, Hospital de Marina)
Análisis de cortocircuitos	4h	Aula informática	Dpto. de Ing. Eléctrica (ETSII, Hospital de Marina)

Estudio de estabilidad	2h	Aula informática	Dpto. de Ing. Eléctrica (ETSII, Hospital de Marina)
Algoritmo de flujo de carga (1)	8h	Aula informática (*)	-
Despacho económico (1)	4h	Aula informática (*)	-
Cálculos de cortocircuitos simétricos y asimétricos (1)	8h	Aula informática (*)	-

(1): Trabajos académicamente dirigidos

(*): En la medida que el alumno necesite medios informáticos y software para realizar los trabajos académicamente dirigidos

5.4. Programa resumido en inglés (opcional)

A. Theory:

Chapter I. Basic Elements of Electrical Power Systems.

Lesson 1. Three-Phase Synchronous Generator.

Lesson 2. The Power Transformer for control purposes.

Chapter II. The Power System in Steady-State.

Lesson 3. The Power Flow problem.

Lesson 4 . Computational algorithms of the Power Flow problem.

Lesson 5. The Automatic Load-Frequency Control Loop (ALFC).

Lesson 6. The Automatic Load-Frequency Control Loop: the secondary loop and Multi-Area Systems (pool operation).

Lesson 7. The Automatic Voltage Regulator Loop (AVR)

Chapter III. The Power System in Transient-States.

Lesson 8. Symmetrical Fault Analysis in Large Power Systems.

Lesson 9. Unbalanced System Analysis in Large Power Systems

Lesson 10. Power Systems Stability in simplified systems.

Chapter IV. Electricity Markets

Lesson 11. Cost and Benefits: The Economic Load Dispatch (ELD) and the Demand Response (DR) problems.

Lesson 12. Electricity Markets: an overview

B. Practices:

Description of the practice	Duration (h)	Type of practice (problems, laboratory, computing)	Site (Departmental laboratories, computing room, ...)
Power Load Flow	4h	Computing Lab	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)
ALFC Loop	2h	Computing Lab	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)
Fault Analysis	4h	Computing Lab	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)
Stability analysis	2h	Computing Lab	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)
Power Flow Algorithms (1)	8h	Computing Lab (*)	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)
ELD problem (1)	4h	Computing Lab (*)	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)
Symmetrical and Unbalanced Faults Algorithms and Simulation (1)	8h	Computing Lab (*)	Dpt. Of Electrical Engineering (ETSII; Old Navy Hospital)

(1): Academic complementary works (mandatory)

(*): In the case that some student needs additional resources (software/hardware) of the Department

5.5. Objetivos de aprendizaje detallados por Unidades Didácticas (opcional)

De acuerdo con los apartados anteriores de esta guía, y desglosados por unidades temáticas, los objetivos más concretos de la asignatura serían:

Tema I. Elementos de los Sistemas Eléctricos de Energía.

- Recordar los principios de funcionamiento de la máquina sincrónica en régimen permanente y los procesos físicos en la máquina: generación del campo de rotor, reacción de inducido del estator, composición de los campos. Asimismo, establecerá el diagrama de la máquina de tensiones magnéticas,

fuerzas electromotrices, e intensidades, identificando las componentes de eje directo y en cuadratura.

- Formular expresiones de las reactancias en cada eje, y establecer un modelo eléctrico de la máquina en régimen permanente. Determinar, con este modelo, la generación de potencias de la máquina y explicar las limitaciones de potencias de estos diagramas, en particular del diagrama circular de potencia.

- Establecer una analogía de la máquina con un sistema de bobinas acopladas y explicará con un modelo el fenómeno de inercia magnética. Deducir de forma aproximada la variación de las reactancias de la máquina y a partir de ellas establecerá un nuevo modelo de la misma, y obtendrá ecuaciones de generación de potencia en la máquina.

- Analizar el principio de funcionamiento de un transformador de regulación de módulo y de fase de la tensión, y cómo esta afecta a la transmisión de potencia. Obtener un modelo eléctrico básico equivalente del mismo. Por último, comprender cómo afecta al modelo de un transformador las tres redes de secuencia básica, y establecerá un modelo equivalente para estas redes en función del grupo de conexión de los mismos.

Tema II. El Sistema Eléctrico en régimen permanente.

- Modelar el sistema eléctrico y, a partir de él, construir la matriz de admitancias de bus, supuestos equilibrados los elementos.

- Establecer las ecuaciones del flujo de potencia a partir de las ecuaciones nodales planteadas con la matriz de admitancias de bus. Caracterizar los tipos de buses del sistema, y fijar las variables a determinar en cada uno de ellos.

- Aplicar dos métodos de resolución práctica del sistema de ecuaciones no lineales: algoritmo de Newton-Raphson y algoritmo de Gauss-Seidel. Enumerar aspectos computacionales relacionados con los mismos

- Enumerar algunas aplicaciones del estudio del flujo de carga como herramienta asociada a problemas de planificación, operación y gestión eficaz del sistema.

- Identificar los diferentes problemas del Control Automático de la Generación (AGC) y del Comisionado de Unidades. Establecer modelos sencillos de producción de plantas de generación térmicas e hidráulicas.

- Plantear el sistema de ecuaciones que rigen el problema de operación de un sistema de centrales térmicas con pérdidas en su sistema de transporte, incluyendo restricciones en el problema.

- Plantear las ecuaciones de coordinación en un sistema de generación convencional térmico-hidráulico, sujeto a pérdidas y a restricciones de operación.

- Enumerar los sistemas integrantes del lazo de control de carga-frecuencia (ALFC) de un generador, distinguiendo entre sistema de control primario y secundario. Establecer las ecuaciones del sistema, conocerá las funciones de transferencia elementales e indicará el valor de algunos de sus parámetros. Simplificar el diagrama de bloques del sistema, obteniendo la función de transferencia del mismo. Además, obtendrá el comportamiento del lazo de control en régimen permanente y dinámico, identificando los posibles problemas que presenta la respuesta en este último caso, así como las medidas a adoptar para mejorar el control. El alumno justificará el concepto de Área de Control y la partición del sistema eléctrico en estas áreas.

- Enumerar los sistemas integrantes del lazo de control de tensión (AVR) de un generador. Formular las ecuaciones del sistema, establecer las funciones de transferencia elementales e indicar el

valor de algunos de sus parámetros. Simplificar el diagrama de bloques del sistema, obteniendo la función de transferencia del mismo. Obtener el comportamiento del lazo de control en régimen permanente y dinámico, identificando los posibles problemas que presenta la respuesta en este último caso, así como las medidas a adoptar para mejorar la estabilidad del sistema. El alumno identificará la conexión entre los lazos de control.

Tema III. El Sistema Eléctrico en régimen transitorio.

- Determinar el equivalente de Thevenin de un Sistema Eléctrico mallado, construirá la matriz de impedancias de bus, y evaluará el valor de las tensiones de vacío. A partir de estos datos, establecer la potencia de cortocircuito de un bus del sistema y su equivalente eléctrico desde ese punto.

- Definir equivalentes de un sistema eléctrico a las redes de secuencia inversa y homopolar.

- Enumerar los casos más frecuentes de cortocircuitos asimétricos, y la superposición de redes de secuencias. Calcular las ecuaciones del defecto en el punto de cortocircuito y evaluará las intensidades de falta o de cortocircuito. El alumno recordará los esquemas de líneas y generadores a las redes de secuencia.

- Extrapolar las ecuaciones del caso simétrico al caso del cortocircuito asimétrico por superposición de los tres sistemas de redes de secuencia. Formular las ecuaciones matriciales generales, y aplicará la matriz de impedancia de fallos correspondiente al tipo de cortocircuito analizado.

- Comprender el concepto de estabilidad de un sistema en régimen dinámico, estableciendo analogías con símiles mecánicos. Enumerar las hipótesis simplificadoras que van a regir el estudio de los sistemas en este tipo de regímenes. Comprender el concepto de grupo sincrónico, y establecerá las ecuaciones del transitorio de dos grupos sincrónicos conectados por una línea inductiva, es decir, un Sistema Eléctrico elemental. Analizar los motivos que pueden producir una pérdida de estabilidad en el sistema, cambios en la estructura de los sistemas, y variaciones en potencia mecánica y eléctrica, y establecerá si el sistema eléctrico es estable o no, a través del método de las áreas.

- Enumerar y describir los métodos de mejora de la estabilidad en régimen dinámico y su repercusión sobre las intensidades de cortocircuito.

Tema IV. Mercados Eléctricos

- Escribir y determinar un modelo de coste de centrales térmicas de generación de energía eléctrica.

- Determinar algoritmos de minimización de costes de un grupo de centrales de generación.

- Escribir las ecuaciones de coordinación de un sistema de centrales de generación térmicas e hidráulicas.

- Comprender el concepto de Respuesta de la Demanda y del establecimiento de un valor económico a la energía suministrada a los usuarios.

- Enumerar y describir los principales tipos de mercados de energía, de servicios complementarios y de capacidad.

- Definir valores de las curvas de oferta y demanda en un mercado, comprendiendo el mecanismo de casación y los costes adicionales que forman el precio de mercado.

6. Metodología docente

6.1. Actividades formativas			
Actividad	Descripción de la actividad	Trabajo del estudiante	ECTS
Clase de teoría	Exposición de los contenidos teóricos más importantes de la asignatura mediante presentación, explicación y demostración de los mismos por parte del profesor.	<u>Presencial</u> : Toma de apuntes y planteamiento de dudas individuales	1,3 (39h)
		<u>No presencial</u> : estudio comprensivo de la asignatura	1,0 (30h)
Clase de problemas	Resolución de problemas representativos y análisis de casos prácticos. Se enfatizará el trabajo en plantear los métodos de resolución y no los resultados. Se plantearán problemas basados en situaciones reales adaptados a los contenidos de la materia.	<u>Presencial</u> : Participación activa. Obtención de soluciones. Resolución de ejercicios. Planteamiento de dudas.	0,5 (15h)
		<u>No presencial</u> : estudio comprensivo de la asignatura. Resolución de ejercicios propuestos por el profesor.	1,0 (30h)
Trabajos dirigidos	Actividades desarrolladas en grupo o individuales para analizar y comprobar los contenidos teóricos en casos reales a través de simulaciones.		-
		<u>No presencial</u> : elaboración de los informes en grupo.	0,7 (21h)
Ejercicios propuestos	Actividades desarrolladas individualmente para aplicar los contenidos teóricos.		-
		<u>No presencial</u> : elaboración de los informes en grupo.	0,3 (9h)
Aula informática	Actividades desarrolladas con software especializado para analizar y comprobar los contenidos teóricos en casos reales y los resultados de los trabajos dirigidos.	<u>Presencial</u> : utilización de software comercial especializado.	0,4 (12h)
		<u>No presencial</u> : elaboración de los informes de prácticas en grupo.	0,4 (12h)
Presentación de trabajos en grupos	Exposición de ejercicios y trabajos asignados a un grupo de alumnos que requiere de trabajo cooperativo para su conclusión.	<u>Presencial</u> : Explicación y exposición del método de resolución del ejercicio al profesor. Discusión y puesta en común con los compañeros de clase.	0,1h (3h)
			-
Tutorías	Periodo de instrucción realizado por un profesor-tutor con el objetivo de revisar y discutir los materiales y temas presentados en clase, bien de forma individual o colectiva	<u>Presencial</u> : Planteamiento de dudas en horarios de tutorías (individuales) o en horarios lectivos (colectivas).	0,2h (6h)
		<u>No presencial</u> :	-
Evaluación	Conjunto de pruebas escritas, prácticas, trabajos, utilizados en la evaluación del estudiante	<u>Presencial</u> : asistencia a las pruebas escritas y realización de estas.	0,1 (3h)
		<u>No presencial</u> :	-
TOTAL PARCIAL		<u>Presencial</u> :	2,6 (78h)
		<u>No presencial</u> :	3,4 (102h)
TOTAL			6 ECTS

7. Evaluación

7.1. Técnicas de evaluación

Instrumentos	Realización / criterios	Ponderación	Competencias genéricas (4.2) evaluadas	Resultados (4.4) evaluados
Examen escrito (1)	Cuestiones teóricas/ cuestiones prácticas/problemas Tres cuestiones teóricas y dos problemas, mediante los que se pretende evaluar la comprensión de los conceptos así como la adquisición de las habilidades previstas	45%	T1.1, T1.2, T1.3, T1.7, T3.1, T3.2, T3.3, T3.4. y T3.7	R1 a R6
Informes de prácticas (2)	Se evalúa la respuesta a las preguntas propuestas, el trabajo en equipo, así como las destrezas y habilidades en el uso de programas informáticos de análisis de Sistemas Eléctricos.	15%	T1.1, T1.3, T1.5, T1.6, T2.1, T2.2, T2.3, T3.1, T3.4 y T3.10	R8
Trabajos académicamente dirigidos (1)	Resolución no presencial de trabajos (de forma individual o grupal) propuestos durante el curso.	20%	T1.6, T1.7, T3.1, T3.2 y T3.7	R1 a R8
Problemas propuestos	Resolución no presencial de problemas (de forma individual) propuestos durante el curso	10%	T1.6, T1.7, T3.1, T3.2 y T3.7	R7
Exposiciones orales	Se realizarán exposiciones orales correspondientes a la resolución de los problemas y, en especial, los trabajos planteados en la asignatura.	10%	T1.3 ,T3.9 y T3.10	R1 a R8
Otras actividades	Pruebas tipo test, individuales y por grupos	No interviene. Realimentación al alumno	T1.8, T2.1 y T3.2	R1 a R6
(1): Existe un mínimo de 3/10 a obtener en cada una de las partes para poder calcular la media, y un mínimo de 4,5/10 en el total para poder promediar con las otras herramientas de evaluación.				
(2): Existe un mínimo de 3,5/10 para poder promediar con las otras herramientas de evaluación				
Nota.- Se entiende que un alumno supera la asignatura si la puntuación final, sumando todas las puntuaciones obtenidas en las distintas técnicas, es superior a 5 sobre 10.				

7.2. Mecanismos de control y seguimiento

El seguimiento del aprendizaje se realizará mediante las siguientes actividades:

- Resolución de problemas y cuestiones planteadas en clase.
- Resolución de cuestionarios tipo test al final de cada bloque de la asignatura.
- Elaboración de las memorias correspondientes a los problemas propuestos en las sesiones de prácticas de laboratorio, así como la presentación/exposición de los mismos.
- Exposición de trabajos en grupos.
- Tutorías individuales y grupales.

7.3. Resultados esperados / actividades formativas / evaluación de los resultados (opcional)

Resultados esperados del aprendizaje (4.4)

R1) Conocer y comprender la estructura básica de los Sistemas de Energía Eléctrica, sus elementos y sus funciones, representando éstos correctamente en un diagrama eléctrico, tanto en régimen permanente como en transitorio.

R2) Comprender y analizar el funcionamiento de la máquina sincrónica y el transformador como elemento de control de la tensión o de los flujos de potencia.

R3) Conocer el comportamiento de una máquina, y de ello, ser capaz de ver la misma como parte integrante de un sistema mayor - el Sistema Eléctrico-, siendo capaz de definir las relaciones entre sistema y máquina.

R4) Analizar y comprender el funcionamiento de un Sistema de Energía Eléctrica en régimen permanente y en estado de funcionamiento normal, resolviendo problemas asociados a la regulación de tensión, regulación de frecuencia-potencia, el flujo de carga o la operación técnica y económica del mismo.

R5) Analizar y comprender el funcionamiento del Sistema Eléctrico en régimen transitorio, ser capaz de analizar matemáticamente los fenómenos de cortocircuitos (simétricos y asimétricos) y, al menos en casos simplificados, analizar la pérdida de estabilidad del sistema, y describir medidas correctoras de la misma.

R6) Enumerar los diferentes tipos de mercados eléctricos que se han establecido en los países industrializados, distinguiendo entre productos económicos, de operación y de planificación a medio plazo. Comprender y asignar valores a las ofertas de compra y venta de energía, en especial comprender los modelos de costes de la generación

Clases de teoría	Clases ejercicios	Trabajos e informes		
X	X	X		
X	X			
X	X			
X	X	X		
X	X	X		
X	X			

Prueba teoría	Prueba ejercicios	Ejercicios propuestos	Trabajo en grupo		
X	X	X	X		
X	x		X		
X	X		X		
	X	X	X		
	X	X	X		
	X	X			

eléctrica.
R7) Reconocer las nuevas herramientas y teorías aplicadas a diferentes campos de la Electrotecnia, y en particular de los sistemas eléctricos.
R8) Describir el funcionamiento de un programa de simulación de Sistemas Eléctricos por ordenador. Determinar los valores de las magnitudes eléctricas y económicas fundamentales en el sistema físico real con ayuda del programa

X				

		X	X		
		X	X		

8. Distribución de la carga de trabajo del alumno (*)

(*): Distribución cualitativa de actividades mientras la asignatura no esté implantada de forma real y no exista realimentación en cuanto a las actividades propuestas en la ficha y Plan de Estudios

9. Recursos y bibliografía

9.1. Bibliografía básica

- [1].- BERGEN, A.R., VITTAL V.
"Power Systems Analysis (second edition)". Prentice Hall, 2000.
- [2].- ELGERD, O.I.
"Electric Energy Systems Theory: An Introduction". Mc Graw Hill, 1982.
- [3].- GÓMEZ EXPÓSITO A. Y OTROS.
"Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica", MC Graw Hill, 2002.
- [4].- GRAINGER, STEVENSON
"Análisis de Sistemas de Potencia", Mc. Graw-Hill, 1996.
- [5]. KIRSCHEN, D.S.; STRBAC, G.
Fundamentals of Power Systems Economics, Wiley, 2007.

9.2. Bibliografía complementaria

- [1].- ARRILLAGA, ARNOLD, HARKER.
"Computer Modelling of Electrical Power Systems". John Wiley & Sons, 1983 (1990)
- [2].- BATTACHARYA K., BOLLEN M., DAALDER J.
"Operation of Restructured Power Systems". Kluwer Academic Publ. (2001)
- [3].- EL-HAWARI, M.
"Electrical Power Systems. Design and Analysis", IEEE Press, (1995)
- [4].- KOSTENKO, M.P.; PIOTROVSKI L.M.
"Máquinas Eléctricas" (2 tomos), MIR, 1975
- [5].- UNGRAD, WINKLER, WISNIEWSKY
"Protection Techniques in Electrical Energy Systems". Ed: Marcel-Dekker 1995
- [6].- WOOD A.J./ WOLLENBERG B.F.
"Power Generation, Operation and Control", Wiley & Sons, 1984.

9.3. Recursos en red y otros recursos

<http://www.gestiondelademanda.es>