



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

Ríos Rosas, 21
28003 MADRID.

TITULACIÓN: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS

ESPECIALIDAD EN: RECURSOS ENERGÉTICOS COMBUSTIBLES Y EXPLOSIVOS

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

GENERACIÓN, TRANSPORTE Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Curso : 3º
Semestre : Anual
Carácter : Optativa

Créditos totales
Teóricos : 5,5
Prácticos : 12,5

PLAN DE ESTUDIOS 2002

Edición 1: 2004-09-20

GENERACIÓN, TRANSPORTE Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: PROGRAMA

a) OBJETIVOS Y CONTENIDOS

BLOQUE 1: Generación eléctrica

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.1 Comprender el funcionamiento de los componentes de los distintos tipos de centrales eléctricas.*
- 1.2 Calcular ciclos termodinámicos de centrales térmicas y nucleares*
- 1.3 Calcular potencias en centrales hidráulicas para unas condiciones determinadas*
- 1.4 Comprender las secuencias de operación de las centrales eléctricas*
- 1.5 Calcular los parámetros de estado del generador a partir de datos de potencia en barras*

CONTENIDOS

1.1: CENTRALES HIDRAÚLICAS, TÉRMICAS Y NUCLEARES

- Elementos constitutivos de las centrales térmicas de carbón, fuel y gas. Tipos. Circuito agua-vapor. Circuito aire-humos. Acondicionamiento del combustible. Turbinas de vapor. Servicios auxiliares. Ciclos termodinámicos.
- Elementos constitutivos de las centrales de ciclo combinado. Particularidades. Turbinas de gas. Calderas de recuperación de vapor. Ciclos termodinámicos.
- Centrales nucleares. Ciclos termodinámicos.
- Elementos constitutivos de los aprovechamientos hidroeléctricos. Tipos. Embalses y presas. Circuito de conducción y regulación del agua. Centrales hidráulicas. Pérdidas de carga. Cálculos de potencia a partir de datos del aprovechamiento.

1.2: GENERADORES SÍNCRONOS Y ACOPLAMIENTO A RED

- Parámetros básicos y operativos. Constitución y modelos de maquinas síncronas. Refrigeración. Tipos de excitación. Transformadores de grupo. Unifilares tipo.
- Diagrama de funcionamiento de los alternadores. Generación o absorción de energía reactiva. Controles del operador. Acoplamiento de centrales a la red.

1.3: OPERACIONES Y SECUENCIAS BÁSICAS EN CENTRALES ELÉCTRICAS

- Parámetros de operación en los sistemas principales de las centrales eléctricas: Caldera, caldera de recuperación de calor, generador síncrono, turbina de vapor, turbina de gas, turbina hidráulica, sistemas de agua de alimentación, condensador, reactor nuclear de agua a presión (PWR), reactor nuclear de agua en ebullición (BWR), generador de vapor, sistemas de seguridad.
- Análisis de la relación entre los distintos sistemas de las centrales eléctricas.
- Operaciones básicas de funcionamiento de las centrales eléctricas. Arranque, conexión a la red, subida de carga, bajada de carga, regulación de tensión, parada, situaciones de emergencia. Recarga en centrales nucleares.

BLOQUE 2: Transporte y distribución de energía eléctrica

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 *Aplicar los modelos eléctricos de línea a la transmisión de potencia*
- 2.2 *Calcular líneas aéreas, tanto mecánica como eléctricamente*
- 2.3 *Comprender las particularidades de diferentes topologías de redes de distribución*
- 2.4 *Comprender la funcionalidad de los elementos integrantes y configuraciones de subestaciones y centros de transformación*
- 2.5 *Comprender el funcionamiento de los elementos de regulación de subestaciones y centros de transformación*
- 2.6 *Calcular las mallas de puesta a tierra de subestaciones y centros de transformación*
- 2.7 *Comprender el funcionamiento de los distintos tipos de protecciones de alta tensión*
- 2.8 *Comprender cómo se combinan las protecciones utilizadas para los elementos más característicos en generación y transporte de energía eléctrica*
- 2.9 *Calcular los parámetros de funcionamiento de protecciones de alta tensión*
- 2.10 *Resolver problemas de flujos de carga*

CONTENIDOS

2.1: REDES ELÉCTRICAS

- Características de las líneas eléctricas. Constitución. Parámetros eléctricos. Modelos eléctricos.
- Cálculo eléctrico de líneas. Selección de conductores, niveles de aislamiento, puesta a tierra.
- Cálculo mecánico de líneas. Ecuaciones de cambio de condiciones. Tracciones admisibles. Flechas y vanos de regulación. Cálculo de apoyos.
- Cálculo de otros parámetros de líneas. Distancias de seguridad. Cálculo de cadenas de aisladores.
- Cálculo de redes de distribución según su topología: distribución radial, en anillo y uniformemente cargado.

2.2: SUBESTACIONES Y CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

- Subestaciones eléctricas. Configuraciones. Operaciones de conexión, desconexión, mantenimiento.
- Elementos constitutivos de las subestaciones. Aparata de maniobra y protección. Transformadores de potencia, medida y protección. Embarrados. Elementos para regulación. Cálculo de parámetros de los elementos.
- Cálculo de las redes de tierra. Riesgo eléctrico: tensión de paso y de contacto. Defectos a tierra. Elementos de una red de puesta a tierra. Resistencia del terreno. Cálculo de redes de puesta a tierra.
- Centros de transformación. Configuración. Acometidas. Potencia de transformación. Selección de transformadores. Celdas de alta tensión y cuadros de baja tensión. Ventilación. Puesta a tierra.

2.3: PROTECCIONES DE ALTA TENSIÓN

- Sistemas de protección. Componentes: transformadores, relés y aparata. Características. Tiempos de actuación.
- Relés de protección de alta tensión. Tipos constructivos. Tipos según principio: sobreintensidad direccionales, diferenciales, de comparación, de distancia, de tensión y de frecuencia. Coordinación de sistemas de protección.
- Protección de líneas aéreas. Protección de generadores. Protección de transformadores. Protección de embarrados. Cálculo de parámetros de funcionamiento de relés y aparata.

2.4: FLUJOS DE CARGA

- Concepto. Cálculo de la matriz de admitancia de un sistema. Planteamiento de las ecuaciones de los flujos de carga. Clasificación de nudos.
- Algoritmos de resolución de ecuaciones algebraicas no lineales. Solución a las ecuaciones de flujos de carga. Cálculo de flujos de potencia y pérdidas. Resolución de casos prácticos.
- Análisis de flujos de carga con programas informáticos.

BLOQUE 3: Operación y gestión del sistema eléctrico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.1 *Conocer las distintas formas de comprar energía eléctrica*
- 3.2 *Calcular la facturación por consumo de energía eléctrica de una instalación dada*
- 3.3 *Calcular la facturación por acceso a las redes de transporte y distribución de una instalación*
- 3.4 *Comprender el funcionamiento del mercado de producción de energía eléctrica*
- 3.5 *Aplicar el procedimiento de casación del mercado diario e intradiario para calcular los programas de funcionamiento*
- 3.6 *Comprender el funcionamiento de los distintos sistemas de regulación de frecuencia y tensión.*
- 3.7 *Relacionar las secuencias de operación del sistema eléctrico con el funcionamiento de las distintas centrales eléctricas y su participación en el mercado de producción de energía eléctrica*

CONTENIDOS

3.1: FACTURACIÓN ELÉCTRICA.

- Tipos de consumidores. Consumidor cualificado. Elegibilidad. Consumidor a tarifa.
- Tarifas eléctricas para el consumidor “a tarifa”. Descripción. Tipos de tarifas. Cálculo de las distintas tarifas eléctricas de consumo de energía eléctrica.
- Tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución. Descripción. Tipos de tarifas. Cálculo de las distintas tarifas eléctricas de acceso a la red.
- Contadores de energía eléctrica y maxímetros. Tipos, descripción y funcionamiento.

3.2: MERCADO ELÉCTRICO

- Descripción general del funcionamiento del mercado de producción de energía eléctrica.
- Agentes participantes en el mercado producción de energía eléctrica.
- Mercado diario. Agentes participantes, características de las ofertas presentadas, procedimiento de casación.
- Mercado intradiario. Agentes participantes, características de las ofertas presentadas, procedimiento de casación.
- Mercado de servicios complementarios. Regulación primaria, secundaria y terciaria. Gestión de desvíos. Control de tensión.

3.3: CONTROL DEL SISTEMA ELÉCTRICO

- Sistemas de regulación utilizados en las centrales eléctricas para controlar la frecuencia y tensión.
- Sistemas de regulación utilizadas en el sistema eléctrico para controlar la frecuencia y la tensión.
- Relación entre los distintos sistemas de regulación.
- Operación del sistema eléctrico. Procedimientos básicos, restauración de servicio.

BLOQUE 4: Trabajo tutelado

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4.1 Conocer la terminología utilizada en el sector eléctrico
- 4.2 Resolver problemas relativos a la generación, el transporte y la gestión del sistema eléctrico
- 4.3 Aplicar la legislación básica del sector
- 4.4 Exponer con soltura los resultados de sus trabajos

CONTENIDOS

4.1: TRABAJO TUTELADO

Realización de un trabajo compuesto por supuestos prácticos sobre los diferentes temas que forman parte de la asignatura en grupos reducidos (2 ó 3 alumnos). Los ejercicios propuestos de los sucesivos temas se irán entregando progresivamente y estarán relacionados con los ejercicios anteriores, siguiendo el mismo hilo conductor de estructura de la asignatura.

El trabajo de los alumnos estará tutelado por profesores especialistas en las materias implicadas y se expondrá de forma oral al final de cada uno de los tres primeros bloques de la asignatura.

b) BIBLIOGRAFÍA

BÁSICA:

- AGÜERA SORIANO, J. *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*. Ciencia 3. Madrid. 1999.
- BOE. *Reglas de funcionamiento del mercado de producción de energía eléctrica* (Resolución de 5 de Abril de 2001) y *Ley del sector eléctrico* (Ley 54/1997 de 27 de Noviembre).
- CARMONA FERNÁNDEZ, D. *Cálculo de instalaciones y sistemas eléctricos*. Abecedario. Badajoz. 2003.
- CEAC. *Centrales eléctricas*. CEAC. Barcelona. 1990.
- CEAC. *Máquinas motrices y generadores de energía eléctrica*. CEAC. Barcelona. 1996.
- MINER. *Reglamento de centrales* (RD 3275/1982) y *Reglamento de líneas de A.T.* (Decreto 3151/68). Madrid.
- MONTANE P. *Protección en las instalaciones eléctricas*. Marcombo. Barcelona. 1993.
- STEVENSON, W. *Análisis de sistemas de potencia*. McGraw-Hill. México. 1996.

COMPLEMENTARIA:

- B.E.I. *Modern Power Station Practice*. Pergamon Press. Oxford. 1991.
- CHECA, L.M. *Líneas de transporte de la energía*. Marcombo. Barcelona. 1988.
- CUESTA, L; VALLARINO, E. *Aprovechamientos hidroeléctricos*. C. Caminos. Madrid. 2000
- DAVIES, T. *Protection of Industrial Power Systems*. Pergamon Press. Oxford. 1984.
- EL-WAKIL, M.M. *Powerplant Technology*. McGraw-Hill. Singapur. 1984
- GARCÍA TRASANCOS, J. *Instalaciones en media y baja tensión*. Thomson Paraninfo. Madrid. 2003.
- MARTINEZ, J.; TOLEDANO, J. *Puesta a tierra en edificios y en instalaciones eléctricas*. Paraninfo. Madrid. 1998.
- MATAIX, C. *Turbomáquinas térmicas*. Dossat. Madrid. 2000.
- MERINO, J.M. *Eficiencia energética eléctrica*. Caden-Iberdrola. Vizcaya. 2000.

- RAÚLL, J. Diseño de subestaciones eléctricas. McGraw-Hill. México. 1992.
- SAADAT, H. *Power Systems Analysis*. McGraw-Hill. Singapur. 1999

c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS

De forma complementaria a las clases teóricas se realizarán clases de aplicación práctica en el laboratorio y de simulación por ordenador cuando el tema sea propicio.

Entre las posibles prácticas previstas se encuentran las siguientes:

- Medición de potencias y compensación del factor de potencia
- Seguimiento de vídeos sobre el funcionamiento de las centrales eléctricas
- Acoplamiento a la red de generadores
- Obtención del modelo equivalente de un generador
- Determinación de las características de funcionamiento del generador
- Acoplamiento en paralelo de generadores y características de regulación
- Obtención del modelo de línea por medio de ensayos
- Estudio de flujos de carga en un modelo a escala de red simple
- Simulación de modelos de red con programas informáticos
- Resolución de casos de flujos de carga
- Análisis de datos sobre resultados del mercado proporcionados por OMEL (Internet)
- Simulación en grupo del proceso de oferta y casación en el mercado diario
- Aplicación de tarifas a un perfil de consumo

Además se realizarán visitas a instalaciones relacionadas con las materias de la asignatura, tales como centrales eléctricas, subestaciones, centros de control eléctricos, fábricas de elementos eléctricos, etc..., que serán consideradas como prácticas de laboratorio. Las visitas se irán realizando a medida que se vaya avanzando en el temario de la asignatura.

Las prácticas o simulaciones por ordenador realizadas por los alumnos, se realizarán en grupos reducidos, y se requerirá la realización de un informe sobre la misma. Dichos informes conformarán la nota de laboratorio que se expone en el siguiente apartado.

d) MÉTODO DE EVALUACIÓN

La asignatura está compuesta de dos parciales. En cada parcial el trabajo tutelado tendrá un peso del 25%, los laboratorios del 20%, y el examen del 55%:

$$Nota_p = 0,55/2 \cdot [Teoría + Ejercicio] + 0,25 \cdot T_{Tutelado} + 0,2 \cdot Lab + (Interr. acertadas / Total Interr.)$$

donde, “Teoría” y “Ejercicio” se evalúan de 1 a 10 y corresponden a las notas obtenidas en cada una de las partes de que se compondrá el examen: un ejercicio teórico consistente en cuestiones teórico prácticas (entre cinco y diez), y un ejercicio práctico en el que se desarrolla un supuesto de aplicación. “ $T_{Tutelado}$ ” se evalúa sobre 10 y corresponde a la media aritmética de las notas obtenidas en los trabajos parciales correspondientes al trabajo tutelado del parcial. “Lab” se evalúa sobre 10 y corresponde a la media aritmética de las notas obtenidas en las prácticas de que consta cada parcial.

El cuarto sumando de la fórmula corresponde a las llamadas “interrogaciones de clase”, que son pequeños ejercicios realizados al finalizar algunas clases al objeto de favorecer la asistencia y la atención.

Para aprobar cada parcial es necesario obtener un mínimo de 2,5 puntos en las partes de “*Teoría*” y “*Ejercicio*” del examen, y un 4 en la parte de “*T_{Tutelado}*”.

Para aprobar la asignatura será necesario aprobar de forma independiente cada parcial, bien sea en los exámenes parciales o en los exámenes finales. Las materias de cada parcial aprobado son liberadas durante las distintas convocatorias de examen correspondientes a un mismo curso.

De forma voluntaria, el alumno podrá hacer trabajos adicionales monográficos, sobre temas propuestos o sobre las visitas realizadas durante el curso, que se evaluarán como “*P_{Ext}*” con 0, 0,5 o 1 punto. Dicha nota sumará puntos adicionales una vez haya sido aprobada la asignatura (calificación final igual o superior a 5).