Universidad de Navarra

Análisis y operación de Sistemas de Energía Eléctrica (MII)

Guía docente 2025-26

PRESENTACIÓN

Descripción de la asignatura:

Esta asignatura pretende introducir a los alumnos en el análisis, diseño y operación de los principales sistemas de energía eléctrica: equipos de generación, líneas de transporte y subestaciones de transformación y distribuidoras e instalaciones receptoras. Se realiza un enfoque teórico-práctico basado en problemas reales. Por tanto, tienen especial importancia aspectos normativos, económicos, medioambientales y de eficiencia energética.

Datos generales:

- **Titulación**: Máster en Ingeniería Industrial
- **Módulo/Materia**: Tecnología Industrial / Electricidad, Electrónica y Control Industrial
- **ECTS**: 5 ECTS
- **Curso, semestre**: 1º, Segundo
- **Carácter**: Obligatorio
- **Profesorado**:
  - de Nó Lengaran, Joaquín Juan - Email: deno at tecnun.es / Profesor Titular
  - Sancho Seuma, Juan Ignacio - Email: isancho at tecnun.es / Profesor Titular
- **Idioma**: Castellano

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Competencias)

- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades
- CG01 - Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de: métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecánica de medios continuos, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.
- CG02 - Proyectar, calcular y diseñar productos, procesos, instalaciones y plantas.
- CG03 - Dirigir, planificar y supervisar equipos multidisciplinares.
- CG08 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.
- CE01 - Conocimiento y capacidad para el análisis y diseño de sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.
- CE06 - Conocimientos y capacidades que permitan comprender, analizar, explotar y gestionar las distintas fuentes de energía.

PROGRAMA

Universidad de Navarra

TEMA 1: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES GENERADORAS: CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

- Generación de energía eléctrica. Centrales hidroeléctricas. Centrales térmicas convencionales. Ciclo combinado. Centrales nucleares. Turbinas eólicas. Centrales fotovoltaicas. Otros tipos de generación eléctrica. Esquemas.
- La energía solar fotovoltaica. Tecnologías, legislación, situación actual.
- Datos técnicos previos: ubicación, datos meteorológicos, datos geográficos, red de distribución para la conexión.
- Datos técnicos finales: tipo de instalación, generador fotovoltaico, conversor DC /AC, monitorización, centro de transformación, centro de conexión.
- Criterios de selección de soluciones técnicas a adoptar.
- Planificación de la ejecución: autorizaciones administrativas, obra civil, montaje, puesta en servicio y conexión a red.
- Caso práctico: Análisis de explotación.

TEMA 2: AFECTACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS: ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

- Estudios de impacto ambiental: reglamentación y normativas.
- Afectación medioambiental de las líneas de alta tensión. Marco legal y proceso de tramitación. Retos y oportunidades de la evaluación ambiental.
- Aspectos a considerar en un Estudio de Impacto ambiental en líneas de alta tensión.
- Herramientas y técnicas de análisis y valoración a utilizar en un estudio de impacto ambiental.

TEMA 3: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

- Hipótesis de partida: finalidad, emplazamiento, reglamentación y normativas.
- Estudio de diferentes alternativas. Selección de solución a adoptar.
- Esquema unifilar. Barras, posiciones de línea, de transformación y de acoplamiento.
- Descripción de los sistemas. Conductores, sistemas de corte, sistemas de medida, aparamenta auxiliar.
- Transformador de potencia. Tipos, dimensionamiento, selección, mantenimiento, consideraciones de seguridad y medioambientales.
- Control y protecciones. Unidades de Control de Subestación, Unidades de Control de Posición. Protecciones de transformador, de líneas, de enlace.
- Servicios auxiliares. De corriente alterna y de corriente continua.
- Instalaciones complementarias. Alumbrado, protección contra incendios, ventilación, seguridad, etc.
- Puesta a tierra. Dimensionamiento de puestas a tierra.

TEMA 4: SECTOR ELÉCTRICO: ACTIVIDADES DE TRANSPORTE, DISTRIBUCIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA

- Definición. Objeto. Normativa. Régimen de las actividades. Planificación eléctrica. Ordenación del suministro. Sostenibilidad económica y financiera del sistema eléctrico. Producción de energía eléctrica. Gestión económica y técnica del sistema eléctrico. Transporte de energía eléctrica. Distribución de energía eléctrica. Suministro de energía eléctrica. Autorizaciones, expropiación y servidumbres. Régimen de inspecciones, infracciones y sanciones.

- Instalaciones: producción de energía eléctrica, transporte de energía eléctrica, distribución de energía eléctrica.
- Criterios constructivos, de explotación, mantenimiento y desmantelamiento. Necesidad de normativas y reglamentos.
- Análisis de explotación de MGE. Códigos de Red Europeos: definición y clasificación. Requisitos para generadores. Elementos clave: significatividad, tipo de generador, ubicación, definición del requisito. Requisitos para MGE: estabilidad de frecuencia, estabilidad de tensión, robustez, restablecimiento del sistema, gestión del sistema. Evaluación de la Conformidad: Norma Técnica de Supervisión de la Conformidad (NTS).

TEMA 5: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN EN INSTALACIONES DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

- Cargas a considerar: permanentes, de viento, motivadas por hielo. Desequilibrio de tracciones. Esfuerzos longitudinales y resultantes de ángulo.
- Selección de los conductores. Ecuación general de un cable sometido a una carga vertical continua. Hipótesis simplificativas. Determinación de la tensión, la flecha y de la longitud de conductor suspendido. Ecuación de cambio de condiciones. Determinación de la tensión máxima de un conductor. Cálculo de la flecha máxima. Consideración de fenómenos vibratorios. Determinación de las parábolas de máxima tensión y máxima flecha.
- Régimen eléctrico de funcionamiento. Densidad de corriente máxima admisible. Intensidades en los conductores. Consideraciones sobre efecto corona. Coordinación de aislamiento.
- Afectación medioambiental de las líneas de alta tensión. Marco legal y proceso de tramitación. Evaluación de los impactos ambientales. Retos y oportunidades de la evaluación ambiental.

PROGRAM (ENGLISH)

TOPIC 1: CRITERIA FOR THE DESIGN OF GENERATING INSTALLATIONS: PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANT

- *Electrical energy generation. Hydroelectric plants. Conventional thermal power plants Combined cycle. Nuclear power plants. Wind turbines. Photovoltaic plants. Other types of electric generation. Schemes.*
- *Photovoltaic solar energy. Technologies, legislation, current situation.*
- *Preliminary technical data: location, meteorological data, geographical data, distribution network for connection.*
- *Final technical data: type of installation, photovoltaic generator, DC/AC converter, monitoring, transformation centre, connection centre.*
- *Criteria for selecting the technical solutions to be adopted.*
- *Execution planning: administrative authorisations, civil works, assembly, commissioning and grid connection.*
- *Practical case: exploitation analysis.*

TOPIC 2: ENVIRONMENTAL IMPACT OF ELECTRICAL INSTALLATIONS: ENVIRONMENTAL IMPACT STUDIES.

- *Environmental impact studies: regulations and standards.*
- *Environmental impact of high-voltage lines. Legal framework and processing process. Challenges and opportunities of environmental assessment.*
- *Aspects to be considered in an environmental impact study on high-voltage power lines.*
- *Tools and techniques for analysis and assessment to be used in an environmental impact study.*

TOPIC 3: CRITERIA FOR THE DESIGN OF ELECTRICAL SUBSTATIONS AND TRANSFORMER STATIONS

- *Starting hypotheses: purpose, location, regulations and standards.*
- *Study of different alternatives. Selection of the solution to be adopted.*
- *Single-line diagram. Busbars, line, transformer and coupling positions.*
- *Description of systems. Conductors, switching systems, metering systems, auxiliary switchgear.*
- *Power transformer. Types, sizing, selection, maintenance, safety and environmental considerations.*
- *Control and protection. Substation Control Units, Position Control Units. Transformer, line and link protections.*
- *Auxiliary services. Alternating current and direct current.*
- *Complementary installations. Lighting, fire protection, ventilation, safety, etc.*
- *Earthing. Dimensioning of earthing systems.*

TOPIC 4: ELECTRICITY SECTOR: TRANSMISSION AND DISTRIBUTION ACTIVITIES.

- *Definition. Object. Regulations. Regime of the activities. Electricity planning. Supply management. Economic and financial sustainability of the electrical system. Economic and technical management of the electricity system. Transmission of electrical energy. Distribution of electrical energy. Supply of electrical energy. Authorisations, expropriation and easements.*
- *System of inspections, infringements and penalties.*
- *Installations: production of electrical energy, transport of electrical energy, distribution of electrical energy.*
- *Construction, operation, maintenance and decommissioning criteria. Need for standards and regulations.*

TOPIC 5: CRITERIA FOR THE DESIGN OF HIGH-VOLTAGE LINES IN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION FACILITIES.

- *Loads to be considered: permanent, wind and ice loads. Unbalance of tractions. Longitudinal and angle stresses.*
- *Selection of conductors. General equation of a cable subjected to a continuous vertical load. Simplifying assumptions Determination of tension, deflection and suspended conductor length. Equation of change of conditions. Determination of the maximum tension of a conductor. Calculation of the maximum deflection Consideration of vibration phenomena. Determination of the parabolas of maximum voltage and maximum deflection.*
- *Electrical operating mode. Maximum admissible current density. Conductor currents. Corona effect considerations. Insulation coordination.*

ACTIVIDADES FORMATIVAS

La dedicación de 125 a 150 horas (5 ECTS) de la asignatura Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica se reparte en las siguientes actividades formativas:

- Clases presenciales teóricas: 32 horas
- Clases presenciales prácticas, laboratorios o talleres: 18 horas
- Trabajos dirigidos: 32 a 43 horas
- Tutorías: 0 a 4 horas
- Estudio personal: 40 a 50 horas
- Evaluación: 3 horas
- Elaboración y defensa del PFG: 0 horas

METODOLOGÍAS DOCENTES

- clases expositivas
- Clases en salas de informática
- Trabajo individual o en grupo, resolución de problemas e informes de laboratorio
- Entrevista personal con el profesor de una asignatura
- Estudio del alumno basado en diferentes fuentes de información
- Realización de pruebas evaluadas
- Aprendizaje basado en proyectos

A cada uno de los temas globales se le dedica una media de 9 sesiones de trabajo en aula.

Sobre cada tema se realiza una primera exposición conceptual, mediante lección magistral se expondrán los aspectos técnicos más relevantes del tema. Estas sesiones contarán como apoyo con sistemas audiovisuales, transparencias, fotografías, esquemas y videos.

Dicha exposición se irá alternando con la presentación de un ejemplo real concreto, en formato proyecto, del que se irán planteando los puntos fundamentales que deberán resolver los alumnos progresivamente a lo largo de las sesiones.

Los alumnos realizarán un informe final de cada uno de los trabajos tratados.

Para varios de los temas trabajados se dedicarán algunas sesiones de trabajo conjuntas con posible presentación oral de las distintas soluciones y discusión activa de las propuestas.

Finalmente, algunas de las sesiones de trabajo serán con profesionales del sector de los temas tratados, incluyendo posibles visitas a instalaciones. Entre ellas, una visita a una instalación de generación solar fotovoltaica y una visita a subestación de transporte de intemperie.

EVALUACIÓN

CONVOCATORIA ORDINARIA

15% Presencia participativa en las sesiones explicativas, de discusión con invitados y visitas

30% Trabajos de la asignatura (Informes técnicos entregables, presentaciones, etc.). El reparto sobre 10 puntos será el siguiente:

- Generación: 4,5
- Impacto ambiental y subestaciones: 3
- Líneas de transmisión: 2,5

(Si algún grupo no presenta algún trabajo, o presenta un trabajo especialmente deficiente o incompleto, los componentes de ese grupo tendrán un apartado extra en el examen sobre esa temática)

55% Examen final individual (mínimo de 4/10 para aprobar la asignatura). Parte de las temáticas, ya evaluadas en los trabajos, no formarán parte de los contenidos a evaluar en el examen.

El examen tiene dos partes: la primera, conceptual, consta de unas 9 cuestiones. En la segunda parte, de desarrollo, el alumno tendrá que desarrollar dos preguntas a elegir entre tres. Cada una de las partes tiene un peso del 50% de la calificación del examen.

Cada ausencia injustificada a clase supondrá una corrección a la baja de la nota final usando el siguiente factor reductor:

NotaFinalAjustada=NotaFinalConseguida * NºAsistencias/NºTotalDeClases

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

Se guardarán las calificaciones obtenidas por la participación en clase y por la realización de trabajos y su peso relativo en la calificación final.

Se realizará un examen final con valor 55%, análogo al de la convocatoria ordinaria.

Para casos de alumnos que hayan suspendido los trabajos de la asignatura se añadirá un examen sobre los contenidos de dichos trabajos, como segunda parte del examen principal. El valor de este examen será de 30%.

HORARIOS DE ATENCIÓN

15:30 a 16:30, los días que hay clase de la asignatura.

Despachos E01 y E03.

Otros horarios, previa cita con el profesor correspondiente vía correo electrónico.

BIBLIOGRAFÍA

- *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*, Gilberto Enríquez Harper, Localízalo en la Biblioteca
- *Instalaciones eléctricas*, Antonio Jesús Conejo Navarro, Localízalo en la Biblioteca (Versión electrónica)
- *Líneas de transporte de energía,* Luis Maria Checa Localízalo en la Biblioteca
- *Maniobras en redes eléctricas I. Maniobras en parques de intemperie,* Iberdrola-Endesa-Sevillana de Electricidad. Fenosa
- *Reglamento de Líneas de Alta Tensión y sus fundamentos técnicos*. Ministerio de Industria Turismo y Comercio; Jorge Moreno Mohíno...[et al.] Localízalo en la Biblioteca
- *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.. Mayo 2014*
- *Transmission and Distribution Electrical Engineering*. C.R. Bayliss Localízalo en la Biblioteca (Versión electrónica)

Universidad de Navarra

- *Curso de puestas a tierra*. Adae
- *Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra*. UNESA, Comité de Distribución, Comisión de Reglamento
- *Puesta a tierra en edificios y en instalaciones eléctricas*. J.J. Martinez Requena Localízalo en la Biblioteca

Bibliografía complementaria

- *Sistemas de puesta a tierra en instalaciones de alta tensión*. Jorge Moreno Mohino. Grupo Editorial Garceta
- *Subestaciones eléctricas*. Jesus Trashorras. Editorial Paraninfo Localízalo en la Biblioteca

Enlaces de interés

- Operador del Sistema y Transportista (REE)
- Operador del Mercado Ibérico Eléctrico (OMIE)
- Operador del Mercado Ibérico a Plazo (OMIP)

Principales empresas Distribuidoras:

- i-DE
- e-distribución
- ufd
- E-REDES
- VIESGO DISTRIBUCIÓN

Principales empresas Generadoras y Comercializadoras

- Iberdrola
- Endesa
- EDP
- Naturgy
- Viesgo

Otros agentes

- CNMC (Mercado Eléctrico)
- European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER)
- European Network of Transmission System Operators for Electricity
- EU DSO Entity