

# TECNOLOGÍA DE ALTA TENSIÓN

Curso 2017/2018

(Código: 28806216)

## 1. PRESENTACIÓN

Se trata de una asignatura del segundo curso del Máster en Ingeniería Industrial, de primer semestre y de carácter optativo. La asignatura está valorada en 5 créditos ECTS.

El objetivo principal de esta asignatura es que el alumno aprenda los principios y aplicaciones básicas de la tecnología de la alta tensión, incluyendo los aspectos de ingeniería de diseño y de preparación de proyectos más importantes en los que se ven envueltos la mayor parte de los profesionales del sector, durante la construcción de nuevas infraestructuras eléctricas tales como subestaciones o líneas de alta tensión, durante la ampliación y mantenimiento de las existentes o para dar una solución técnica a los problemas habituales ligados a su explotación.

En esta asignatura se tratarán los principales aspectos técnicos relacionados con las técnicas de alta tensión, tales como:

- Procedimientos de coordinación de aislamiento de las instalaciones de alta tensión tanto de subestaciones como de líneas de alta tensión, incluyendo ejemplos de aplicación.
- Criterios de selección de pararrayos, incluyendo ejemplos de aplicación.
- Técnicas de apantallamiento mediante puntas Franklin o cables de guarda, tanto para líneas aéreas como para subestaciones.
- Cálculo de líneas subterráneas de alta tensión.
- Formas de puesta a tierra de las pantallas de los cables de alta tensión.
- Cálculo de campos magnéticos en el entorno de líneas o instalaciones de alta tensión.
- Transporte de energía eléctrica en corriente continua (HVDC).
- Requisitos de los transformadores de medida, de protección y de potencia.
- Caso práctico: diseño ecológico de transformadores de potencia.

En esta asignatura se tratarán aspectos técnicos de funcionamiento y diseño que afectan a las líneas e instalaciones de alta tensión y a las actividades de generación, transporte y distribución de la energía eléctrica y que son de enorme interés para los ingenieros especialistas que trabajan como proyectistas, o en ingenierías, entidades de inspección o empresas eléctricas, de generación, transporte o distribución.

De esta forma, los alumnos que cursen la asignatura dispondrán de conocimientos muy valorados en el sector eléctrico. Existe una carencia de especialistas en estas materias, debido bien a la novedad de las tecnologías utilizadas, bien a la falta de formación en las materias relacionadas con la tecnología de la alta tensión. Esta carencia se detecta muy especialmente en el estudio de la tecnología de los cables aislados de alta tensión y de las técnicas de evaluación del estado de su aislamiento y de su vida útil, en el diseño de los sistemas de puesta a tierra de las pantallas de los cables aislados, en la selección de los pararrayos de óxidos metálicos, en los criterios de coordinación de aislamiento o en el transporte eléctrico con corriente continua HVDC.

Esta carencia de especialistas se debe en unos casos a la falta de textos didácticos claros, en otros casos a la carencia de ejemplos de aplicación y también a la propia novedad tecnológica como sucede con el transporte HVDC.

Para completar el programa se incluye como caso práctico el estudio de una legislación europea de aplicación reciente, relacionada con el diseño ecológico de los transformadores

de potencia, lo cual servirá al alumno para familiarizarse con los problemas habituales que debe afrontar un ingeniero especialista que trabaje en el sector eléctrico.

Al final del curso el alumno deberá ser capaz de entender la función de las líneas de transporte y distribución en alta tensión dentro del sistema eléctrico, así como la importancia de la aplicación de los reglamentos de obligado cumplimiento en España con objeto de garantizar la seguridad tanto de las propias instalaciones como de las personas, reducir la tipificación del material utilizado en la construcción de las instalaciones y mejorar la regularidad del suministro eléctrico.

Esta asignatura utiliza los conocimientos adquiridos con la asignatura de 2º curso: "Instalaciones de BT y de MT", que trataba los elementos que intervienen en el diseño de las instalaciones de baja tensión y media tensión (hasta 30 kV de tensión nominal), al ampliar el nivel de tensión por encima de los 30 kV, se requieren elementos con características diferentes de funcionamiento y diseño.

Por otra parte esta asignatura complementa a las dos asignaturas siguientes de tercer curso:

- "Diseño y Cálculo de las Instalaciones Eléctricas" en la que se trataron el cálculo de las instalaciones de baja y media tensión, principalmente de los centros de transformación, es decir actividades de distribución.
- "Líneas e instalaciones de alta tensión" en la que se trataron entre otros temas las líneas y las subestaciones, necesarias para el transporte de energía en alta tensión (generalmente de tensión  $U_n \geq 220$  kV), así como para su distribución.

También guarda cierta relación, y en cierto modo complementa a las siguientes asignaturas de cuarto curso:

- "Análisis y operación de sistemas eléctricos", en la que se trataron los sistemas de control, protección, análisis y mercados aplicables en la operación global del sistema eléctrico.
- "Generación de energía eléctrica", en la que se abordó el tercer eslabón importante del sistema eléctrico que completa las actividades de transporte y distribución, es decir las centrales eléctricas, incluidas las renovables por su enorme importancia presente y futura.

Con la asignatura de Tecnología de la alta tensión el alumno dispondrá de conocimientos completos para aplicarlos en el proyecto o diseño de subestaciones o líneas de alta tensión y se enfrentará a casos reales de interpretación de la legislación europea aplicable más moderna y del estudio de sus consecuencias, por ejemplo en el caso de los requisitos para el diseño ecológico de transformadores de potencia.

## 2.CONTEXTUALIZACIÓN

Con esta asignatura se busca que el alumno desarrolle las siguientes competencias generales: iniciativa, planificación, organización, capacidad para trabajar de forma autónoma, capacidad de análisis y síntesis, aplicación de los conocimientos a la práctica, capacidad de buscar entender e interpretar textos técnicos legales, capacidad para analizar las consecuencias motivadas por una decisión previa

Por otro lado, las competencias específicas a alcanzar durante el estudio de esta asignatura, son las siguientes:

- Capacidad para abordar problemas técnicos nuevos de contenido electrotécnico en el ámbito de la alta tensión.
- Capacidad para entender textos o artículos complejos relacionados con el sector de la alta tensión.
- Capacidad para buscar bibliografía nacional o internacional como primera fase para resolver un problema complejo.

- Adquisición de los conocimientos necesarios para mediciones, cálculos, peritajes, e informes técnicos relacionados con instalaciones de alta tensión,
- Capacidad de manejar y entender reglamentos y normas de obligado cumplimiento dentro de este ámbito, así como entender o redactar especificaciones técnicas de instalaciones de alta tensión.
- Comprender y adquirir la capacidad para aplicar los fundamentos científicos y tecnológicos en el diseño de las instalaciones eléctricas de alta tensión.

El conocimiento detallado de las instalaciones eléctricas de alta tensión facilitará el desarrollo de la carrera profesional del alumno, ya que la mayoría de los proyectos relacionados con el ámbito de la ingeniería industrial comprenden una parte relacionada con el transporte, la distribución o generación de la energía eléctrica y con las técnicas de alta tensión.

Esta asignatura complementa otras asignaturas del grado en Ingeniería Eléctrica, en especial las de tercer curso de "Diseño y Cálculo de las Instalaciones Eléctricas y "Líneas e instalaciones de alta tensión" y las de cuarto curso, "Generación de energía eléctrica" y "Análisis y operación de Sistemas eléctricos".

Sin embargo, esta asignatura es una asignatura de máster, por lo que su principal característica es que se prepara al alumno para abordar aspectos técnicos de diseño y cálculo de instalaciones de alta tensión, modernos y complejos, adquiriendo previamente un conocimiento teórico y práctico del estado del arte y preparando al alumno para abordar problemas técnicos parecidos partiendo de un estudio bibliográfico previo.

### 3. REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

Para una correcta asimilación de los contenidos de esta asignatura es indispensable haber cursado la asignatura de 2º curso Teoría de circuitos, y dominar su temario, ya que los conocimientos y métodos de resolución de circuitos tratados en dicha asignatura se emplean en ésta.

Además, también resultan tremendamente útiles los conocimientos principalmente tecnológicos incluidos en las asignaturas de tercer curso de "Diseño y Cálculo de las Instalaciones Eléctricas y "Líneas e instalaciones de alta tensión".

### 4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Con el estudio de esta asignatura el alumno adquirirá ciertos conocimientos teóricos indispensables para el proyecto de infraestructuras eléctricas de alta tensión tales como las subestaciones, las líneas de alta tensión construidas con cables aislados, los sistemas para el transporte en corriente continua y los transformadores de potencia con diseño ecológico.

En particular, conocerá los estudios de coordinación de aislamiento, incluida la compleja selección de los pararrayos que limitan las sobretensiones que reciben los equipos y materiales de alta tensión o el cálculo de los pararrayos o cables de guarda que apantallan a las subestaciones de intemperie y las líneas de alta tensión, evitando el impacto directo de los rayos sobre los materiales y equipos de alta tensión de las subestaciones o sobre los conductores de fase de las líneas.

El alumno conocerá también el diseño de las líneas de alta tensión construidas con cables aislados, atendiendo a los criterios de intensidad máxima admisible en servicio permanente, en sobrecarga o en cortocircuito, así como el cálculo de los campos magnéticos generados por las líneas aéreas o subterráneas y las técnicas seguidas para la puesta a tierra de las pantallas de los cables, aspecto este de especialísimo interés en líneas de transporte de alta tensión.

En tercer lugar se tratará también el transporte de energía eléctrica en tensión corriente continua (HVDC), haciendo énfasis en los aspectos técnicos y económicos de este tipo de proyectos.

Por último se estudiarán los requisitos para el diseño ecológico de los transformadores de potencia, incluyendo el estudio de la reglamentación europea más reciente en esta materia.

Estos conocimientos ayudarán al alumno a la realización de proyectos de líneas eléctricas y de subestaciones eléctricas en sus distintos niveles de tensión, y servirán de plataforma para abordar otros problemas técnicos complejos relacionados con las técnicas de alta tensión.

## 5. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

El programa de la asignatura es el siguiente:

Capítulo 1. Coordinación de aislamiento y protección contra sobretensiones.

1.1. Tipos y origen de las sobretensiones

1.2. Procedimiento de coordinación de aislamiento.

1.3. Aplicación del procedimiento de coordinación de aislamiento a una subestación.

1.4. Criterios de selección de pararrayos y ejemplos de cálculo para transición aéreo-subterránea y transformador de potencia.

1.5. Apantallamiento de líneas y subestaciones y ejemplos de aplicación.

Capítulo 2. Cálculo de líneas subterráneas de alta tensión.

2.1. Fundamentos para el cálculo de líneas subterráneas.

2.2. Cálculo de la intensidad admisible de un cable en régimen permanente, de sobrecarga o cortocircuito.

2.3. Ejemplo de cálculo eléctrica de línea de alimentación a un centro de transformación de cliente.

2.4. Ejemplo de cálculo eléctrico de una red de distribución de compañía entre dos subestaciones.

2.5. Puesta a tierra de las pantallas en cables de alta tensión.

2.6. Cálculo del campo magnético en el entorno de líneas subterráneas. Comparación con líneas aéreas.

2.7. Descargas parciales en cables de alta tensión.

### Capítulo 3. Transporte en alta tensión corriente continua (HVDC).

3.1. Introducción.

3.2. Elementos de un sistema HVDC.

3.3. Clasificación de los sistemas HVDC.

3.4. Ventajas de los sistemas de transmisión HVDC.

3.5. Transformación de líneas existentes de corriente alterna en corriente continua.

### Capítulo 4. Transformadores de medida y de potencia

4.1. Introducción.

4.2. El Reglamento de instalaciones de alta tensión y los transformadores de medida.

4.3. El Reglamento de instalaciones de alta tensión y los transformadores de potencia.

4.4. Directivas y reglamentos europeos para el diseño ecológico de transformadores de potencia.

4.5. Criterios de capitalización de pérdidas para transformadores de potencia.

4.6. Ensayo de transformadores de potencia.

## 6.EQUIPO DOCENTE

- [PASCUAL SIMON COMIN](#)

## 7.METODOLOGÍA

La metodología que se contempla en esta asignatura incluye las siguientes actividades fundamentales:

- Estudio de los contenidos teóricos, utilizando la bibliografía básica y complementaria con el fin de cumplir con los objetivos del aprendizaje. (40% del tiempo dedicado a la asignatura, aproximadamente 50 h).
- Revisión de los problemas resueltos incluidos en la bibliografía básica con el objetivo de que el alumno adquiriera una visión práctica y real de los proyectos de instalaciones de alta tensión. (20% tiempo dedicado a la asignatura, aproximadamente 25 h).
- Realización de actividades prácticas consistentes en la resolución de los tests de evaluación, y otros ejercicios propuestos incluidos en la bibliografía básica o a través del curso virtual, apoyados y supervisados por los tutores. (20% tiempo dedicado a la asignatura, aproximadamente 25 h).
- Repaso final de los contenidos teóricos y prácticos descritos. Preparación y

realización de las pruebas presenciales. (20% del tiempo dedicado a la asignatura, aproximadamente 25 h).

## 8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13): 9788492812868

Título: CÁLCULO Y DISEÑO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN

Autor/es: Pascual Simón Comín ; Alberto González Sanz ; Fernando Garnacho Vecino ; Jorge Moreno Mohíno ;

Editorial: Garceta

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

Comentarios y anexos:

Para el estudio de la asignatura es necesario también el siguiente libro:

- Fernando Garnacho, Pascual Simón, Jorge Moreno, y Alberto González. Editorial GARCETA. Año 2014. Reglamento de instalaciones eléctricas de alta tensión y sus fundamentos técnicos. ISBN: 978 84 15 45 207 2.

Seguramente usted habrá cursado la asignatura de grado de tercer curso de "Líneas e instalaciones de alta tensión", por lo que ya dispondrá del primero de los textos propuestos. (Cálculo y diseño de líneas eléctricas de alta tensión. )

Además se deberá consultar la guía de estudio detallada de la asignatura: (GUÍA DE ESTUDIO parte 2ª). Usted podrá descargar la guía de los Cursos Virtuales de la UNED correspondientes a esta asignatura. En esta guía se incluirán los aspectos complementarios que añaden conceptos y explicaciones y que se han de tener en cuenta para el estudio y aprovechamiento de la asignatura.

El capítulo 3 sobre HVDC y una parte del capítulo 4 sobre diseño ecológico de transformadores de potencia, se incluirán en la plataforma de estudio de ALF del curso virtual.

## 9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:

Los documentos que se dan a continuación como bibliografía complementaria, le servirán al alumno para profundizar y ver algunos aspectos descritos en el programa de la asignatura descrito en el capítulo 3 – Contenidos.

- REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES TÉCNICAS Y GARANTÍAS DE SEGURIDAD EN LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN Y SUS INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS, ITC-LAT01 A 09, (RD 223/2008) y las guías de aplicación que lo desarrollan.

Este documento puede descargarse, gratuitamente, en la página web del Ministerio de

Industria, Turismo y Comercio ([www.mityc.es](http://www.mityc.es)) en la parte de SERVICIOS: LEGISLACIÓN: Legislación sobre Seguridad Industrial, Reglamentos nacionales sobre instalaciones. Por otra parte, puesto que los textos reglamentarios tienen carácter legal, es fácil descargarlos también gratuitamente de Internet en su versión original publicada en el BOE, para ello el alumno puede utilizar cualquier buscador de Internet, y teclear como parámetro de búsqueda "RD 223/2008".

## 10. RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

Como materiales adicionales para el estudio de la asignatura se ofrece el curso virtual donde podrán obtenerse, además de la presente guía de la asignatura, una ampliación de la misma, así como textos y referencias complementarias que añaden conceptos y explicaciones y que se han de tener en cuenta para el estudio y aprovechamiento de la asignatura.

Concretamente el capítulo 3 sobre los sistemas de transporte HVDC, así como una parte del capítulo 4 sobre diseño ecológico de transformadores de alta tensión, al no estar incluido en la bibliografía básica se incluirá íntegramente junto con la parte 2 de la guía de la asignatura (o adenda) en la plataforma ALF del curso virtual. En la adenda se incluirán también materiales para el capítulo 2, relacionados con la medida de descargas parciales en cables de alta tensión.

## 11. TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

La enseñanza a distancia posee unas características que la diferencian claramente de la enseñanza presencial, de forma que los alumnos dispondrán de la ayuda y los recursos necesarios siguientes para cursar la asignatura:

- Tutorías presenciales o virtuales en los centros asociados correspondientes.
- Curso Virtual donde el equipo docente de la asignatura pondrá a disposición de los alumnos diverso material de apoyo en el estudio y donde podrá disponer de diferentes foros generales y particulares en los que libremente puedan plantear las dudas y comentarios que consideren oportunos durante el desarrollo del aprendizaje y que serán respondidas por los tutores o equipos docentes. Este soporte es fundamental en la asignatura y supondrá la vía principal de comunicación entre los alumnos y el equipo docente y también entre los alumnos entre sí.
- Tutoría presencial o telefónica a cargo del equipo docente que se realizará durante las guardias, por teléfono, personalmente, por fax, por correo electrónico o por correo postal.

El horario de guardia es: los LUNES (lectivos) de 16,00 h a 20,00 h.

Teléfono: 91 398 76 23

Fax 91 398 60 28

Correo electrónico: [psimon@ieec.uned.es](mailto:psimon@ieec.uned.es)

Dirección Postal:

Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control

E.T.S. de Ingenieros Industriales - U.N.E.D.

c/ Juan del Rosal, nº 12

28040 MADRID

## 12.EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación tendrá en cuenta el trabajo, actividad y rendimiento del alumno a lo largo del curso, considerando su participación en los cursos virtuales, los resultados de los ejercicios de autoevaluación o de evaluación a distancia, así como las pruebas presenciales finales.

### **PRUEBAS DE AUTOEVALUACIÓN Y DE EVALUACIÓN A DISTANCIA.**

Se considerarán los desarrollos de los ejercicios de evaluación continua a distancia (PEC), basados en la resolución de ejercicios prácticos similares a los problemas de examen.

Para ello, en el curso virtual se adjuntarán los ejercicios de autoevaluación y de evaluación a distancia, con las instrucciones correspondientes para su realización. Los desarrollos de ambos tipos de ejercicios se enviarán a los tutores o al equipo docente (si no existen tutores) para su estudio y consideración en la nota final hasta un máximo del 15% de la nota final de la asignatura.

### **PRUEBAS FINALES PRESENCIALES.**

Las pruebas presenciales finales son la parte más importante para la evaluación del aprendizaje. Sólo si el resultado de dicha prueba es satisfactorio (aprobado), se tendrán en cuenta para la nota final también las actividades realizadas en los cursos virtuales y la realización de los ejercicios de autoevaluación o de evaluación a distancia. En cualquier caso la prueba presencial final pesará un 85% de la nota.

La duración de la prueba presencial será de dos horas, constará de un examen con preguntas que podrán ser de tipo test o de desarrollo breve, junto con ejercicios prácticos a resolver más extensos, que demuestren la adquisición de los conocimientos teóricos y prácticos de la asignatura. Cada una de las preguntas y ejercicios se valorarán entre 1 y 5 puntos, hasta un total de 10.

Al ser una asignatura del primer semestre, solamente se realizarán pruebas presenciales finales en las convocatorias de febrero y de septiembre, siendo el examen en los centros asociados correspondientes.

En las pruebas presenciales se podrán utilizar los dos libros descritos como bibliografía básica. Se podrá utilizar también calculadora programable o no programable.

## 13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.