

Plan 279 Ing. de Montes

Asignatura 22267 ELECTROTECNIA

Grupo 1

### Presentación

Estudio de los principios teóricos y de las aplicaciones técnicas en el diseño de las instalaciones eléctricas y de automatización de utilización en el sector agroforestal y medioambiental

### Programa Básico

PROGRAMA DE TEORÍA:

BLOQUE TEMÁTICO I. FUNDAMENTOS DE ELECTROTECNIA

BLOQUE TEMÁTICO II. CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

BLOQUE TEMÁTICO III. CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

BLOQUE TEMÁTICO IV. TARIFACIÓN ELÉCTRICA

BLOQUE TEMÁTICO V. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

BLOQUE TEMÁTICO VI. TRANSFORMADORES

BLOQUE TEMÁTICO VII. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS PARA CORRIENTE ALTERNA

### Objetivos

La asignatura ha sido diseñada para la consecución de los siguientes objetivos:

1. El conocimiento de los fundamentos electromagnéticos que sirven de base para las aplicaciones de la Electrotecnia.
2. La caracterización y utilización de los aparatos de medida que permiten cuantificar las magnitudes eléctricas en una instalación de baja tensión.
3. La correcta aplicación de los métodos de cálculo necesarios para proyectar líneas de baja tensión dedicadas a la distribución de energía eléctrica en el ámbito agroforestal.
4. El conocimiento de los transformadores y de los parámetros a considerar en la selección de los mismos.
5. El funcionamiento eléctrico de la maquinaria incluida en los procesos productivos del sector agroforestal, lo que implica el conocimiento de las máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna desde el punto de vista de su funcionamiento.
6. El estudio de la tarifación eléctrica y su correcta utilización en las instalaciones agroforestales, así como la elección del equipo de medida adecuado.
7. El control del accionamiento de las máquinas eléctricas rotativas y de la maquinaria en general, para el diseño de sistemas automáticos.

### Programa de Teoría

BLOQUE TEMÁTICO I. FUNDAMENTOS DE ELECTROTECNIA

El bloque temático I comprende las siete primeras lecciones del programa y se dedica al desarrollo de los conceptos básicos sobre electrostática, electrocinética e inducción magnética. Aunque estas materias deben haber sido objeto de estudio en las asignaturas de Física cursadas por los alumnos durante la enseñanza preuniversitaria y en las titulaciones Primer Ciclo, la experiencia indica que son necesarias unas clases para recordar y clarificar los conceptos cuyo manejo será de suma importancia para desarrollar con éxito el resto de contenidos de esta asignatura. A estas lecciones se les dará un enfoque orientado hacia sus aplicaciones posteriores en la resolución de circuitos, el cálculo de líneas eléctricas y el estudio de máquinas eléctricas.

Un aspecto importante a destacar es que la exposición de los conocimientos incluidos en este bloque temático se hubiera podido abordar, quizás con una mayor sistematización, partiendo de las ecuaciones de Maxwell y Lorentz para, en función de ellas, deducir las leyes de la electrostática, electrocinética, magnetostática e inducción magnética. Este planteamiento es menos intuitivo que el realmente seguido en el programa propuesto.

En este bloque temático se presta una atención especial al estudio y cálculo de los circuitos magnéticos como elementos básicos de los convertidores de energía. Asimismo, se dedican sendas lecciones a las primeras nociones sobre circuitos eléctricos y fuentes de energía, y al desarrollo de los fenómenos transitorios en circuitos, que tanta

importancia tienen en la maniobra de las redes eléctricas y las anomalías que en ellas se presentan. Por último, comentar que la reducida extensión de este bloque es necesaria para no restar tiempo a otros temas que son más propios de la asignatura de Electrotecnia, lo que obliga a un esfuerzo de selección y síntesis.

## Lección 1. ELECTROSTÁTICA.

- 1.1 Electricidad y fenómenos eléctricos.
- 1.2 Cargas eléctricas. Ley de Coulomb.
- 1.3 Campo eléctrico. Líneas de fuerza.
- 1.4 Potencial eléctrico y superficies equipotenciales.
- 1.5 Trabajo eléctrico. Energía potencial eléctrica.
- 1.6 Condensador. Capacidad.
- 1.7 Asociación de condensadores en serie y paralelo.
- 1.8 Energía almacenada en el campo eléctrico de un condensador cargado.

## Lección 2. ELECTRODINÁMICA.

- 2.1 Concepto de corriente eléctrica. Intensidad y densidad de corriente eléctrica.
- 2.2 Ley de Ohm. Resistencia eléctrica.
- 2.3 Variación de la resistencia con la temperatura.
- 2.4 Asociación de resistencias en serie y paralelo.
- 2.5 Potencia eléctrica. Ley de Joule.

## Lección 3. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.

- 3.1 Circuito activo y pasivo.
- 3.2 Fuentes de tensión. Fuerza electromotriz.
- 3.3 Potencia generada y potencia entregada por una fuente. Rendimiento.
- 3.4 Acoplamiento de fuentes de energía.
- 3.5 Voltaje en bornes de una fuente y un motor.
- 3.6 Leyes de Kirchhoff.
- 3.7 Diferencia de potencial en un circuito de corriente continua.

## Lección 4. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

- 4.1 Inducción magnética. Ley de Biot y Savart. Líneas de inducción. Flujo magnético.
- 4.2 Circulación del campo magnético. Teorema de Ampère.
- 4.3 Fuerza y trabajo electromagnético.
- 4.4 Fuerza ejercida entre conductores paralelos. El Amperio.
- 4.5 Fuerza electromotriz inducida. Ley de Faraday. Ley de Lenz.
- 4.6 Corrientes de Foucault.

## Lección 5. INDUCCIÓN MUTUA Y AUTOINDUCCIÓN.

- 5.1 Inducción mutua y coeficiente de inducción mutua.
- 5.2 Autoinducción y coeficiente de autoinducción.
- 5.3 Energía asociada a una autoinducción.
- 5.4 Bobinas acopladas magnéticamente.
- 5.5 Energía en bobinas acopladas magnéticamente.

## Lección 6. TEORÍA DEL CIRCUITO MAGNÉTICO.

- 6.1 Clasificación de las distintas sustancias según su comportamiento magnético.
- 6.2 Inducción y campo en un medio ferromagnético. Imantación.
- 6.3 Permeabilidad y susceptibilidad magnéticas.
- 6.4 Histéresis magnética.
- 6.5 Concepto de circuito magnético. Ley de Hopkinson.
- 6.6 Diferencias y analogías entre circuitos eléctricos y magnéticos.

## Lección 7. REGÍMENES TRANSITORIOS EN CORRIENTE CONTINUA.

- 7.1 Regímenes transitorios en un circuito R-C. Carga y descarga.
- 7.2 Regímenes transitorios en un circuito R-L. Cierre y apertura.
- 7.3 Regímenes transitorios en un circuito R-L-C. Tipos de amortiguamiento.

Selección de textos para la preparación del programa teórico

BENITO E. Problemas de Campos Electromagnéticos, 1984.

DAWES C.L. Tratado de Electricidad, 1989.  
DE FRANCISCO A., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo. Teoría de Circuitos, 1993.  
DE FRANCISCO A., HIDALGO M., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Problemas de Electrotecnia, 1995.  
DE LA PLAZA S. Electrotecnia y Electrificación Rural, 2001.  
FOUILLÉ A. Problemas Resueltos de Electrotecnia, 1967.  
FOUILLÉ A. Electrotecnia para Ingenieros. Tomo I: Electricidad Fundamental, 1977.  
FRAILE J. Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 1990.  
FRAILE J. Ejercicios de Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 1996.  
HAMMOND P. Electromagnetismo Aplicado, 1976.  
HAYT W.H., KEMMERLY J.E. Análisis de Circuitos en Ingeniería, 1990.  
KIP A.F. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo, 1988.  
MOELLER F., WERR T. Electrotecnia General y Aplicada. Tomo I: Fundamentos de Electrotecnia, 1967.  
RUIZ-AYUCAR J. Fundamentos de Electrotecnia y Electrificación Rural, 1999  
SANCHO J.A. Problemas de Electricidad y Magnetismo, 1989.  
SEARS F.W. Fundamentos de Física. Tomo II: Electricidad y Magnetismo, 1974.

## BLOQUE TEMÁTICO II. CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

El bloque temático II está dedicado fundamentalmente a los sistemas monofásicos de excitación variable, comprendiendo desde la lección 8 hasta la lección 11. Comprenden el estudio ordenado de este tipo de sistemas, tanto en lo referente al análisis de las respuestas en tensiones o intensidades correspondientes a las excitaciones aplicadas, como a la determinación de la potencia y energía puestas en juego. Asimismo se analizan los métodos de cálculo de los circuitos constituidos por el acoplamiento de impedancias en serie, paralelo y mixto. En este bloque se incluye la lección 11 en la que se estudian los fundamentos y el funcionamiento de los aparatos para la medida de magnitudes eléctricas.

### Lección 8. CORRIENTES ALTERNAS I. GENERALIDADES.

- 8.1 Fuerza electromotriz inducida en un cuadro en rotación.
- 8.2 Valores asociados a las ondas senoidales.
- 8.3 Circuito R-L-C en corriente alterna. Régimen permanente.
- 8.4 Reactancia e impedancia.
- 8.5 Representación cartesiana, vectorial, compleja y fasorial de las funciones senoidales.
- 8.6 Expresión simbólica de la ley de Ohm.

### Lección 9. CORRIENTES ALTERNAS II. CIRCUITOS SIMPLES.

- 9.1 Leyes de Kirchhoff en regímenes senoidales.
- 9.2 Circuitos serie. Método de cálculo. Resonancia de tensiones.
- 9.3 Conductancia, susceptancia y admitancia.
- 9.4 Circuitos paralelos. Método de cálculo. Resonancia de corrientes.
- 9.5 Circuitos mixtos. Método de cálculo.

### Lección 10. CORRIENTES ALTERNAS III. POTENCIA.

- 10.1 Potencia instantánea, media y fluctuante. Factor de potencia.
- 10.2 Potencia activa, reactiva y aparente. Potencia compleja.
- 10.3 Potencia y energía en una resistencia, una inductancia y una capacidad.
- 10.4 Corrección del factor de potencia.
- 10.5 Teorema de Boucherot.

### Lección 11. APARATOS DE MEDIDA.

- 11.1 Clasificación de los aparatos de medida.
- 11.2 Aparatos magnetoeléctricos.
- 11.3 Aparatos ferromagnéticos.
- 11.4 Aparatos electrodinámicos. Amperímetro, voltímetro, vatímetro, vámetro y fasímetro.

Selección de textos para la preparación del programa teórico

DE FRANCISCO A., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo. Teoría de Circuitos, 1993.  
DE FRANCISCO A., HIDALGO M., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Problemas de Electrotecnia, 1995.  
DE LA PLAZA S. Electrotecnia y Electrificación Rural, 2001.  
EDMINISTER J.A., NAHVI M. Circuitos Eléctricos, 1997.

ELGERD O.I. Basic Electric Power Engineering, 1982.  
FITZGERALD A.E., HIGGINBOTHAM D.E., GRAVEL A. Fundamentos de Ingeniería Eléctrica, 1988.  
FOUILLÉ A. Problemas Resueltos de Electrotecnia, 1967.  
FOUILLÉ A. Electrotecnia para Ingenieros. Tomo I: Electricidad Fundamental, 1977.  
FRAILE J. Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 1990.  
FRAILE J. Ejercicios de Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 1996.  
GARCÍA E., ADRADOS C., GUTIÉRREZ J.L. Problemas de Electrotecnia. Tomo I. 1994.  
GREGORY B.A. Instrumentación Eléctrica y Sistemas de Medida, 1984.  
GUTIÉRREZ J.L., GARCÍA E., ADRADOS C. Electrotecnia y Electrificación Rural, 1991.  
KAREZ A.H. Fundamentos de Metrología Eléctrica, 1976.  
MOELLER F., WERR T. Electrotecnia General y Aplicada. Tomo I: Fundamentos de Electrotecnia, 1967.  
MORRIS N.M., SENIOR F.W. Circuitos Eléctricos, 1994.  
RAS E. Teoría de Circuitos, 1988.  
RUIZ-AYUCAR J. Problemas de Corriente Continua y Alterna Monofásica, 1999  
SANCHO J.A. Problemas de Circuitos Monofásicos, 1990.  
STEVENSON W.D. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, 1988.

### BLOQUE TEMÁTICO III. CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

El bloque temático III analiza en sus dos lecciones los circuitos eléctricos de corriente alterna trifásica, desarrollando las propiedades que han hecho de estos sistemas la forma de utilización primordial de la energía eléctrica. Se estudia la resolución de circuitos trifásicos, especialmente el caso de sistemas equilibrados, así como el concepto y la medida de la potencia intercambiada entre generadores y receptores. También se da una noción de la resolución de sistemas trifásicos con cargas desequilibradas por el método de las componentes simétricas, habida cuenta de su frecuente utilización en la resolución de problemas desequilibrados y en particular de los planteados por los cortocircuitos asimétricos.

#### Lección 12. SISTEMAS TRIFÁSICOS I. GENERALIDADES.

- 12.1 Sistemas polifásicos de corrientes y tensiones. Leyes de Kirchhoff.
- 12.2 Sistemas generadores trifásicos. Conexión en estrella y triángulo.
- 12.3 Sistemas receptores trifásicos. Conexión en estrella y triángulo.
- 12.4 Sistemas trifásicos generador-receptor. El hilo neutro.
- 12.5 Sistemas trifásicos equilibrados y desequilibrados.
- 12.6 Equivalencia entre receptores trifásicos en estrella y en triángulo.
- 12.7 Componentes simétricas. Teorema de Fortescue-Stokvis.
- 12.8 Matriz de transformación en componentes simétricas.

#### Lección 13. SISTEMAS TRIFÁSICOS II. POTENCIA.

- 13.1 Potencia de los sistemas trifásicos.
- 13.2 Potencia de los sistemas trifásicos equilibrados.
- 13.3 Medida de potencia activa en circuitos equilibrados y no equilibrados, a tres o cuatro hilos.
- 13.4 Método de los dos vatímetros.
- 13.5 Medida de potencia reactiva en sistemas trifásicos.
- 13.6 Corrección del factor de potencia en sistemas trifásicos equilibrados.

Selección de textos para la preparación del programa teórico

DE FRANCISCO A., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo. Teoría de Circuitos, 1993.  
DE FRANCISCO A., HIDALGO M., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Problemas de Electrotecnia, 1995.  
DE LA PLAZA S. Electrotecnia y Electrificación Rural, 2001.  
EDMINISTER J.A., NAHVI M. Circuitos Eléctricos, 1997.  
ELGERD O.I. Basic Electric Power Engineering, 1982.  
FITZGERALD A.E., HIGGINBOTHAM D.E., GRAVEL A. Fundamentos de Ingeniería Eléctrica, 1988.  
FOUILLÉ A. Problemas Resueltos de Electrotecnia, 1967.  
FOUILLÉ A. Electrotecnia para Ingenieros. Tomo I: Electricidad Fundamental, 1977.  
FRAILE J. Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 1990.  
FRAILE J. Ejercicios de Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 1996.  
GARCÍA E., ADRADOS C., GUTIÉRREZ J.L. Problemas de Electrotecnia. Tomo I. 1994.  
GONZÁLEZ B., TOLEDANO J.C. Sistemas Polifásicos, 1994.

GUTIÉRREZ J.L., GARCÍA E., ADRADOS C. Electrotecnia y Electrificación Rural, 1991.  
MOELLER F., WERR T. Electrotecnia General y Aplicada. Tomo I: Fundamentos de Electrotecnia, 1967.  
MORRIS N.M., SENIOR F.W. Circuitos Eléctricos, 1994.  
RAS E. Teoría de Circuitos, 1988.  
RUIZ-AYUCAR J. Problemas de Circuitos Trifásicos, Cálculo de Líneas y Redes de Distribuciones Eléctricas, 1997  
SANCHO J.A. Problemas de Circuitos Trifásicos, 1987.  
SANCHO J.A., BENAVENTE R.M. Resolución de Circuitos Trifásicos Equilibrados y Desequilibrados, 2001.  
STEVENSON W.D. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, 1988.

## BLOQUE TEMÁTICO IV. TARIFACIÓN ELÉCTRICA

La contratación y facturación de la energía eléctrica se estudian en la lección del bloque temático IV, en donde se analizan las distintas tarifas vigentes, con una interpretación ingenieril de los costes que comporta el suministro de la energía eléctrica y de las posibilidades que se ofrecen en la actualidad para mejorar y optimizar la eficiencia de su consumo. Hay que hacer constar que este bloque temático se ha intercalado entre los correspondientes al estudio de la corriente alterna trifásica y la distribución de la energía eléctrica. Con ello se han buscado dos objetivos:

Conceder a los alumnos un período de relajación mental, dado el marcado carácter conceptual de las lecciones que constituyen la materia sobre circuitos trifásicos y la naturaleza informativa de la que conforma el análisis de la tarifación eléctrica.

Posibilitar a los estudiantes, con el tiempo necesario suficiente, de los conocimientos teóricos imprescindibles para redactar el trabajo práctico de curso planificado en la asignatura de Electrotecnia, el cual consistirá en un estudio sobre la optimización de la tarifación eléctrica de una explotación agroforestal. Hay que reseñar que en la lección de este bloque temático se dotará a los alumnos de los fundamentos teóricos imprescindibles para la realización del trabajo práctico de curso, el cual será convenientemente explicado durante las dos horas de clase de prácticas de laboratorio reservada para tal explicación. En esta sesión de explicación del trabajo se hará incidencia en los equipos de medida existentes para facturación eléctrica (contadores de energía activa y reactiva, maxímetros, transformadores de medida y relojes conmutadores) y sus posibilidades de conexión.

### Lección 14. TARIFACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

- 14.1 Estructura general tarifaria. Términos de facturación.
- 14.2 Tipos de contratos y de tarifas eléctricas.
- 14.3 Determinación de la potencia a facturar.
- 14.4 Complementos tarifarios. Complemento por discriminación horaria. Complemento por energía reactiva.
- 14.5 Derechos de acometida, enganche y verificación.

Selección de textos para la preparación del programa teórico

CALVO R., MALEZÚN P. Manual para la Interpretación y Aplicación de las Tarifas Eléctricas en el Sector Agrario, 1988.  
CAMACHO J. Tarifas Eléctricas y Equipos de Medida, 1978.  
DE FRANCISCO A., CASTILLO M., TORRES J.L. La Energía Eléctrica en la Explotación Agraria y Forestal, 1993.  
DE LA PLAZA S. y otros. Seminario sobre Proyectos Eléctricos de Media y Baja Tensión en Instalaciones Rurales, 1989.  
DE LA PLAZA S. y otros. Curso de Aplicaciones de la Electricidad en Agricultura. Proyectos Eléctricos en la Industria Agroalimentaria, 1991.  
FRAILE J. Introducción a las Instalaciones Eléctricas, 1996.  
GREGORY B.A. Instrumentación Eléctrica y Sistemas de Medida, 1984.  
GUTIÉRREZ J.L., GARCÍA E., ADRADOS C. Electrotecnia y Electrificación Rural, 1991.  
KAREZ A.H. Fundamentos de Metrología Eléctrica, 1976.  
NAVAS L.M., SANCHO J.A., HERNÁNDEZ E., GARCÍA J.L., LUNA L. Tarifación Eléctrica en Alta y Baja Tensión: Análisis y Aplicaciones, 2001.  
SANCHO J.A. Tarifas Eléctricas, 1996.

## BLOQUE TEMÁTICO V. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Una vez estudiados los aspectos fundamentales de la corriente alterna monofásica y trifásica, se pasa al cálculo eléctrico de las líneas de transporte y de las distribuciones con ambos tipos de corriente, ofreciendo asimismo la información necesaria sobre las exigencias reglamentarias con vistas a la ejecución de las correspondientes instalaciones. El cálculo de la sección de líneas y distribuciones es parte de cualquier proyecto eléctrico, por lo que el objetivo de este bloque temático es, por una parte, que el alumno asimile correctamente los conceptos de los criterios empleados (especialmente los más habituales, el calentamiento del conductor o intensidad máxima admisible, y la diferencia de tensiones), y, por otra parte, se maneje con soltura en el cálculo de las secciones de redes de distribución complejas. Mencionar que la determinación de secciones por intensidad de cortocircuito tendrá que ser introducida en este bloque temático cuando, como es de esperar según las informaciones disponibles, la revisión del

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establezca como preceptiva la comprobación de secciones por este criterio.

La lección 15, correspondiente al cálculo eléctrico de líneas, comienza con la definición general de sus características longitudinales y transversales, profundizando sólo en la determinación de la inductancia o coeficiente de autoinducción de las mismas. La explicación de determinados fenómenos, asociados fundamentalmente a las líneas de AT, como son el efecto pelicular, la reactancia capacitiva en líneas trifásicas y el efecto corona en líneas de cable desnudo (tensión crítica y pérdidas de potencia), no es considerado en este programa por salirse fuera del ámbito de las aplicaciones eléctricas en el medio agroforestal.

Por su parte, en la lección 16 se desarrollan los métodos más empleados para el cálculo de redes de distribución. Algunos métodos complementarios, como son los correspondientes a distribuciones telescópicas, inductivas e imperfectamente cerradas, no serán considerados por su escasa incidencia en las distribuciones propias del medio agroforestal.

En definitiva, las dos lecciones de este bloque temático incluyen la explicación de las características de resistencia y autoinducción de una línea, las demostraciones de las expresiones de diferencia de tensiones y caída de tensión, y el cálculo de la sección en distribuciones abiertas y cerradas.

## Lección 15. CÁLCULO ELÉCTRICO DE LÍNEAS.

15.1 Características longitudinales. Resistencia e inductancia.

15.2 Características transversales. Perditancia y capacidad.

15.3 Coeficiente de autoinducción en líneas eléctricas.

15.4 Caída de tensión, diferencia de tensiones y pérdida de potencia en líneas de corriente continua, alterna monofásica y alterna trifásica.

15.5 Cálculo de secciones de los conductores atendiendo al criterio de calentamiento.

15.6 Cálculo de secciones de los conductores de una línea atendiendo al criterio de caída de tensión y pérdida de potencia.

## Lección 16. CÁLCULO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.

16.1 Distribución en serie o a intensidad constante.

16.2 Distribución en derivación o a tensión constante.

16.3 Cálculo de la sección de un distribuidor abierto de corriente continua, alterna monofásica y trifásica.

16.4 Punto de mínima tensión en un distribuidor cerrado de corriente continua, alterna monofásica y alterna trifásica.

16.5 Distribuidores ramificados. Métodos de la distancia virtual y del volumen mínimo.

Selección de textos para la preparación del programa teórico

DE FRANCISCO A., HIDALGO M., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Problemas de Electrotecnia, 1995.

DE LA PLAZA S. Electrotecnia y Electrificación Rural, 2001.

ENRÍQUEZ G. Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica, 1984.

FRAILE J. Ejercicios de Máquinas Eléctricas, 1996.

FRAILE J. Introducción a las Instalaciones Eléctricas, 1996.

GARCÍA E., ADRADOS C., GUTIÉRREZ J.L. Problemas de Electrotecnia. Tomo I. 1994.

GUTIÉRREZ J.L., GARCÍA E., ADRADOS C. Electrotecnia y Electrificación Rural, 1991.

RAMÍREZ J. Instalaciones de Baja Tensión. Cálculo de Líneas Eléctricas, 1990.

RAS E. Teoría de Líneas Eléctricas, 1973.

RUIZ-AYUCAR J. Problemas de Circuitos Trifásicos, Cálculo de Líneas y Redes de Distribuciones Eléctricas, 1997

SANCHO J.A. Problemas de Distribuciones Eléctricas, 1990.

SANCHO J.A. Problemas de Líneas Eléctricas, 1991.

SKILLING H.H. Redes Eléctricas, 1982.

STEVENSON W.D. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, 1988.

ZOPETTI G. Redes Eléctricas, 1968.

## BLOQUE TEMÁTICO VI. TRANSFORMADORES

El bloque temático VI abarca desde la lección 17 a la lección 19, abordando el estudio de los fundamentos teóricos que rigen el comportamiento de los transformadores monofásicos y trifásicos, con el objetivo final de que el alumno sea capaz de elegir el transformador más adecuado para cada situación. Este bloque temático antecede al correspondiente al estudio de las máquinas dinámicas, ya que los principios de funcionamiento de los transformadores son aplicables a los motores y alternadores.

## Lección 17. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS I. GENERALIDADES.

17.1 Ecuaciones de funcionamiento. Resistencia y reactancia de las bobinas. Pérdidas en el núcleo de hierro.

- Reluctancia del núcleo de hierro.
- 17.2 Transformador real. Diagrama vectorial completo.
- 17.3 Circuito eléctrico equivalente de un transformador.
- 17.4 Diagrama de Kapp.

#### Lección 18. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS II. CARACTERIZACIÓN.

- 18.1 Resistencia, reactancia e impedancia por unidad.
- 18.2 Regulación del voltaje.
- 18.3 Pérdidas de potencia y rendimiento.
- 18.4 Ensayos de un transformador monofásico. Ensayo en vacío. Ensayo en cortocircuito.
- 18.5 Acoplamiento en paralelo de transformadores monofásicos

#### Lección 19. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

- 19.1 Teoría del transformador trifásico en régimen equilibrado.
- 19.2 Conexiones trifásicas. Grupos de conexión. Índice horario.
- 19.3 Ensayos de un transformador trifásico. Ensayo en vacío. Ensayo en cortocircuito.
- 19.4 Acoplamiento en paralelo de transformadores trifásicos

Selección de textos para la preparación del programa teórico

- CHAPMAN S.J. Máquinas Eléctricas, 1990.
- CORRALES J. Cálculo Industrial de Máquinas Eléctricas, 1975.
- CORRALES J. Cálculo Óptimo del Transformador, 1978.
- DAGÁ P., OÑOS E., RAMÍREZ J., RUIZ F. Transformadores y Convertidores, 1990.
- DE FRANCISCO A. Transformadores y Motores Eléctricos, 1993.
- DE FRANCISCO A., HIDALGO M., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Problemas de Electrotecnia, 1995.
- DE LA PLAZA S. Electrotecnia y Electrificación Rural, 2001.
- ELGERD O.I. Basic Electric Power Engineering, 1982.
- FOUILLÉ A. Electrotecnia para Ingenieros. Tomo II: Máquinas Eléctricas, 1977.
- FRAILE J. Máquinas Eléctricas, 1993.
- FRAILE J. Ejercicios de Máquinas Eléctricas, 1996.
- GUTIÉRREZ J.L., GARCÍA E., ADRADOS C. Electrotecnia y Electrificación Rural, 1991.
- KOSOW I.L. Máquinas Eléctricas y Transformadores, 1982.
- RAS E. Transformadores, 1988.
- SANCHO J.A., BENAVENTE R.M. Problemas de Transformadores, 2000.
- SANJURJO R. Máquinas Eléctricas, 1989.

### BLOQUE TEMÁTICO VII. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS PARA CORRIENTE ALTERNA

Las máquinas eléctricas rotativas para corriente alterna tienen su tratamiento en las lecciones del bloque temático VII, en las que, además de la exposición de los conceptos básicos de funcionamiento, se analizan los distintos tipos de máquinas, fundamentalmente desde el punto de vista del usuario y sin entrar en aspectos de diseño o construcción, los cuales tienen menos interés para la actividad profesional del Ingeniero Agroforestal. Como se puede observar, a este bloque temático se dedica una parte sustancial del programa de la asignatura, consiguiendo con ello una amplitud y profundidad en el conocimiento de estos dispositivos que es suficiente para comprender su funcionamiento y posibilidades de aplicación. Mencionar que dentro de la asignatura de Electrotecnia no se analizan las máquinas de corriente continua, dada su menor aplicación en las instalaciones agroforestales.

La lección 20 trata de los principios teóricos en los que se fundamenta el comportamiento de todas las máquinas eléctricas rotativas. Por su parte, las lecciones 21 y 22 se dedican a la máquina síncrona, haciendo especial mención a su aplicación como generador. Se estudian las características del alternador monofásico y trifásico, su comportamiento y las condiciones para el acoplamiento en paralelo a una red eléctrica, las cuales son de gran importancia en los sistemas autogeneradores con venta de energía a las compañías distribuidoras. Las lecciones 23 y 24 analizan la máquina de inducción, el más común y utilizado de los convertidores electromecánicos de energía. En ellas se describen los diferentes tipos de motores asíncronos trifásicos, sus principios de funcionamiento, la potencia desarrollada, el arranque y regulación de su velocidad. Incluyen también el motor monofásico de inducción y sus aplicaciones.

#### Lección 20. FUNDAMENTOS DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS.

- 20.1 Convertidores electromecánicos de energía.
- 20.2 Máquina rotativa elemental. Fuerza electromotriz inducida. Par. Balance de energía.
- 20.3 Clasificación y detalles diferenciales de las máquinas eléctricas rotativas.
- 20.4 Circuitos magnético y eléctrico.

- 20.5 Par electromagnético en los sistemas de excitación simple.
- 20.6 Fuerza electromotriz inducida y par en los sistemas de excitación múltiple.

## Lección 21. MÁQUINAS SÍNCRONAS. ALTERNADORES.

- 21.1 Constitución y clasificación de las máquinas síncronas.
- 21.2 Sistema inductor y su excitación.
- 21.3 Devanados del inducido en alternadores monofásicos y trifásicos.
- 21.4 Fuerza electromotriz inducida en un alternador.
- 21.5 Campo giratorio en el inducido de un alternador trifásico. Teorema de Ferraris.
- 21.6 Campo giratorio en el inducido de un alternador trifásico. Teorema de Maurice-Leblanc.
- 21.7 Reacción del inducido.
- 21.8 Diagrama de Behn-Eschenburg. Ensayo en vacío. Ensayo en cortocircuito. Impedancia síncrona.

## Lección 22. ACOPLAMIENTO DE ALTERNADORES EN PARALELO.

- 22.1 Condiciones del acoplamiento.
- 22.2 Maniobra de acoplamiento. Sincronización.
- 22.3 Estabilidad estática del funcionamiento en paralelo.
- 22.4 Par sincronizante.
- 22.5 Reparto de las potencias activa y reactiva entre alternadores acoplados en paralelo sobre una red de potencia infinita.

## Lección 23. MOTORES ASÍNCRONOS I. GENERALIDADES.

- 23.1 Constitución. Sistemas electromagnético y mecánico.
- 23.2 Principio de funcionamiento de un motor asíncrono.
- 23.3 Funcionamiento a rotor abierto, rotor bloqueado y rotor en movimiento.
- 23.4 Circuito eléctrico equivalente. Diagrama vectorial.
- 23.5 Balance de potencias de un motor asíncrono.
- 23.6 Relación entre la potencia mecánica total, el par y el deslizamiento.

## Lección 24. MOTORES ASÍNCRONOS II. CARACTERIZACIÓN.

- 24.1 Diagrama del círculo. Representación de la potencia y el par.
- 24.2 Determinación del deslizamiento, rendimiento y factor de potencia mediante el diagrama del círculo.
- 24.3 Trazado experimental del diagrama del círculo de un motor asíncrono. Ensayo en vacío. Ensayo en cortocircuito.
- Expresión del par en vatios síncronos
- 24.4 Características de funcionamiento industrial.
- 24.5 Variaciones del par motor. Par máximo. Par de arranque.
- 24.6 Arranque de motores con rotor en cortocircuito.
- 24.7 Arranque de motores con rotor bobinado.

## Selección de textos para la preparación del programa teórico

- CHAPMAN S.J. Máquinas Eléctricas, 1990.
- CORRALES J. Cálculo Industrial de Máquinas Eléctricas, 1975.
- CORTES M. Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas, 1990.
- DE FRANCISCO A., TORRES J.L. Máquinas Eléctricas Asíncronas, 1987.
- DE FRANCISCO A. Transformadores y Motores Eléctricos, 1993.
- DE FRANCISCO A., HIDALGO M., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.J., ILLANES R. Problemas de Electrotecnia, 1995.
- DE LA PLAZA S. Electrotecnia y Electrificación Rural, 2001.
- FOUILLÉ A. Electrotecnia para Ingenieros. Tomo II: Máquinas Eléctricas, 1977.
- FRAILE J. Máquinas Eléctricas, 1993.
- FRAILE J. Ejercicios de Máquinas Eléctricas, 1996.
- GUTIÉRREZ J.L., GARCÍA E., ADRADOS C. Electrotecnia y Electrificación Rural, 1991.
- KOSOW I.L. Máquinas Eléctricas y Transformadores, 1982.
- MOELLER F., WERR T. Electrotecnia General y Aplicada. Tomo II: Máquinas de Corriente Continua y de Corriente Alterna, 1969.
- ORTEGA J.M., RAMÍREZ J. Máquinas de Corriente Alterna, 1987.
- SANJURJO R. Máquinas Eléctricas, 1989.

### PRÁCTICA 1. Montajes simples de puntos de luz.

Instalación para el encendido de lámparas de incandescencia desde dos y tres puntos.

Generalización para el encendido desde múltiples puntos.

Encendido automático de lámparas de incandescencia mediante célula fotoeléctrica e interruptor horario.

### PRÁCTICA 2. Alumbrado de escalera y de galería.

Instalación de un alumbrado de escalera con lámparas de incandescencia.

Instalación de un alumbrado de galería con lámparas de incandescencia.

### PRÁCTICA 3. Instalación de lámparas de descarga en gases.

Estudio del funcionamiento de las lámparas de descarga en gases.

Instalación completa de una lámpara fluorescente.

Instalación completa de una lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

### PRÁCTICA 4. Instalación de alumbrado exterior.

Instalación de alumbrado alimentada con una distribución trifásica.

Encendido automático de lámparas mediante interruptor crepuscular e interruptor horario.

### PRÁCTICA 5. El contactor.

Conexionado de un contactor. Accionamiento mediante pulsadores de marcha y parada.

Circuitos de potencia y mando.

Enclavamiento simple y mutuo de contactores.

### PRÁCTICA 6. Arranque directo de un motor trifásico.

Descripción y funcionamiento del relé térmico como aparato de protección.

Conexión estrella y conexión triángulo de un motor trifásico a una línea trifásica.

Circuitos de potencia y mando para el arranque directo de motor trifásico a través de guardamotor.

### PRÁCTICA 7. Arranque estrella-triángulo de un motor trifásico.

Descripción y funcionamiento del relé temporizador.

Circuitos de potencia y mando para el arranque estrella-triángulo de un motor trifásico a través de guardamotor.

Comportamiento de un motor conectado en estrella y en triángulo.

### PRÁCTICA 8. Inversor de giro de un motor trifásico.

Circuitos de potencia y mando para el arranque directo de un motor trifásico con inversión de giro.

Maniobra con cajas de pulsadores de la instalación enclavada.

Señalización del sentido de giro actual.

### PRÁCTICA 9. Marcha programada I.

Marcha secuencial de tres motores trifásicos regulada con relés temporizadores.

Funcionamiento cíclico y no cíclico del conjunto.

### PRÁCTICA 10. Marcha programada II.

Arranque estrella-triángulo del grupo motobomba trifásico de una instalación de riego.

Marcha secuencial de cuatro electroválvulas monofásicas, mediante relés temporizadores.

### PRÁCTICA 11. Marcha combinada I.

Marcha en cascada inversa de tres motores que mueven las máquinas de una instalación.

Accionamiento de los motores con guardamotors.

Influencia del disparo de las protecciones térmicas en el funcionamiento de la instalación.

### PRÁCTICA 12. Marcha combinada II.

Marcha en cascada inversa de los tres motores trifásicos que mueven las máquinas de una línea de producción en una industria agroforestal.

Secuencia de arranque temporizado de los motores.

### PRÁCTICA 13. Maniobra de las ventanas de un vivero.

Control más/menos con zona neutra de un motor trifásico con inversión de giro, en función de la temperatura.

Utilización de interruptores finales de carrera de apertura y cierre de las ventanas.

### PRÁCTICA 14. Maniobra del sistema de calefacción de una granja ganadera.

Control escalonado con solapamiento de conmutación del sistema de calefacción de una granja ganadera, en función de la temperatura.

Temporizaciones en el arranque de los circuitos de calefacción, para evitar maniobras continuadas.

PRÁCTICA 15. Maniobra de una puerta corrediza en una industria agroforestal.

Apertura de la puerta mediante sensores volumétricos de presencia. Cierre temporizado tras apertura y sin detección de presencia.

Protección de las personas mediante células fotoeléctricas y detectores de presión.

## Evaluación

### I. OBJETIVOS DOCENTES

La asignatura ha sido diseñada y programada para alcanzar los objetivos docentes que permiten a los alumnos adquirir la formación necesaria para:

1. El conocimiento de los fundamentos electromagnéticos que sirvan de base para las aplicaciones de la Electrotecnia en el sector agroforestal.
2. El análisis del comportamiento de los circuitos eléctricos con excitación constante y variable.
3. La caracterización y utilización de los aparatos de medida que permiten cuantificar las magnitudes eléctricas en una instalación en Baja Tensión.
4. La correcta aplicación de los métodos de cálculo necesarios para proyectar líneas de Baja Tensión dedicadas a la distribución de energía eléctrica.
5. El desarrollo de algunas aplicaciones específicas de la Electrotecnia en el sector agroforestal.

### II. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION Y CONTROL

1. IDENTIFICACIÓN PERSONAL. Los alumnos que deseen realizar tests, prácticas de laboratorio y trabajos de curso (ver Apartado 5 "Desarrollo del Curso") deberán comunicarlo al Profesor de la asignatura con la entrega de una ficha personal, con el fin de poder organizar los grupos de prácticas de laboratorio.

2. TEORIA. Se desarrollará según el Programa Oficial de la Asignatura.

La base documental se basará en la información aportada durante las clases y la bibliografía recomendada por el Profesor de la asignatura.

3. PRACTICAS. Las enseñanzas prácticas constarán de Prácticas de Laboratorio y Problemas.

#### 3.1. Prácticas de Laboratorio.

Se realizarán de acuerdo con la información que se facilitará a los alumnos.

La programación de las clases prácticas será anunciada con antelación suficiente por el Profesor de la asignatura.

#### 3.2. Problemas.

Consistirá en la resolución de problemas y ejercicios numéricos en el aula.

4. TRABAJOS DE CURSO. Cada alumno realizará uno o varios trabajos de aplicación sobre los temas que previamente se señalen. Para ello dispondrá de la información necesaria.

### 5. DESARROLLO DEL CURSO

5.1. Tests. A lo largo del curso se realizarán varios tests sobre partes concretas de la asignatura, una vez se haya completado la correspondiente explicación teórica en clase. Se obtendrá una calificación media del conjunto de los tests realizados, la cual influirá positivamente en un coeficiente lineal de mayorización  $k_1$ , comprendido entre 1 y 1.10.

---

que se aplicará a la nota del examen de la asignatura.

5.2. Prácticas de Laboratorio. Cada práctica realizada por los alumnos será valorada, obteniéndose una calificación global como media del conjunto de prácticas de laboratorio realizadas durante el curso. El alumno que tenga una calificación global de prácticas de laboratorio igual o superior a 5 obtendrá un coeficiente lineal de mayorización k2, comprendido entre 1 y 1.10, que se aplicará a la nota del examen de la asignatura.

5.3. Trabajos de Curso. Los trabajos de curso deberán entregarse antes de la fecha tope que se establezca y que será anunciada con antelación suficiente. Los trabajos de curso serán calificados obteniéndose una nota global de los mismos. El alumno que tenga una calificación global de trabajos de curso igual o superior a 5 obtendrá un coeficiente lineal de mayorización k3, comprendido entre 1 y 1.10, que se aplicará a la nota del examen de la asignatura.

Las notas obtenidas en los tests sólo tendrán validez durante el curso académico en que fueron obtenidas. Las notas obtenidas en las prácticas de laboratorio y trabajos de curso se mantendrán durante cursos sucesivos siempre que no se pierda la continuidad de la matrícula del alumno en la asignatura.

## 6. EXAMEN DE LA ASIGNATURA

El examen de la asignatura se celebrará en la fecha que establezca la Jefatura de Estudios y constará de tres ejercicios en los que se incluirán:

1. Contenidos teóricos impartidos durante el curso.
2. Aspectos de aplicación práctica de la asignatura, basados en los problemas, prácticas y trabajos realizados durante el curso.

La nota final será la media del conjunto de ejercicios del examen de la asignatura, afectada por los coeficientes de mayorización correspondientes a los tests, prácticas de laboratorio y trabajos de curso.

El examen se considerará suspendido si en algún ejercicio el alumno obtiene una nota inferior a 3.

---

## Bibliografía

Ya incluida en la sección PROGRAMA TEÓRICO

---