



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

## Programa de la asignatura Máquinas eléctricas I

Docente responsable

Prof. Carlos Edmundo Murillo Sánchez

[cmurillo@unal.edu.co](mailto:cmurillo@unal.edu.co)

Las máquinas eléctricas constituyen uno de los principales objetos de aplicación de la ingeniería eléctrica por su ubicuidad y por la gran dependencia que la sociedad tiene en ellas. Las aplicaciones de conversión de tensión a lo largo de toda la infraestructura eléctrica y la conversión en energía mecánica se basan en principios de electromagnetismo aplicados a materiales ferromagnéticos y a la capacidad de los mismos de almacenar cantidades importantes de energía magnética. La sucesión natural epistemológica en la construcción de la teoría de las máquinas eléctricas pasa por el estudio de los campos magnéticos cuasi-estáticos en materiales ferromagnéticos, la conversión de energía en circuitos magnéticos, la producción de fuerza en los mismos, los campos variantes de tipo transformador (sin movimiento mecánico) y su empleo en los transformadores de potencia, la conversión de energía en máquinas rotativas, inicialmente de inducción, y después las síncronas y las de corriente directa, así como otras de naturaleza especial como las de reluctancia. Este curso pretende abarcar la primera parte de este tren de construcción temática, mientras que un segundo curso explora las otras máquinas rotativas.

El curso requiere adicionalmente la aplicación de conocimientos de montaje de circuitos eléctricos en la realización de los laboratorios y la simulación digital básica de estos.

### Objetivo general

- Aplicar los principios que rigen la conversión de energía electromagnética al análisis y diseño de instalaciones de dispositivos de transformación AC y de las máquinas eléctricas.

### Objetivos específicos

- Analizar el almacenamiento energético en un circuito magnético excitado por una o más fuentes.
- Analizar las fuerzas mecánicas en sistemas magnéticos.
- Analizar la configuración y flujos magnéticos en circuitos magnéticos bajo operación cíclica, caracterizando las cantidades eléctricas y magnéticas involucradas, su interacción energética y las posibles pérdidas.

- Caracterizar las relaciones que definen la interacción electromagnética en transformadores de corriente alterna, tanto desde los campos involucrados como desde un punto de vista circuital a baja frecuencia.
- Obtener parámetros circuitales aproximados de transformadores de corriente alterna mediante pruebas experimentales.
- Analizar, usando el sistema por unidad si es del caso, el desempeño (regulación, pérdidas, distorsión) de transformadores y autotransformadores de potencia en aplicaciones de distribución.
- Analizar y diseñar la operación en paralelo de transformadores de potencia.
- Analizar y diseñar las interconexiones trifásicas de transformadores de potencia.
- Modelar el comportamiento dinámico de transformadores usando inductancia y encadenamientos mutuos.
- Analizar configuraciones alternativas y especiales de conexión de transformadores.
- Conocer transformadores de uso especial diferente a la conversión de tensión en aplicaciones de potencia.
- Conocer la configuración espacial de los elementos y campos en máquinas rotativas.

### Metodología

- Clase magistral con notas de clase y ayuda de medios visuales.
- Trabajos, tareas, ejercicios y lecturas extra clase en lengua inglesa o castellana (artículos, normas, etc., sobre el funcionamiento de las máquinas eléctricas) de bibliografía recomendada.
- Prácticas de laboratorio.
- Prácticas de simulación (Matlab, ATP etc.).

### Intensidad horaria

A LA SEMANA			AL SEMESTRE		CRÉDITOS
HAP	HAI	THS= HAP +HAI	No. semanas	THP= THS x Semanas	No. de Créditos=THP/48
6	6	12	16	192	4

HAP: Horas de actividad presencial a la semana.

HAI: Horas de actividad independiente.

THS: Total de horas de actividad académica por semana.

THP: Total de horas de actividad académica por semestre.

1 Crédito equivale a 48 horas de trabajo del estudiante.

### Evaluación

La evaluación de la asignatura se hará mediante exámenes parciales escritos o trabajos acumulables, tareas por tema y prácticas de laboratorio.

## Contenido detallado

### 1. CIRCUITOS MAGNÉTICOS

- Introducción a las máquinas: definiciones, clasificación y campo de acción de las máquinas eléctricas.
- Magnetostática: fuerza en un dipolo, densidad de flujo, ley de Ampere magnética, teorema de Stokes
- Potenciales magnéticos escalar y vectorial.
- Ecuaciones de Laplace y Poisson para el potencial magnético vectorial.
- Fuerzas magnéticas sobre filamentos de corriente.
- Materiales magnéticos, magnetización, histéresis.
- Condiciones de frontera magnéticas.
- Soluciones de configuraciones planas y asimétricas usando elementos finitos y condiciones de frontera de Dirichlet, de Neumann o de Robin en software de simulación.
- Circuitos magnéticos y solución iterativa.
- Ley de Faraday y fuerza electromotriz de transformador y de movimiento.
- Energía suministrada al campo magnético y densidad de energía.
- Fuerza magnética estática en entrehierros.
- Pérdidas por histéresis, histéresis rotatoria.
- Corrientes de Foucault y pérdidas relacionadas.

### 2. TRANSFORMADORES

- Transformador ideal sin carga, corriente de excitación, corriente de magnetización, pérdidas de núcleo.
- Transformador ideal con carga, relaciones fundamentales, transformación de impedancias.
- Inductancia, acoplamiento magnético, inductancia mutua, flujo e inductancia de pérdidas.
- Circuito equivalente a baja frecuencia de un transformador de potencia.
- Diagrama fasorial de un transformador de potencia.
- Regulación de tensión; cálculos exactos y aproximados; cálculos de regulación cuando lo que se especifica es la potencia servida.
- Pruebas experimentales para determinar parámetros circuitales de un transformador de potencia. Normas experimentales.
- Circuito equivalente para simulación dinámica.
- Sistema por unidad monofásico.
- Autotransformadores.
- Calentamiento en el transformador.
- Relación entre capacidad y parámetros de construcción.
- Conexiones trifásicas.
- Transformadores en paralelo, índices horarios.
- Sistema por unidad trifásico.
- Marcas estandarizadas.
- Respuesta en frecuencia de transformadores.
- Conexiones especiales.
- Transformadores de medición
- Transformadores de pulsos

### 3. PRINCIPIOS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

- Distribución geométrica de partes y campos en máquinas rotativas
- Fuerza y par.

- Balance energético.
- Energía en sistemas magnéticos monoexcitados.
- Determinación de fuerza magnética y par en forma general a partir de energía y coenergía.
- Sistemas magnéticos múltiplemente excitados.
- Fuerza y par en sistemas de imán permanente.
- Ecuaciones dinámicas en sistemas electromecánicos con circuito magnético lineal.
- Técnicas analíticas y computacionales.
- Aspectos constructivos de máquinas eléctricas.

### **Bibliografía**

Fitzgerald, Kingsley y Umans. (2013). *Máquinas Eléctricas*. 7ª. Ed, McGraw-Hill.

Chapman S. (2000). *Máquinas Eléctricas*. 4ª. edición. Ed. McGraw Hill. 2000.<sup>1</sup>

M.A. Pai. (2003). *Power Circuits and Electromechanics*. Stipes Pub. LLC.

Ong Ch. (1998). *Dynamic Simulation of Electric Machinery Using MATLAB / SIMULINK*. Ed. Prentice Hall.

Kosow I. (1990). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Ed. Prentice Hall.

**Última revisión:** 14 de febrero del 2016