

Programa del curso EE-0702

## **Máquinas eléctricas I**

Escuela de Ingeniería Electromecánica  
Carrera de Ingeniería Electromecánica (tronco común)

## I parte: Aspectos relativos al plan de estudios

### 1. Datos generales

<b>Nombre del curso:</b>	Máquinas eléctricas I
<b>Código:</b>	EE-0702
<b>Tipo de curso:</b>	Teórico
<b>Obligatorio o electivo:</b>	Obligatorio
<b>Nº de créditos:</b>	3
<b>Nº horas de clase por semana:</b>	4
<b>Nº horas extraclase por semana:</b>	5
<b>Ubicación en el plan de estudios:</b>	Curso de 7 <sup>mo</sup> semestre en Ingeniería Electromecánica (tronco común)
<b>Requisitos:</b>	EE-0403 Análisis de circuitos II
<b>Correquisitos:</b>	Ninguno
<b>El curso es requisito de:</b>	EE-0802 Máquinas eléctricas II; EE-0703 Laboratorio de máquinas eléctricas I. <i>Énfasis en Instalaciones Electromecánicas</i> : EE-4806 Instalaciones eléctricas. <i>Énfasis en Aeronáutica</i> : EE-4806 Instalaciones eléctricas. <i>Énfasis en Sistemas Ciberfísicos</i> : EE-4806 Instalaciones eléctricas
<b>Asistencia:</b>	Libre
<b>Suficiencia:</b>	Sí
<b>Posibilidad de reconocimiento:</b>	Sí
<b>Aprobación y actualización del programa:</b>	01/01/2026 en sesión de Consejo de Escuela 01-2026

## 2. Descripción general

El curso de *Máquinas eléctricas I* aporta en el desarrollo del siguiente rasgo del plan de estudios: evaluar el comportamiento de las máquinas eléctricas y sus accionamientos bajo diversas condiciones de operación, así como analizar su diseño y aplicaciones.

Los aprendizajes que los estudiantes desarrollarán en el curso son: analizar los principios de operación de los sistemas trifásicos, circuitos magnéticos, transformadores y máquinas de inducción, comprendiendo su funcionamiento y modelado matemático; calcular el desempeño de las máquinas eléctricas y sus accionamientos bajo diferentes condiciones de carga y operación, identificando factores que afectan su eficiencia y estabilidad; aplicar métodos de análisis para la interpretación de las curvas características, circuitos equivalentes y parámetros clave en transformadores y motores de inducción; y seleccionar máquinas eléctricas para aplicaciones específicas en la industria y sistemas de generación, transmisión y distribución de energía.

Para desempeñarse adecuadamente en este curso, los estudiantes deben poner en práctica lo aprendido en los cursos de: Análisis de circuitos II, y Laboratorio de circuitos II.

Una vez aprobado este curso, los estudiantes podrán emplear algunos de los aprendizajes adquiridos en los cursos de: Máquinas eléctricas II, Laboratorio de máquinas eléctricas II, e Instalaciones eléctricas.

## 3. Objetivos

Al final del curso la persona estudiante será capaz de:

### Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de los sistemas trifásicos, circuitos magnéticos, transformadores y máquinas de inducción para la comprensión de su funcionamiento, diseño y aplicaciones en sistemas eléctricos y de accionamiento.

### Objetivos específicos

- Analizar los principios de operación de los sistemas trifásicos, circuitos magnéticos, transformadores y máquinas de inducción, comprendiendo su funcionamiento y modelado matemático.
- Calcular el desempeño de las máquinas eléctricas y sus accionamientos bajo diferentes condiciones de carga y operación, identificando factores que afectan su eficiencia y estabilidad.
- Aplicar métodos de análisis para la interpretación de las curvas características, circuitos equivalentes y parámetros clave en transformadores y motores de inducción.
- Seleccionar máquinas eléctricas para aplicaciones específicas en la industria y sistemas de generación, transmisión y distribución de energía.

## 4. Contenidos

En el curso se desarrollaran los siguientes temas:

### 1. Sistema monofásico

#### 1.1. Cargas resistivas, inductivas y capacitivas

- 1.2. Cálculo de la corriente en el neutro
- 2. Sistemas trifásicos
  - 2.1. Principio de generación
  - 2.2. Tensiones trifásicas balanceadas
  - 2.3. Tipos de circuitos trifásicos
  - 2.4. Generador trifásico en estrella
  - 2.5. Tensiones de línea y de fase
  - 2.6. Desfase entre línea y fase
  - 2.7. Secuencia de fase
  - 2.8. Corrientes de línea y fase
  - 2.9. Conexiones en cargas balanceadas y desbalanceadas
- 3. Potencia monofásica y trifásica
  - 3.1. Sistemas balanceados y desbalanceados
  - 3.2. Potencia activa, reactiva y aparente (triángulo de potencias)
  - 3.3. Medición del factor de potencia
  - 3.4. Mejoramiento de factor de potencia
- 4. Estructuras ferromagnéticas excitadas en corriente directa
  - 4.1. Propiedades de los materiales ferromagnéticos
  - 4.2. Teoría de los dominios ferromagnéticos
  - 4.3. Curvas de magnetización
  - 4.4. Lazo de histéresis, flujo residual y fuerza coercitiva
  - 4.5. El concepto del circuito magnético, fuerza magnetomotriz, reluctancia y permeancia magnética
  - 4.6. Métodos de análisis de circuitos ferromagnéticos
  - 4.7. Entrehierros en circuitos ferromagnéticos
  - 4.8. Estructuras ferromagnéticas, con varias bobinas de excitación
  - 4.9. Circuitos magnéticos, con saturación magnética
- 5. Estructuras ferromagnéticas excitadas en corriente alterna
  - 5.1. Ley de inducción electromagnética de Faraday
  - 5.2. Relaciones entre tensión aplicada, tensión inducida y flujo magnético
  - 5.3. Forma de onda de la corriente de excitación
  - 5.4. Energía almacenada en el núcleo ferromagnético
  - 5.5. Pérdida de energía en el núcleo ferromagnético

- 5.6. Modelo de la corriente de excitación no senoidal, armónicas impares
- 5.7. Cálculo de los parámetros de un reactor con núcleo ferromagnético
- 6. Transformadores monofásicos
  - 6.1. Tipos de transformadores de distribución aéreos, subterráneos, sumergibles, convencionales y de pedestal
  - 6.2. El transformador ideal
  - 6.3. Polaridad de los transformadores
  - 6.4. Transformadores aditivos y sustractivos
  - 6.5. El transformador real: núcleos laminados, flujos de dispersión, y pérdidas en el núcleo
  - 6.6. Circuito del transformador real y diagramas fasoriales
  - 6.7. Cálculo de parámetros del transformador real
  - 6.8. Regulación de tensión del transformador
  - 6.9. Eficiencia, y eficiencia máxima del transformador
  - 6.10. Sistema en por unidad
  - 6.11. Datos de placa
  - 6.12. Autotransformador
  - 6.13. Conexión en paralelo de transformadores Intercambiador de derivaciones (tomas regulables bajo carga)
- 7. Transformadores trifásicos
  - 7.1. Conexiones simétricas: estrella-estrella, delta-delta, delta-estrella, estrella-delta, estrella-zigzag
  - 7.2. Conexión en paralelo Índice horario
  - 7.3. Conexiones asimétricas: estrella renca - delta abierta, conexión en T, conexión de Scott
  - 7.4. Datos de placa
  - 7.5. Autotransformador
  - 7.6. Transformadores de tres devanados
- 8. Motor trifásico de inducción
  - 8.1. Principio de funcionamiento
  - 8.2. Ley de Ampere
  - 8.3. Ley de Faraday-Lenz
  - 8.4. Fuerza de Lorentz
  - 8.5. Construcción de las partes principales de una máquina eléctrica rotativa

- 8.6. Velocidad del campo magnético rotatorio, velocidad mecánica, deslizamiento y frecuencia en el rotor
- 8.7. Circuito equivalente
- 8.8. Par desarrollado en función del deslizamiento
- 8.9. Curva característica: arranque directo
- 8.10. Descripción de datos de la placa característica
- 8.11. Métodos de arranque por resistencias estatóricas, estrella-delta, devanado partido, auto transformador, resistencia rotórica y arranque suave
- 8.12. Métodos de control de velocidad y variador de frecuencia
- 8.13. Pérdidas eléctricas, mecánicas, magnéticas y eficiencia
- 9. Motor monofásico de inducción
  - 9.1. Construcción y modelado dinámico de la máquina
  - 9.2. Principio de funcionamiento (doble campo magnético rotatorio):
  - 9.3. Tipos de motores:
  - 9.4. Fase partida
  - 9.5. Capacitor de arranque
  - 9.6. Capacitor permanente
  - 9.7. Doble capacitor
  - 9.8. Polos sombreados
- 10. Generador de inducción trifásico, auto-excitado
  - 10.1. Tipos de generadores de inducción
  - 10.2. Circuito equivalente
  - 10.3. Capacitor de excitación
  - 10.4. Desempeño del generador, conectado a una red de potencia infinita
  - 10.5. Desempeño del generador, conectado en forma aislada

## II parte: Aspectos operativos

**5. Metodología** En este curso, se utilizará el enfoque sistémico-complejo para la ejecución de las sesiones magistrales y se integrará la investigación práctica aplicada para las asignaciones extraclase. Esta última se implementará mediante técnicas como el estudio de casos, el aprendizaje basado en proyectos, el modelado y la simulación.

**Las personas estudiantes podrán desarrollar actividades en las que:**

- Recibirán clases magistrales con material audiovisual y discusión en grupo sobre conceptos de máquinas eléctricas.
- Resolverán problemas; y validarán sus resultados utilizando simulaciones.

Este enfoque metodológico permitirá a la persona estudiante evaluar el comportamiento de los sistemas trifásicos, circuitos magnéticos, transformadores y máquinas de inducción para la comprensión de su funcionamiento, diseño y aplicaciones en sistemas eléctricos y de accionamiento

Si un estudiante requiere apoyos educativos, podrá solicitarlos a través del Departamento de Orientación y Psicología.

**6. Evaluación** La evaluación se distribuye en los siguientes rubros:

- Pruebas parciales: evaluaciones formales que miden el nivel de comprensión y aplicación de los conceptos clave del curso. Generalmente cubren una parte significativa del contenido visto hasta la fecha y pueden incluir problemas teóricos y prácticos.
- Pruebas cortas: evaluaciones breves y frecuentes que sirven para comprobar el dominio de temas específicos. Suelen ser de menor peso en la calificación final y permiten reforzar el aprendizaje continuo.
- Act. aprendizaje activo: actividad diseñada para que los estudiantes se involucren de manera directa y práctica en la construcción de su conocimiento, a través de la resolución de problemas, la discusión y la aplicación de conceptos teóricos en contextos reales o simulados.

Pruebas parciales (2)	60 %
Pruebas cortas (5)	25 %
Act. aprendizaje activo (4)	15 %
Total	100 %

De conformidad con el artículo 78 del Reglamento del Régimen Enseñanza-Aprendizaje del Instituto Tecnológico de Costa Rica y sus Reformas, en este curso la persona estudiante tiene derecho a presentar un examen de reposición si su nota luego de redondeo es 60 o 65.

## 7. Bibliografía

- [1] M. Liwshitz Garik, C. C. Whipple et al., *Máquinas de corriente alterna*. Reverté, 1981.  
[2] S. J. Chapman, *Máquinas Eléctricas*. McGraw Hill México, 2012.

- [3] I. L. Kosow, *Máquinas eléctricas y transformadores*. Reverté, 2021.
- [4] T. Wildi et al., *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Biblioteca Hernán Malo González, 2007.
- [5] J. Fraile Mora, *Máquinas eléctricas*. Mc Graw Hill, 2016.
- [6] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley y A. Kusko, *Teoría y análisis de las máquinas eléctricas*. Barcelona: Hispano Europea, Editia Mexicana, 1975.

## **8. Persona docente**

El curso será impartido por:

**M.Sc. Osvaldo Guerrero Castro**

**Bachillerato en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

**Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

**Maestría en Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

*Correo:* oguerrero@tec.ac.cr *Teléfono:* 25509345

*Oficina:* 6 *Escuela:* Ingeniería Electromecánica *Sede:* Cartago

**Mag. Greivin Barahona Guzmán**

**Bachillerato en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

**Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

**Maestría en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

*Correo:* gbarahona@itcr.ac.cr *Teléfono:* 25509344

*Oficina:* 1 *Escuela:* Ingeniería Electromecánica *Sede:* Cartago

**Dr.-Ing. Gustavo Gomez Ramirez**

**Bachillerato en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

**Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

**Maestría en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica**

**Maestría en Administración de Negocios, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica**

**Doctorado en Ingeniería, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**



*Correo:* ggomez@itcr.ac.cr *Teléfono:* 25509354

*Oficina:* 17 *Escuela:* Ingeniería Electromecánica *Sede:* Cartago

**M.Sc. Nicolás Vaquerano Pineda**

**Bachillerato en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica**

**Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica**

**Maestría en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**

*Correo:* nvaquerano@itcr.ac.cr *Teléfono:* 25509350

*Oficina:* 14 *Escuela:* Ingeniería Electromecánica *Sede:* Cartago