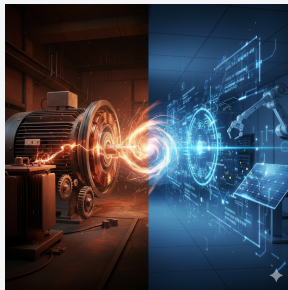


Informe Crítico sobre la Disciplina de Sistemas Electromecánicos

Dr. Vladímir Rodríguez Díez

October 24, 2025



Índice

Fundamentación de la Disciplina

Contenidos y Enfoque Actual

Comparación con Estándares Internacionales (MIT)

Análisis Crítico y Conclusiones

Relevancia de los Sistemas Electromecánicos

Contexto Energético Global

- ▶ Más del 98% de la energía eléctrica mundial requiere conversión electromecánica
- ▶ Alto porcentaje de consumo mediante motores eléctricos rotatorios
- ▶ Aplicaciones críticas: industria, servicios, transporte

Relevancia de los Sistemas Electromecánicos

Contexto Energético Global

- ▶ Más del 98% de la energía eléctrica mundial requiere conversión electromecánica
- ▶ Alto porcentaje de consumo mediante motores eléctricos rotatorios
- ▶ Aplicaciones críticas: industria, servicios, transporte

Núcleo de la Disciplina

- ▶ Convertidores electromecánicos rotatorios (MER)
- ▶ Transformadores
- ▶ Nexo fundamental: sistema eléctrico - sistema mecánico

Imperativo Contemporáneo

Desafíos Globales

Problemas energéticos y ambientales requieren profesionales capacitados en:

- ▶ Proyección de sistemas eficientes
- ▶ Evaluación de rendimiento energético
- ▶ Mantenimiento predictivo
- ▶ Reducción de impacto ambiental

Imperativo Contemporáneo

Desafíos Globales

Problemas energéticos y ambientales requieren profesionales capacitados en:

- ▶ Proyección de sistemas eficientes
- ▶ Evaluación de rendimiento energético
- ▶ Mantenimiento predictivo
- ▶ Reducción de impacto ambiental

Implicación Pedagógica: La formación en Sistemas Electromecánicos no es opcional, es estratégica para el futuro sostenible.

Estructura Curricular: Tres Pilares

Pilar 1

Magnetismo y Transformadores

- ▶ Circuitos magnéticos
- ▶ Transformadores ideales y reales
- ▶ Configuraciones trifásicas
- ▶ Modelos matemáticos

Pilar 2

Máquinas Elécticas Rotatorias

- ▶ Conversión energética
- ▶ Máquinas sincrónicas
- ▶ Máquinas asincrónicas
- ▶ Máquinas CC

Pilar 3

Control y Electrónica

- ▶ Teoría de control
- ▶ Accionamientos
- ▶ Variadores de velocidad
- ▶ Simulación

Profundidad Temática: Transformadores

Contenidos Específicos:

- ▶ Características constructivas y principio de operación
- ▶ Circuito equivalente y ensayos normalizados
- ▶ Transformadores trifásicos: grupos de conexión
- ▶ Operación en paralelo y autotransformadores
- ▶ Modelado para régimen normal y transitorio

Fortaleza Identificada

Cobertura completa desde fundamentos físicos hasta aplicación industrial

Profundidad Temática: MERs y Control

Máquinas Eléctricas Rotatorias

- ▶ Análisis energético y determinación de par
- ▶ Cuatro tipos principales: sincrónicas, asincrónicas, reluctancia conmutada, CC
- ▶ Énfasis especial en máquinas asincrónicas (industriales)
- ▶ Motores de alta eficiencia

Ingeniería de Control y Accionamiento

- ▶ Lazo abierto y cerrado, funciones de transferencia
- ▶ Herramientas: MATLAB y SIMULINK
- ▶ Controladores: P, I, PI, PID
- ▶ Variadores de velocidad y control por orientación de campo

Enfoque Pedagógico: Habilidades Prácticas

Objetivos de Formación:

1. Modelado matemático de transformadores y MERs
2. Simulación de comportamiento en régimen normal y transitorio
3. Conexión y puesta en marcha de máquinas
4. Análisis y síntesis de sistemas de control
5. Selección y ajuste de variadores de velocidad

MIT: Enfoque Diferencial

Análisis Comparativo

Se analizaron tres cursos del MIT:

- ▶ 6.007 (Pregrado): Electromagnetic Energy
- ▶ 6.302 (Posgrado): Feedback Systems
- ▶ 6.245 (Posgrado): Multivariable Control Systems

MIT: Enfoque Diferencial

Análisis Comparativo

Se analizaron tres cursos del MIT:

- ▶ 6.007 (Pregrado): Electromagnetic Energy
- ▶ 6.302 (Posgrado): Feedback Systems
- ▶ 6.245 (Posgrado): Multivariable Control Systems

Diferencias identificadas:

1. Integración de física cuántica y optoelectrónica
2. Especialización avanzada en control
3. Segregación de contenidos por nivel

Diferencia 1: Física Fundamental Ampliada

Programa Analizado

- ▶ Conceptos básicos de electricidad y magnetismo
- ▶ Enfoque en conversión electromecánica clásica
- ▶ Generación y utilización a gran escala

MIT 6.007

- ▶ Electromagnetismo clásico **y cuántico**
- ▶ Fotones como ondas y partículas
- ▶ Dispositivos modernos: células solares, láseres, pantallas
- ▶ Escala macroscópica **y cuántica**

Observación Crítica

El programa del MIT integra tecnologías emergentes optoelectrónicas ausentes en nuestro currículo.

Diferencia 2: Control Especializado vs. Integrado

Nuestro Enfoque:

- ▶ Control integrado en la disciplina general
- ▶ Controladores P, I, PI, PID
- ▶ Variadores de velocidad
- ▶ Suficiente para operación y mantenimiento industrial

Diferencia 2: Control Especializado vs. Integrado

Nuestro Enfoque:

- ▶ Control integrado en la disciplina general
- ▶ Controladores P, I, PI, PID
- ▶ Variadores de velocidad
- ▶ Suficiente para operación y mantenimiento industrial

Enfoque MIT:

- ▶ Cursos de posgrado dedicados exclusivamente a control
- ▶ 6.302: Sistemas de retroalimentación con laboratorios especializados
- ▶ 6.245: Metodologías avanzadas - optimización H-infinity, Mu Synthesis, LMI
- ▶ Diseño multivariable asistido por computadora

Diferencia 2: Control Especializado vs. Integrado

Nuestro Enfoque:

- ▶ Control integrado en la disciplina general
- ▶ Controladores P, I, PI, PID
- ▶ Variadores de velocidad
- ▶ Suficiente para operación y mantenimiento industrial

Enfoque MIT:

- ▶ Cursos de posgrado dedicados exclusivamente a control
- ▶ 6.302: Sistemas de retroalimentación con laboratorios especializados
- ▶ 6.245: Metodologías avanzadas - optimización H-infinity, Mu Synthesis, LMI
- ▶ Diseño multivariable asistido por computadora

Interpretación: integración vs. especialización profunda.

Diferencia 3: Amplitud vs. Profundidad

Programa Analizado

Enfoque de Amplitud Aplicada

- ▶ Cobertura integral de conversión electromecánica tradicional
- ▶ Orientación a aplicaciones industriales inmediatas
- ▶ Formación de ingenieros para infraestructura energética actual

MIT

Enfoque de Profundidad Fundamental

- ▶ Fundamentos físicos extendidos (cuántica)
- ▶ Segregación por especialización (cursos dedicados)
- ▶ Orientación hacia investigación y desarrollo tecnológico

Fortalezas del Programa Actual

1. **Integración coherente:** Tres pilares bien articulados
2. **Orientación práctica:** Laboratorios con evaluación rigurosa
3. **Cobertura completa:** De fundamentos a aplicación industrial
4. **Herramientas modernas:** MATLAB, SIMULINK
5. **Normas internacionales:** Procedimientos estandarizados
6. **Relevancia actual:** Responde a demandas de eficiencia energética

Valoración

El programa forma ingenieros capacitados para enfrentar los desafíos actuales de la infraestructura energética.

Áreas de Oportunidad Identificadas

1. Tecnologías Emergentes

- ▶ Incorporación limitada de dispositivos optoelectrónicos
- ▶ Ausencia de contenidos sobre energías renovables modernas
- ▶ Brecha en tecnologías de escala cuántica

Áreas de Oportunidad Identificadas

1. Tecnologías Emergentes

- ▶ Incorporación limitada de dispositivos optoelectrónicos
- ▶ Ausencia de contenidos sobre energías renovables modernas
- ▶ Brecha en tecnologías de escala cuántica

2. Profundización en Control Avanzado

- ▶ Control multivariable limitado a nivel introductorio
- ▶ Técnicas de optimización avanzadas ausentes en pregrado
- ▶ Oportunidad para cursos de posgrado especializados

Áreas de Oportunidad Identificadas

1. Tecnologías Emergentes

- ▶ Incorporación limitada de dispositivos optoelectrónicos
- ▶ Ausencia de contenidos sobre energías renovables modernas
- ▶ Brecha en tecnologías de escala cuántica

2. Profundización en Control Avanzado

- ▶ Control multivariable limitado a nivel introductorio
- ▶ Técnicas de optimización avanzadas ausentes en pregrado
- ▶ Oportunidad para cursos de posgrado especializados

3. Actualización Metodológica

- ▶ Posible integración de metodologías de diseño asistido por IA
- ▶ Mayor énfasis en simulación de sistemas complejos

Recomendaciones Estratégicas

Corto Plazo

- ▶ Incorporar módulo sobre conversión fotovoltaica y LED
- ▶ Ampliar contenido sobre vehículos eléctricos y almacenamiento
- ▶ Actualizar casos de estudio con aplicaciones contemporáneas

Mediano Plazo

- ▶ Desarrollar curso optativo de posgrado en control multivariable
- ▶ Establecer laboratorio de sistemas optoelectrónicos
- ▶ Colaboraciones internacionales para actualización docente

Largo Plazo

- ▶ Rediseño curricular integrando física cuántica aplicada
- ▶ Programa de posgrado especializado en control avanzado

Conclusión General

Síntesis

La disciplina de Sistemas Electromecánicos es **fundamental, bien estructurada y cumple su misión** de formar ingenieros para la infraestructura energética actual.

Conclusión General

Síntesis

La disciplina de Sistemas Electromecánicos es **fundamental, bien estructurada y cumple su misión** de formar ingenieros para la infraestructura energética actual.

Balance Final:

- + Sólida formación en conversión electromecánica clásica
- + Integración efectiva de teoría, práctica y control
- + Preparación adecuada para industria tradicional
- Limitada incorporación de tecnologías emergentes
- Control avanzado solo a nivel introductorio

Visión: Evolucionar sin perder identidad - expandir hacia tecnologías del siglo XXI manteniendo fortalezas consolidadas.

Impacto de las Mejoras Propuestas

Beneficios Esperados:

1. **Para los estudiantes:** Formación más competitiva internacionalmente
2. **Para la institución:** Mayor prestigio y atracción de talento
3. **Para la industria:** Ingenieros preparados para transición energética
4. **Para la sociedad:** Contribución a sostenibilidad y innovación

Llamado a la Acción

La actualización curricular no es solo deseable, es necesaria para mantener la relevancia de la disciplina en un mundo tecnológicamente dinámico.


Referencias Principales

Programas Analizados:

- ▶ Circuitos Magnéticos y Transformadores: Programa
- ▶ Máquinas Eléctricas (2011) - Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Minera
- ▶ Plan de Estudios: Disciplina Sistemas Electromecánicos

Referencias Internacionales (MIT OpenCourseWare):

- ▶ 6.007: Electromagnetic Energy - From Motors to Lasers
- ▶ 6.302: Feedback Systems
- ▶ 6.245: Multivariable Control Systems



Gracias por su atención

Abierto a preguntas y comentarios del tribunal

