



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Circuitos Electrónicos de Potencia
Clave de la asignatura:	FED-2302
SATCA¹:	2-3-5
Carrera:	Ingeniería Ferroviaria

2. Presentación

Caracterización de la asignatura (objetivo)

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Ferroviario la capacidad para desarrollar las habilidades para la operación de los dispositivos semiconductores de potencia y su aplicación en el control de motores eléctricos de corriente continua y alterna que se usan en sistemas eléctricos ferroviarios.

Asimismo, se tratan los dispositivos semiconductores de potencia tales como SCR´s, TRIAC´s, DIAC´s, UJT y dispositivos de estado sólido que aportan al ingeniero mayor versatilidad al momento de realizar el control de motores.

Las máquinas eléctricas tienen innumerables aplicaciones, por lo cual esta asignatura es de suma importancia, aportando los temas de arrancadores, variadores de velocidad, convertidores y circuitos de amortiguamiento utilizados en el control de velocidad de motores eléctricos como los utilizados en los trenes. Con esto, se pueden desarrollar equipos o sistemas convertidores que aseguran la transformación de la amplitud y/o frecuencia de las formas de onda que transportan la energía eléctrica. Esto es, la electrónica de potencia es un vínculo con otras fuentes de energía como, la energía mecánica, la térmica, la solar, la eólica, entre otras.

Esta asignatura tiene relación directa con la asignatura de Circuitos Eléctricos y Electrónicos donde se aplican la ley de Ohm, las leyes de voltaje y corriente de Kirchhoff, así como los métodos de mallas y nodos, los teoremas de superposición, Thevenin y Norton en el análisis de circuitos eléctricos para la obtención de variables como corriente, voltaje o potencia eléctrica ante una excitación de voltaje o corriente. También se aborda la aplicación de los diodos, transistores y los amplificadores operacionales. Con estos saberes previos, el estudiante en esta asignatura los utilizará para analizar circuitos con dispositivos semiconductores de potencia.

El cúmulo de conocimientos le permite al egresado de ingeniería ferroviaria, la capacidad de identificar problemas de sistemas de potencia en sistemas ferroviarios con lo que podrá participar en equipos de trabajo multidisciplinarios que incluyan actividades de instalación, operación y mantenimiento de sistemas electrónicos de potencia en sistemas ferroviarios. Lo anterior propicia en el estudiante el desarrollo de un pensamiento analítico, crítico, creativo y autorregulado, con los conocimientos y las estrategias planteadas a lo largo del curso que le proporciona una visión clara sobre los sistemas de potencia.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



Intención didáctica

La asignatura se organiza en cinco temas, los cuales se pueden cubrir en dieciséis semanas de clase, con la realización de prácticas de laboratorio que permitan conocer los circuitos electrónicos de potencia y su aplicación.

En el tema uno, se abordan los conocimientos necesarios sobre los dispositivos semiconductores de potencia, sus parámetros y características eléctricas. A partir de estos temas se pueden realizar prácticas de demostración orientadas a la rectificación de señales eléctricas y control de velocidad de motores de corriente directa y alterna.

Los dispositivos de cuatro capas se tratan en el tema dos analizando los parámetros y características de los diferentes tiristores, incluyendo los relevadores de estado sólido y su aplicación para el control de máquinas eléctricas.

En el tema tres, se estudian los variadores y arrancadores de potencia electrónicos, electromecánicos y de estado sólido, para regular el arranque y velocidad en las máquinas eléctricas, en este apartado el profesor realiza prácticas demostrativas y propone actividades adicionales para su comprensión.

En el tema cuatro, se hace un estudio de los diferentes convertidores de energía, la modelización por ancho de pulsos donde el docente forma equipos de trabajo para realizar actividades prácticas aplicando inversores y variadores de frecuencias.

Por último, en el tema cinco se estudia el diseño de circuitos de disparo y amortiguamiento basados en redes pasivas (resistivas y RC), circuitos de disparo basados en timers, así como el acoplamiento de circuitos de disparo a elementos de potencia óptica y magnéticamente.

Después de cubrir todos los temas correspondientes al temario, el docente organiza a los estudiantes en equipo para realizar un proyecto demostrativo de la electrónica de potencia en sistemas ferroviarios, utilizando sistemas electrónicos comerciales o simuladores, los cuales se presentarán en forma grupal para su evaluación.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Del 8 de mayo al 2 de junio. Tecnológico Nacional de México, Ciudad de México y en el Instituto Superior de Escárcega	Representantes de los Institutos tecnológicos de: Campeche Cancún, Mérida, Oaxaca, Orizaba, Superior de Escárcega, Superior de Valladolid, Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, Tláhuac, Toluca, Villahermosa, Zona Maya y Zona Olmeca	Reunión de Diseño Curricular de la carrera de Ingeniería Ferroviaria.



4. Logro formativo a desarrollar en la asignatura

Saberes, habilidades y destrezas de la asignatura
Implementa circuitos rectificadores, convertidores, inversores de energía, así como de disparo para el arranque, control y protección de motores de corriente alterna y directa de uso ferroviario con dispositivos electromagnéticos y de estado sólido, para identificar problemas de circuitos electrónicos de potencia de los sistemas ferroviarios

5. Saberes, habilidades y destrezas previas

<ul style="list-style-type: none"> Analiza el funcionamiento de las diferentes máquinas eléctricas y realiza una adecuada selección para su aplicación, según el tipo de carga. Selecciona y utiliza adecuadamente los diferentes instrumentos y equipos de medición para la lectura de los parámetros mecánicos y eléctricos, que permitan tener un mejor control en el diseño, instalación y operación de sistemas, de acuerdo con la normativa internacional. Aplica los conceptos básicos de las leyes y principios fundamentales del Electromagnetismo, para la solución de problemas reales. Analiza, simula e implementa circuitos eléctricos y electrónicos de corriente alterna y directa con elementos pasivos y activos lineales (fuentes lineales) para su aplicación.
--

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Dispositivos Semiconductores de Potencia en Sistemas Ferroviarios	1.1 Diodos de potencia. 1.1.1 Características y parámetros. 1.1.2 Rectificadores monofásicos y polifásicos. 1.1.3 Aplicaciones en motores de Corriente Directa (CD) 1.2 Transistores de potencia. 1.2.1 Tipos de transistores Bipolar (BJT). 1.2.2 Metal Oxido de Silicio (MOS). 1.2.3 Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT). 1.3 Aplicaciones en máquinas eléctricas. 1.3.1 Arranque y paro de un motor de inducción de jaula de ardilla con un IGBT. 1.3.2 Control de velocidad de motores de Corriente Directa (CD) 1.4 Circuitos de control híbridos. 1.4.1 Relevadores y dispositivos electromecánicos de estado sólido. 1.4.2 Optoacopladores. 1.4.3 Contactores. 1.5 Simulación de circuitos con dispositivos semiconductores de potencia
2	Tiristores	2.1 Características y parámetros. 2.1.1 Rectificador controlado de silicio (SCR). 2.1.2 Triodo para Corriente Alterna (TRIAC).



		<p>2.1.3 Diodo para Corriente Alterna (DIAC). 2.1.4 Transistor Unipolar de Juntura (UJT). 2.2 Circuitos de descarga. 2.3 Control de fase. 2.4 Relevadores de estado sólido. 2.5 Aplicaciones en control de motores. 2.5.1 Control de un motor de corriente alterna polifásicos. 2.5.2 Módulos de potencia para control de motores. 2.6 Simulación de circuitos con tiristores</p>
3	Variadores y Arrancadores	<p>3.1 Componentes. 3.1.1 Etapa rectificadora. 3.1.2 Filtro. 3.1.3 Inversor. 3.1.4 Etapa de control. 3.2 Modos de funcionamiento electrónico y electromecánico. 3.2.1 Variador unidireccional. 3.2.2 Variador bidireccional. 3.2.3 Funcionamiento a par constante y variable 3.2.4 Funcionamiento a potencia constante. 3.3 Arrancadores de potencia a tensión plena y reducida con dispositivos electromagnéticos y de estado sólido. 3.3.1 Técnicas de control de par y velocidad. 3.3.2 Módulo de control. 3.3.3 Módulo de potencia. 3.4 Protecciones. 3.4.1 Termomagnéticas. 3.4.2 De estado sólido. 3.5 Simulación de variadores y arrancadores en software computacional</p>
4	Convertidores de Energía Eléctrica	<p>4.1 Inversores de corriente directa a corriente alterna 4.2 Flyback. 4.3 Modulación por ancho de pulso (PWM) y Modulación senoidal por ancho de pulso (SPWM). 4.4 Ciclo convertidores (CA-CA). 4.5 Choppers (CD-CD)--troceadores. 4.6 Reductor (BUCK). 4.7 Elevador (BOOST). 4.8 Reductor-Elevador (BUCK- BOOST). 4.9 CUK. 4.10 Variador de frecuencia para motor asíncrono 4.11 Simulación de convertidores en software computacional.</p>



5	Circuitos de Disparo	<p>5.1 Circuitos de disparo sin aislamiento: Redes pasivas, RC.</p> <p>5.2 Circuitos de disparo con aislamiento.</p> <p>5.2.1 Acoplados ópticamente optotiristores.</p> <p>5.2.2 Acoplados magnéticamente.</p> <p>5.3 Circuitos de disparo con dispositivos digitales.</p> <p>5.3.1 Timer.</p> <p>5.3.2 Divisores de frecuencia y detectores de cruce por cero (comparadores)</p> <p>5.4 Circuitos de amortiguamiento o snubbers</p> <p>5.6 Simulación de circuitos de disparos en software computacional</p>
---	----------------------	---

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Semiconductores de Potencia	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Conoce los diferentes semiconductores de potencia para rectificar señales alternas y utilizarlas en el control de motores eléctricos de corriente directa utilizados en los sistemas ferroviarios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar investigaciones exhaustivas sobre dispositivos semiconductores de potencia en diferentes fuentes de información. • Formar equipos de trabajo para realizar prácticas de laboratorio sobre los rectificadores de media onda y onda completa para sistemas eléctricos polifásicos utilizados para energizar motores eléctricos. • Simular e implementar circuitos con transistores de potencia para el control de motores eléctricos, combinándolos con elementos electromagnéticos. • Formar un equipo de trabajo para la exposición en clases de los resultados obtenidos en las prácticas y simulaciones realizadas. • Realizar un reporte escrito de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas en el laboratorio • Realizar plenarios grupales para retroalimentar las prácticas. • Realizar reportes de las prácticas realizadas en el tema de semiconductores de potencia
2. Tiristores	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Analiza el funcionamiento de los tiristores para controlar el arranque y la velocidad de motores eléctricos de corriente alterna en los sistemas ferroviarios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza consultas e investigaciones exhaustivas sobre tiristores en las diferentes fuentes de información disponibles. • Realiza simulaciones por computadora de los dispositivos y circuitos proporcionados por el docente.



	<ul style="list-style-type: none"> Formar equipos de trabajo para implementar circuitos aplicando los tiristores para verificar sus resultados Exponer los resultados obtenidos en las prácticas y simulaciones realizadas. Realizar un reporte escrito de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas en el laboratorio
3. Variadores y Arranadores de Potencia	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Interpreta el funcionamiento de los arranadores electromagnéticos, de estado sólido, los variadores de velocidad y frecuencia para el control de velocidad de motores eléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> Realiza consultas e investigaciones en las diferentes fuentes de información disponibles. Forma equipos de trabajo para realizar prácticas de circuitos variadores de velocidad con elementos electromagnéticos y de estado sólido. Integrar equipos de trabajo para realizar circuitos de arranque con elementos electromagnéticos y de estado sólido con los equipos de trabajos formados previamente. Formar un equipo de trabajo para la exposición en clases de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas. Realizar un reporte escrito de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas en el laboratorio. Participar en plenarias grupales para retroalimentación.
4. Convertidores de Energía Eléctrica	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Aplica circuitos convertidores de CD a CD, de CD a CA y de CA a CA para el control de motores eléctricos en dispositivos mecatrónicos.	<ul style="list-style-type: none"> Realizar consultas e investigaciones en las diferentes fuentes de información disponibles sobre los convertidores e inversores de CD a CD, CD a CA Forma equipos de trabajo para utilizar los circuitos convertidores de energía e inversores, comerciales o prototipos, para verificar sus resultados. Crea un equipo de trabajo para la exposición en clases de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas. Elabora un reporte escrito de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas en el laboratorio.
5. Circuitos de Disparo	
Analiza el funcionamiento de los circuitos de disparo con elementos pasivos y de estado sólido, para el funcionamiento de	<ul style="list-style-type: none"> Realizar consultas e investigaciones de los circuitos de disparo y amortiguamiento en las diferentes fuentes de información disponibles.



<p>los tiristores de potencia usados en dispositivos mecatrónicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar equipos de trabajo para implementar los circuitos de disparo y amortiguamiento para verificar sus resultados. • Formar equipos de trabajo para la exposición en clases de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas. • Realiza un reporte escrito de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas en el laboratorio • Realizar plenarias grupales para retroalimentación las prácticas realizadas.
--	---

8. Práctica(s)

- Simulación e implementación de rectificadores monofásicos y polifásicos
- Simulación e implementación de control de motores con dispositivos semiconductores de potencia e híbridos (relevadores, optoacopladores)
- Simulación e implementación de circuitos para el control motores aplicando tiristores, relevadores de estado sólido y contactores
- Simulación e implementación de circuitos de arranque con elementos electromagnéticos y de estado sólido.
- Simulación e implementación de variadores de velocidad con elementos electromagnéticos y de estado sólido.
- Simular e implementación convertidores de energía Corriente Directa a Corriente Directa, de Corriente Directa a Corriente Alterna y de Corriente Alterna a Corriente Alterna para el control de motores eléctricos en equipos ferroviarios a partir de circuitos proporcionados por el profesor.
- Implementar práctica para controlar la velocidad de un motor de inducción jaula de ardilla con inversores VVVF a base de IGBT y PWM
- Simulación e implementación de diferentes circuitos de disparo sin aislamiento y con aislamiento.
- Simulación e implementación de circuitos de amortiguamiento.

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que plantee el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance del(los) logro(s) formativo(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o



construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de los saberes, habilidades y destrezas a desarrollar.

- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación de saberes, habilidades y destrezas

La evaluación requiere de una evaluación continua y permanente, por lo que se deben realizar evaluaciones:

- **Diagnóstica** Aplicar esta evaluación al inicio del semestre que permita evaluar los conocimientos previos adquiridos.
- **Formativa:** su finalidad principal es verificar si los estudiantes están adquiriendo y desarrollando adecuadamente las competencias requeridas. Permite identificar los avances y deficiencias en la adquisición del conocimiento permitan proveer una retroalimentación útil para mejorar su desempeño académico.
- **Sumativa:** Se busca determinar el grado de ejecución y desempeño alcanzado por los estudiantes en la aplicación de las competencias adquiridas durante el curso. Su finalidad es asignar una calificación y tomar decisiones de acreditación basada en los niveles de desempeño establecidos en el Lineamiento para la Evaluación y Acreditación de Asignaturas vigente.

Los productos sugeridos para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje son:

- Reporte de investigación
- Mapas conceptuales y mentales
- Representaciones gráficas o esquemáticas
- Ensayos
- Reporte de simulaciones
- Prácticas y reportes
- Proyecto final de la asignatura
- Examen escrito

11. Referencias

- Hart, D. W., & Bautista, A. B. (2001). *Electrónica de potencia* (Vol. 32). Madrid, España: Prentice Hall.
- Maloney, T. J. (2006). *Electrónica industrial moderna*. Pearson Educación.
- Mohan, N., Undeland, T. & Robbins, W. (2009) *Electrónica de Potencia. Convertidores, aplicaciones y diseño*. Mc Graw Hill.
- Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.
- Rashid, M. H. (Ed.). (2017). *Power electronics handbook*. Butterworth-heinemann.