



## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Sistemas de Tracción y de Frenado
<b>Clave de la asignatura:</b>	FEJ-2316
<b>SATCA<sup>1</sup>:</b>	4-2-6
<b>Carrera:</b>	Ingeniería Ferroviaria

## 2. Presentación

### Caracterización de la asignatura (objetivo)

Esta asignatura aporta al perfil de egreso del ingeniero ferroviario, los conocimientos requeridos para entender el funcionamiento de sistemas que proporcionan la fuerza motriz en un tren y permiten a este frenar de manera segura, así como conocer sus componentes básicos y la función que éstos realizan. Lo anterior, permitirá al egresado participar principalmente en actividades de operación y mantenimiento de sistemas de tracción y de frenado que se utilizan en trenes, de manera particular impactará en el resguardo de la seguridad de los usuarios.

La asignatura se desarrolla de manera teórico-práctico revisando los diferentes avances tecnológicos de los diversos fabricantes de este tipo de sistemas y realizar algunas simulaciones para verificar resultados teóricos relacionados con la fuerza motriz, de frenado y la operación de motores eléctricos.

Es necesario que el estudiante tenga conocimientos y habilidades desarrollados en otras asignaturas, que debe cursar previamente, como: Circuitos electrónicos de potencia, Mecánica clásica, Material rodante, principalmente.

### Intención didáctica

Esta asignatura es de naturaleza multidisciplinaria, por tanto, en su impartición, el profesor deberá tener en cuenta que el estudiante requiere de conocimientos previos, en particular sobre convertidores conmutados y de dinámica, ya que son necesarios para entender la interacción de los principales componentes de un sistema de tracción y la función de cada uno, así como para determinar los requerimientos de potencia de tracción. Uno de esos componentes, es el elemento que proporciona la fuerza motriz: es decir, un motor de combustión interna o un motor eléctrico, según sea el sistema a diésel, gas o eléctrico. Se debe realizar énfasis en el principio de funcionamiento de este tipo de máquinas, de tal manera que el estudiante comprenda su operación y entienda su importancia en un sistema de tracción. Asimismo, se abordan los aspectos fundamentales de los sistemas de frenado, una parte esencial de un ferrocarril.

Con el objetivo de que el estudiante tenga conocimiento sobre los sistemas de tracción y frenado, los temas se deben abordar a un nivel básico, aunque revisando todos los necesarios para adquirir un conocimiento integral de este tipo de sistemas; y para que el estudiante sea capaz de determinar su operación y requerimientos de mantenimiento.

La asignatura se divide en cinco temas. En el primero se propone una revisión de los conceptos básicos y definiciones relacionados con sistemas de tracción.

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



En el segundo tema, se revisan los conceptos relacionados con sistemas de tracción no eléctricos; es decir, aquellos que utilizan un motor de combustión interna; en particular, se abordan los motores a gas y a diésel, siendo este último el de mayor utilización.

El tema tres, se refiere al tratamiento de los temas relacionados con el principio de los motores eléctricos de CD y CA, así como de los esquemas de control.

En el tema cuatro, se revisan los temas relacionados con los sistemas de tracción eléctricos, las principales arquitecturas y, sobre todo, se deben realizar cálculos para determinar la potencia de tracción requerida.

Por último, en el tema cinco, se abordan los temas relacionados con los diferentes tipos de frenado que actualmente se utilizan en un ferrocarril y también se deben realizar cálculos para determinar la fuerza y distancia de frenado.

### 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
Analiza el funcionamiento de los sistemas de tracción y de frenado aplicados en trenes, ubicando sus principales componentes, así como la función de cada uno y sus tendencias tecnológicas.

### 5. Saberes, habilidades y destrezas previas

- Comprende la operación de los convertidores conmutados para entender su función en un sistema de tracción eléctrica.
- Comprende los principios de la Mecánica clásica para su aplicación en el cálculo de la potencia de un sistema de tracción y la fuerza requerida por un sistema de frenado.



## 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción a los sistemas de tracción	1.1 Definición y clasificación del equipo de tracción. 1.2 Evolución del equipo de tracción y tendencias tecnológicas. 1.3 Componentes principales del equipo de tracción. 1.3.1 Máquinas de tracción. 1.3.2 Elementos de control y regulación. 1.3.3 Elementos de transmisión mecánica.
2	Sistemas de tracción no eléctricos	2.1 El motor de combustión interna 2.1.1 Principio de funcionamiento 2.1.2 Componentes principales del motor 2.1.3 El motor a diésel 2.1.4 El motor a gas 2.2 Operación y arquitectura del sistema de tracción a diésel y diésel-eléctrico 2.3 Unidades múltiples a diésel
3	Motores eléctricos	3.1 Leyes de inducción de Faraday 3.2 Circuitos magnéticos 3.3 Energía almacenada en un campo magnético 3.4 Motores de CD 3.4.1 Construcción de un motor de CD 3.4.2 Principio de operación del motor de CD 3.4.3 Métodos de excitación 3.4.4 Características de carga 3.4.5 Tipos de motor CD 3.4.6 Control de velocidad 3.5 Motor de inducción trifásico 3.5.1 Campo magnético rotatorio 3.5.2 Construcción y principio de operación 3.5.3 Características momento de torsión-deslizamiento 3.5.4 Tipos de motores de inducción 3.5.5 Circuito equivalente 3.5.6 Métodos de arranque 3.5.7 Control velocidad
4	Sistemas de tracción eléctrica	4.1 Clasificación de tracción eléctrica 4.1.1 Tracción de CD 4.1.2 Tracción de CA 4.1.3 Levitación magnética 4.2 Arquitectura de un sistema de tracción eléctrica 4.3 Convertidores conmutados 4.4 Sistemas de control y regulación 4.5 Sistemas de tracción híbrida 4.6 Revisión de las normas IEC 60077, 60349 60310, 60571, 60850, 61287 y 62520



		4.7 Dimensionamiento de un sistema de tracción
5	Sistemas de frenado	5.1 Sistemas de frenado 5.2 Clasificación 5.2.1 Freno dependiente de la adhesión 5.2.2 Freno independiente de la adhesión 5.3 Componentes básicos 5.4 Sistemas de Frenado en Trenes Modernos 5.4.1 Freno mecánico 5.4.1.1 Por fricción 5.4.1.2 Neumático 5.4.2 Freno eléctrico 5.4.3 Freno magnético 5.4.4 Freno dinámico 5.4.4.1 Regenerativo 5.4.4.2 Reostático 5.5 Teoría básica de frenado 5.5.1 Distancia de arranque y frenado con aceleración/desaceleración constante 5.5.2 Curva de frenado y fuerza de tracción 5.6 Recuperación de energía del frenado regenerativo 5.7 Mando y Control de Frenos

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

<b>1. Introducción a los sistemas de tracción</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Comprende los fundamentos de las diferentes tecnologías de los sistemas de tracción para trenes e identifica sus componentes principales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un cuestionario relacionadas con los conocimientos requeridos para la comprensión de los temas tratados en la asignatura.</li> <li>Realizar una investigación de los principales fabricantes de sistemas de tracción. Organiza y analiza la información recopilada</li> <li>Realizar un cuadro sinóptico, indicando las arquitecturas que propone cada fabricante, sus componentes y tendencias tecnológicas.</li> <li>Construir un mapa conceptual, en donde relacione las diferentes tecnologías de tracción, con sus respectivos componentes principales e indicando la función de cada uno.</li> <li>Realizar un foro, que permita exponer los argumentos técnicos sobre las mejores arquitecturas y tecnologías identificadas.</li> </ul>
<b>2. Sistemas de tracción no eléctricos</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Describe el principio de funcionamiento de un motor de combustión interna, y comprende la operación de un sistema de tracción a diésel y sus componentes principales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una investigación de los principales fabricantes de motores de combustión interna.</li> <li>Construir un cuadro sinóptico indicando las cualidades del motor que propone cada fabricante, sus componentes y los avances tecnológicos identificados.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar un mapa conceptual, mediante el cual, relacione el motor de combustión interna y componentes principales que integran un sistema de tracción a diésel-eléctrico, indicando la función de cada uno.</li> <li>• Realizar un foro sobre el uso de motores de combustión interna en sistemas de tracción modernos.</li> </ul>
<b>3. Motores eléctricos</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Explica el principio de funcionamiento de los motores de corriente directa y alterna, reconoce los diferentes tipos de motores y forma de control, y comprende su importancia y función en los sistemas de tracción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar conexiones básicas para verificar el funcionamiento de los motores de CD y CA revisados en clase, mediante un simulador por computadora.</li> <li>• Realizar una práctica donde identifica las partes principales de un motor de CD y CA, y describe su funcionamiento</li> <li>• Realizar un caso práctico donde identifica las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de motores eléctricos.</li> </ul>
<b>4. Sistemas de tracción eléctrica</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Comprende la operación de un sistema de tracción eléctrica, describe la función de sus principales componentes y calcula el requerimiento de potencia de un sistema de tracción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construye un cuadro sinóptico relacionando los diferentes componentes de un sistema de tracción eléctrico y la función de cada uno.</li> <li>• Calcular la potencia requerida por un sistema de tracción a partir de especificaciones como carga total, rapidez de desplazamiento y tiempo de traslado,</li> <li>• Realiza un estudio de caso para proponer un sistema de tracción y defiende con argumentos técnicos su elección.</li> </ul>
<b>4. Sistemas de frenado</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Describe los componentes de un sistema de frenado, identifica los diferentes tipos, y calcula la fuerza y distancia de frenado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir un cuadro sinóptico relacionando los diferentes componentes de un sistema de frenado y la función de cada uno.</li> <li>• Realizar el cálculo de la fuerza de frenado requerida por un tren y la distancia de frenado a partir de especificaciones como aceleración o rapidez de desplazamiento.</li> <li>• Realizar un caso de estudio para proponer una selección de un sistema de frenado y defiende con argumentos técnicos.</li> </ul>



## 8. Práctica(s)

En la impartición de la asignatura, se propone el uso de programas de simulación por computadora para realizar las siguientes prácticas:

- Arranque, paro e inversión de giro de motores de CD.
- Arranque, paro e inversión de giro de motores de CA.
- Cálculo de la potencia requerida por un sistema de tracción
- Cálculo de la fuerza de frenado distancia de paro de un sistema de frenado

## 9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé 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 debe ser un proceso continuo durante el semestre, para ello se requiere:

- Una evaluación diagnóstica con el objetivo de establecer el nivel de conocimiento previo y habilidades que tiene el estudiante y establecer si cumple con los requisitos de la asignatura; además, permitirá el ajuste de la instrumentación didáctica para complementar los conocimientos faltantes. Para esto, se propone la aplicación de un cuestionario con su correspondiente rúbrica.
- Una evaluación formativa, para verificar que el estudiante ha adquirido los conocimientos propuestos y desarrollado las habilidades requeridas. Para esto, se propone aplicar los siguientes instrumentos y herramientas de evaluación.

Instrumentos	Herramientas
Mapas conceptuales	Rúbrica
Cuadro sinóptico	Lista de cotejo
Cuestionario	Matriz de valoración
Simulaciones	



Problemario

- Finalmente, con el fin de determinar el nivel de conocimiento y habilidades desarrolladas por el estudiante, es necesario aplicar la evaluación sumativa para determinar el desempeño del estudiante, asignando la calificación correspondiente según los lineamientos definidos por el profesor.

## 11. Referencias

- Boitan, E. M., & Ulian, T. M. (2022, October). *An Overview of Actual Braking Systems*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1262, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.
- Cutrignelli, F., Saponaro, G., Stefanizzi, M., Torresi, M., & Camporeale, S. M. (2023). *Study of the Effects of Regenerative Braking System on a Hybrid Diagnostic Train*. *Energies*, 16(2), 874.
- Far, M., Gallas, D., Urbański, P., Woch, A., & Mieźowiec, K. (2022). *Modern combustion-electric PowerPack drive system design solutions for a hybrid two-unit rail vehicle*. *Combustion Engines*, 190(3), 80-87.
- Günay, M., Korkmaz, M. E., & Özmen, R. (2020). *An investigation on braking systems used in railway vehicles*. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(2), 421-431.
- International Fire Fighter. (2023). *Propulsion systems in trains*. Magazine is the leading global publication for municipal and industrial fire fighters and the fire and rescue industry. Recuperado 21 13 de mayo de <https://iffmag.com/propulsion-systems-in-trains/>
- Koseki, T. (2010). *Technical trends of railway traction in the world*, The 2010 International Power Electronics Conference - ECCE ASIA -, Sapporo, Japan, pp. 2836-2831.
- Rasul, M. G., Patel, A., Cole, C., Sun, Y., Spiriyagin, M., Godber, T., & Hames, S. (2013, November). *Train motive power technologies: a review on existing and emerging (hybrid) technologies*. In *10th World Congress on Railway Research (WCRR2013)* (pp. 25-28).
- Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. México: Pearson Educación.