



## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Electrificación de Sistemas Ferroviarios
<b>Clave de la asignatura:</b>	FEo-2303
<b>SATCA<sup>1</sup>:</b>	5-3-8
<b>Carrera:</b>	Ingeniería Ferroviaria

## 2. Presentación

<p><b>Caracterización de la asignatura (objetivo)</b></p> <p>Esta asignatura aporta al perfil de egreso del ingeniero Ferroviario la habilidad para proyectar la electrificación de sistemas ferroviarios de fuerza, control e iluminación en edificios y/o terminales en niveles de baja, media y alta tensión, identificando la normatividad internacional vigente para poder actuar sobre un marco legal y técnico que de ellas emana.</p> <p>Además, proporciona los conocimientos necesarios para mantener y mejorar las condiciones de operación para el uso eficiente y eficaz de los sistemas ferroviarios en materia de energía eléctrica, aportando a la formación del estudiantado el control de procesos de instalación, operación y mantenimiento de los sistemas ferroviarios conforme a la normatividad vigente con responsabilidad social, considerando el impacto ambiental.</p> <p>Esta asignatura se relaciona con Circuitos Electrónicos de Potencia, es importante mencionar que esta misma, abarca algunos contenidos que ya no se profundizan en otras asignaturas, estos contenidos tienen que terminar en la aplicación directa de los mismos, abarcando soluciones de problemáticas en los sistemas ferroviarios reales, de tal forma que se hace necesario el uso de catálogos de fabricantes de equipo y materiales eléctricos y de iluminación, estos productos deberán ser los ofrecidos en el mercado nacional o internacional para su análisis dentro de los ejercicios que se desarrollen en la asignatura. En posteriores semestres, la presente asignatura brinda los contenidos en el mantenimiento y automatización de sistemas ferroviarios. Los conocimientos adquiridos en esta asignatura permiten al egresado realizar cualquier instalación eléctrica y de electrificación de vías férreas de forma segura, económica y funcional.</p>
<p><b>Intención didáctica</b></p> <p>Esta asignatura está compuesta por seis temas:</p> <p>En el primer y segundo tema se abordan conceptos generales que permiten reforzar los conocimientos previos adquiridos por el estudiante mediante la inducción-deducción encaminadas a la práctica donde se realiza la recolección virtual o escrita, estudio y análisis de las principales normas internacionales que infieren en las instalaciones eléctricas y electrificación de los sistemas ferroviarios y los elementos que lo conforman, aportando una sólida fundamentación al curso, el cual se guiará hacia el conocimiento y manejo de los principales requisitos que deben contener los proyectos con la finalidad de ser aprobados por la autoridad competente, así como, para la liberación de un proyecto eléctrico, tales como: planos, diagrama unifilar, cuadros de distribución, de cargas por circuito, lista de materiales y memoria técnica (cálculo de corto circuito y sistema de tierras).</p>

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



En el tema tres el estudiante analiza y comprende los cálculos de calibre de conductores eléctricos y tamaño de las canalizaciones, así como de los circuitos derivados y protecciones tanto para alumbrado como para fuerza incluyendo motores y sus respectivos arrancadores hasta el llenado y construcción del diagrama unifilar de la instalación.

En el tema cuatro, se analizan los sistemas de protecciones, coordinación de protecciones, así como los sistemas de puesta a tierra y las protecciones contra sobretensiones. Fortaleciendo estos contenidos temáticos en el tema cinco mediante el diseño de una subestación eléctrica que será un elemento de vital importancia para el suministro de la energía eléctrica dentro de los sistemas ferroviarios. Por último; en el tema seis se abordarán contenidos referentes a la electrificación de los sistemas ferroviarios en específico a través de catenaria o de tercer riel.

El enfoque sugerido para la asignatura requiere actividades prácticas frente al pizarrón y en planos virtuales o en papel que promuevan el manejo y lectura de símbolos eléctricos que permitan la construcción y análisis de los diagramas unifilares de las instalaciones en cuestión y ayuden al estudiante a conceptualizar a partir de lo observado. En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el docente investigue ejemplos de instalaciones reales para guiar a sus estudiantes, a fin de que ellos identifiquen las diferentes variables a las que se van a enfrentar dependiendo del tipo de instalación y con esto aprendan a planificar el trabajo a desarrollar. Se abordan las normas al comienzo del curso buscando una visión de conjunto de las instalaciones eléctricas y electrificación de los sistemas ferroviarios. Al estudiar cada norma y aplicarla de manera reiterada permite al estudiante comprenderlas con mayor facilidad induciendo el aprendizaje significativo, oportuno e integrado de cada equipo.

Las actividades sugeridas son: actividades adicionales (congresos, talleres, cursos, MOOCS, entre otros) que complementen los temas, con la finalidad de partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se pretende iniciar con experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se acostumbre a reconocer los elementos que conforman una instalación eléctrica en los sistemas ferroviarios y no sólo sean ejemplos supuestos. Es importante que el docente muestre escenarios distintos que faciliten el aprendizaje, promueva visitas a instalaciones férreas y conferencias impartidas por expertos.

### 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
Diseña proyectos de electrificación de los sistemas ferroviarios de fuerza, control e iluminación sobre los planos y memoria técnica, para supervisar la correcta operación de los equipos eléctricos



en las diferentes áreas con base en las regulaciones vigentes en materia de energía eléctrica salvaguardando la seguridad de los usuarios y el funcionamiento de los sistemas ferroviarios.

### 5. Saberes, habilidades y destrezas previas

- Emplea los conceptos de voltaje, corriente y potencia eléctrica.
- Conoce y aplica la ley de Ohm, las leyes de voltaje y corriente de Kirchhoff, los teoremas de superposición, Thevenin y Norton en el análisis de circuitos eléctricos
- Domina el uso de dispositivos de medición, tales como multímetros, osciloscopios, puentes de impedancia, etc.

### 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción	1.1 Sistemas de alimentación eléctrica en ferrovías (contexto). 1.2 Voltaje, corriente y potencia. 1.3 Fasores. 1.4 Circuito eléctrico monofásico. 1.5 Circuitos eléctricos trifásicos. 1.5.1 Tipos de conexión más comunes: combinaciones entre estrella y delta. 1.6 Triángulo de potencias y Factor de potencia.
2	Aspectos legales y normas vigentes	2.1 Norma Oficial Mexicana, relativa a las instalaciones eléctricas. 2.1.1 Conceptos y clasificación sobre instalaciones eléctricas. 2.1.2 Interpretación de la Norma Oficial Mexicana. 2.2 Leyes Vigentes Aplicables. 2.2.1 Ley del Servicio Público de Energía y su reglamento. 2.2.2 Ley Federal sobre Metrología y Normalización. 2.2.3 Acuerdo que deben cumplir los proyectos de instalaciones para el uso de la energía eléctrica. 2.3 La figura de la Unidad Verificadora de Instalaciones Eléctricas (UVIE). 2.4 Normas internacionales en materia de electrificación de ferrovías y catenaria.
3	Conductores eléctricos y canalizaciones	3.1 Conductores eléctricos. 3.1.1 Niveles de voltaje, clasificación de los conductores y sus aislamientos. 3.1.2 Cálculo de calibres y sus aplicaciones: por corriente, cortocircuito y caída de tensión. 3.2 Cálculo y selección de canalizaciones y protecciones.



		<p>3.2.1 Conocimiento y selección accesorios de equipos de baja tensión: tuberías, canalización, dispositivos de sujeción, tableros de distribución y centros de carga</p> <p>3.2.2 Selección y cálculo de dispositivos de protección, por sobrecarga y cortocircuito para motores.</p> <p>3.3 Consideraciones de planeación: Sistemas de distribución, instalación baja tensión, acometidas, cálculo de carga y capacidad del transformador.</p> <p>3.4 Distancias mínimas en espacios de trabajo según normas.</p>
4	Protecciones eléctricas	<p>4.1 Introducción a los dispositivos de protección: clasificación y comparación de dispositivos de protección.</p> <p>4.2 Selección de dispositivos de protección con base a su capacidad interruptiva.</p> <p>4.3 Coordinación de protecciones.</p> <p>4.4 Sistemas de Tierra.</p> <p>4.4.1 Importancia y elementos que la constituyen.</p> <p>4.4.2 Puesta a tierra de equipos según normas: Tierra física, equipos de potencia, equipos electrónicos y electrodos de tierra.</p> <p>4.5 Protección contra sobretensiones.</p>
5	Subestaciones eléctricas de distribución	<p>5.1 Concepto de subestación eléctrica.</p> <p>5.2 Definición, Construcción e interpretación de diagramas unifilares.</p> <p>5.3 Elementos de una subestación eléctrica (primarios y secundarios).</p> <p>5.3.1 Acometida.</p> <p>5.3.2 Transformadores.</p> <p>5.3.3 Transformadores de corriente (TC's) y Transformadores de Potencial (TP's).</p> <p>5.3.4 Cuchillas fusible y seccionadores.</p> <p>5.3.5 Aisladores.</p> <p>5.3.6 Apartarrayos.</p> <p>5.4 Pruebas de recepción y mantenimiento de equipo eléctrico.</p> <p>5.5 Aspectos de seguridad personal en subestaciones eléctricas.</p>
6	Sistemas de electrificación ferroviaria	<p>6.1 Clasificación.</p> <p>6.1.1 Sistema de alimentación.</p> <p>6.1.2 Tipo de corriente CD o CA.</p> <p>6.1.3 Tipo de contacto: riel conductor (tercer riel) y línea aérea (catenaria).</p> <p>6.2 Elementos de un sistema de electrificación ferroviaria.</p>



		<p>6.2.1 Generación y líneas de transporte.</p> <p>6.2.1.1 Sistema Eléctrico de Potencia Interconectado.</p> <p>6.2.1.2 Sistema Eléctrico de Potencia Propio.</p> <p>6.2.1.3 Líneas de transporte.</p> <p>6.2.2 Circuito Ferroviario.</p> <p>6.2.2.1 Alimentador Positivo.</p> <p>6.2.2.2 Alimentador de acompañamiento.</p> <p>6.2.2.3 Alimentador negativo.</p> <p>6.2.2.4 Tercer riel.</p> <p>6.3 Seguridad personal en sistemas de electrificación ferroviaria.</p>
--	--	---

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

<b>1. Introducción</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende los conceptos de variables de naturaleza eléctrica, tanto monofásicos como trifásicos para aplicarlos en la electrificación de sistemas ferroviarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una búsqueda de literatura, en revistas y videos acerca de los sistemas de alimentación eléctrica de los sistemas ferroviarios y los expondrán en clase.</li> <li>Elabora una presentación de los sistemas de alimentación eléctrica, etc.</li> <li>Resuelve problemas relacionados con los circuitos eléctricos de C.A monofásicos y trifásicos con la aplicación de los conceptos de voltaje, corriente y potencia, así como determinar el factor de potencia.</li> <li>Realizar prácticas de circuitos eléctricos monofásicos y trifásicos, utilizando los equipos de medición pertinentes.</li> <li>Elaborar un problemario del tema.</li> <li>Realiza simulaciones incorporando nuevas tecnologías en software especializado reafirmando los resultados que se determinaron en el laboratorio.</li> <li>Elabora reporte de prácticas realizadas en el laboratorio.</li> </ul>
<b>2. Aspectos Legales y Normas Vigentes</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Explica requisitos y normativa en la instalación eléctrica y liberación de proyectos eléctricos emitidos por una Unidad Verificadora de Instalaciones Eléctricas (UVIE) de un sistema ferroviario en cualquier entorno y región.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una investigación de las normas oficiales en materia de instalaciones eléctricas y</li> <li>Exponer los temas investigados.</li> <li>Elaborar un resumen sobre la actualización de normas y reglamentos.</li> <li>Realizar un marco conceptual de las diferentes normas empleadas en materia de instalaciones eléctricas.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exponer en grupo el marco conceptual sobre las normas.</li> <li>Elaborar un reporte sobre los requisitos que deben tener los sistemas ferroviarios en materia de energía eléctrica.</li> <li>Realizar un tríptico sobre la figura de las UVIE's.</li> <li>Realizar una evaluación escrita.</li> </ul>
<b>3. Conductores Eléctricos y Canalizaciones</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Calcula el calibre de los conductores eléctricos y el tamaño de las canalizaciones para la instalación de un sistema ferroviario, que permita el correcto funcionamiento de los motores, arrancadores, trenes y vías.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar un mapa conceptual de la clasificación y tipos de aislamiento de los conductores eléctricos.</li> <li>Utilizar las nuevas tecnologías en tipos de conductores y canalizaciones.</li> <li>Resolver problemas para seleccionar el calibre de los conductores y su aislamiento, así como del tipo y tamaño de la canalización de acuerdo con el ambiente en el que serán expuestos.</li> <li>Realizar prácticas de instalaciones eléctricas de iluminación y arranque de motores en el laboratorio.</li> <li>Realizar reportes de prácticas.</li> <li>Exponer los resultados analíticos de las practicas realizadas.</li> <li>Realizar una evaluación escrita.</li> </ul>
<b>4. Protecciones Eléctricas</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Analiza los sistemas y coordinación de protecciones, de puesta a tierra y contra sobretensiones que evitan y reducen las posibles fallas presentadas en una instalación eléctrica del sistema ferroviario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un mapa conceptual de los diferentes tipos de protecciones.</li> <li>Implementar herramientas tecnológicas en protecciones.</li> <li>Seleccionar a través de cálculos la capacidad de los sistemas de protecciones como son los interruptores, fusibles y sobretensiones.</li> <li>Realizar prácticas en el laboratorio para seleccionar las protecciones necesarias para los equipos eléctricos y entrega reportes</li> <li>Realizar una evaluación escrita.</li> </ul>
<b>5. Subestaciones Eléctricas de Distribución</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Diseña y modela una subestación eléctrica para el suministro de la energía eléctrica dentro de los sistemas ferroviarios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigar las nuevas tecnologías en los equipos que conforman una subestación eléctrica.</li> <li>Realizar un proyecto de una subestación eléctrica calculando y seleccionado todos sus componentes dejándolo por escrito sobre planos y memoria técnica y lo defiende en clase.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar prácticas de laboratorio haciendo pruebas indicativas a transformadores y los algunos elementos con los que se disponga y entregan un reporte, a través de la conformación de equipos de trabajo.</li> <li>Realizar una evaluación escrita.</li> </ul>
<b>6. Sistemas de Electrificación Ferroviaria</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
Calcula los circuitos ferroviarios identificando los alimentadores positivos, negativo y de tercer riel, para la instalación de un sistema ferroviario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar visitas técnicas en campo donde se observen los sistemas eléctricos ferroviarios</li> <li>Realizar reportes de las vistas técnicas en equipos de trabajo.</li> <li>Incorporar y utilizar herramientas tecnológicas innovadoras en la electrificación de sistemas ferroviarios.</li> <li>Elaborar un programa de mantenimiento predictivo y preventivo para identificar los equipos eléctricos de los sistemas ferroviarios.</li> <li>Realizar prácticas en campo.</li> <li>Observar en campo sistemas de trenes alimentados por un sistema eléctrico, con la finalidad de entender la complejidad e importancia de la electrificación de sistemas ferroviarios.</li> </ul>

## 8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> <li>Conexión de circuitos monofásicos y trifásicos con sus diferentes configuraciones y realizar mediciones de voltaje corriente y potencia monofásica y trifásica por el método de los dos wattmetros, para comprobar funcionamiento de los medidores de la compañía suministradora.</li> <li>Realiza una conexión trifásica con sus combinaciones delta y estrella de tres transformadores monofásicos como un banco de transformadores y conectar una carga al 90% de su capacidad.</li> <li>Cálculo de conductores y canalizaciones para diferentes potencias de motores.</li> <li>Simulación de redes eléctricas de alimentación para vías férreas.</li> </ul>
--

## 9. Proyecto de asignatura

<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Fundamentación:</b> 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.</li> <li><b>Planeación:</b> 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</li> </ul>
---



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

Son las técnicas, instrumentos y herramientas sugeridas para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje:

- Rúbricas de evaluación.
- Listas de cotejo.
- Guía de observación.
- Cuadernos de clase
- Pruebas escritas.

Las técnicas, herramientas y/o instrumentos sugeridos que permiten obtener evidencias del aprendizaje como: elaboración de mapas conceptuales, mapas mentales, diagramas de flujo, cuadros comparativos, resúmenes, presentaciones, tablas de tres vías, modelación de circuitos, prácticas de laboratorio, etc.

Lo anterior permitirá constatar el logro de objetivos y evaluar el nivel de desempeño de los estudiantes.



## 11. Referencias

- Avelino, P. (2016). *Transformadores de distribución. Teoría, cálculo, construcción y pruebas*. Tercera Edición. Ed. Reverte.
- Brenna, M., Foadelli, F., & Zaninelli, D. (2018). *Electrical railway transportation systems*. John Wiley & Sons.
- Cuéllar, D., & Picón, A. S. (Eds.). (2012). *Catenaria: la electrificación ferroviaria en perspectiva histórica*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- EdifESp. (2021, 16 de septiembre). *Electrificación en línea de alta velocidad de Extremadura* [Archivo de Video]. Recuperado de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=bk-PbtDIWK4&t=76s>
- Fiel Calleja A & Zorita Lamadrid A. (2016). *Sistemas de tracción eléctrica ferroviaria*. Tesis para grado de ingeniería eléctrica. Universidad de Valladolid, España.
- Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A., & Schneider, E. (2018). *Contact lines for electric railways: planning, design, implementation, maintenance*. John Wiley & Sons.
- Lesics Española (2022, 18 de mayo), *¡La fascinante ingeniería detrás de los trenes eléctricos!* [Archivo de Video]. Recuperado de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=BisNI-xyGo4>
- Lesics Española (2022, 21 de julio), *Líneas eléctricas de ferrocarril: el arte de mantenerlas rectas*. [Archivo de Video]. Recuperado de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=ICnMrBFpRIw&list=RDCMUC3JOLIK2PB27Lb6IORByTsQ&index=4>
- SENER (2023, 19 de mayo). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas Utilización*. Recuperado el 19 de mayo de 2023 de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>