

### PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
EL6011	<b>TRACCION ELECTRICA</b>			
Nombre en Inglés				
<b>ELECTRICAL TRACTION</b>				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	3,0	2,0	5,0
Requisitos			Carácter del Curso	
EL 4001 Conversión de la Energía y Sistemas Eléctricos			Electivo de Línea de Especialización	
Resultados de Aprendizaje				
<p>El estudiante al finalizar el curso demostrará que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifica los principales elementos asociados con el uso de motores eléctricos en el accionamiento de cargas mecánicas de alto torque resistente y alta inercia, particularmente vehículos de transporte ferroviario.</li> <li>- comprende las características de motores aplicados en tracción y las tecnologías asociadas.</li> <li>- Conoce los elementos que constituyen un sistema eléctrico de transporte ferroviario y en particular un sistema de metro.</li> <li>- Comprende la operación y las consideraciones mecánicas de diseño de un sistema de transporte eléctrico metropolitano.</li> <li>- Conoce las tecnologías modernas de transporte ferroviario</li> <li>- analiza la operación y control de un sistema de transporte ferroviario urbano.</li> </ul>				

Metodología Docente	Evaluación General
<p>Las unidades temáticas se trabajarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En lo teórico: Clases del Profesor, tipo presentación powerpoint y en pizarra, ejercicios en clases, trabajo personal de cada alumno, tareas que deben ser desarrolladas individualmente.</li> <li>- En lo práctico, visitas a talleres y subestaciones de Metro, en lo posible.</li> <li>- PROBLEMAS RESUELTOS Y PROBLEMAS PROPUESTOS. Se tratan en clases y se agregan a la página u-Cursos.</li> </ul>	<p>Dos controles y dos tareas, más el Examen ; el promedio de las dos tareas da la nota del tercer control. Conforme al Reglamento de la Facultad se calcula la Nota de Control que es la Nota Final No hay nota de ejercicios.</p>

### Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas	
UNIDAD I.	INTRODUCCION, CONCEPTOS DE OPERACIÓN Y CONCEPTOS ELECTRICOS DE SISTEMAS DE TRACCION ELECTRICA EN PARTICULAR SISTEMAS DE METRO	3 semanas	
Contenidos		Resultado de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p><b>1. PREAMBULO, OBJETIVOS, PROGRAMA Y RED DE CONTENIDOS, ASPECTOS GENERALES SOBRE TRACCION ELECTRICA.</b></p> <p><b>2. REQUERIMIENTOS FUNDAMENTALES DE LA MAQUINA MOTRIZ.</b></p> <p>2.1. Motor serie de corriente continua, curvas características.</p> <p>2.2. Motor de inducción, curvas características.</p> <p style="text-align: center;"><b>1 clase de 3 hrs.</b></p> <p><b>3. EJEMPLOS DE SISTEMAS DE TRACCION.</b></p> <p>3.1. De un ascensor eléctrico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operación, regímenes de trabajo, potencia.</li> <li>- Especificación de los motores de acuerdo a la carga.</li> </ul> <p>3.2. De sistemas mineros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Correas transportadoras, partida y control de motores de rotor bobinado.</li> <li>- Codificación binaria de resistencias de partida.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>1 clase de 3 hrs.</b></p> <p><b>4. SISTEMA DE TRACCION FERROVIARIA METRO.</b></p> <p>4.1. Elementos básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de transporte masivo.</li> <li>- Complementareidad de los distintos modos.</li> <li>- Uso racional de recursos.</li> <li>- Transporte masivo en corredores de gran demanda.</li> <li>- Estudio para trazados: estudiar el comportamiento del ser humano, modelar, impacto, encuestas de origen destino.</li> </ul> <p>4.2. Definiciones para calcular la capacidad de transporte. (Para poder calcular la potencia eléctrica).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de coches.</li> <li>- Capacidad de cada coche.</li> <li>- Intervalo de explotación (frecuencia de paso).</li> <li>- Pasajeros/hora (Pax/h.), tramo más cargado.</li> <li>- Cantidad de trenes en línea.</li> <li>- Ábaco.</li> </ul> <p>4.3. Parámetros para deeterminación de la potencia de tracción requerida por el sistema y forma de suministrarla.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo específico: C (kWh/coche · km.)</li> </ul>	<p>Al término de la Unidad los alumnos serán capaces de comprender conceptualmente y de calcular la operación de un sistema ferroviario que opere por intervalos con el fin de pasar al análisis de la parte eléctrica de tracción.</p>		

<ul style="list-style-type: none"><li>- Valores empíricos de C. ejemplos de consumo de energía diarios de acuerdo a un programa de circulación de trenes.</li><li>- Dentro del concepto de consumo específico:<ul style="list-style-type: none"><li>- Marcha tipo.</li><li>- Velocidad, potencia.</li><li>- Curva característica de tracción.</li><li>- Fuerzas que se oponen al rodado, para ferrocarriles y metro.</li><li>- Curvas peraltes, gradiente, gradiente equivalente.</li><li>- Concepto de adherencia, peso adherente</li><li>- Boguie.</li></ul></li><li>- Formas de tomar la corriente.</li><li>- Ejercicios.</li></ul> <p style="text-align: right;"><b>1 clase de 3 hrs.</b></p>		
---	--	--

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
UNIDAD II.	UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE SUBESTACIONES DE RECTIFICACION PARA ALIMENTACION TRACCION	5 semanas
Contenidos	Resultado de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p><b>5.. UBICACION DE SS/EE DE RECTIFICACION, MODELO MATEMATICO DE LA LINEA. METODO CLASICO.</b></p> <p>5.1. Potencia de cada subestación, Normas CEI.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Repartición uniforme.</li> <li>- Repartición desuniforme</li> </ul> <p>5.2. Criterios para implantación de SS/EE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencia nominal.</li> <li>- Límite admisible de caída de tensión.</li> <li>- Terrenos (en caso sea en la calle)</li> </ul> <p>5.3. Caída de tensión en corriente continua..</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interna.</li> <li>- En línea.</li> <li>- Partida eventual de un tren.</li> <li>- En los cables de c.c.</li> </ul> <p>5.4. Cálculos económicos para determinar potencia nominal óptima.</p> <p>5.5. Desarrollo de un proyecto, a nivel del estudio económico.</p> <p>5.6. Esquema típico de un Sistema Eléctrico de alimentación metro</p> <p style="padding-left: 40px;">Esquema típico de una S/E de Rectificación.</p> <p style="text-align: center;"><b>2 clases de 3 hrs. c/u</b></p> <p><b>6. UBICACION Y DIMENSIONAMIENTO DE SS/EE DE RECTIFICACION MEDIANTE METODO DE SIMULACION.</b></p> <p>6.1. Simulación de la marcha de un tren.</p> <p>6.2. Construcción de las mallas eléctricas.</p> <p>6.3. Resolución <math>G V = I</math> para cada malla.</p> <p style="text-align: right;"><b>1 clase de 3 hrs.</b></p>	<p>Al término de la Unidad los alumnos serán capaces de calcular por un método clásico y por simulación con un modelo simple, la cantidad de subestaciones de rectificación para alimentación tracción de una línea de metro en función del intervalo de explotación.</p>	

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas	
UNIDAD III.	<b>ELECTRONICA DE POTENCIA EN SISTEMAS DE TRACCION, GENERACION DE CORRIENTES ARMONICAS</b>	4 semanas	
Contenidos		Resultado de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>7. <b>ELECTRONICA DE POTENCIA EN SISTEMAS DE TRACCION.</b></p> <p>7.1. Diferencia entre electrónica clásica y electrónica de potencia.</p> <p>7.2. Dispositivos de electrónica de potencia.</p> <p>7.3. El rectificador de potencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Montajes monofásicos.</li> <li>- Montajes trifásicos, el Puente de Graetz.</li> <li>- Gráficos, valor medio, valor efectivo, potencia aparente.</li> </ul> <p style="text-align: right;"><b>2 clases de 3 hrs. c/u</b></p> <p>7.4. Cálculos para un circuito rectificador de orden n.</p> <p>7.5. Desarrollo en serie de Fourier.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de la tensión expresada en serie de Fourier.</li> <li>- Armónicas presentes para distintos n: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lado corriente continua.</li> <li>- Lado corriente alterna.</li> </ul> </li> </ul> <p>8. <b>CONTAMINACION DE ARMONICAS DEBIDO AL EMPLEO DE RECTIFICADORES DE POTENCIA, EJEMPLO.</b></p> <p>8.1. Determinación de los circuitos para cada armónica.</p> <p>9. <b>REGULACION DE VELOCIDAD</b></p> <p>9.1. Control reostático.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión serie-paralelo, método del puente. Problemas resueltos.</li> <li>- Cadena de tracción</li> </ul> <p>9.2. Control electrónico de velocidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chopper.</li> <li>- Chopper cuatro cuadrantes.</li> <li>- Regeneración con chopper</li> </ul> <p>9.3. Frenado por regeneración.</p> <p style="text-align: right;"><b>2 clases de 3 hrs. c/u</b></p>	<p>Al término de la Unidad los alumnos serán capaces de comprender el empleo de la electrónica de potencia en tracción eléctrica, cálculo de rectificadores y la contaminación por generación de corrientes armónicas.</p>		

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas	
UNIDAD IV.	TRACCION ASINCRONA	1 semana	
Contenidos		Resultado de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p><b>10. TRACCION ASINCRONA.</b></p> <p>10.1. Generalidades.</p> <p>10.2. Control electrónico de velocidad de motores asíncronos.</p> <p>10.3. Métodos de control de velocidad.</p> <p>10.4. Comportamiento para distintas estrategias de control.</p> <p style="text-align: center;"><b>1 clase de 3 hrs.</b></p>		Al término de la Unidad los alumnos serán capaces de comprender el uso y conocer las estrategias de control para la utilización de motores de inducción trifásicos de rotor de jaula de ardilla en tracción eléctrica.	

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas	
UNIDAD V.	HILOS DE CONTACTO	1 semana	
Contenidos		Resultado de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p><b>11. LINEAS DE CONTACTO.</b></p> <p>11.1. Dispositivos de toma de corriente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruleta a catenaria.</li> <li>- Frotador a catenaria.</li> <li>- Patín a tercer riel.</li> <li>- Gancho a catenaria.</li> <li>- Pantógrafo a catenaria.</li> <li>- Frotador a tercer riel.</li> </ul> <p>11.2. Hilos de contacto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales, secciones.</li> <li>- Suspensión simple y compuesta.</li> <li>- Ecuaciones de estado.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>1 clase de 3 hrs.</b></p>		Al término de la Unidad los alumnos serán capaces de comprender la utilización de dispositivos de tomacorriente en los trenes y los hilos de contacto por ejemplo la catenaria	

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas	
UNIDAD VI.	<b>SISTEMAS ESPECIALES</b>	1 semana	
Contenidos		Resultado de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<b>12. SISTEMAS ESPECIALES Y AUTOMATISMOS, BREVE RESEÑA.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas en 2 x 25 kV., subestaciones monofásicas en conexión Scott.</li> <li>- Trenes con motor lineal.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estator: vía metálica, enrollados fuertes.</li> <li>- Rotor: tren, imanes permanentes.</li> </ul> </li> <li>- Automatismos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Señalización ferroviaria.</li> <li>- Pilotaje automático.</li> <li>- Comando centralizado</li> <li>- Comunicaciones.</li> </ul> </li> </ul>	Al término de la Unidad los alumnos serán capaces de conocer y comprender las funcionalidades de algunos sistemas especiales incluidos los automatismos	
<b>13. VEHICULOS ELECTRICOS.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Celdas de combustible</li> </ul>		

Bibliografía General
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquinas Eléctricas, Stephen J. Chapman (McGRAW HILL INTERAMERICANA S.A., Colombia).</li> <li>• Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. Muhammad H. Rashid. Prentice Hall Hispanoamericana. S.A., 1995.</li> <li>• Principios y aplicaciones de ingeniería eléctrica. Giorgio Rizzoni. Mc Graw Hill, 2002.</li> <li>• Fitzgerald, A. E.; Kinsley, Ch.; Kusko, A. Teoría y Análisis de las Máquinas Eléctricas. Barcelona: Hispano Europea</li> <li>• Lightband, D.; Bicknell, D., The direct current traction motor. Londres: Business Books Ltd.</li> <li>• SEN, P.C., Thyristor DC Drives. New York: J. Wiley.</li> <li>• Chauprade, R., Control electrónico de los motores de corriente continua: G. Gili.</li> <li>• Chauprade, R., Control electrónico de los motores de corriente alterna: G. Gili.</li> <li>• Documentos de apuntes del curso agregados por el Profesor en u-Cursos.           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción al curso.</li> <li>• Red de contenidos.</li> <li>• Distintos sistemas de electrificación.</li> <li>• Criterios de diseño.</li> <li>• Unidades de transporte en ferrocarriles.</li> <li>• Ejemplo del sistema de tracción de un ascensor eléctrico</li> <li>• Capacidad de transporte.</li> </ul> </li> </ul>

- Cálculo ubicación de subestaciones de rectificación, método clásico. Modelo matemático de la Línea.
  - Caída de tensión en la red de corriente continua.
  - Proyecto de ubicación de SS/EE de Rectificación y determinación de su potencia.
  - Resistencia al rodado.
  - Problema teórico de tracción eléctrica.
  - Simulación de la marcha de un tren.
  - Ubicación y cálculo de SS/EE R por simulación.
  - Electrónica de potencia en sistemas de tracción.
  - Contaminación de armónicas debido a los rectificadores de potencia.
  - Tracción asíncrona.
  - Líneas de contacto.
  - Codificación binaria de resistencias de partida en motores de inducción de rotor bobinado.
  - Líneas de contacto.
  - Algunos aspectos del curso en powerpoint.
- Sitios web.
    - [http://www.telesat.com.co/bin/siemens/cat\\_motores.pdf](http://www.telesat.com.co/bin/siemens/cat_motores.pdf)
    - <http://www2.ing.puc.cl/~power/alumno98/transporte/transporte.html>

Vigencia desde:	Marzo de 2010
Elaborado por:	Profesor Augusto Lucero Alday

ALA/13.10.2009