

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Ingeniería de Control Clásico
Clave de la asignatura:	EMJ 1014
SATCA¹:	4-2-6
Carrera:	Ingeniería Electromecánica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero en Electromecánica en:

- Formular, gestionar y evaluar proyectos de ingeniería relacionados con sistemas y dispositivos en el área electromecánica, proponiendo soluciones con tecnologías de vanguardia, en el marco del desarrollo sustentable.
- Implementar sistemas y dispositivos electromecánicos, utilizando estrategias para el uso eficiente de la energía en los sectores productivo y de servicios apegado a normas y acuerdos nacionales e internacionales.
- Colaborar en proyectos de investigación para el desarrollo tecnológico, en el área de electromecánica.
- Aplicar herramientas computacionales de acuerdo a las tecnologías de vanguardia, para el diseño, simulación y operación de sistemas electromecánicos acordes a las demandas del sector industrial.
- Seleccionar y utilizar teorías de control clásico con la finalidad de modelar y analizar sistemas electromecánicos, y diseñar controladores para la automatización de los procesos, existentes en todas las industrias.

Por otro lado esta asignatura contribuye en la formación integral de los estudiantes del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica (SNEST), ya que desarrolla las competencias tecnológicas, sobre el conocimiento, desarrollo e implementación de teorías de control continuo, útil en el análisis y diseño del control automático de procesos, necesario en todas las industrias. Además de proporcionar métodos estructurados de análisis dinámico de elementos y sistemas electromecánicos, herramientas para el diseño de control automático de procesos continuos; así como fundamentos sólidos para la interpretación y aplicación directa del control automático

Intención didáctica

Este programa está estructurado de acuerdo al contenido de lo que comprende un aprendizaje básico en el marco del control clásico. El Alumno se familiarizará con las bases para el modelado de los elementos eléctricos y mecánicos. Obtendrá la habilidad para aplicar métodos para el diseño de controladores de procesos.

El primer tema del curso comprende el marco conceptual de esta importante ciencia de la automatización de procesos. Pretende introducir al alumno en el conocimiento y clasificación de los tipos de automatismos sus ventajas y desventajas, así como la clasificación y caracterización de los sistemas de acuerdo con su complejidad, como lo es el concepto de linealidad y no linealidad, variantes e invariantes en el tiempo; elementos muy importantes para el entendimiento desarrollo de habilidades en materia de automatización y control.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

El segundo tema del curso desarrolla en el alumno la habilidad para aplicar como herramienta de Laplace en combinación con las leyes que gobiernan a los sistemas de nivel, mecánicos de traslación y de rotación, con la finalidad de obtener un modelo matemático que le de información del sistema físico. Así mismo adquiere los elementos para utilizar la representación de sistemas mediante diagramas de bloques, lo cual tiene la ventaja a diferencia de la función de transferencia, de mostrarnos la relación que existe entre las variables del proceso. También se introduce de manera breve el concepto del espacio de estados.

Dentro del tercer tema del curso se muestra al alumno las bases para entender el comportamiento dinámico de los sistemas de primero y segundo orden, la relación que existe entre la respuesta de un sistema y el concepto de polos y ceros. Se familiariza al alumno para que pueda identificar los tipos de respuesta para sistemas de segundo orden o sistemas de orden superior.

El cuarto tema del curso le muestra al estudiante los tipos de controladores que existen en el contexto de la teoría del control clásico; el alumno aprende a identificar las ventajas y desventajas entre los tipos de control y cuál es que debería elegir de acuerdo a la aplicación, la funcionalidad, la dinámica de la variable y lo económico. Así mismo se proporcionan las bases para que sepa cómo puede construir un controlador eléctrico, electrónico, y mecánico.

El quinto tema desarrolla en el alumno la capacidad para analizar e interpretar el criterio de la estabilidad en los sistemas de proceso, lo cual es de suma importancia para el desarrollo de habilidades en el ámbito del control y la automatización. Se considera el manejo y aplicación de métodos sistemáticos para el análisis de la estabilidad de los sistemas en lazo cerrado, partiendo del importante concepto de polos y ceros del sistema de interés; esto le dará al alumno las bases científicas sólidas, que le permitan ser propositivo en su ambiente laboral.

El último tema se dedica al desarrollo de un proyecto, con el objetivo de promover en el alumno el interés por integrar sus conocimientos y habilidades en el ámbito de su formación profesional a través de la implementación y construcción de un sistema de control en lazo cerrado, que finalmente muestre la importancia de sus capacidades.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, del 24 al 28 de agosto de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Apizaco, Centla, Ciudad Jiménez, Ciudad Juárez, Delicias, Huichapan, Irapuato, Jocotitlán, La Sierra Norte de Puebla, Lagos de Moreno, Lázaro Cárdenas, Lerdo, Libres, Linares, Los Mochis, Minatitlán, Occidente del Estado de Hidalgo, Ocotlán, Oriente del Estado de Hidalgo, Parral, Puerto Vallarta, Tamazula De Gordiano, Tijuana, Tlalnepantla, Tlaxco, Toluca, Tuxtepec, Xalapa y Zacatecas.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.

<p>Instituto Tecnológico de Mexicali, del 25 al 29 de enero del 2010.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Apizaco, Centla, Ciudad Jiménez, Ciudad Juárez, Huichapan, Irapuato, Jocotitlán, La Sierra Norte de Puebla, Lagos de Moreno, Lázaro Cárdenas, Lerdo, Libres, Los Mochis, Mexicali, Minatitlán, Occidente del Estado de Hidalgo, Ocotlán, Oriente del Estado de Hidalgo, Parral, Puerto Vallarta, Tamazula de Gordiano, Tlaxco, Toluca, Tuxtepec, Xalapa y Zacatecas.</p>	<p>Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.</p>
<p>Instituto Tecnológico de la Laguna, del 26 al 29 de noviembre de 2012.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Apizaco, Oriente del Estado de Hidalgo, La Paz, La Región Sierra, Los Cabos, Delicias, Ensenada, Chihuahua, Iguala, Lázaro Cárdenas, Lerdo, Los Ríos, Matamoros, Minatitlán, Mulegé, Nuevo Casas Grandes, Puerto Progreso, Puerto Vallarta, Tapachula y Zacatepec.</p>	<p>Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica.</p>
<p>Instituto Tecnológico de Toluca, del 10 al 13 de febrero de 2014.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Boca del Río, Celaya, Mérida, Orizaba, Puerto Vallarta y Veracruz.</p>	<p>Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de Ingenierías, Licenciaturas y Asignaturas Comunes del SNIT.</p>
<p>Tecnológico Nacional de México, del 25 al 26 de agosto de 2014.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Apizaco, Boca del Río, Celaya, Cerro Azul, Cd. Juárez, Cd. Madero, Chihuahua, Coacalco, Coatzacoalcos, Durango, Ecatepec, La Laguna, Lerdo, Matamoros, Mérida, Mexicali, Motúl, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Poza Rica, Progreso, Reynosa, Saltillo, Santiago Papasquiario, Tantoyuca, Tlalnepantla,</p>	<p>Reunión de trabajo para la actualización de los planes de estudio del sector energético, con la participación de PEMEX.</p>

	Toluca, Veracruz, Villahermosa, Zacatecas y Zacatepec. Representantes de Petróleos Mexicanos (PEMEX).	
--	--	--

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> • Modela y estudia la dinámica de los componentes básicos de sistemas electromecánicos. • Aplica las teorías de la ingeniería de control clásico para el análisis y diseño de los controladores que se implementan en la automatización de procesos.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Domina conceptos teóricos y prácticos de las leyes que gobiernan los sistemas eléctricos y mecánicos. • Interpreta gráfica de funciones en general. • Comprende y maneja de las funciones que relacionan las variables eléctricas y mecánicas en los elementos eléctricos y mecánicos básicos. • Tiene capacidad para obtener el modelo dinámico de sistemas eléctricos y mecánicos. • Domina la transformación de expresión matemática del dominio del tiempo al dominio de Laplace y viceversa. • Representa en forma matricial un sistema de ecuaciones.
--

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Sistemas de control	1.1 Marco conceptual: Control, sistema, proceso, actuador, variable controlada, variable manipulada, sistema de control, perturbación, entrada de referencia. 1.2 Control en lazo abierto 1.2.1 Representación mediante diagrama de bloques 1.2.2 Análisis de ejemplos reales. 1.3 Control en lazo cerrado 1.3.1 Representación mediante diagrama de bloques 1.3.2 Análisis de ejemplos reales. 1.4 Sistemas lineales. 1.4.1 Sistemas lineales invariantes en el tiempo. 1.4.2 Sistemas lineales variantes en el tiempo. 1.5 Sistemas no lineales y linealización

2	Modelado de sistemas dinámicos	<p>2.1 Función de transferencia</p> <p>2.1.1 Sistemas mecánicos de traslación y rotación</p> <p>2.1.2 Sistemas eléctricos.</p> <p>2.2 Sistemas análogos.</p> <p>2.2.1 Analogía fuerza-tensión</p> <p>2.2.2 Analogía Fuerza corriente.</p> <p>2.3 Algebra de bloques. Reducción y representación de sistemas</p> <p>2.4 Sistemas electromecánicos: Motor de CD controlados por el inducido y Motor de CD controlados por el campo.</p> <p>2.5 Espacio de estados y su relación entre con la función de transferencia.</p>
3	Respuesta dinámica	<p>3.1. Sistemas de 1er orden.</p> <p>3.1.1. Respuesta al escalón unitario.</p> <p>3.1.2. Respuesta a la rampa.</p> <p>3.2. Sistemas de segundo orden.</p> <p>3.2.1. Clasificación.</p> <p>3.2.2. Parámetros de la respuesta ante la entrada escalón.</p> <p>3.3. Sistemas de orden superior.</p>
4	Acciones básicas de controladores	<p>4.1. Acciones de control.</p> <p>4.1.1. Acción de dos posiciones.</p> <p>4.1.2. Acción proporcional.</p> <p>4.1.3. Acción integral.</p> <p>4.1.4. Acción derivativa.</p> <p>4.1.5. Acción proporcional e integral.</p> <p>4.1.6. Acción proporcional y derivativa.</p> <p>4.1.7. Acción proporcional derivativa e integral.</p> <p>4.2. Criterios para la selección de un controlador.</p> <p>4.3. Construcción de controladores</p> <p>4.3.1. Controlador PID electrónico.</p> <p>4.3.2. Método de Ziegler y Nichols</p>
5	Estabilidad	<p>5.1 Criterio de Routh-hurwitz.</p> <p>5.2 Lugar geométrico de las raíces.</p> <p>5.2.1 Reglas generales de construcción</p> <p>5.3 Cancelación de los polos y ceros</p>
6	Aplicación de proyecto de control	<p>6.1 Control de velocidad de un motor en lazo cerrado.</p> <p>6.1.1 Utilizando control proporcional.</p> <p>6.1.2 Utilizando control Proporcional Integral.</p> <p>6.1.3 Utilizando control (PID) Proporcional Integral Derivativo.</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Sistemas de control	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconoce y organiza los conceptos de los elementos fundamentales de la teoría de control, para identificar los componentes fundamentales de sistemas electromecánicos. Reconoce los sistemas de control en lazo cerrado y lazo abierto para identificar sistemas electromecánicos reales. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de análisis y síntesis. Capacidad de organizar y planificar. Conocimientos básicos de la carrera. Habilidades básicas de manejo de la computadora. 	<ul style="list-style-type: none"> Analizar los conceptos básicos que caracterizan un sistema de control, y fundamentar la terminología que se utiliza en estos sistemas mediante su identificación en un sistema de nivel. Investigar y discutir el concepto de sistemas de control en lazo cerrado y lazo abierto. Identificar y clasificar ejemplos de sistemas conocidos en su entorno. Investigar los conceptos: Sistemas lineales, no lineales, variantes e invariantes en el tiempo. Discutir e interpretar la relación de linealidad que existe entre el voltaje y la corriente en una resistencia. Investigar, identificar y clasificar ejemplos de sistemas conocidos en su entorno.
2. Modelado de sistemas dinámicos	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Aplica las leyes de control que gobiernan a los sistemas eléctricos, mecánicos y de nivel, para generar el modelo matemático que describe el comportamiento dinámico del sistema físico. Representándolos como función de transferencia y en el espacio de estados.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de aprender. Capacidad de análisis y síntesis. Capacidad de organizar y planificar. Conocimientos básicos de la carrera. Comunicación oral y escrita. Habilidades básicas de manejo de la computadora. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtener la función de transferencia de un circuito RLC serie. Simular e interpretar la respuesta del circuito RLC serie ante una entrada escalón. Construir un circuito RLC serie y comparar con la respuesta simulada. Obtener la función de transferencia de un circuito masa-amortiguador-resorte serie. Simular respuesta del circuito masa-amortiguador-resorte serie ante una entrada escalón. Construir circuito masa-amortiguador-resorte serie y comparar con la respuesta simulada. Obtener y analizar la función de transferencia del motor de CC controlados por el inducido, motor de CC controlados por el campo y sistema de nivel de líquidos con dos tanques en cascada.
3. Respuesta dinámica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Clasifica los sistemas de proceso de acuerdo con el orden para examinar e interpretar la dinámica de la variable de salida.</p> <p>Genéricas:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Clasificar los tipos de señales de entrada más comunes, que se utilizan en el ámbito de control. Analizar, discutir y relacionar los parámetros que caracterizan a la respuesta de un sistema de 1er orden ante una entrada escalón.

<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad de aprender. • Capacidad de análisis y síntesis. • Capacidad de organizar y planificar. • Conocimientos básicos de la carrera. • Comunicación oral y escrita. • Habilidades básicas de manejo de la computadora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar y clasificar los tipos de respuesta de un sistema de segundo orden, ante una entrada escalón. • Implementar y discutir el orden de un circuito RLC o masa-resorte-fricción, mediante la comparación de la respuesta ante una entrada escalón. • Calcular y discutir las características de un sistema de orden superior con base en la ubicación de sus polos. • Investigar y fundamentar los conceptos de análisis que se consideran en el diseño e identificación de los sistemas de orden superior.
4. Acciones básicas de control	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analiza e identifica los tipos de acciones de control que comprende la teoría de control clásico, para identificar su posible aplicación.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis. • Capacidad de organizar y planificar. • Conocimientos básicos de la carrera. • Habilidades básicas de manejo de la computadora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar los tipos de acciones de control, y realizar una tabla comparativa de ventajas y desventajas, según el costo beneficio en diferentes contextos. • Identificar y seleccionar el tipo de acción de control para un sistema específico (manejar diferentes sistemas). • Construir y analizar las diferentes acciones de control utilizando elementos eléctricos y electrónicos y aplicar diferentes técnicas.
5. Estabilidad	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica teorías de control clásico para analizar la estabilidad de un sistema a partir de su función de transferencia, utilizando métodos sistemáticos. • Implementa métodos para el diseño de controladores de sistemas de una entrada y una salida, a partir de los requerimientos de la salida del sistema. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad de análisis y síntesis. • Capacidad de organizar y planificar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentar mediante análisis de estabilidad de Routh-Hurwitz, la estabilidad para sistemas eléctricos, mecánicos y electromecánicos. • Diseñar un controlador PID para controlar un motor de CD en lazo cerrado, utilizando el método de Routh-Hurwitz y Ziegler-Nichols para calcular los parámetros. • Aplicar el método del lugar de las raíces para analizar la estabilidad de un motor de cd controlado por el inducido (armadura) y por campo considerando un control Proporcional.
6. Aplicación de Proyecto de control	
Competencias	Actividades de aprendizaje

<p>Específica(s): Diseña, implementa y reflexiona sobre los distintos tipos de control que comprende el control clásico, para automatizar sistemas utilizando dispositivos electrónicos.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de análisis y síntesis • Capacidad de organizar y planificar • Conocimientos básicos de la carrera • Habilidad en manejo de computadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar y calcular los parámetros requeridos de acuerdo al tipo de proyecto, con la finalidad de obtener el modelo dinámico de este. • Utilizar el modelo dinámico obtenido para diseñar e implementar un control: <ul style="list-style-type: none"> ○ Proporcional ○ Proporcional-Integral ○ Proporcional-Integral-Derivativo <p>Permitiendo su control óptimo.</p>
--	---

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> • Modelado en ecuaciones diferenciales de diferentes sistemas: eléctricos, mecánicos, de nivel, térmicos y electromecánicos. • Modelado en espacio de estados para diferentes sistemas: eléctricos, mecánicos, de nivel, térmicos y electromecánicos. • Obtención de la función de transferencia para diferentes sistemas: eléctricos, mecánicos, de nivel, térmicos y electromecánicos. • Construcción de un controlador tipo proporcional • Construcción de un controlador tipo proporcional-integral • Construcción de un controlador tipo proporcional-integral-derivativo

9. Proyecto de asignatura

<p>El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 las competencias genéricas y específicas 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”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.
--

10. Evaluación por competencias

Instrumentos y herramientas sugeridas para evaluar las actividades de aprendizaje:

- Examen escrito para evaluación del trabajo en el aula
- Desarrollo de prácticas en el laboratorio evaluadas con guía de desempeño
- Desarrollo de reporte escrito del trabajo práctico evaluado con lista de cotejo
- Evaluación de trabajos de investigación evaluados con una rubrica
- Evaluación de solución de problemas evaluados con lista de cotejo y problemario
- Reporte de las simulaciones software evaluado con lista de cotejo

11. Fuentes de información

1. Domínguez, S, Jiménez, A, Sebastián, J y Campoy, P (2006). *Control en el espacio de estados* (2 ed.). México: Pearson Educación
2. Dorf, R. (2005). *Sistemas de control moderno* (10 ed.). México: Pearson Educación
3. Hernández, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control* (1 ed.). México: Pearson Educación
4. Kuo, B. (2010). *Sistemas automáticos de control* (7 ed.). México: Pearson Educación
5. Nise, N. (2002). *Sistemas de control para ingeniería* (3 ed.). México: CECSA
6. Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5 ed.). México: Pearson Educación
7. Ogata, K. (1999). *Problemas de ingeniería de control utilizando MATLAB* (5 ed.). México: Pearson Educación
8. Ogata, K. (1988). *Dinámica de sistemas*. México: Prentice Hall