

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura :	Ingeniería de Control Clásico
Carrera :	Ingeniería Electromecánica
Clave de la asignatura :	EMJ-1014
SATCA ¹	4-2-6

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

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.

Diseñar e 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.

El alumno seleccionará y utilizará 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.

El programa de la asignatura de (Electrónica Analógica) está diseñado para contribuir en la formación integral de los estudiantes del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnología (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.

Este programa proporciona 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.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

Se organiza el temario agrupando los contenidos conceptuales de la asignatura ;

Este programa esta 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.

La primera parte 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.

La segunda parte del curso desarrolla en el alumno la habilidad para aplicar como herramienta la variable de Laplace en combinación con las leyes que gobiernan a los sistemas eléctricos, 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 y la relación de este con la función de transferencia, a través de lo cual el alumno logra identificar la clasificación entre control clásico y control moderno.

La tercera parte del curso 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.

La cuarta parte 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 cual 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 como puede construir un controlador eléctrico, electrónico, y mecánico.

La quinta parte del curso 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.

La sexta parte del curso 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.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

Competencias específicas:

- Modelar y estudiar la dinámica de los componentes básicos de sistemas electromecánicos.
- Aplicar las teóricas de la ingeniería de control clásico para el análisis y diseño de los controladores que se implementan en la automatización de procesos.

Competencias genéricas:

Competencias instrumentales

- 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
- Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas
- Solución de problemas
- Toma de decisiones.

Competencias interpersonales

- Capacidad crítica y autocrítica
- Trabajo en equipo
- Habilidades interpersonales
- Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinario
- Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas
- Apreciación de la diversidad y multiculturalidad
- Habilidad para trabajar en un ambiente laboral

Competencias sistémicas

- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
- Habilidades de investigación
- Capacidad de aprender
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
- Habilidad para trabajar en forma autónoma
- Búsqueda del logro
- Iniciativa y espíritu emprendedor
- Preocupación por la calidad

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
<p>Instituto Tecnológico Superior de Irapuato del 24 al 28 de agosto de 2009.</p>	<p>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.</p>	<p>Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.</p>
<p>Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 1 de septiembre al 15 de diciembre de 2009.</p>	<p>Academias de Ingeniería Electromecánica de los Institutos Tecnológicos de: Aquí va los tec</p>	<p>Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.</p>
<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 la Carrera de Ingeniería Electromecánica.</p>

5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

- Modelar la dinámica de los componentes básicos de sistemas electromecánicos.
- Aplicar las teorías de la ingeniería de control clásico para el análisis y diseño de los controladores que se implementan en la automatización de procesos.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Dominio teórico y práctico de las leyes que gobiernan los sistemas eléctricos y mecánicos.
- Interpretación gráfica de funciones en general.
- Comprensión y manejo de las funciones que relacionan las variables eléctricas y mecánicas en los elementos eléctricos y mecánicos básicos.
- Capacidad para obtener el modelo dinámico de sistemas eléctricos y mecánicos.
- Pasar una expresión matemática del dominio del tiempo al dominio de Laplace y viceversa.
- Representar en forma matricial un sistema de ecuaciones.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Sistemas de control	1.1 Marco conceptual. 1.1.1 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 invariables en el tiempo. 1.4.2 Sistemas lineales variables en el tiempo. 1.5 Sistemas no lineales. 1.5.1 Linealización.
2	Modelado de sistemas dinámicos.	2.1 Función de transferencia. 2.1.1 Sistemas mecánicos. 2.1.1.1 De translación.

		<ul style="list-style-type: none"> 2.1.1.2 De rotación. 2.1.2 Sistemas eléctricos. 2.1.3 Representación en diagramas de bloque a lazo cerrado. 2.2 Sistemas análogos. <ul style="list-style-type: none"> 2.2.1 Analogía fuerza-tensión 2.2.2 Analogía Fuerza corriente.. 2.3 Algebra de bloques. <ul style="list-style-type: none"> 2.3.1 Reducción de diagramas de bloques. 2.3 Sistemas eléctricos y mecánicos. <ul style="list-style-type: none"> 2.3.1 Motores de CC controlados por el inducido. 2.3.2 Motores de CC controlados por el campo. 2.4 Espacio de estados.Relación entre función de transferencia y espacio de estados.
3	Respuesta dinámica.	<ul style="list-style-type: none"> 3.1 Sistemas de 1er orden. <ul style="list-style-type: none"> 3.1.1 Respuesta al escalón unitario. 3.1.2 Respuesta a la rampa. 3.2 Sistemas de 2° orden. <ul style="list-style-type: none"> 3.2.1 Clasificación. 3.2.2 Parametros de la respuesta subamortiguada ante la entrada escalón. 3.3 Sistemas de orden superior.
4	Acciones básicas de control.	<ul style="list-style-type: none"> 4.1 Acciones de control. <ul style="list-style-type: none"> 4.1.1 Acción de dos posiciones. 4.1.2 Acción proporcional. 4.1.3 Acción integral. 4.1.4 Acción derivativa. 4.1.5 Acción proporcional e integral. 4.1.6 Acción proporcional y derivativa. 4.1.7 Acción proporcional derivativa e integral. <ul style="list-style-type: none"> 4.1.7.1 Método de Ziegler y Nichols 4.2 Criterios para la selección de un controlador. 4.3 Contrucción de controladores <ul style="list-style-type: none"> 4.3.1 Controlador PID eléctrico. 4.3.2 Controlador PID electrónico. 4.3.3 Controlador PID Mecánico.
5	Estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> 5.1 Criterio de Routh-hurwitz. 5.2 Lugar geométrico de las raíces.

		<p>5.2.1 Reglas generales para construir el lugar geométrico de las raíces.</p> <p>5.2.2 Cancelación de los polos con $G(s)$ con ceros $H(s)$</p>
6	Aplicación de proyecto de control	<p>6.1 Control de velocidad de un motor en lazo cerrado.</p> <p>6.1.1 Implementación de un control proporcional.</p> <p>6.1.2 Implementación de un control Proporcional Integral.</p> <p>6.1.3 Implementación de un control Proporcional Integral Derivativo.</p>

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes.
- Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de los contenidos de la asignatura.
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes.
- Propiciar, en el estudiante, el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, las cuales lo encaminan hacia la investigación, la aplicación de conocimientos y la solución de problemas.
- Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de trabajo en equipo.
- Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.
- Propiciar el uso adecuado de conceptos, y de terminología científico-tecnológica
- Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución.
- Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente; así como con las prácticas de una ingeniería con enfoque sustentable.
- Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

La evaluación de la asignatura se hará con base en el desempeño de:

- Examen de conocimientos.
- Examen diagnóstico al inicio del curso.
- Reportes de trabajos, visitas y prácticas.
- Participación individual y en equipo.
- Trabajos de Investigación.
- Proyecto integrador.
- Manejo de software para la simulación de modelos dinámicos.

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: **Sistemas de control**

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Reconocer y organizar los conceptos de los elementos fundamentales de la teoría de control de procesos, para identificar los componentes fundamentales de los sistemas de proceso.</p> <p>Reconocer y relacionar los sistemas de control en lazo cerrado y lazo abierto para identificar sistemas automáticos reales.</p> <p>Identificar sistemas eléctricos y mecánicos, con base en el concepto de sistemas lineales, no lineales, variantes e invariantes en el tiempo para clasificar las propiedades que caracterizan a los sistemas dinámicos.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Analizar los conceptos básicos que caracterizan un sistema de control de procesos, y fundamentar la terminología que se utiliza en estos sistemas mediante su identificación en un sistema de nivel.• Analizar la historia y aplicación de los sistemas de control.• 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.• Compartir y reflexionar la clasificación de ejemplos.• 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.• Compartir y reflexionar la clasificación de ejemplos.• Modelar una red eléctrica RLC, y discutir si su modelo es lineal o no lineal, variante o invariante en el tiempo.• Modelar una red mecánica masa, amortiguador, resorte, y discutir si su modelo es lineal o no lineal, variante o

	invariante en el tiempo.
--	--------------------------

Unidad 2: Modelado de sistemas dinámicos.

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Aplicar las leyes 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. Así como resolver la relación que existe entre ambas representaciones, para el análisis y diseño de controladores.</p>	<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.

Unidad 3: Respuesta dinámica.

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Clasificar los sistemas de proceso de acuerdo con el orden para examinar e interpretar la dinámica de la variable de salida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificar los tipos de señales de entrada más comunes, que se utilizan en el ámbito de control, de acuerdo con las entradas comunes que se utilizan en un sistema de proceso real. • Analizar, discutir y relacionar los parámetros que caracterizan a la respuesta de un sistema de 1er orden ante una entrada escalón. • Implementar y discutir el orden de un circuito RC serie, mediante la comparación de la respuesta de voltaje en el capacitor ante una entrada escalón. • Implementar y discutir el orden de un circuito masa-resorte en cascada,

	<p>mediante la comparación de la respuesta de desplazamiento del resorte ante una entrada escalón.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar y discutir el orden de un sistema de nivel a un tanque, mediante la comparación de la respuesta ante una entrada escalón. • 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 serie, mediante la comparación de la respuesta de voltaje en el capacitor ante una entrada escalón. • Implementar y discutir el orden de un circuito masa-resorte-amortiguador en cascada, mediante la comparación de la respuesta de desplazamiento del resorte ante una fuerza de 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.
--	---

Unidad 4: Acciones básicas de control.

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Analizar e identificar los tipos de acciones de control que comprende la teoría de control clásico, para identificar su posible aplicación.</p>	<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, tomando como base un sistema de nivel y un sistema de velocidad. • Identificar y seleccionar el tipo de acción de control para un sistema de nivel. • Identificar y seleccionar el tipo de acción de control para un sistema de temperatura. • Identificar y seleccionar el tipo de acción de control para controlar la velocidad angular. • Construir y analizar las diferentes acciones

	de control utilizando elementos eléctricos y electrónicos.
--	--

Unidad 5: Estabilidad

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Aplicar teorías de control clásico para analizar la estabilidad de un sistema a partir de su función de transferencia, utilizando métodos sistemáticos.</p> <p>Implementar 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>	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentar mediante análisis de estabilidad de Routh-hurwitz, la estabilidad para motor de CD controlado por el inducido, considerando un control Proporcional. • Fundamentar mediante análisis de estabilidad de Routh-hurwitz, la estabilidad para motor de CD controlado campo, considerando un control Proporcional. • Diseñar un controlador PID para controlar un motor de CD en lazo cerrado, utilizando el método de Routh-Hurwitz 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 considerando un control Proporcional. • Aplicar el método del lugar de las raíces para analizar la estabilidad de un motor de cd controlado por campo considerando un control Proporcional.

Unidad 6: Aplicación de proyecto de control

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Diseñar, implementar y reflexionar sobre los distintos tipos de control que comprende el control clásico, para automatizar sistemas de proceso utilizando dispositivos electrónicos e interfaces específicas para el monitoreo y control.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar y calcular los parámetros eléctricos de un motor de CD controlado por el inducido, para obtener el modelo dinámico de este. • Utilizar el modelo del motor de CD obtenido para diseñar e implementar un control: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcional • Proporcional-Integral • Proporcional-Integral-Derivativo <p>que permita mantenerlo en una velocidad angular deseada.</p>

Haga clic aquí para escribir texto.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Norman S. Nise. *Sistemas de control para ingeniería*. Ed. CECSA
2. Ogata. *Ingeniería de control moderna*. Ed. Pearson
3. Benjamin C. kuo. *Sistemas automáticos de control*. Ed. CECSA
4. John Dorsey. *Sistemas de control continuo y discreto*. Mc Graw Hill
5. Antonio Barrietos. *Control de sistemas continuos – problemas resueltos*
Mc Graw Hill

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Construir un sistema de nivel en lazo abierto.
- Construir un sistema de nivel en lazo cerrado.
- Obtener la función de transferencia del sistema de nivel
previamente construido, considerando la forma de la respuesta ante una
entrada escalón.
- Construir un controlador proporcional analógico utilizando el amplificador
operacional LM324.
- Construir un controlador proporcional-derivativo analógico utilizando el
amplificador operacional LM324.
- Construir un controlador proporcional-Integral analógico utilizando el
amplificador operacional LM324.
- Construir un controlador proporcional-Integral-derivativo analógico
utilizando el amplificador operacional LM324.
- Implementar un controlador PID en lazo cerrado para controlar la carga de
un capacitor en un circuito RC.
- Implementar un controlador PID en lazo cerrado para gobernar la carga de
un capacitor en un circuito RLC.
- Encontrar el valor de la ganancia K (si es que existe) que hace inestable al
sistema RLC y demostrarlo, utilizando un capacitor de $10\mu\text{F}$.
- Construir e implementar un tacómetro, que entregue una salida de voltaje
de 0 a 5v, en relación al rango de revoluciones de un motor de CD
deseado.
- Diseñar e implementar un controlador PID analógico con el operacional
LM324, para controlar en lazo cerrado la velocidad del motor de CD
previamente seleccionado.