



1.- Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Sistemas de Control en Tiempo Real
Clave de la asignatura:	RCJ-2402
Créditos¹	4-2-6
Carrera:	Ingeniería Electrónica

2.- Presentación

Caracterización de la asignatura.
<p>Esta asignatura aporta al perfil de egreso del ingeniero(a) en electrónica las competencias necesarias para el desarrollo de habilidades y el análisis, diseño e integración de sistemas de control automático y simulación por computadora digital, para la solución de problemas en el entorno, aplicando normas técnicas y estándares nacionales e internacionales, así como crear, innovar, adaptar, y transferir tecnología en el ámbito de la ingeniería electrónica y sistemas de control, mediante la aplicación de métodos y procedimientos científicos, tomando en cuenta el desarrollo sustentable del entorno. Además, permite gestionar proyectos de investigación y/o desarrollo tecnológico, así como ejercer actividades emprendedoras de liderazgo y adquirir habilidades para la toma de decisiones en su ámbito profesional. En diversas aplicaciones del control por computadora con sistemas electrónicos embarcados hace necesario el conocimiento de la teoría de diseño de los sistemas de control basados en los conceptos de control clásico y control moderno, y su implementación mediante sistemas electrónicos con microcontroladores embarcados, lo cual promueve la solución de problemas prácticos de una forma más eficiente o versátil. Por lo que es conveniente que los estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica adquieran conocimientos del diseño de sistemas de control clásico y moderno aplicados para la implementación de algoritmos control en tiempo real ejecutados en un sistema electrónico con microcontrolador embarcado. La asignatura requiere que el estudiante cuente con bases sólidas en sistemas de control, sistemas digitales, así como nociones de programación, por lo tanto, se relaciona con las asignaturas de sistemas de control continuo, sistemas de control digitales, sistemas con microcontrolador, programación con C++, manejo del programa Matlab-Simulink.</p>



Intención didáctica.

El docente debe ser conocedor de la disciplina que está bajo su responsabilidad, y tener capacidad para trabajar en equipo, destrezas que le permitan proponer actividades a desarrollar, formación pedagógica para abordar con mayor propiedad los diferentes estilos cognitivos de los estudiantes, facilitar, direccionar y orientar el trabajo del estudiante, potenciar en el estudiante la autonomía y toma de decisiones, tener flexibilidad en el seguimiento del proceso, estimular y potenciar el trabajo autónomo y cooperativo, facilitar la interacción personal. Para desarrollar competencias de comunicación los estudiantes presentan al grupo una ponencia oral, mostrando las aplicaciones de la temática vista a su formación profesional y proyecto de vida.

Esta asignatura comprende cuatro temas fundamentales de los sistemas de control automático, en el primer tema se encuentran los conceptos básicos de modelado de sistemas físicos mediante diagramas de bloques con funciones de transferencia internas de sistemas dinámicos. Así como el modelado de sistemas físicos mediante la representación en el espacio de estados de sistemas físicos. Se aborda también de forma introductoria el modelado de sistemas no lineales y de sistemas robóticos.

En el segundo tema se aborda el diseño de controladores con un enfoque clásico, como lo son: el controlador proporcional derivativo (Controlador PD), controlador proporcional integral (Controlador PI), controlador proporcional integral derivativo (Controlador PID). Así como el análisis de estabilidad desde el punto de vista del polinomio característico de lazo cerrado, también se abordan aplicaciones de implementación mediante un microcontrolador embarcado y un programa de interfaz conectado en una computadora personal.

En el tercer tema se aborda el diseño de controladores con un enfoque moderno, como lo son: el controlador por realimentación de estados para el caso de estabilización, y el controlador por realimentación de estados para el caso de regulación (Controlador RE). Así como el análisis de estabilidad desde el punto de vista de los valores propios o autovalores del sistema realimentado. También se estudia la teoría de controladores de estructura variable por modos deslizantes (Controlador SMC), así como las aplicaciones de implementación del controlador por realimentación de estados y el controlador SMC mediante un microcontrolador embarcado y un programa de interfaz conectado en una computadora personal.

En el cuarto tema se aborda el diseño de un controlador óptimo con un enfoque de la teoría de estabilidad de Lyapunov para sistemas lineales, cubriendo los siguientes conceptos: función definida positiva, matriz definida positiva, función candidata de Lyapunov, criterio de estabilidad de Lyapunov, diseño de un controlador óptimo cuadrático, y finalmente, se aborda la aplicación de implementación del controlador



óptimo cuadrático mediante un microcontrolador embarcado y un programa de interfaz conectado en una computadora personal.

En todos los temas del curso, se hace hincapié en que el estudiante desarrolle una actividad integradora, utilizando como base de funcionamiento un microcontrolador embarcado conectado a un programa de interfaz en una computadora personal. Con la intención de consolidar los conocimientos adquiridos, así como desarrollar su potencial creativo y emprendedor. El enfoque sugerido para la asignatura requiere que las actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción y deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja.

Las competencias genéricas que se fortalecen en esta asignatura son las interpersonales, instrumentales y sistémicas a través de investigación, trabajo en equipo, elaboración de prácticas y redacción de reportes respectivos, ensayos, exposiciones, análisis de casos, entre otros. Durante el desarrollo de las actividades programadas en la asignatura es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva particularmente a cabo y entienda que está construyendo su conocimiento, aprecie la importancia del mismo y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión, la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo, el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía y en consecuencia actúe de manera profesional. Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos y los considere en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura.

3.- Participantes en el diseño y seguimiento del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de La Laguna. Marzo de 2024.	Academia de Ingeniería Electrónica y Cuerpo Académico de Mecatrónica y Control del Instituto Tecnológico de La Laguna	Diseño curricular de la especialidad: Robótica y Control Avanzado.



4.- Competencia(s) a desarrollar.

Competencia(s) específica(s) de la asignatura:

- Desarrolla aplicaciones de sistemas de control automático para su implementación en un microcontrolador embarcado que ejecuta algoritmos de control en tiempo real, para resolver problemas específicos en el ámbito de la aplicación de la ingeniería en sistemas robóticos y de control avanzado.

5.- Competencias previas.

- Conocimientos de modelado de sistemas con ecuaciones diferenciales.
- Conocimientos de sistemas con microcontrolador embarcado.
- Conocimientos de modelado de sistemas en el dominio de la frecuencia.
- Conocimientos de sensores electrónicos.
- Conocimientos de programas de simulación para sistemas de control.
- Conocimientos de conceptos de física clásica.

6.- Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Modelado de sistemas dinámicos	1.1. Ecuación diferencial de un sistema dinámico. 1.2. Representación de un sistema mediante la Función de Transferencia. 1.3. Diagrama de bloques de sistemas dinámicos 1.4. Representación en el espacio de estados de variables físicas. 1.5. Respuesta transitoria de sistemas de primero y segundo orden. 1.6 Introducción al modelado de sistemas No-Lineales. 1.7 Modelado de diversos sistemas dinámicos y robóticos.
2	Diseño de controladores con un enfoque clásico	2.1 Sistemas de control en el lazo directo. 2.2 Diseño del controlador PI. 2.3 Diseño del controlador PD. 2.4 Diseño del controlador PID. 2.5 Estabilidad de la función de transferencia del sistema en lazo cerrado.



		2.6 Aplicación del controlador PID en sistemas dinámicos y robóticos.
3	Diseño de controladores con un enfoque moderno	3.1 Descripción del controlador por realimentación de estados de variables físicas. 3.2 Definición del concepto de controlabilidad. 3.3 Diseño del controlador por realimentación de estados caso estabilización y caso regulación (Controlador RE). 3.4 Diseño del controlador de estructura variable por modos deslizantes (Controlador SMC). 3.5 Estabilidad del sistema de control en lazo cerrado. 3.6 Aplicaciones del Controlador RE y del Controlador SMC en sistemas dinámicos y robóticos.
4	Introducción al control óptimo.	4.1 Criterio de estabilidad de Lyapunov. 4.2 Función definida positiva. 4.3 Matriz definida positiva. 4.4 Función candidata de Lyapunov y prueba de estabilidad. 4.5 Solución de la ecuación de Lyapunov. 4.6 Diseño del controlador óptimo cuadrático. 4.7 Aplicación del controlador óptimo cuadrático en sistemas dinámicos y robóticos.

7.- Actividades de aprendizaje de los temas.

Tema 1: Modelado de sistemas dinámicos.	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas</u> <ul style="list-style-type: none">Analiza y simula sistemas dinámicos lineales mediante diagramas de bloques de función de transferencia y mediante la representación en el espacio de estados de variables físicas.	-Estudiar los conceptos relacionados con la sobre respuesta transitoria de sistemas lineales. -Explicar sobre conceptos de modelado con diagramas de bloques y la función de transferencia.



<p><u>Genéricas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis • Solución de problemas • Capacidad de trabajar en equipo • Habilidades de investigación 	<p>-Simular sistemas lineales de segundo orden y orden superior utilizando diagramas de bloques y diagramas de variables de estado.</p> <p>-Analizar modelos de sistemas dinámicos mediante diagramas de bloques de función de transferencia y mediante la representación en el espacio de estados, así como el comportamiento cualitativo, mediante el programa de simulación Matlab-Simulink.</p>
--	---

Tema 2: Diseño de Controladores con un enfoque clásico	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p><u>Específicas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar controladores tipo PI, PD y PID tanto en regulación y seguimiento que resuelvan sus respectivos problemas de control de sistemas dinámicos con parámetros conocidos o inciertos. <p><u>Genéricas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos prácticos. • Capacidad de diseño. • Capacidad de investigación. • Capacidad de análisis. • Habilidades en el uso de la tecnología y la información. 	<p>-Investigar sobre la formulación del problema de control de regulación y seguimiento y sus posibles soluciones, mediante un enfoque de control clásico.</p> <p>-Diseñar controladores con un enfoque clásico tanto para regulación como para seguimiento para una solución del problema de control lineal.</p> <p>-Investigar sobre la técnica de diseño de controladores tipo PI, PD y PID aplicados a sistemas dinámicos y robóticos.</p> <p>-Investigar sobre los procedimientos de diseño e implementación de controladores PI, PD y PID aplicados en sistemas dinámicos y robóticos.</p> <p>-Implementar y experimentar en simulación con el programa Matlab-Simulink las técnicas para el diseño de control tipo PI, PD y PID para sistemas dinámicos y robóticos.</p>



Tema 3: Diseño de controladores con un enfoque moderno	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p><u>Específicas.</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Diseñar controladores con un enfoque moderno, tanto par regulación y seguimiento de trayectorias, que resuelvan sus respectivos problemas de control aplicados en sistemas dinámicos con parámetros conocidos o inciertos. <p><u>Genéricas.</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de aplicar los conocimientos prácticos.• Capacidad de diseño.• Capacidad de investigación.• Capacidad de análisis.• Habilidades en el uso de la tecnología y la información.	<p>-Investigar sobre la formulación del problema de control de regulación y seguimiento de sistemas dinámicos, y sus posibles soluciones, mediante un enfoque de control moderno.</p> <p>-Diseñar controladores tanto en regulación como en seguimiento para la solución del problema de control lineal por realimentación de estados.</p> <p>-Investigar sobre la técnica de diseño de controladores de estructura variable utilizando la técnica de modos deslizantes.</p> <p>-Investigar sobre el diseño de controladores por la técnica de modos deslizantes para hacer frente al diseño de controladores aplicados en sistemas dinámicos con perturbaciones agregadas.</p> <p>-Experimentar en simulación con el programa Matlab-Simulink las técnicas para el diseño de control por realimentación de estados, así como el diseño de controladores de estructura variable aplicadas a de sistemas dinámicos y robóticos.</p>

Tema 4: Introducción al control óptimo.	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p><u>Específicas.</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Diseñar un controlador óptimo en el espacio de estados, para el caso de regulación y seguimiento de trayectorias, resolviendo los problemas de control, aplicados en sistemas	<p>-Investigar sobre la formulación del problema de control de regulación y seguimiento de sistemas dinámicos, y sus posibles soluciones, mediante un enfoque de control óptimo.</p> <p>-Diseñar controladores tanto en regulación como en seguimiento para la solución del problema de control óptimo lineal.</p>

<p>dinámicos con parámetros conocidos o inciertos.</p> <p><u>Genéricas.</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de aplicar los conocimientos prácticos.• Capacidad de diseño.• Capacidad de investigación.• Capacidad de análisis.• Habilidades en el uso de la tecnología y la información.	<p>-Investigar sobre la teoría de estabilidad de Lyapunov para sistemas lineales representados en el espacio de estados.</p> <p>-Investigar sobre el diseño del controlador óptimo cuadrático utilizando los siguientes conceptos: función definida positiva, matriz definida positiva, función candidata de Lyapunov, criterio de estabilidad de Lyapunov.</p> <p>-Implementar y experimentar en simulación con el programa Matlab-Simulink, el controlador óptimo cuadrático con una aplicación en sistemas dinámicos y robóticos.</p>
--	--

8.- Práctica(s).

1. Simulación de sistemas dinámicos de traslación con MatLab-Simulink.
2. Simulación de sistemas dinámicos de rotación con MatLab-Simulink.
3. Simulación de sistemas con actuadores eléctricos en MatLab-Simulink.
4. Simulación de sistemas de control tipo PI con MatLab-Simulink.
5. Simulación de sistemas de control tipo PD con MatLab-Simulink.
6. Simulación de sistemas de control tipo PID con MatLab-Simulink.
7. Simulación de sistemas de control por RE con MatLab-Simulink.
8. Simulación de sistemas de control por SMC con MatLab-Simulink.
9. Simulación de sistemas de control óptimo con MatLab-Simulink.
10. Medición de variables físicas con sensores, ADC y DAC con microcontrolador.
11. Interrupciones, módulos PWM, actuador con Puente H y Servomotor de CC.
12. Implementación de sistemas de control tipo PID con microcontrolador.
13. Implementación de sistemas de control por RE con microcontrolador.
14. Implementación de sistemas de control por SMC con microcontrolador.
15. Implementación de sistemas de control óptimo con microcontrolador.

9.- Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto es desarrollar aplicaciones de sistemas de control avanzado en tiempo real para el diseño de sistemas robóticos, y resolver algún problema aplicado al ámbito en sistemas de control, 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 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.

El proyecto se determina en común acuerdo con el estudiante y el profesor experto asignado, tomado en cuenta los materiales, equipos y tiempo disponibles.

10.- Evaluación por competencias.

La evaluación de la asignatura se hará con base en los siguientes criterios de desempeño:

- La evaluación debe ser un proceso continuo, dinámico y flexible enfocado a la generación de conocimientos sobre el aprendizaje, la práctica docente y el programa en sí mismo.
- Debe realizarse una evaluación diagnóstica al inicio del semestre para partir de saberes previos, expectativas e intereses que tengan los estudiantes.
- Durante el desarrollo del curso debe llevarse a cabo una evaluación formativa que permita retroalimentar el proceso de aprendizaje y establecer las estrategias para el logro de los objetivos establecidos.



- Al finalizar el curso debe realizarse una evaluación sumativa que se vincula con aquellas acciones que se orientan a dar cuenta de productos, saberes, desempeños y actitudes que se deben considerar para la calificación.
- Se sugiere utilizar como herramienta de evaluación el portafolio de evidencias y como instrumento la lista de cotejo y la rúbrica.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Norman Nise. *"Sistemas de Control para Ingeniería"*. 3ª Edición. Mexico: Patria.
2. Richard C. Dorf. *"Sistemas de Control Moderno"*. 10ª Edición. Pearson, Prentice Hall.
3. Katsuhiko Ogata. *"Ingeniería de Control Moderna"*. 5ª Edición. Pearson, Prentice Hall.
4. Benjamin C. Kuo. *"Sistemas de Control Automático"*. 7ª Edición. Pearson, Prentice Hall.