



Carrera: Ingeniería Eléctrica				
Unidad Curricular: CONTROL DE SISTEMAS LINEALES				Código: C11
Prelación: Álgebra Lineal				Condición: Obligatoria
HT: 3	HP: 1	HL: 2	HTI: 6	Créditos: 3
Ubicación: Décimo primer Trimestre		Componente: Formación Profesional Específica		Fecha de Aprobación:

HT: Horas teóricas; HP: Horas Prácticas; HL: Horas de Laboratorio; HTI: Horas de Trabajo Independiente

I. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido un alto crecimiento en el área de control, lo que ha permitido diseñar proyectos más novedosos y avanzados, haciendo del Control un conocimiento interdisciplinario.

El Ingeniero Electricista como profesional en proyectos multidisciplinarios, debe conocer nuevas herramientas que le permitan diseñar sistemas más seguros, sencillos y eficaces. El desarrollo de esta unidad curricular brindará un novedoso conocimiento para cumplir con este propósito.

II. COMPETENCIAS GENÉRICAS Y ESPECÍFICAS A DESARROLLAR SEGÚN EL PERFIL

La unidad curricular contribuirá al desarrollo de las competencias genéricas y específicas del perfil de egreso que se indican a continuación.

GENÉRICAS	ESPECÍFICAS
-----------	-------------

G1. Emprendimiento, innovación y creatividad: Genera propuestas originales y novedosas para responder a las necesidades del entorno, mediante iniciativas propias y el emprendimiento de nuevos proyectos. G2. Comunicación eficaz oral y escrita: Comunica de manera clara y correcta ideas y opiniones en el idioma castellano, mediante la expresión oral, la escritura y los apoyos gráficos para un adecuado desempeño en entornos sociales y culturales diversos. G5. Investigación: Aplica el pensamiento crítico, el conocimiento y los métodos de investigación para comprender la realidad,	E2. Administra el sector del Servicio Eléctrico Nacional, bajo su responsabilidad, con la finalidad de asegurar el abastecimiento regular de energía eléctrica en términos de eficiencia, calidad y economía. E4. Administra recursos materiales y financieros asignados, con eficiencia y eficacia, y coherente con las normas y procedimientos de la empresa. E6. Opera y controla equipos, instalaciones y sistemas de: conversión de energía, instrumentación, control y protección, electrónicos y de comunicaciones básicas, aplicando normas, conceptos y elementos técnicos, socioeconómicos y ambientales para garantizar su funcionamiento continuo, así como
---	---

resolver problemas y generar nuevos conocimientos. G6. Liderazgo y trabajo en equipo: Integra equipos de trabajo, con adecuado desempeño de las relaciones interpersonales, en los que fomenta valores como el respeto, la responsabilidad, la unidad y la cooperación, con el propósito de desarrollar proyectos que motiven y conduzcan hacia metas comunes. G7. Gestión tecnológica: Utiliza con idoneidad las tecnologías de la información y la comunicación, requeridas para desempeñarse en el contexto académico y profesional. G8. Resolución de problemas: Identifica y plantea problemas para resolverlos con criterio y de forma efectiva, utilizando la lógica, los saberes adquiridos y herramientas organizadas adecuadamente. G9. Comunicación eficaz escrita y oral en un segundo idioma: Comunica en un segundo idioma conocimientos, ideas, procedimientos y resultados con un nivel adecuado de forma escrita y oral, para el desenvolvimiento profesional en un entorno multilingüe. G11. Abstracción, análisis y síntesis. Delimita los elementos de un proyecto, diseño o problema para su análisis y posterior integración al todo.	la utilización y consumo de energía eléctrica para su optimización. E8. Identifica problemas en el área de la ingeniería eléctrica y busca su solución aplicando metodologías y técnicas propias de la investigación científica, divulgando los hallazgos con el interés de fortalecer la producción científica del país. E9. Desarrolla tecnologías o las adapta con el interés de dar soluciones óptimas a diversos problemas asociados a cada contexto laboral en particular. E12. Participa creativamente en los procesos de fabricación y producción en la industria eléctrica para contribuir con el desarrollo del país.
--	--

III. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar con éxito la unidad curricular el estudiante:

RA1. Analiza los sistemas realimentados en tiempo y frecuencia para determinar las características transitorias y frecuenciales y realizar ajustes de ganancia.

RA2. Analiza sistemas con realimentación unitaria, no unitaria y con perturbaciones para calcular el error en estado estacionario.

RA3. Reduce sistemas de orden superior a sistemas de primer y segundo orden para obtener un modelo más sencillo.

RA4. Calcula la estabilidad y sensibilidad de sistemas lineales para determinar las variaciones de los parámetros de diseño del sistema.

RA5. Identifica los elementos básicos de un sistema de control para realizar un análisis del sistema.

RA6. Diseña compensadores y controladores utilizando el lugar geométrico de las raíces y el diagrama de Bode para cumplir especificaciones requeridas tanto en tiempo como en frecuencia.

RA7. Utiliza los índices de funcionamiento en la sintonización de controladores para obtener un sistema de control más eficiente.

RA8. Diseña controladores y observadores mediante realimentación de estados para obtener una característica deseada en lazo cerrado.

IV. CONTENIDOS

a. Contenidos Conceptuales, Procedimentales y Actitudinales

RESULTADOS DE APRENDIZAJE	CONTENIDOS
------------------------------	------------

RA1. Analiza los sistemas realimentados en tiempo y frecuencia para determinar las características transitorias y frecuenciales y realizar ajustes de ganancia.	Conceptuales: Entrada-Salida. Causalidad. Realimentación. Señales de prueba. Tipo y orden de un sistema. Respuesta transitoria, impulsiva y especificaciones en el dominio frecuencial. Ajuste de ganancia. Lugar geométrico de las raíces (LGR). Análisis y Diseño del ajuste de ganancia para cumplir especificaciones del transitorio usando LGR. Diagrama de Magnitud contra Fase. Margen de amplitud y Margen de fase como medidas de Estabilidad Relativa. Análisis y Diseño del ajuste de ganancia para cumplir especificaciones en frecuencia usando el diagrama de Magnitud contra Fase. Error en Régimen Permanente. Procedimentales: Análisis de sistemas realimentados en tiempo y frecuencia. Realizar el ajuste de ganancia. Manejo de paquetes de software en el análisis en tiempo y frecuencia de sistemas realimentados. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.
RA2. Analiza sistemas con realimentación unitaria, no unitaria y con perturbaciones para calcular el error en estado estacionario.	Conceptuales: Realimentación. Tipo y orden de un sistema. Error en Régimen Permanente. Señales y coeficientes. Error ante realimentación unitaria y no unitaria. Señales de perturbación. Error ante perturbaciones. Procedimentales: Cálculo del error en estado estacionario. Manejo de paquetes de software en el cálculo del error en régimen permanente. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.

RA3. Reduce sistemas de orden superior a sistemas de primer y segundo orden para obtener un modelo más sencillo.	Conceptuales: Concepto de Polos Dominantes. Aproximación de sistemas de orden superior por sistemas de orden bajo (primero y segundo). Procedimentales: Identificación de los polos dominantes. Aproximación de sistemas de orden superior a orden inferior. Manejo de paquetes de software en la aproximación de sistemas de orden superior a orden inferior. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.
RA4. Calcula la estabilidad y sensibilidad de sistemas lineales para determinar las variaciones de los parámetros de diseño del sistema.	Conceptuales: Estabilidad de Sistemas Lineales. Criterios de estabilidad. Estabilidad absoluta y estabilidad relativa. Sensibilidad. Efecto sobre la salida del sistema de las variaciones diferenciales de un parámetro. Efecto sobre la estabilidad del sistema de grandes variaciones de un parámetro del Sistema. Linealización de un sistema no lineal. Aproximación de Taylor de primer orden. Variables de desviación. Procedimentales: Cálculo de la estabilidad y sensibilidad. Determinación de la variación de los parámetros de diseño. Manejo de paquetes de software en el cálculo de la estabilidad y sensibilidad. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.

RA5. Identifica los elementos básicos de un sistema de control para realizar un análisis del sistema.	Conceptuales: Elementos básicos de un sistema de control: referencia, controlador, elemento final de control, proceso, sensor/transmisor. Realimentación. Error en Régimen Permanente. Procedimentales: Identificación de los elementos básicos de un sistema de control. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.
RA6. Diseña compensadores y controladores utilizando el lugar geométrico de las raíces y el diagrama de Bode para cumplir especificaciones requeridas tanto en tiempo como en frecuencia.	Conceptuales: Estabilidad. Compensadores. Acciones básicas de control. Lugar geométrico de las raíces (LGR). Análisis y Diseño de compensadores y controladores usando LGR. Error en Régimen Permanente. Especificaciones del transitorio. Diagrama de Bode. Análisis y Diseño de compensadores y controladores usando Bode. Especificaciones en frecuencia. Procedimentales: Diseñar compensadores y controladores utilizando el LGR y diagramas de Bode. Manejo de paquetes de software para el diseño de compensadores y controladores en tiempo y frecuencia. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.

RA7. Utiliza los índices de funcionamiento en la sintonización de controladores para obtener un sistema de control más eficiente.	Conceptuales: Sintonización de controladores utilizando los Métodos de ZieglerNichols y el Método de Dahlin. Índices de funcionamiento. Error en Régimen Permanente. Procedimentales: Sintonizar controladores. Utilizar los índices de funcionamiento para mejorar el desempeño del sistema. Manejo de paquetes de software para optimizar las sintonización de controladores. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo.

b. Temario

UNIDAD/TEMA	CONTENIDO	Duración
-------------	-----------	----------

	Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.	
RA8. Diseña controladores y observadores mediante realimentación de estados para obtener una característica deseada en lazo cerrado.	Conceptuales: Controlabilidad y Observabilidad. Forma canónica controlable y observable. Diseño de un controlador mediante realimentación de estados. Diseño de un observador de orden completo. Error en Régimen Permanente. Especificaciones del transitorio Procedimentales: Diseñar controladores y observadores de estado. Manejo de paquetes de software para el diseño de controladores y observadores de estado. Actitudinales: Criterios de análisis y rigurosidad en el desarrollo de problemas. Criterios para el trabajo en equipo. Responsabilidad personal en la entrega de tareas y presentación de trabajos. Criterios para la búsqueda y análisis de información. Principios éticos en la vida universitaria y profesional.	
Tema 1. Análisis de Sistemas Realimentados	Realimentación Unitaria. Señales de prueba (Escalón, Rampa, Parábola, Sinuosidad). Tipo y orden de un sistema. Respuesta transitoria de un sistema de primer orden (Constante de tiempo). Respuesta transitoria de un sistema de segundo orden (Máximo Sobrepasso, Tiempo de máximo sobrepasso, Tiempo de subida. Tiempo de Estabilización). Respuesta impulsiva. Error en Régimen Permanente. Señales y coeficientes de error (posición, velocidad, aceleración). Concepto de Polos Dominantes. Aproximación de sistemas de orden superior por sistemas de orden bajo (primero y segundo). Respuesta y especificaciones en el dominio frecuencial. Círculos de Magnitud y Fase Constante.	14
TEMA 2. Compensadores y Controladores	Elementos básicos de un sistema de control. Ajuste de ganancia para cumplir especificaciones de diseño (tiempo y frecuencia). Ventajas y desventajas del ajuste de ganancia. Efecto de agregar un polo, un cero o una combinación polocero sobre la estabilidad y salida de un sistema. Compensadores de RC –activos. Compensación en el camino directo. Estructura de los compensadores en atraso, adelanto y adelanto-atraso como combinación de polos y ceros. Acciones básicas de control: De dos posiciones o de encendido y apagado (on/off), Proporcionales (P), Integrales	14

	(I), Proporcionales-Integrales (PI), Proporcionales-Derivativos (PD), Proporcionales-Integrales-Derivativos (PID).	
TEMA 3: Lugar Geométrico de las Raíces (LGR)	Lugar geométrico de las raíces (LGR). Reglas para dibujar el LGR. Análisis y Diseño del ajuste de ganancia para cumplir especificaciones del transitorio usando LGR. Análisis y Diseño de compensadores en adelanto, en atraso y en atraso-adelanto usando LGR. Análisis y Diseño de controladores PD, PI y PID usando LGR.	14
TEMA 4. Diagrama de Bode y Magnitud contra Fase	Diagrama de Bode. Reglas para dibujar el Bode. Diagrama de Magnitud contra Fase. Margen de amplitud y Margen de fase como medidas de Estabilidad Relativa. Análisis y Diseño del ajuste de ganancia para cumplir especificaciones en frecuencia usando el diagrama de Magnitud contra Fase. Análisis y Diseño de compensadores en adelanto, en atraso y en atraso-adelanto usando Bode. Análisis y Diseño de controladores PD, PI y PID usando Bode.	15
TEMA 5. Control PID	Sintonización de controladores PD, PI y PID utilizando el Método de Ziegler-Nichols (Lazo abierto y lazo cerrado) y el Método de Dahlin. Índices de funcionamiento (ITAE, IAE, ICE, ITCE). Concepto de Observabilidad y Controlabilidad. Diseño de un controlador mediante realimentación de estados. Diseño de un observador de orden completo.	15

c. Contenidos transversales

Liderazgo y trabajo en equipo. Desarrollo de habilidades para trabajos en grupo, tanto en tareas asignadas en la unidad curricular como en el desarrollo de prácticas en el laboratorio.

Lectura y comprensión de un segundo idioma. Desarrollo de habilidades para leer y comprender las especificaciones técnicas de los equipos y diagramas utilizados en la unidad curricular, específicamente en el idioma inglés.

VI. REQUERIMIENTOS

Al iniciar las actividades de aprendizaje de la unidad curricular, por sus saberes aprendidos con anterioridad, el estudiante:

Utiliza conceptos de la transformada de Laplace.

Trabaja con ecuaciones diferenciales y ecuaciones de estado.

Analiza sistemas lineales en lazo abierto y cerrado.

Analiza sistemas lineales en tiempo y frecuencia.

Utiliza conceptos de programación.

Expresa de forma gráfica sus ideas.

Comprende documentos técnicos en el idioma inglés.

VI. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

Se utilizará una metodología de aprendizaje grupal inductiva-deductiva que requiere de la participación activa y constante de los estudiantes en la búsqueda, lectura y análisis de la información que facilite la integración de los aspectos teórico-prácticos así como el análisis y solución de problemas de la asignatura.

ACTIVIDAD	TÉCNICAS
Clases de Teoría	Se impartirán en el aula, siendo la presencia del alumno necesaria para un aprendizaje adecuado y una formación óptima. La metodología se basa en clase expositiva centrada en el estudiante, con discusión guiada, enseñanza directa y foros de discusión.
Clases de Problemas	Estas clases se intercalarán en el desarrollo de la unidad curricular de la forma más conveniente para el aprendizaje, no habrá días previamente asignados para ello. La metodología se fundamenta en el trabajo colaborativo para la resolución de problemas, discusión guiada, lluvia de ideas, debates y exposiciones. El estudiante utilizará lógica deductiva, con la cual a partir de principios y leyes fundamentales puede solucionar teóricamente y experimentalmente problemas relacionados con el estudio de las propiedades más relevantes.
Tutorías	Atención personalizada al alumno, presencial y a distancia. Son opcionales y recomendables para el aprendizaje de los alumnos que cursan regularmente la asignatura y asistan a las clases.
Prácticas	En equipo o individualmente, los estudiantes realizarán: problemas, trabajos escritos y prácticos, diseño y elaboración de programas con computador para la solución de problemas.

VIII. SISTEMA DE EVALUACIÓN

Capítulo	Indicador de Logro	Resultado de Aprendizaje	Evidencias de Aprendizaje
-----------------	---------------------------	---------------------------------	----------------------------------

1	Conoce los sistemas realimentados y puede analizarlos tanto en tiempo como en frecuencia. Calcula el error en régimen permanente para sistemas con retroalimentación unitaria. Realiza aproximaciones de sistemas de orden superior a sistemas de primer orden y segundo orden.	RA1 RA2 RA3	Prueba escrita Práctica 1 con informe
2	Identifica y comprende cuales son los elementos básicos de un sistema de control. Comprende los conceptos relacionados con ajuste de ganancia, compensadores y controladores. Entiende y comprende las diferencias que existen entre las acciones de control de un controlador PID	RA4 RA5 RA6 RA7	Prueba escrita Práctica 2 con informe
3	Dibuja el lugar geométrico de las raíces (LGR) de diferentes sistemas lineales. Diseña ajustes de ganancia, compensadores y controladores utilizando LGR, para cumplir especificaciones en el transitorio.	RA5 RA6 RA7	Prueba escrita Práctica 3 con informe
4	Dibuja el diagrama de Bode de diferentes sistemas lineales. Dibuja el diagrama de magnitud contra fase de diferentes sistemas lineales. Determina el margen de fase y margen de ganancia como medidas de la estabilidad relativa. Diseña ajustes de ganancia, compensadores y controladores utilizando el diagrama de Bode, para cumplir especificaciones en frecuencia.	RA5 RA6 RA7	Prueba escrita Práctica 4 con informe
5	Sintoniza controladores PID utilizando técnicas de lazo abierto y cerrado. Optimiza los sistemas de control utilizando los índices de funcionamiento. Diseña controladores y observadores de estado de orden completo utilizando realimentación de estados.	RA8 RA9	Prueba escrita Práctica 5 con informe Proyecto

VIII. RECURSOS

Recursos didácticos requeridos son: computador portátil, video beam, pizarrón, marcadores.

Recursos de infraestructura: aula con facilidades para la proyección y trabajo grupal.

IX. FUENTES DE INFORMACIÓN

Básicas

Dorf, Bishop, (1995), *Modern Control Systems*. Addison Wesley. USA.

Kuo Benjamin,(1996), *Sistemas de Control Automático*. Séptima Edición. Prentice Hall. México.

Ogata, K. (1996), *Sistemas de Control en Tiempo Discreto*. 2da Edición. Prentice - Hall. México.

Complementarias

Chen, Chi Tsong, (1984), *Linear Systems Theory and Design*. Holt-Rinehart, Winston, USA .

Franklin, Powell y Emani, Neeini. “*Control de Sistemas Dinámicos Realimentados*”. Addison Wesley. México. 1992.

Rohrs, Melsa y Schultz, (1994), “*Sistemasde Control Lineal*”. McGraw Hill. México.

X. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica 1: Análisis de sistemas lineales ante diferentes tipos de entradas.

Resultados de Aprendizaje:

- Analiza sistemas realimentados en tiempo y frecuencia para determinar las características transitorias y frecuenciales más importantes.
- Determina las constantes de error en sistemas con realimentación unitaria para calcular el error en estado estacionario.

Práctica 2: Elementos de un sistema de control.

Resultados de Aprendizaje:

- Identifica los elementos básicos de un sistema de control.
- Establece diferencias entre un ajuste de ganancia, un compensador y un controlador.

Práctica 3: Diseño de sistemas de control utilizando el lugar geométrico de las raíces (LGR).

Resultados de Aprendizaje:

- Realiza ajuste de ganancia en sistemas realimentados para cumplir especificaciones en tiempo.
- Diseña compensadores y controladores para cumplir especificaciones requeridas del transitorio.

Práctica 4: Diseño de sistemas de control utilizando diagramas de Bode.

Resultados de Aprendizaje:

- Realiza ajuste de ganancia en sistemas realimentados para cumplir especificaciones en frecuencia.
- Diseña compensadores y controladores para cumplir especificaciones en frecuencia.

Práctica 5: Sintonización de controladores PID.

Resultados de Aprendizaje:

- Utiliza los índices de funcionamiento para obtener un sistema de control más eficiente.