

Asignatura: **Sistemas de Control 1**

Código: 10-04081

RTF

8

Semestre: Sexto

Carga Horaria

96

Bloque: Tecnologías Básicas

Horas de Práctica

24

Departamento: Electrónica

Correlativas:

- Teoría de Circuitos

Contenido Sintético:

- Fundamentos matemáticos para sistemas de control continuo y discreto.
- Transformada de Laplace.
- Modelización de sistemas físicos.
- Análisis y diseño en el dominio del tiempo.
- Análisis y diseño en el dominio de la frecuencia.
- Criterios de estabilidad.
- Análisis y diseño por lugar de raíces.
- Análisis y diseño por respuesta en frecuencia.
- Síntesis de controladores analógicos y digitales.

Competencias Genéricas:

- CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería.

Aprobado por HCD: 1040-HCD-2023

RES: Fecha:23/11/2023

Competencias Específicas:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CE1.1: Diseñar, proyectar y calcular sistemas, equipos y dispositivos de generación, transmisión y/o procesamiento de campos y señales analógicos y digitales; circuitos integrados; hardware de cómputo de propósito general y/o específico y el software a él asociado; hardware y software de sistemas embebidos y dispositivos lógicos programables; sistemas de automatización y control; sistemas de procesamiento y de comunicación de datos y sistemas irradianes, para brindar soluciones óptimas de acuerdo a las condiciones técnicas, legales, económicas, humanas y ambientales.

CE1.3.1: Conocer, interpretar y emplear las técnicas, tecnologías, principios físicos y matemáticos y herramientas necesarias para el planteo, interpretación, modelización, análisis, resolución de problemas, diseño e implementación de circuitos y sistemas electrónicos.

CE1.3.7: Sintetizar, diseñar y analizar circuitos y sistemas realimentados.

CE1.6.1: Sintetizar, diseñar, simular, construir y analizar circuitos y sistemas de control en tiempo continuo y tiempo discreto, aplicables a cualquier área del alcance de la profesión.

CE1.6.2: Modelar sistemas físicos.

CE1.6.3: Diseñar, sintetizar, construir, modelar, simular y analizar controladores, sistemas de monitoreo de variables y controles automáticos.

INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

CE7.3.1: Sintetizar, diseñar, simular, construir y analizar circuitos y sistemas de control en tiempo continuo y tiempo discreto, aplicables a cualquier área del alcance de la profesión.

CE7.3.2: Modelar sistemas físicos.

CE7.3.3: Diseñar, sintetizar, construir, modelar, simular y analizar controladores, sistemas de monitoreo de variables y controles automáticos.

Presentación

La materia Sistemas de Control 1 se dicta en el sexto semestre (tercer año) de Ingeniería Electrónica e Ingeniería en Computación, y brinda a los estudiantes las herramientas básicas para el análisis y diseño de sistemas de control, a la vez que se desarrollan capacidades para abordar problemas complejos de ingeniería de control, tales como modelado y realimentación.

Mayormente los procesos industriales o equipos actuales incluyen sistemas que permiten controlar variables, como son la temperatura, presión, velocidad, etc. Los sistemas de control en general están asociados con automatismos que complementan el funcionamiento de los sistemas de producción. Para poder realizar el control de una variable industrial, resulta imprescindible tener sensores que permitan realizar mediciones del parámetro a controlar para que luego el sistema realimentado tome las decisiones correspondientes por medio de los actuadores adecuados.

En función de este perfil, la asignatura Sistemas de Control 1 brinda las bases para que el alumno comprenda la teoría del control automático a través del planeamiento y el desarrollo del diseño de un sistema de control clásico. Se desarrollan competencias para la comprensión, análisis, diseño e implementación de sistemas de control y se brindan herramientas para el estudio de sistemas más complejos y nuevas tecnologías.

Son objetivos de esta asignatura el desarrollar en el alumno aptitudes para su iniciación en el proyecto de sistemas de control, capacitar para construir su concepción, modelización, análisis, simulación y diseño, mediante el empleo de las técnicas del control clásico aprendidas, y complementar su instrucción por medio de las herramientas informáticas disponibles. Manteniendo la concepción específica del enfoque propio de la ingeniería, los conceptos son referidos a elementos o comportamientos reales de las circunstancias actuales, enfatizando una formación generalista para su rápida mutación de acuerdo a cómo transcurra el acontecer tecnológico en el futuro cercano.

Los sistemas de control se hallan presentes en cualquier dispositivo actual donde se requiera un manejo automático o sistematizado ya sea en un artefacto o mecanismo o también en un proceso propiamente dicho. El cumplimiento de los objetivos propuestos en la planificación de la Cátedra permitirá la solución de los problemas habituales con que el egresado/a se encontrará en su actividad profesional, en concordancia con las actividades reservadas y alcances del Título de Ingeniero Electrónico o de Computación.

Contenidos

Unidad 1. Introducción a Sistemas de Control.

- 1.1. Sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado.
- 1.2. La retroalimentación y sus efectos.
- 1.3. Clasificación de los sistemas de control retroalimentados.
2. La transformada de Laplace
- 2.1 Teoremas de la transformada de Laplace
- 2.2 Transformada inversa de Laplace

Unidad 2. Representaciones matemáticas y gráfica de sistemas lineales de tiempo continuo

- 2.1. Modelo clásico o de función transferencia.
 - 2.1.1. Ecuaciones diferenciales.
 - 2.1.2. Respuesta impulsiva y función de transferencia.
 - 2.1.3. Diagramas de bloques.
 - 2.1.4. Diagramas de flujo de señal.
 - 2.1.5. Cálculo de funciones de transferencia. Fórmula de ganancia de Mason.
- 2.2. Transformada de Laplace de las ecuaciones dinámicas.

Unidad 3. Modelado matemático de Sistemas Físicos.

- 3.1. Definición del sistema: límites del sistema, variables endógenas y exógenas, causalidad, interacciones, concentración, linealización.
- 3.2. Análogos eléctricos y de resortes operacionales equivalentes.
- 3.3. Modelado de sistemas mecánicos y electromecánicos.
 - 3.3.1. Acoplamiento bilateral: conversores de energía, transductores y transformadores. Reductores, palancas, tornos.
 - 3.3.2. Sistemas servomotor-carga. Servomotores de continua controlado por inducido y por campo. Obtención de sus funciones de transferencia y ecuaciones dinámicas.
- 3.4. Sensores y transductores en sistemas de control. Potenciómetros, sincros y tacómetros.
- 3.5. Controladores y leyes de control analógicas.
 - 3.5.1. El controlador: función en un sistema de control. Su realización mediante el principio de realimentación.
 - 3.5.2. Leyes de control analógico y sus funciones de transferencia.
 - 3.5.3. Realización de controladores mediante amplificadores operacionales retroalimentados.
 - 3.5.4. Respuesta temporal de controladores a señales de entradas típicas.
 - 3.5.5. Nomenclatura industrial de las acciones de control: banda proporcional, frecuencia de repetición, tiempo de anticipación.

Unidad 4. Análisis y diseño clásico de sistemas de control en el dominio del tiempo.

- 4.1. Respuesta temporal de sistemas retroalimentados de control.
 - 4.1.1. Respuesta temporal típica de un sistema de control a una entrada escalón. Conceptos de modo dominante, estabilidad relativa, rapidez, precisión.
 - 4.1.2. Parámetros característicos de la respuesta temporal de un sistema de segundo orden a una entrada escalón. Relaciones analíticas. Respuesta Temporal de Sistemas de 1^{er} orden y de 2^{do} sobreamortiguado.
 - 4.1.3. Respuesta en estado estacionario: entradas típicas, tipos de sistemas, errores estacionarios y coeficientes estáticos de error.
- 4.2. Análisis de estabilidad absoluta.
 - 4.2.1. Definiciones: estabilidad, estabilidad asintótica, inestabilidad.
 - 4.2.2. Criterios algebraicos de estabilidad: de Routh-Hurwitz para sistemas de tiempo continuo
- 4.3. Servomecanismos de posición y de velocidad. Esquema físico, diagramas de bloques, obtención de la función transferencia de lazo cerrado.
- 4.4. Análisis del efecto de los diferentes controladores sobre el comportamiento de un servomecanismo de posición.
 - 4.4.1. Controladores P y PI ante un escalón de perturbación.
 - 4.4.2. Efecto del controlador PD sobre la estabilidad.
 - 4.4.3. Control PD de un objeto con carga inercial.
 - 4.4.4. Control tacométrico.
- 4.5. Análisis de sistema de control por el método del lugar de las raíces.
 - 4.5.1. Patrones de respuesta según la ubicación de los polos de lazo cerrado.

- 4.5.2. Lugar de raíces. Conceptos, condiciones básicas y reglas de construcción.
- 4.5.3. Ejemplo de trazados de lugares de raíces típicos.
- 4.5.4. Contorno de raíces.
- 4.5.5. Respuesta temporal a partir del lugar de raíces.
- 4.6. Calidad del control y su mejora por su compensación.
- 4.6.1. Especificaciones de comportamiento de sistemas de control.
- 4.6.2. Criterios prácticos de ajuste de Ziegler-Nichols.
- 4.6.3. Compensación proporcional por lugar de raíces.
- 4.6.4. Concepto de índices de comportamiento.
- 4.6.5. Efecto del agregado de acciones de control PD y PI sobre la forma del lugar de raíces y la respuesta temporal.
- 4.6.6. Compensación por lugar de raíces: PD y PI y PID.

Unidad 5. Análisis y diseño clásico de sistemas de control en el dominio de la frecuencia.

- 5.1. Análisis en frecuencia: diagramas de Nyquist, Bode y Black. Sistemas de fase mínima y no mínima.
- 5.2. Análisis y diseño de sistemas de control. Enfoque de lazo abierto.
- 5.2.1. Márgenes de ganancia y de fase. Definición, interpretación y determinación gráfica en los diferentes diagramas.
- 5.2.2. Margen de fase. Relaciones analíticas para el sistema prototipo de segundo orden. Vinculación con la respuesta temporal.
- 5.2.3. Ajuste de ganancia proporcional por criterios de márgenes de fase o de ganancia.
- 5.2.4. Efectos del agregado de redes compensadoras de adelanto y de atraso de fase.
- 5.2.5. Compensación por modificación de la respuesta en frecuencia: criterios generales. Compensación de atraso, de adelanto y combinada mediante diagramas de Bode.
- 5.2.6. Compensación por Bode para ganancia prefijada.
- 5.3. Análisis y diseño de sistemas de control. Enfoque de lazo cerrado.
- 5.3.1. Parámetros de la respuesta en frecuencia de lazo cerrado: módulo y frecuencia de resonancia, ancho de banda. Relaciones con la respuesta temporal.
- 5.3.2. Carta de Nichols. Concepto. Empleo para la compensación y para la verificación.

Unidad 6. Controladores Digitales

- 6.1. Diseño de Controladores Digitales
- 6.2. Discretización de Sistemas analógicos.
- 6.3. Técnicas de Discretización
- 6.4. Diseño de un control digital PID
- 6.5. Aproximación rectangular y trapezoidal del control PID
- 6.6. Modelo Discreto de un motor de corriente continua.

Metodología

Las clases impartidas son teóricas-prácticas. El objetivo es que el alumno descubra qué necesita aprender para resolver un determinado problema que se propone desde el control de los sistemas. Para ello deberán comprender e integrar los contenidos que efectivamente plantea el problema. El docente no les explica cómo resolverlo, sino que los acompaña mientras ellos descubren qué conocimientos necesitan para aprenderlo. De esta forma el alumno descubre que los problemas son reales, que son situaciones de los sistemas de control cotidianos que requieren conocimientos concretos, a la vez que se fomenta el trabajo en equipo, ya que el escuchar las propuestas del otro constituye un elemento fundamental con este método de aprendizaje.

Se desarrollan prácticas de laboratorio de implementación a nivel de prototipo, que le permiten a cada estudiante poner en práctica los conceptos y verificar los criterios desarrollados en clase mediante la realización de actividades de diseño y proyecto.

El empleo de programas de computación o herramientas de cálculo disponibles en la red, ayuda al alumno a resolver problemas y obtener soluciones de planteos matemáticos. Los alumnos tienen disponible el material de estudio, clases grabadas, las consignas de los trabajos de Laboratorio, Proyecto de Integración, foros para realizar comentarios y consultas a docentes y compañeros, y ejercicios de autoaprendizaje en el aula virtual de la asignatura dentro del Campus Virtual de la FCEFyN

Evaluación

Condiciones para la promoción de la materia

- 1.- Tener aprobadas las materias correlativas.
- 2.- Asistir al 80% de las clases teórico-prácticas.
3. Evaluaciones parciales: en fechas previamente determinadas, durante el semestre lectivo se toman dos pruebas parciales de Teórico de Múltiple Choice y de Práctico en la resolución de problemas para evaluar los conocimientos conceptuales y aplicativos adquiridos por los alumnos, las que se califican en escala de 0 a 10.
- 3.a Recuperación de evaluaciones parciales: cada alumno puede recuperar una de las dos pruebas parciales tanto de Teórico como de Práctico, en caso de haber sido reprobado. Ello se realiza en fecha fijada al finalizar el dictado cuatrimestral.
- 4.- Proyecto de Integración: los alumnos que hayan aprobado las dos pruebas parciales y la asistencia son evaluados mediante el desarrollo de una monografía basada sobre el estudio de un sistema a controlar a su elección (temperatura de un horno, temperatura en un recinto de servidores, velocidad de servomotores, posición de un brazo robótico, humedad de un invernadero, presión en un tanque, nivel de un tanque o recipientes etc.) en el que debe aplicar todos los puntos teóricos-prácticos desarrollados en el programa, incluyendo una simulación en algún programa de computación. Una vez finalizado el trabajo, deberá enviar una copia en formato digital y/o papel y/o exponerlo oralmente. Se permite la integración de un equipo de dos alumnos como máximo para realizar el trabajo.
5. Examen final: se toma individualmente en las fechas establecidas a cada alumno libre que se presenta. Comprende la prueba de integración de conocimientos y en caso de aprobar ésta, una prueba de resolución de problemas de aplicación.

La Rúbrica es el método que permite que el estudiante advierta qué aspectos serán evaluados. Ejemplo:

Competencia	Resultado de Aprendizaje	Mínimo	Valoración
CG1, CG4 CE1.1	Comprende el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría del control automático, aplicado a los sistemas lineales.	2	
CG1, CG4 CE1.3.7	Aplica las técnicas de convolución a los SLIT y caracterizarlos adecuadamente mediante su función característica.	2	
CG1, CG4 CE1.3.7	Utiliza los métodos de Análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la determinación de parámetros de interés.	2	
CG1, CG4 CE1.6.2	Obtiene modelos matemáticos de componentes (instrumentos, actuadores y sensores) y de sistemas dinámicos continuos lineales o linealizados, generando la habilidad y el criterio necesario para modelizar con el suficiente grado de detalle como para poner de manifiesto las características dinámicas dominantes, y a la vez lo suficientemente sencillo para realizar su análisis y utilizarlo con fines de diseño.	2	
CG1, CG4 CE1.6.1	Permite al estudiante introducirse en el análisis, diseño y simulación de sistemas de control realimentados, en grado creciente de complejidad, utilizando técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, ya sea en el dominio del control clásico o del control moderno.	2	
CG1, CG4 CE1.3.1	Conoce los métodos de Lugar de Raíces y de Respuesta en frecuencia para analizar, sintetizar, compensar y diseñar sistemas de control automático.	2	
CG1, CG4 CE1.6.1	Conoce la existencia de herramientas computacionales que le permitan solucionar los problemas planteados, con una orientación hacia la	2	

	simulación de los modelos matemáticos obtenidos, con el fin de visualizar y comprender los resultados.		
CG1, CG4 CE1.6.1	Interpreta adecuadamente los resultados de las simulaciones y sus limitaciones.	2	
CG1, CG4 CE1.6.1	Determina los parámetros de un controlador en base a un análisis previo de la planta a controlar.	2	

El rango de valoración de la rúbrica es de 1 a 3 y se corresponde a:

1. Insuficiente: No se evidencia el nivel de desarrollo de las competencias esperado a través de los resultado de aprendizaje
2. Suficiente: En la mayoría de las situaciones se evidencia el nivel de desarrollo deseado.
3. Alto: Se evidencia un claro desarrollo de las competencias esperado a través de los resultados de aprendizaje.

Condiciones de aprobación

- Condiciones de regularización
- 80% de asistencia a clases teóricas-prácticas.
- Alcanzar, como mínimo, un 60% de los resultados de aprendizaje.
- Aprobación de uno de los dos parciales con el 60% o más de los contenidos evaluados, o su recuperatorio de teórico-práctico.
- Todos los trabajos prácticos de laboratorio aprobados con al menos el 60% o más de los criterios de evaluación expresados en la sección anterior.

- Condiciones de aprobación por promoción (no requiere examen final)
- Todas las condiciones de regularización expuestas anteriormente.
- Aprobación de los dos parciales teóricos-prácticos con el 60% o más de los contenidos evaluados, o sus recuperatorios.
- Realización del Proyecto de Integración.

- Condiciones de aprobación por examen final
- Todas las condiciones de regularización expuestas anteriormente.
- Aprobación de un examen final con el 60% o más de los contenidos evaluados.

Para la nota final se promedian las notas de los dos parciales, el Proyecto de Integración y la Rúbrica. Es decir que quedará compuesta por la siguiente polinómica:

Nota = $\frac{1}{4}$ (Nota Parcial 1) + $\frac{1}{4}$ (Nota Parcial 2)+ $\frac{1}{4}$ (Nota Proyecto de Integración)+ $\frac{1}{4}$ (Rúbrica)

Actividades prácticas y de laboratorio

Actividades Prácticas

1.- Se resolverán ejercicios prácticos, basados en una guía de problemas, aplicando la base teórica. Algunos de dichos problemas son resueltos por los alumnos en clase bajo supervisión del docente. Los restantes deberán ser resueltos por los alumnos fuera del horario de clase.

2.- Se proponen cinco actividades de laboratorio

Actividad N°1 Modelado y representación de un sistema físico mediante una función de transferencia.

Actividad N°2: Control de un lazo cerrado.

Actividad N°3: Control de un lazo de temperatura.

Actividad N°4: Respuesta en frecuencia de un amplificador.

Actividad N°5: Diseño de un controlador PID.

3.- Actividades de Proyecto y Diseño

Para aprobar la materia, se podrá realizar el estudio de un sistema servocontrolado, a elección del alumno, donde deberá aplicar todos los puntos del programa y, además, realizar la simulación aplicando algún programa de computación. Se llama Proyecto de Integración.

Proyecto de Integración

Se proponen situaciones de problemas típicas del ejercicio profesional, donde cada estudiante debe seleccionar uno para generar una solución basada en los métodos de sistemas de control que considere la necesidad y requerimiento del usuario. Éste enunciado se presenta en la primera clase y se va desarrollando en simultáneo con los temas y trabajos prácticos. Como resultado, cada dos estudiantes desarrollan una propuesta y escriben un Informe técnico, que lo entregan a la Cátedra en tiempo estipulado. En el Informe, deben estar bien determinados los siguientes ítems.

a - Definición del problema a resolver

b - Objetivos del proyecto

c - Metodología

d - Resultados del Proyecto

Resultados de aprendizaje

Se propone el siguiente desagregado de las Competencias Genéricas, a fin de especificar qué aspectos de la misma serán trabajados durante el desarrollo de la asignatura.

- CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- Ser capaz de seleccionar la metodología apropiada.
- Ser capaz de identificar las especificaciones técnicas del problema, de acuerdo a los temas desarrollados.
- Ser capaz de modelar el problema, para su análisis (análisis en el dominio de tiempo, en frecuencia y simulación).
- Ser capaz de evaluar y optimizar el diseño.
- CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería.
- Capacidad para identificar y seleccionar las técnicas y herramientas disponibles.
- Ser capaz de acceder a las fuentes de información relativas a las técnicas y herramientas y de comprender las especificaciones de las mismas.
- Ser capaz de conocer los alcances y limitaciones de las técnicas y herramientas a utilizar y de reconocer los campos de aplicación de cada una de ellas y de aprovechar toda la potencialidad que ofrecen.
- Ser capaz de interpretar los resultados que se obtengan de la aplicación de las diferentes técnicas y herramientas utilizadas.

Para el conjunto de competencias, específicas y genéricas, se propone el siguiente conjunto de resultados de aprendizaje:

RA1- Comprender el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría del control automático, aplicado a los sistemas lineales.

RA2- Aplica las técnicas de convolución a los SLIT y caracterizarlos adecuadamente mediante su función característica.

RA3- Utiliza los métodos de Análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la determinación de parámetros de interés.

RA4- Obtiene modelos matemáticos de componentes (instrumentos, actuadores y sensores) y de sistemas dinámicos continuos lineales o linealizados, generando la habilidad y el

criterio necesario para modelizar con el suficiente grado de detalle como para poner de manifiesto las características dinámicas dominantes, y a la vez lo suficientemente sencillo para realizar su análisis y utilizarlo con fines de diseño.

RA5- Permite al estudiante introducirse en el análisis, diseño y simulación de sistemas de control realimentados, en grado creciente de complejidad, utilizando técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, ya sea en el dominio del control clásico o del control moderno.

RA6- Conoce los métodos de Lugar de Raíces y de Respuesta en frecuencia para analizar, sintetizar, compensar y diseñar sistemas de control automático.

RA7- Conoce la existencia de herramientas computacionales que le permitan solucionar los problemas planteados, con una orientación hacia la simulación de los modelos matemáticos obtenidos, con el fin de visualizar y comprender los resultados.

RA8- Interpreta adecuadamente los resultados de las simulaciones y sus limitaciones.

RA9- Determina los parámetros de un controlador en base a un análisis previo de la planta a controlar.

A continuación, se indican las Competencias Genéricas (CG), y los Resultados de Aprendizaje (RA) que las construyen. También se indican las unidades de contenidos y las instancias de evaluación en las que están presentes.

Competencia Genérica	Resultado de Aprendizaje	Instancia del desarrollo	Instancia de Evaluación
CG 1	RA1 AL RA7	Todas las Unidades	P1, P2
CG 4	RA1 AL RA7	Todos lo Trabajos Prácticos	PdI

P: indica Parciales.

PdI: indica Proyecto de Integración.

A continuación, se indican las Competencias Específicas (CE) y los Resultados de Aprendizaje (RA) que las construyen. También se indican las unidades de contenidos y las instancias de evaluación en las que están presentes.

Competencia Genérica	Resultado de Aprendizaje	Unidad de Contenido y Trabajos Prácticos	Instancia de Evaluación
CE1.1	RA1,RA5	Unidades 4, 5, 6	P1,P2, Pdl
CE1.3.1	RA6	Unidades 2, 3	P1
CE1.3.7	RA2, RA3	Unidades 2, 4	P1, P2, Pdl
CE1.6.1 CE7.3.1	RA5, RA7, RA8, RA9	Unidades 4, 6	P1,P2, Pdl
CE1.6.2 CE7.3.2	RA4	Unidad 3	P1, Pdl
CE1.6.3 CE7.3.3	RA6	Unidades 4, 5, 6	P2, Pdl

Bibliografía

KUO, B. "Sistemas de Control Digital " Ed. Continental SA México - 1997

OGATA, K. " Sistemas de Control en Tiempo Discreto" Ed. Prentice Hall - 1996

OGATA, K., "Ingeniería del Control Moderno" Ed.Prentice Hall-1º Edición 2010.

DORF, R., "Sistemas Automáticos de Control: teoría y práctica". Fondo Educativo Interamericano. Bogotá. 1971.

SAUCHELLI, V., "Introducción a Sistemas de Control". 4 a Ed, Editorial Universitas - 2004.