

Asignatura: **TEORÍA DEL CONTROL**

Códigos: 10-09108

RTF

7

Semestre: 6to

Carga Horaria

72

Bloque: Tecnologías Aplicadas

Horas de Práctica

36

Departamento: Electrónica

Correlativas:

- Electrónica Aplicada
- Mecánica Racional
- Computación y Cálculo Numérico

Contenido Sintético:

1. Introducción a sistemas realimentados. Modelización de los sistemas.
2. Análisis temporal. Respuesta en régimen y transitorio. Estabilidad
3. Técnica del trazado del lugar de raíces
4. Cálculo de compensadores por método lugar de raíces
5. Análisis en frecuencia. Margen de ganancia y margen de fase

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 :

RES: Fecha:

## **Competencias Específicas**

### **Carrera de Ingeniería Mecánica**

- CE1.36 Comprender el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría de control aplicado a los sistemas lineales de tiempo continuo
- CE1.37 Aplicar los métodos de análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la identificación de sus parámetros relevantes.
- CE1.38 Desarrollar y simular sistemas de control realimentados, utilizando técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, empleando herramientas computacionales.

### **Carrera de Ingeniería Electromecánica**

- CE1.2.3 Comprender el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría de control aplicado a los sistemas lineales de tiempo continuo
- CE1.2.4 Aplicar los métodos de análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la identificación de sus parámetros relevantes.
- CE1.2.5. Desarrollar y simular sistemas de control realimentados, utilizando técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, empleando herramientas computacionales.

## Presentación

Teoría de Control es una asignatura que se encuentra inserta en el plan de estudio de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electromecánica en 3er año (sexto semestre).

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 Teoría de Control, le dará 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, dándole los conocimientos como para comprender el desarrollo de los sistemas de control modernos, debido que se los introduce en los conceptos teóricos sobre los que se basa el control.

Los sistemas de control hacen que el Ingeniero Mecánico / Electromecánico entienda que el control se encuentra presente en cualquier dispositivo actual donde se requiera un manejo automático o sistematizado, en un artefacto o mecanismo o también en un proceso propiamente dicho.

El cumplimiento de los objetivos propuestos en la planificación de la Cátedra permite la solución de los problemas habituales con que el egresado/a se encontrará en su actividad profesional, en concordancia con las actividades reservadas, alcances del Título de Ingeniero Mecánico / Electromecánico.

Durante la cursada, el alumno adquiere competencias como: clasificar e identificar sistemas de control, comprender e interpretar la necesidad de la complejidad del sistema de control necesario para dar solución a diferentes procesos o sistemas. Esto redundará en graduados/as proactivos/as que se insertan en el mercado laboral regional, Provincial y Nacional, integrando equipos interdisciplinarios en empresas de control y automatización de procesos o de manera individual siendo emprendedores, llevando adelante sus ideas de soluciones técnicas a productos y servicios de índole original.

Los conocimientos adquiridos en Sistemas de Control permitirán entender el funcionamiento de Sistemas de Control Automáticos, con sus correspondientes elementos (sensores, actuadores, controladores, etc.), interconectados entre sí cumpliendo un objetivo establecido.

Desarrollar modelos de simulación y otros sistemas destinados a la resolución de problemas y asesorar en su aplicación. Al finalizar la cursada de la asignatura, el/la estudiante y futuro profesional adquiere los conocimientos para identificar, comprender y ensamblar entre otras habilidades un sistema de control que plantee situaciones simples, gestionado una variable física donde exista la necesidad manipularla con el fin de crear una acción concreta.

Desarrollar en el alumno aptitudes para su iniciación en el proyecto 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 Mecánica / Electromecánica, 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.

# Contenidos

## **Unidad 1. Introducción a sistemas realimentados. Modelización de los sistemas**

- 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
- 1.4 Definición del problema de análisis y diseño de los sistemas de control
- 1.5 Modelo clásico o de función de transferencia
- 1.6 Ecuaciones diferenciales
- 1.7 Modelos dinámicos linealizados
- 1.8 Cálculo de modelos matemáticos de:
  - 1.8.1 Sistemas mecánicos
  - 1.8.2 Sistemas eléctricos
  - 1.8.3 Sistemas electromecánicos: función de transferencia de motores y generadores
  - 1.8.4 Sistemas térmicos

## **Unidad 2. Métodos matemáticos y numéricos de aplicación específica**

- 2.1 Transformada de Laplace
- 2.2 Diagrama de bloques
- 2.3 Diagrama de flujo
- 2.4 Fórmula de ganancia de Mason

## **Unidad 3. Funciones de transferencia**

- 3.1 Transformada de Laplace de las ecuaciones dinámicas
- 3.2 Función de transferencia de lazo abierto y lazo cerrado
- 3.3 Ecuación característica. Polos y ceros de la función de transferencia
- 3.4 Obtención de la función de transferencia a partir del diagrama de flujo mediante la fórmula de Mason.

## **Unidad 4. Realimentación y sus efectos**

- 4.1 Ejemplos de modelos de sistemas realimentados
- 4.2 Efectos de la realimentación ante la variación de los parámetros y ante entradas perturbadoras.
- 4.3 Tipos de sistemas y errores de régimen estacionario
- 4.4 Respuesta temporal versus errores de régimen estacionario

## **Unidad 5. Componentes característicos de servosistemas**

- 5.1 Sensores y transductores en sistemas de control. Potenciómetros, taco-generadores, codificadores
- 5.2 Actuadores
- 5.3 El controlador: Función en un sistema de control

- 5.4 Controladores y leyes de control analógicas
- 5.5 Leyes de control analógico y sus funciones de transferencia
- 5.6 Respuesta temporal de controladores a señales de entradas típicas
- 5.7 Nomenclatura industrial de las acciones de control: banda proporcional, frecuencia de repetición, tiempo de anticipación.

## **Unidad 6. Comportamiento transitorio y estabilidad. Compensadores**

- 6.1 Respuesta temporal de sistemas retroalimentados de control
- 6.2 Respuesta temporal típica de un sistema de control a una entrada escalón. Conceptos de modo dominante, estabilidad relativa, rapidez, precisión
- 6.3 Parámetros característicos de la respuesta temporal de un sistema de segundo orden a una entrada escalón. Relaciones analíticas
- 6.4 Respuesta en estado estacionario: entradas típicas, tipos de sistemas, errores estacionarios y coeficientes estáticos de error
- 6.5 Análisis de estabilidad absoluta
  - 6.5.1 Definiciones: estabilidad, estabilidad asintótica, inestabilidad
  - 6.5.2 Criterios algebraicos de estabilidad: de Routh-Hurwitz para sistemas de tiempo continuo
- 6.6 Análisis de sistema de control por el método del lugar de las raíces
  - 6.6.1 Patrones de respuesta según la ubicación de los polos de lazo cerrado
  - 6.6.2 Lugar de raíces. Conceptos, condiciones básicas y reglas de construcción
  - 6.6.3 Ejemplo de trazados de lugares de raíces típicos
  - 6.6.4 Respuesta temporal a partir del lugar de raíces
- 6.7 Calidad del control y su mejora por su compensación
  - 6.7.1 Especificaciones de comportamiento de sistemas de control
  - 6.7.2 Compensación proporcional por lugar de raíces
  - 6.7.3 Concepto de índices de comportamiento
  - 6.7.4 Efecto del agregado de acciones de control PD y PI sobre la forma del lugar de raíces y la respuesta temporal
  - 6.7.5 Compensación por lugar de raíces: PD y PI y combinada.
  - 6.7.6 Criterios prácticos de ajuste de Ziegler-Nichols.

## **Unidad 7. Respuesta en frecuencia**

- 7.1 Introducción
- 7.2 Respuesta en frecuencia y distintas formas de representación
- 7.3 Criterios de estabilidad
- 7.4 Estabilidad relativa: Margen de Ganancia y Margen de Fase
- 7.5 Respuesta en frecuencia de los distintos tipos de compensadores
- 7.6 Compensación por adelanto
- 7.7 Compensación por atraso
- 7.8 Compensación combinada adelanto-atraso

## Metodología de enseñanza

Las clases impartidas son teóricas y prácticas. En las clases, se exponen los fundamentos de cada tópico y se ejemplifica su aplicación mediante el planteo y resolución de problemas ejemplo de aplicación.

Clases de resolución de problemas de aplicación, basados en una guía de problemas, en las que se plantean y resuelven otros problemas de aplicación aplicando la base teórica. Algunos problemas son resueltos por los alumnos en clase bajo supervisión del docente. Los restantes deben ser resueltos por los alumnos fuera del horario de clase.

Consultas: los docentes fijan horarios de consulta (dos horas por semana) para que los alumnos planteen sus dudas tanto acerca de los aspectos teóricos como de las dificultades que tengan para resolver los problemas de aplicación.

Mediante ayuda de software o herramientas de cálculo disponibles, es indicada la referencia a soluciones de planteos matemáticos. Se presentan ejercicios prácticos y trabajos de laboratorio simulados con aplicaciones tecnológicas relacionadas.

El alumno documenta las actividades que realiza durante el cursado en una carpeta de resolución de problemas. que le es útil para las evaluaciones que se realizan.

También se realizan explicaciones de casos prácticos comunes y cercanos a la realidad de todos los días en el ambiente industrial y hogareño; exposiciones grupales de temas elegidos por el docente; empleo del aula virtual, donde se encuentran las presentaciones de clases y documentación relevante.

También se buscar relacionar los contenidos de la asignatura, con otras asignaturas del plan de estudios a las que da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.

Se emplea el aula invertida, realizando actividades y procesos de aprendizaje fuera del aula; mientras en la clase se desarrolla la discusión y aclaración de contenidos; fomentando el aprendizaje autónomo del estudiante; modificando el rol pasivo de receptor de información a un rol activo en su proceso de aprendizaje significativo; asumiendo el docente el rol de guía del estudiante.

## Evaluación

Las metodologías y estrategias de evaluación que se emplearán, considerando los resultados de aprendizaje y los diferentes temas de las unidades desarrolladas en clases y laboratorio, son:

Evaluaciones parciales: en fechas previamente determinadas, durante el semestre lectivo (dos pruebas parciales de práctico) en la resolución de problemas para evaluar los conocimientos conceptuales y aplicativos adquiridos

Evaluación de integración de conocimientos: los alumnos que hayan aprobado las dos pruebas parciales y la asistencia son evaluados mediante un coloquio integrador, de todo el contenido de la asignatura y evalúa el conocimiento conceptual y aplicativo del alumno. Su aprobación dentro del período semestral implica la promoción del alumno en la materia. Se emplea el instrumento rúbrica.

Evaluación de una monografía basada en el estudio de un sistema a controlar a su elección (temperatura, velocidad de servomotores, posición de un brazo robótico, etc.) en el que debe aplicar todos los puntos teóricos/conceptuales del programa. Una vez finalizado el trabajo, el alumno expone oralmente. Se permite la integración de un equipo de dos (2) alumnos como máximo para realizar el trabajo. Se emplea el instrumento rúbrica.

## Condiciones de aprobación

### **Aprobación**

- 1.- Tener aprobadas las materias correlativas.
- 2.- Asistir al 80% de las clases teóricas y prácticas.
3. Aprobar las evaluaciones parciales de los prácticos, con una calificación de 0 a 10., con recuperación
- 4.- Aprobar la prueba de integración de conocimientos dentro del período semestral, promocionando la asignatura.
- 5.- Aprobar la presentación de la monografía por escrito y en forma oral
6. Examen final: se toma individualmente en las fechas establecidas a cada alumno libre o regular que se presenta. Comprende la prueba de integración de conocimientos y en caso de aprobar ésta, realiza una actividad de resolución de problemas de aplicación.

### **Regularización**

- 1.- Tener regularizadas las materias correlativas.
- 2.- Asistir al 80% de las clases teóricas y prácticas.
3. Aprobar una de las dos las evaluaciones parciales de los prácticos, con una calificación de 0 a 10., con recuperación
- 4.- Aprobar la presentación de la monografía por escrito y en forma oral

## Actividades prácticas y de laboratorio

El alumno prepara una monografía basada en el estudio de un sistema a controlar a su elección (temperatura, velocidad de servomotores, posición de un brazo robótico, etc.) en el que debe aplicar todos los puntos teóricos/conceptuales del programa. Una vez finalizado el trabajo, expone oralmente los resultados. Se

permite la integración de un equipo de dos (2) alumnos como máximo para realizar el trabajo.

## Competencias y resultados de aprendizaje

### Competencias genéricas

Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
<p><b>CG 1.</b> Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería</p>	<p><b>RA1.-</b> Utiliza técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, en el dominio del control clásico o del control moderno.</p> <p><b>RA2.-</b> Realiza análisis en el dominio el tiempo y la frecuencia, identificando parámetros y observando cómo se comporta la respuesta del sistema de control.</p>
<p><b>CG4:</b> Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería.</p>	<p><b>RA3.</b> Utiliza herramientas computacionales que 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.</p> <p><b>RA4.-</b> Realiza problemas de la guía de trabajos prácticos, empleando programas de simulación y analizando los resultados, en función de la aplicación.</p> <p><b>RA5.-</b> Selecciona las técnica y herramientas para aplicar en los sistemas de control, de manera efectiva</p> <p><b>RA6.-</b> Interpreta los resultados que se obtengan de la aplicación de las diferentes técnicas y herramientas utilizadas en los sistemas de control</p>

## Competencias Específicas

Competencia específicas	Resultados de aprendizaje
<p><b>CE1.36 (IM)- CE1.2.3 (IEM)</b> Comprender el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría de control aplicado a los sistemas lineales de tiempo continuo</p>	<p><b>RA1.-</b> Aplica los distintos elementos, en los sistemas de control, según las técnicas de control clásico.</p> <p><b>RA2.-</b> Realiza ejemplos característicos de los sistemas de control donde aparecen los términos y nomenclatura, identificando las variables de entrada y salida</p> <p><b>RA3.-</b> Utiliza los métodos de Análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la determinación de parámetros de interés.</p>
<p><b>CE1.37 (IM) - CE1.2.4 (IEM)</b> Aplicar los métodos de análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la identificación de sus parámetros relevantes.</p>	<p><b>RA4.-</b> Realiza ejemplos característicos de los sistemas de control donde aparecen los términos y nomenclatura, identificando las variables de entrada y salida</p> <p><b>RA5.-</b> Aplica los métodos de Lugar de Raíces y de Respuesta en frecuencia para analizar, sintetizar, compensar y diseñar sistemas de control automático, identificando la estabilidad del sistema y su comportamiento.</p> <p><b>RA6.-</b> Realiza análisis en el dominio del tiempo y la frecuencia, identificando</p>

	parámetros y observando cómo se comporta la respuesta del sistema de control.
<b>CE1.38 (IM)- CE1.2.5 (IEM)</b> Desarrollar y simular sistemas de control realimentados, utilizando técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, empleando herramientas computacionales.	<b>RA7.-</b> Utiliza conocimientos de programas de simulación de la ingeniería de control, para distintas aplicaciones de control, según la aplicación. <b>RA8.-</b> Formula modelos matemáticos de sistemas mecánicos, eléctricos, de nivel, térmicos y electrónicos, para realizar sistemas de control, según especificaciones establecidas.

## Bibliografía

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Nise, Norman (2020), Sistemas de Control para Ingeniería. 8ª Edición. Editorial Wiley.
- Dorf - Bishop (2021), Sistema de Control Moderno. 14ª Edición. Editorial Pearson.
- Franklin – Powell – Emami Naeini (2019), Control por Realimentación de Sistemas Dinámicos. 8ª Edición. Editorial Pearson.
- Kuo, Benjamín (1996), Sistemas de Control Automático. Prentice-Hall. México.
- Ogata, Katsuhiko (2010), Ingeniería de control moderna, Pearson

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Spong – Hutchinson – Vidyasagar (2020), Modelado y Control de Robots. 2ª Edición. Editorial Wiley.
- Corke – Jachimczyk – Pillat (2023), Robótica, Visión y Control. 3ª Edición. Editorial Springer.