

<b>INGENIERÍA EN MECATRÓNICA</b>									
<b>SISTEMAS DE CONTROL</b>									
<b>DEPARTAMENTO</b>		Automatización, Control y Robótica							
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>		<b>CARÁCTER</b>				<b>DICTADO</b>			
2015		X	Obligatoria		Optativa		Anual	X	Cuatrimestral
<b>AÑO</b>	<b>MÓDULO</b>	<b>RÉGIMEN</b>				<b>CUATRIMESTRE DE CURSADO</b>			
4	7		Teórica	X	Teórica-Práctica	X	Primero		Segundo
<b>CARGA HORARIA TOTAL</b>			90		<b>CANTIDAD DE SEMANAS</b>			15	

<b>DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>Carga horaria</b>
<b>Bloques</b>	<b>Presencial</b>
Ciencias Básicas de la Ingeniería	0
Tecnologías Básicas	90
Tecnologías Aplicadas	0
Ciencias y Tecnologías Complementarias	0
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>

<b>CARGA HORARIA DESTINADA A LAS ACTIVIDADES DE FORMACIÓN PRÁCTICA</b>	<b>Carga horaria</b>
	<b>Presencial</b>
Instancias supervisadas de Formación Práctica	36
Proyecto Integrador	9
Práctica Profesional Supervisada	0
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>

<b>CARGA HORARIA SEMANAL</b>	<b>Presencial</b>
Teoría	3
Formación Práctica	3
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>



## 1. Fundamentación.

El espacio curricular *Sistemas de Control* se ubica en el cuarto año de la carrera, es de carácter obligatorio, se dicta de manera cuatrimestral y pertenece al Departamento "Automatización, Control y Robótica". Esta asignatura se caracteriza por encontrarse en una etapa avanzada en la carrera, donde los estudiantes tienen la oportunidad de aplicar y profundizar los conceptos y las habilidades adquiridas en los años anteriores.

*Sistemas de Control* juega un papel fundamental, ya que se introducen y desarrollan conceptos esenciales para el diseño, análisis e implementación de sistemas de control en sistemas mecatrónicos.

Esta asignatura está estratégicamente ubicada en el plan de estudios para garantizar que los estudiantes cuenten con el conocimiento necesario en áreas relacionadas antes de abordar los sistemas de control. Para cursarla, se requiere que los estudiantes hayan regularizado "Electrónica básica y digital" y "Laboratorio de mediciones mecánicas, eléctricas y electrónicas". Del mismo modo, para aprobar la materia, es necesario que hayan aprobado dichas asignaturas.

El estudio de *Sistemas de Control* proporciona una base sólida para el aprendizaje de materias posteriores en el plan de estudios como "Sistemas Mecatrónicos", "Sistemas de Actuación Neumática e Hidráulica", "Inteligencia Artificial" y "Robótica". El conocimiento adquirido en *Sistemas de Control* permitirá aplicar conceptos de control en estas áreas y desarrollar soluciones más eficientes y efectivas en aplicaciones prácticas.

## 2. Objetivos.

### Objetivos generales:

- Desarrollar una comprensión sólida de los principios fundamentales y las técnicas utilizadas en el diseño y análisis de sistemas de control.
- Incrementar habilidades en modelado y análisis de sistemas de control en dominios de tiempo y frecuencia para aplicar dichas habilidades en la resolución de problemas de ingeniería.
- Familiarizarse con herramientas y enfoques modernos en diseño, implementación y ajuste de controladores en aplicaciones mecatrónicas, con el propósito de facilitar y optimizar la resolución de problemas.

### Objetivos específicos:

- Comprender la terminología, clasificación y componentes de los sistemas de control para proponer e interpretar esquemas y diseños.
- Modelar matemáticamente sistemas dinámicos utilizando ecuaciones diferenciales y funciones de transferencia para traducir los problemas reales y concretos en modelos manipulables cognitiva y computacionalmente.
- Aplicar la transformada de Laplace para el modelado, el análisis, diseño y ajuste de sistemas de control.



- Diseñar e implementar controladores PID, tanto en sistemas analógicos como digitales, para controlar procesos ajustando los requerimientos.
- Evaluar la estabilidad de los sistemas de control utilizando criterios en el dominio del tiempo y de la frecuencia para fortalecer la capacidad para diseñar sistemas de control confiables, evitando fallos o comportamientos indeseados en los sistemas.
- Implementar controladores en sistemas digitales y comprender las diferencias entre el control analógico y el digital para potenciar las habilidades para seleccionar y aplicar de manera eficiente controladores digitales y analógicos en distintos contextos y aplicaciones mecatrónicas, optimizando así el rendimiento, la precisión y la confiabilidad de los sistemas desarrollados.
- Familiarizarse con las técnicas de control robusto y adaptativo y su aplicación en la mecatrónica para enriquecer el conocimiento en técnicas de control avanzadas, permitiendo diseñar e implementar soluciones capaces de enfrentar variaciones en las condiciones del entorno y ajustarse automáticamente a diferentes situaciones.

### 3. Competencias y Descriptores.

La asignatura asegura el desarrollo de los contenidos mínimos previstos en el Plan de Estudios, los descriptores de conocimiento y los ejes y enunciados multidimensionales y transversales previstos en la Resolución CD N° 525/23.

Dicha Resolución del Consejo Directivo dispone, entre otras cuestiones, la contribución de cada asignatura a la matriz de tributación de los descriptores de conocimiento. Asimismo, establece el aporte mínimo que cada asignatura deberá realizar para el desarrollo de las competencias y/o ejes y enunciados multidimensionales y transversales previstos en la normativa ministerial correspondiente.

La contribución de esta asignatura a los contenidos mínimos y a los descriptores de conocimiento, puede evidenciarse en los contenidos analíticos detallados en el apartado específico de este Programa Analítico.

En cuanto a las competencias y/o ejes y enunciados multidimensionales y transversales, los mismos se desarrollan en la intensidad prevista en la Resolución CD N° 525/23, siendo abordados de manera integral, articulando la metodología empleada, los contenidos analíticos, las actividades de formación práctica, las formas de evaluación, junto a los demás aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza y aprendizaje llevado a cabo por esta asignatura.

Por ello, el presente Programa Analítico se ajusta a la normativa dictada por la unidad académica para dar cumplimiento a la normativa nacional vigente vinculada a la carrera.



#### 4. Contenidos.

##### 4.1. Contenidos Mínimos.

Los sistemas de control. Modelos matemáticos de sistemas físicos. Análisis de respuesta transitoria. Acciones básicas de control y tipos de sistemas. Análisis de estabilidad de sistemas de control. Análisis del lugar de raíces. Respuesta en frecuencia. Controladores en lazo cerrado. Técnicas de proyecto y compensación. Variable de estado. Introducción al control digital.

##### 4.2. Contenidos Analíticos.

**TEMA I:** Introducción a Sistemas de control. Introducción a los sistemas de control. El problema del control. Control manual y automático. Sistemas y modelos. Control de lazo cerrado y de lazo abierto. Elementos de un sistema de control automático. Lazo cerrado vs lazo abierto.

**TEMA II:** Modelado de sistemas de control. Modelos de sistemas. Bloques funcionales y formación de modelos. Elementos de modelos. Analogías entre modelos. Linealidad. Respuesta del sistema. Sistemas de primer orden. Sistemas de segundo orden. Transformada de Laplace. La transformada de Laplace para un escalón. Resolución de ecuaciones diferenciales a través de la transformada de Laplace. Teorema del valor inicial y final. Modelos de sistemas dinámicos. Funciones de transferencia de elementos dinámicos. Elementos de primer y segundo orden. Respuestas de un sistema de primer orden. Respuestas de un sistema de segundo orden. Modelado mediante diagrama en bloque. El diagrama en bloques. Bloques en serie. Bloques en paralelo. Lazos de realimentación. Simplificación de diagramas en bloques. Entradas múltiples. Ejemplos de sistemas mediante diagramas en bloques.

**TEMA III:** Error en estado estable y estabilidad. Error en estado estable. Clasificación de sistemas. Error en estado estable para una entrada escalón. Error en estado estable para una entrada rampa. Error en estado estable para una entrada parabólica. Error en estado estable para diferentes entradas. Error en estado estable debido a perturbaciones. Definición y concepto de estabilidad. Polos y ceros. Patrón de polos y ceros. Estabilidad y polos. El criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz. Estabilidad relativa.

**TEMA IV:** Análisis del lugar geométrico de las raíces. Lugar geométrico de las raíces de sistemas de primer orden. Lugar geométrico de las raíces de sistemas de segundo orden. Lugar geométrico de las raíces en sistemas de lazo cerrado. Representación polar de números complejos. Construcción del lugar geométrico de las raíces. Interpretación del lugar geométrico de las raíces.

**TEMA V:** Respuesta en frecuencia. Función de transferencia. Respuesta en frecuencia de sistemas de primer y segundo orden. Respuesta en frecuencia a partir del patrón de polos y ceros. Respuesta en frecuencia de elementos en serie. Trazas de Bode. Especificaciones de desempeño. Uso de datos experimentales de la respuesta en frecuencia. Diseño mediante compensación. Diagramas de Nyquist. Margen de ganancia y margen de fase.

**TEMA VI:** Controladores y elementos de control. Controladores. Control proporcional. Control integral. Control derivativo. Control proporcional integral. Control proporcional



derivativo. Control proporcional integral derivativo (PID). Equipos básicos de un sistema de control. Elementos de medición. Elementos de corrección. Ejemplos de sistemas de control.

**TEMA VII:** Introducción al control digital. Control de procesos discreto. Procesos discretos. Microprocesadores como controladores. Controladores lógicos programables. Programación de PLC. Control digital. Computadoras en control. Ejemplos de control digital directo. Transformada Z. Sistemas de datos muestreados. Procesamiento de datos en tiempo discreto. Retén de orden cero. Transformada Z. Uso de la transformada Z. Transformada Z inversa. Función de transferencia pulso. Conversión de las leyes de control analógico. Implementación de un algoritmo. Período de muestreo. Estabilidad. Pruebas para la estabilidad. Respuesta en frecuencia.

## 5. Metodología de enseñanza y de aprendizaje.

### 5.1 Descripción del enfoque metodológico.

Se adoptará un enfoque metodológico basado en la combinación de teoría y práctica, fomentando el aprendizaje activo, el pensamiento crítico y la resolución de problemas. A continuación, se describen estrategias y elementos clave que se implementarán.

- Clases teóricas interactivas: se centrarán en la presentación de conceptos fundamentales, técnicas y herramientas utilizadas en el diseño y análisis de sistemas de control. El profesor fomentará la participación activa de los estudiantes, invitándolos a realizar preguntas, compartir ideas y participar en discusiones en grupo. Además, se utilizarán ejemplos y casos de estudio relevantes para la mecatrónica a fin de contextualizar y aplicar los conceptos aprendidos.
- Sesiones de ejercicios y resolución de problemas: están diseñadas para que los estudiantes apliquen los conceptos teóricos aprendidos en situaciones prácticas y reales. Se proporcionarán problemas y ejercicios relacionados con el modelado, análisis y diseño de sistemas de control en diversos contextos de la mecatrónica. Los estudiantes trabajarán en grupos o de forma individual para resolver los problemas, y luego discutirán sus soluciones con el profesor y otros compañeros.
- Laboratorios y actividades prácticas: permitirán a los estudiantes interactuar con sistemas de control reales, utilizando herramientas y tecnologías actuales. Ya que podrán diseñar, implementar y ajustar controladores para aplicaciones mecatrónicas específicas, aprendiendo sobre las ventajas y limitaciones de diferentes enfoques y tecnologías. Estas actividades fomentarán el trabajo en equipo, la comunicación y la capacidad de enfrentar desafíos en entornos de ingeniería reales.
- Proyectos en grupo: Los estudiantes trabajarán en grupos para abordar un proyecto relacionado con el diseño, implementación y análisis de un sistema de control en un contexto de mecatrónica. El proyecto permitirá a los estudiantes aplicar y profundizar sus conocimientos en un problema práctico y realista, desarrollando habilidades de colaboración, comunicación y gestión de proyectos.

En definitiva, el enfoque metodológico de la asignatura se basará en combinar la teoría con la práctica, fomentando el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades técnicas y no técnicas relevantes para la profesión de ingeniero en mecatrónica. Se promoverá el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad en el abordaje de desafíos relacionados con

sistemas de control. Además, se buscará favorecer las habilidades de comunicación, trabajo en equipo y adaptabilidad, preparando a los estudiantes para enfrentar con éxito situaciones profesionales en su campo de acción. Asimismo, se incentivará la capacidad de aprendizaje autónomo y la actualización constante de conocimientos en un campo que evoluciona rápidamente, para que los futuros profesionales estén preparados para adaptarse a los cambios y seguir contribuyendo en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y enfoques en el ámbito de los sistemas de control.

### **5.1 Utilización del Campus Virtual.**

Se utilizará el campus virtual para enriquecer la experiencia educativa y facilitar el acceso a recursos y herramientas útiles para los estudiantes. Como por ejemplo:

- Disponibilidad de material de estudio en línea: se subirán presentaciones de diapositivas, apuntes, artículos, lecturas adicionales, ejercicios, videos, códigos de programas. Esto facilitará el acceso a los recursos para los estudiantes, fomentando la revisión y el estudio autónomo.

- Foros de discusión: Serán utilizados para fomentar el debate, la colaboración y el intercambio de ideas entre estudiantes y profesores fuera del horario de clase. Los estudiantes podrán plantear preguntas, compartir sus opiniones, resolver problemas en grupo y recibir retroalimentación de sus compañeros y profesor.

## **6. Descripción de las actividades Teóricas y de Formación Práctica.**

### **6.1. Actividades Teóricas.**

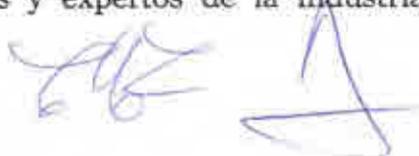
Las actividades teóricas están diseñadas para proporcionar a los estudiantes los conocimientos fundamentales y conceptuales relacionados con el diseño, análisis y funcionamiento de los sistemas de control. Estas actividades incluirán:

- Clases magistrales: Las clases magistrales serán impartidas por el profesor. Tienen como objetivo presentar y explicar los conceptos básicos, principios y teorías que rigen los sistemas de control. Estas clases incluirán exposiciones orales, presentaciones de diapositivas y demostraciones en vivo de conceptos y ejemplos aplicados.

- Lecturas y materiales de estudio: Se asignará a los estudiantes lecturas de materiales de estudio para complementar y profundizar en el contenido presentado en las clases magistrales. Estos materiales incluirán libros de texto, artículos de investigación, manuales, apuntes y recursos en línea.

- Análisis y discusión de casos: Para aplicar los conceptos teóricos en contextos reales, se presentarán casos y ejemplos de sistemas de control en diferentes aplicaciones mecatrónicas. Los estudiantes analizarán y discutirán estos casos, identificando los principios de diseño y funcionamiento, así como las soluciones y técnicas utilizadas.

- Conferencias invitadas y seminarios: Se desarrollarán conferencias y/o seminarios con profesionales y expertos de la industria para exponer a los estudiantes a las últimas



tendencias y avances en el campo de los sistemas de control, y discutir su aplicación en la ingeniería mecatrónica.

- Debates y foros de discusión: Se sostendrán debates y foros de discusión para fomentar el pensamiento crítico, la reflexión y el intercambio de ideas entre los estudiantes en torno a temas relacionados con los sistemas de control y su aplicación en la mecatrónica.

## 6.2. **Actividades de Formación Práctica.**

Como antes se mencionó, la cátedra plantea un enfoque metodológico basado en la combinación de teoría y práctica por esa razón se abordan las siguientes temáticas, en la instancia de los trabajos prácticos:

- Sistemas y Sistemas de Control.
- Función de transferencia.
- Operación en diagramas de bloques y simplificación de sistemas.
- Modelado de Sistemas.

Y, a modo de cierre de la propuesta curricular, el trabajo integrador.

## 6.3. **Ámbitos donde se desarrollan las actividades de Formación Práctica.**

Las actividades de formación práctica se desarrollarán en:

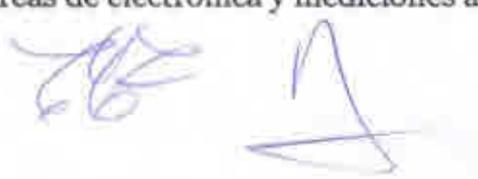
- Resolución de problemas: Aula habitual de clases.
- Simulación de sistemas: aula de informática o, en caso de contar con notebooks un alumno cada dos se podría hacer en el aula de clases.
- Actividades de laboratorio: Laboratorio de Mecatrónica y Planta Piloto.

## 7. **Articulación con otros espacios.**

La asignatura de *Sistemas de Control*, en su ubicación estratégica dentro del plan de estudios, se relaciona de manera horizontal y vertical con diversas materias, permitiendo un aprendizaje integrado y aplicado de los conceptos fundamentales de control.

De forma horizontal, la asignatura se articula con otras materias del mismo nivel, en particular "Automatización Industrial" y "Microcontroladores". La interrelación con estas asignaturas permite a los estudiantes aplicar de manera simultánea los conceptos de control en contextos industriales y de microcontroladores, enriqueciendo su experiencia educativa y permitiendo la realización de proyectos integradores y la resolución de problemas complejos propios de la ingeniería mecatrónica.

De forma vertical, la asignatura tiene una articulación descendente con "Electrónica básica y digital" y "Laboratorio de mediciones mecánicas, eléctricas y electrónicas", ya que se requiere que los estudiantes hayan regularizado y aprobado dichas asignaturas antes de cursar *Sistemas de Control*. Esta articulación garantiza que los estudiantes posean el conocimiento necesario en áreas de electrónica y mediciones antes de abordar los sistemas de control.



En cuanto a la articulación ascendente, *Sistemas de Control* sienta las bases para el estudio de asignaturas posteriores en el plan de estudios como "Sistemas Mecatrónicos", "Sistemas de Actuación Neumática e Hidráulica", "Inteligencia Artificial" y "Robótica". El conocimiento adquirido en *Sistemas de Control* se utiliza para aplicar conceptos de control en estas áreas, permitiendo a los estudiantes desarrollar soluciones más eficientes y efectivas en sus futuras aplicaciones prácticas.

Esta articulación con otros espacios curriculares permite una secuencia lógica y progresiva de contenidos y habilidades que los estudiantes adquieren a lo largo de la carrera, contribuyendo a su formación integral como ingenieros mecatrónicos.

## 8. Formas de evaluación.

La evaluación de los estudiantes incluirá tanto componentes formativos como sumativos. La evaluación formativa se realizará a lo largo del curso mediante las actividades en clase, discusiones, ejercicios y tareas. La evaluación sumativa incluirá exámenes escritos y orales, así como la evaluación de proyectos y actividades prácticas. El objetivo es asegurar que los estudiantes demuestren su comprensión de los conceptos teóricos y su capacidad para aplicarlos en situaciones prácticas.

La acreditación de la asignatura se podrá obtener por promoción o por examen final.

Los estudiantes que accedan a la promoción habrán aprobado la materia. La promoción implica un acompañamiento y evaluación continua del desempeño individual del alumno habiendo además trabajado en grupos de manera colaborativa.

La calificación final de la asignatura se calcula en base a la siguiente ponderación:

- Presentación de informes, actividades prácticas y coloquios: 20%
- Parciales aprobados: 50%
- Trabajo integrador final: 30%

Los alumnos que no accedan a la promoción de la asignatura deberán aprobar por examen final.

El examen final para estudiantes en condición de Regulares consta de dos partes: Una instancia escrita (eliminatória) en la que deberán resolver problemas y aplicaciones utilizando recursos de simulación, debidamente fundamentadas en base a conceptos teóricos. Superada esta instancia, seguirá un examen oral en base al programa analítico, por sorteo de dos temas del programa vigente.

En el caso de estudiantes libres, en la segunda parte del examen, deberán desarrollar una actividad de laboratorio, por sorteo en base a diferentes propuestas de trabajos prácticos.

## 9. Condiciones de Regularidad y Promoción.

### 9.1. Condiciones de Regularidad.

El alumno deberá cumplir con las condiciones establecidas en el reglamento académico de la



FCAL, para regularizar la asignatura, a saber:

- Asistir al 50 % de las clases teóricas dictadas.
- Asistir al 80 % de las clases prácticas dictadas.
- Entregar informes de actividades prácticas establecidas en la programación de Cátedra.

### 9.2. *Condiciones de Promoción.*

Los estudiantes que alcancen la regularidad, podrán optar por la promoción de la asignatura. Para esto deberán aprobar dos parciales, con nota igual o superior a 6 en cada uno. Los exámenes parciales serán del tipo teórico-prácticos (individuales y escritos) con opción a recuperar uno de éstos, en caso de haber obtenido una nota mayor o igual a 4 (no se recuperan parciales con nota menor a 4).

Los parciales podrán incluir tanto actividades de resolución de problemas de manera conceptual, como problemas aplicados por métodos analíticos o asistidos por computadora. Además deberán haber cumplimentado la presentación de todas las actividades prácticas y presentar y defender el trabajo integrador final.

### 10. Bibliografía.

Título	Autores	Editorial	Año de Edición
Ingeniería de Control	Bolton, W.	Alfaomega	2006
Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario	Bolton, W.	Alfaomega	2013
Ingeniería de Control Moderna	Ogata, K.	Pearson Educación S.A	2010
Control automático de procesos industriales <sup>4</sup>	Roca Cusido, A.	Díaz de Santos	2014



<sup>4</sup> Disponible en BiDi UNER.