



## Planificación Anual – Asignatura SISTEMAS DE CONTROL – E5.0 Año 2023



### DOCENTE RESPONSABLE

Nombre y Apellido Gerardo Gabriel Acosta

Categoría Docente Titular

### MARCO DE REFERENCIA

Asignatura Sistemas de Control Código E5.0

Carrera Ingeniería Electromecánica

Plan de estudios Ingeniería Electromecánica 2004 – OCS 2395/04

### Ubicación en el Plan

4º año – 2º cuatrimestre

Duración	Cuatrimestral	Carácter	Obligatoria	Carga horaria total (h)	90
----------	---------------	----------	-------------	-------------------------	----

### Carga horaria destinada a la actividad (h)

Experimental	35%	Problemas ingeniería	10%	Proyecto - diseño	15%	Práctica sup.	-
--------------	-----	----------------------	-----	-------------------	-----	---------------	---

Asignaturas correlativas	Cursadas	Electrónica Analógica y Digital
	Aprobadas	

Requisitos cumplidos Examen idioma inglés – N° de finales adeudados < 10

### Contenidos mínimos

**Conceptuales:** Sistemas lineales y sistemas realimentados. Transformada de Laplace. Función de Transferencia. Álgebra de bloques. Modelos Matemáticos de sistemas lineales. Análisis de sistemas de 1er y 2º orden y órdenes superiores. Especificaciones dinámicas y estáticas. Análisis de estabilidad (Routh-Hurwitz – Evans – Bode). Diseño de Compensadores. Control PID. Control digital. Transformada Z. Ecuación recursiva.

**Procedimentales:** Análisis de causalidad en sistemas dinámicos para su modelado y posterior control – Programación en un lenguaje de gran utilidad para ingeniería (Python – Matlab®) – Redacción de informes técnicos.

**Actitudinales:** Valoración del rol tecnológico y social de la ingeniería asociada a los sistemas de control – Estudio de temas en forma autónoma por parte del alumno con mínima orientación docente – Trabajo en grupo – Cumplimiento de requerimientos en plazos prefijados.

Depto. al cual está adscripta la carrera Ing. Electromecánica

Área Electrónica

Nº estimado de alumnos 20

### OBJETIVOS

Se pretende que el Ingeniero Electromecánico egresado de esta Facultad sea capaz de comprender y analizar con profundidad los distintos elementos vinculados con el control automático, haciendo especial énfasis en las estrategias de control empleadas en el medio industrial.

Al aprobar esta asignatura las y los estudiantes serán capaces de: 1) concebir, diseñar y desarrollar sistemas de control de baja a media complejidad; 2) utilizar de manera efectiva técnicas y herramientas de ingeniería de control, concretamente manejar y programar con solvencia controladores industriales (básicamente PID's analógicos y digitales)

### APORTE DE LA ASIGNATURA A LA FORMACIÓN BÁSICA Y/O PROFESIONAL

Sistemas de Control aporta al alumno las nociones básicas del control automático, brindando herramientas de ingeniería para abordar el análisis y diseño de sistemas de control de mediana complejidad, incluyendo conocimiento de elementos sensores, elementos actuadores, y diseño y programación del controlador para alcanzar especificaciones estáticas y dinámicas predeterminadas.

**Aporte a competencias:** 1. (Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería); 2. (Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería); 4. (Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería); 5. (Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas); 6. (Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo); 7. (Comunicarse con efectividad);

**Aporte a alcances:** 1. (Diseñar, calcular y proyectar máquinas, equipos, dispositivos, instalaciones y sistemas

eléctricos y/o mecánicos; sistemas e instalaciones de automatización y control y sistemas de generación, transformación, transporte y distribución de energía eléctrica, mecánica y térmica).

## **DESARROLLO DE LA ASIGNATURA**

### **Actividades y estrategias didácticas**

Se impartirán clases teóricas y clases prácticas en forma presencial (aunque luego de la pandemia todas las clases se encuentran publicadas y disponibles en YouTube<sup>AR</sup>). Se resolverán junto a las y los estudiantes distintos problemas de modelado y control, de modo tal que le permitan afianzarse en la adquisición de conocimientos en forma gradual a lo largo del cuatrimestre que dura el curso. Asistirán a estas clases de resolución de problemas con una guía que se entrega al principio del curso en las cuales los docentes les darán las herramientas conceptuales y les acompañarán en la resolución de tales problemas, y atenderán sus consultas en general.

Como el principal aporte de la asignatura es aportar a la competencia CE2 (Proyecto, diseño y cálculo de sistemas e instalaciones de automatización y control), l@s estudiantes han de concretar una tarea práctica de tipo "hands-on" para resolver un problema de control lineal mediante simulaciones de computadora y posteriormente la implantación del sistema de control en una planta real de laboratorio, que previamente vienen desarrollando en la asignatura correlativa de EAYD. En esta tarea, que se aborda en grupos de no más de 3 alumn@s, realizan actividades de proyecto, diseño, cálculo e implantación de estrategias de control de alguna variable de interés en plantas reales. Asimismo, estas actividades contribuyen a la formación de la competencia CT2 (Concepción, diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería electromecánica) y en menor medida en la CT1 (Identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería electromecánica). Esto se ve reflejado en cómo es evaluado el alumno en cada instancia al presentar la planta que construyó, sus relaciones causales y modelos lineales entre variables de entrada y salida.

En esta asignatura también se contribuye en la formación y posterior evaluación de la CS1 (Desempeño en equipos de trabajo) al hacer el análisis y adquisición de datos para el modelado en comisiones de trabajo, y de la CS2 (Comunicación efectiva) al exigir en cada instancia de evaluación y en un trabajo final que integre las evaluaciones anteriores, un informe en formato IEEE de 6 carillas a doble columna, a modo de artículo de congreso, que muestre los aspectos más relevantes de la planta controlada, su modelo lineal, la estrategia de control propuesta, el análisis de estabilidad y la implantación en un microprocesador para efectuarle un control digital.

Se adjunta un cronograma donde se establecen los temas que se irán abordando de la forma descrita en el párrafo anterior, con una carga horaria 2 clases semanales de 3 horas cada una, (Lunes y Martes de 17:00 a 20:00hs).

### **Trabajos experimentales**

Mediante la asistencia de programas de simulación (tipo Matlab® o Python for Control), l@s estudiantes identificarán, modelarán, analizarán y controlarán la mencionada planta a lo largo del cuatrimestre. Esta también será empleada en su evaluación, como testigo de su progreso en el aprendizaje en el conocimiento de la materia. Para la etapa de modelado, será necesario que el alumnado realice un fuerte trabajo experimental registrando entradas y salidas de la planta a identificar, que será realizado en el LABE y EL de Electromecánica.

### **Trabajo/s de Proyecto-Diseño**

Luego de identificada y modelada la planta, las y los estudiantes propondrán un sistema de control para alcanzar especificaciones dinámicas y estáticas en ciertas variables de interés que caracterizan la planta. Esta etapa de diseño del sistema de control, al que deberá analizársele también estabilidad, culmina con más trabajo experimental en laboratorio para verificar el correcto funcionamiento de todo el sistema. Finalmente, y por grupos de no más de tres estudiantes, deberán elaborar un informe técnico con formato de artículo IEEE de no más de 6 carillas. Dicho informe también será tenido en cuenta para la calificación final del desempeño de cada estudiante en la asignatura.

### **Recursos didácticos**

Se requiere que las y los estudiantes tengan disponible:

- una cuenta de correo electrónico
- un usuario de Whatsapp o Telegram

Todo el material necesario se hará disponible por el sistema de educación a distancia de la Facultad de Ingeniería y las clases se encuentran grabadas por un canal de YouTube<sup>AR</sup>.

### **Estrategia de evaluación de los alumnos**

#### **Regularización de la asignatura**

La asignatura se cursa regularmente obteniendo una nota de 4 o superior, en una escala de 0-10, para cada una de las tres instancias de evaluación, IE1, IE2 e IE3.

#### **Promoción de la asignatura**

La asignatura se aprobará mediante promoción con una nota de 4 o superior, en una escala de 0-10, habiendo

aprobado las instancias de evaluación IE1, IE2 e IE3, y habiendo presentado el informe final IF. Tanto las IE como el IF son individuales por estudiante.

### Examen Final

Para el caso de cursar la asignatura y no haber podido promocionarla, las y los estudiantes en esta situación podrán presentarse a rendir final de la materia.

### Estrategias de seguimiento del proceso de desarrollo de la asignatura

El proceso de aprendizaje se seguirá con una evaluación continua de las y los estudiantes, en forma conceptual en clase, por sus actitudes y desempeño grupal, y mediante instancias de evaluación individual. Existirán 3 instancias de evaluación (IE) a lo largo del curso para obtener la cursada y una instancia final (IF) para promocionar la asignatura:

- IE1: identificación y modelado de una planta de laboratorio designada por los docentes, para ser abordada grupalmente por 2 ó 3 estudiantes. Estos grupos de trabajo se conservarán para toda la cursada, sin embargo cada IE debe ser un informe individual de cada alumno y se revisará que no se entreguen copias textuales.
- IE2: control analógico de la planta identificada para alcanzar los requerimientos propuestos, implementado en simulación por computadora, realizando análisis de precisión y estabilidad del sistema diseñado.
- IE3: control digital de lo obtenido en el paso anterior analógico.

Las IE consistirán en la entrega de un informe individual que conteste las premisas de cada caso y el código de software empleado para responderlas. Por ejemplo para la IE1 entregarán un informe del orden y tipo de planta identificada y el código empleado para la identificación y análisis. Aglutinando las tres IE, las y los estudiantes elaborarán un informe que será empleado en la IF para promocionar. Las entregas de cada IE tendrá fecha de entrega inamovible, previamente fijada en el sistema provisto por EDU.COM, luego de la cual será imposible entregar el material a los docentes y se calificará con 0 puntos. Si desaproveban (con nota menor a 4 o por falta de entrega), tendrán una segunda posibilidad de entregar la IE (siempre antes de la entrega de la IE siguiente). Se tomará la mejor nota de las dos en los casos de rendir un recuperatorio. Esto significa por ejemplo que si la/el estudiante obtiene un 4 en primera instancia y decide igualmente recuperar para mejorar el promedio, y obtiene un 7, se tomará esta última nota para promediar la cursada, y por ende la nota final. Si por el contrario en el recuperatorio obtiene un 3, se tomará el 4 original para dicho promedio.

Las evaluaciones (IE e IF) se puntuarán en una escala de 0 a 10. Para aprobar la cursada de la asignatura las y los estudiantes no podrán obtener un puntaje menor a 4 puntos en cada una de las IE. Para promocionar la asignatura, se requiere haber aprobado todas las IE, redactar con el grupo de trabajo asignado el IF y finalmente presentarlo individualmente en forma oral. La nota final de la asignatura se obtiene según:

$$\text{NOTA FINAL} = (\text{IE1} + \text{IE2} + \text{IE3} + \text{IF}) / 4$$

### Cronograma

Semana	Unidad Temática	Tema de la clase	Actividades
1 (14/8)	Capítulo 1	Introducción – conceptos básicos	Clase teórica
2 (21/8)	Capítulo 1	Sistemas Lineales – Modelos matemáticos	Clase teórica y práctica
3 (28/8)	Capítulo 2	Modelos matemáticos – Respuesta transitoria	Clase teórica y práctica
4 (4/9)	Capítulo 2	Respuesta estática – software	Clase teórica y práctica – programación en Gab.
5 (11/9)	Capítulo 2	Modelado de planta de laboratorio – software	Laboratorio de Identificación de la Planta
6 (18/9)	-	Semana del Estudiante	-
7 (25/9)	Capítulo 3	Estabilidad – Retardo puro de tiempo	Laboratorio de Identificación de la Planta
8 (2/10)	Capítulo 3	Análisis de estabilidad con Bode	IE1 + clase teórica

9 (9/10)	Capítulo 4	Compensadores	Clase teórica y práctica – programación en Gab.				
10 (16/10)	Capítulo 4	Control PID	Clase teórica y práctica – programación en Gab.				
11 (23/10)	Capítulo 4	Control PID	Clase teórica y práctica – programación en Gab.				
12 (30/10)	Capítulo 5	Muestreo y reconstrucción – TZ	IE2 + clase teórica				
13 (6/11)	Capítulo 5	Control Digital – PID digital	Clase teórica y práctica – programación en Gab.				
14 (13/11)	Capítulo 5	Control de tiempo mínimo	Laboratorio de Control de la Planta				
15 (20/11)	-	Consultas	Laboratorio de Control de la Planta + IE3				
16 (27/11)	-	Consultas	Redacción de IF y entrega				
<b>Recursos</b>							
<b>Docentes de la asignatura</b>							
<b>Nombre y apellido</b>				<b>Función docente</b>			
Gerardo Acosta – Prof. Titular				Clases de teoría y práctica – evaluaciones			
Edgardo Beytía – JTP				Clases de teoría y práctica – evaluaciones			
Juan Pablo Pendones – Ayudante Diplomado				Clases de práctica – evaluaciones			
<b>Recursos materiales</b>							
<b>Software, sitios interesantes de Internet</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empleo de Matlab® ó Python para la asistencia en la resolución de problemas de la guía y las instancias evaluatorias.</li> <li>• Algunos sitios interesantes:  <a href="http://www.aadeca.org">http://www.aadeca.org</a>  <a href="http://www.ieee.org/index.html">http://www.ieee.org/index.html</a>  <a href="http://www.ieee.org.ar/index.asp">http://www.ieee.org.ar/index.asp</a>  <a href="http://ieeecss.org/">http://ieeecss.org/</a>  <a href="https://www.ceautomatica.es/">https://www.ceautomatica.es/</a>  <a href="https://www.ifac-control.org/">https://www.ifac-control.org/</a>  <a href="https://www.manufacturing.net/">https://www.manufacturing.net/</a>  <a href="http://www.mathworks.com/">http://www.mathworks.com/</a>  <a href="https://python-control.readthedocs.io/en/0.9.1/intro.html">https://python-control.readthedocs.io/en/0.9.1/intro.html</a> </li> </ul>							
<b>Principales equipos o instrumentos</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC del gabinete de computación.</li> <li>• Plantas didácticas e instrumental de laboratorio del Laboratorio de Electricidad y Electrónica – LABEyEL del Dto. de Ing. Electromecánica.</li> </ul>							
<b>Espacio en el que se desarrollan las actividades</b>							
Aula	Si	Laboratorio	Si	Gabinete de computación	Si	Campo	No
<b>Otros</b>							
<b>ADEMÁS DEL DESARROLLO REGULAR, SE ADOPTA PARA LA ASIGNATURA :</b>							
<b>Cursada intensiva</b>		No			<b>Cursada cuatrimestre contrapuesto</b>		No
<b>Examen Libre</b>		Si					
<b>Estrategia de evaluación de los alumnos para Examen Libre</b>							
La materia admite examen libre, requiriéndose rendir experimentalmente en laboratorio las IE1, IE2 e IE3.							



## Programa Analítico Asignatura Sistemas de Control (Código: E5.0)



Departamento responsable	Ingeniería Electromecánica	Área	Electrónica
Plan de estudios	Ingeniería Electromecánica 2004 – OCS 2395/04		

### Programa Analítico de la Asignatura – Año 2022

CAPÍTULO I: Introducción a los sistemas realimentados de control. Control de lazo abierto y de lazo cerrado. Repaso de Transformada de Laplace y Álgebra de bloques. Modelos matemáticos de sistemas físicos. Función de transferencia. Sistemas mecánicos, hidráulicos, térmicos, eléctricos. Analogía entre sistemas.

CAPÍTULO II: Análisis de la respuesta transitoria de sistemas (especificaciones dinámicas). Análisis de sistemas de 1er y 2o orden. Sistemas de orden superior. Respuesta al impulso, escalón y rampa de sistemas de 1er y 2o orden. Definición de error de estado estacionario (especificaciones estáticas). Coeficientes de error. Clasificación de sistemas según el error. Índices de desempeño.

CAPÍTULO III: Definición de estabilidad absoluta y relativa. Análisis de estabilidad de sistemas lineales continuos. Método de Routh-Hurwitz. Método del lugar de las raíces (Evans). Reglas generales para la construcción del lugar de raíces. Análisis de estabilidad utilizando ambos métodos. Métodos frecuenciales. Análisis de estabilidad empleando diagramas de Bode. Margen de ganancia y margen de fase. Criterio de estabilidad de Nyquist. Nociones de Compensación.

CAPÍTULO IV: Acciones básicas de control. Controladores lineales y no lineales. Acción SI-NO, Proporcional, Integral y Derivativa (PID). Esquemas básicos de control industrial, controladores en cascada y avanzación.

CAPÍTULO V: Introducción al control digital. Transformada Z. Muestreo y reconstrucción de señales. Ecuación a diferencias. Función de transferencia y comportamiento transitorio de sistemas muestreados. Analogías y diferencias con los sistemas continuos. Controladores PID digitales y de tiempo mínimo.

### Bibliografía Básica

- Ogata, K.: "Ingeniería de Control Moderna". 3ra Ed., Prentice Hall, 1997.
- Ogata, K.: "Sistemas de Control en Tiempo Discreto". 2a Ed., Pearson Educación, 1996.
- Ogata, K.: "Solving Control Engineering Problems with MATLAB", Ed. Prentice-Hall, Inc., 1994.
- Ogata, K.: "Problemas de ingeniería de control utilizando MATLAB", Ed. Prentice-Hall, 1998.
- Kuo, B.: "Automatic Control Systems", Ed. Prentice-Hall, Inc., 1995.
- Kuo, B.: "Digital Control Systems", Oxford University Press, 1992.
- Kuo, B.: "Sistemas Automáticos de Control", Ed. CECOSA, 2a edición, 1978.

### Bibliografía de Consulta

- Ogata, K.: "Discrete-Time Control Systems", 2nd Ed., Prentice-Hall, 1995.

- Sinha, N.: "Control Systems", Ed. J. Wiley & Son, 1994.
- Frederick, D. & Chow, J.: "Feedback Control Problems using MATLAB", Int'l Thomson Pub. Co., 1995.
- Astrom, K. and Wittenmark, B.: "Computer-Controlled Systems", Ed. Prentice-Hall, 1997.
- Kailath, T.: "Linear Systems", Englewood Cliffs, N.J., Ed. Prentice-Hall, Inc., 1980.
- Auslander y otros: "Introducción a los sistemas de control", Ed. McGraw-Hill, 1976.
- Shinskey, F.G.: "Process Control Systems", 3rd Ed. McGraw Hill, 1988.
- Shinskey, F.G.: "Sist. de Control de Procesos, aplicaciones, diseño y sintonización", McGraw Hill Bs. As., 1996. Szklanny, S. y Behrends, C.: "Sistemas Digitales de Control de Procesos", Ed. Control S.R.L., 1994.

#### Docente Responsable

**Nombre y Apellido** Gerardo Gabriel Acosta

**Firma**

#### Coordinador/es de Carrera

**Carrera** Ingeniería Electromecánica

**Firma**

#### Director de Departamento

**Departamento** Ingeniería Electromecánica

**Firma**

Roberto de la Vega

#### Secretaria Académica

**Firma**

*Ing. Isabel C. Riccobene*  
SECRETARIA ACADÉMICA  
Facultad de Ingeniería - UNCPBA