

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo			
P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA			
Asignatura:	CONTROL Y SISTEMAS		
Profesor Titular:	Dr. Ing. Hernán Garrido		
Carrera:	Ingeniería en Mecatrónica		
Año: 2023	Semestre: 9	Horas Semestre: 60	Horas Semana: 4

### OBJETIVOS

- Comprender la función que tiene cada etapa dentro de un sistema de procesamiento digital de una señal analógica y saber lidiar con los errores que surgen por su digitalización.
- Entender las limitaciones que surgen de la representación de números reales en una computadora.
- Diseñar y validar el modelo matemático de un sistema mecatrónico integrado a nivel simulación, reconociendo las distintas partes que lo componen y las limitaciones del modelo.
- Diseñar un sistema de control discreto a nivel simulación para un sistema mecatrónico. Demostrar que el sistema en su totalidad es robusto frente a ruido y perturbaciones.

### CONTENIDOS

#### **UNIDAD 1: REPRESENTACIÓN DISCRETA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS**

##### **1.A. Transformada Z**

Definición. Transformadas bilateral y unilateral. Sistemas causales y no causales. Región de convergencia y estabilidad. Transformada Z de funciones elementales. Propiedades. Resolución de ecuaciones en diferencias con coeficientes constantes usando transformada Z.

##### **1.B. Representación finita de números reales en punto fijo**

Números enteros y punto fijo. Notación Q. Rango y precisión. Conversión de punto flotante a punto fijo y viceversa. Escala de representación. Rango dinámico. Suma complemento a 2. Overflow. Saturación. Acumulador, bits de guarda. Multiplicación complemento a 2. Underflow. Esquemas de redondeo, truncación y round-off. Desplazamientos lógico y aritmético.

##### **1.C. Representación finita de números reales en punto flotante**

Punto flotante. Estándar IEEE 754-2008. Representación normalizada y denormalizada. Números especiales. Esquemas de redondeo. Rango dinámico. Precisión. Limitaciones del formato.

#### **UNIDAD 2: PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES**

##### **2.A. Etapas esenciales de un sistema DSP**

Filtro antialiasing. Técnica de oversampling. Conversión A/D. Error de cuantización. Relación señal-ruido de un conversor A/D y su relación con la cantidad de bits. Conversión D/A. Filtro de reconstrucción. Técnicas de upsampling, pre-equalización y post-equalización.

##### **2.B. Filtros tipo FIR**

Clasificación de filtros discretos. Filtrado en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Filtros FIR. Filtro Moving Average. Filtros FIR basados en ventanas. Diseño de

filtros FIR con MATLAB. Estructuras de filtros FIR. Implementación de filtros FIR en lenguaje C.

### **2.C. Filtros tipo IIR**

Filtro IIR en el dominio del tiempo: Leaky Integrator. Filtros IIR en el dominio de la frecuencia. Aproximación ZOH (Zero Order Hold). Aproximación bilineal (o de Tustin). Deformación de la respuesta frecuencia y fase (warping). Técnica de pre-warping. Diseño de filtros IIR con MATLAB. Estructuras de filtros IIR, Direct form I y II. Filtros IIR de segundo orden en cascada. Implementación de filtros IIR en lenguaje C.

## **UNIDAD 3: MODELADO MATEMÁTICO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS**

### **3.A. Diseño de sistemas mecatrónicos basado en modelos**

Introducción. Requerimientos del sistema. Etapas de diseño e integración. Modelado de la planta. Conceptos de hardware-in-the-loop, software-in-the-loop y model-in-the-loop. Modelado de sistemas físicos. Metodología para el modelado en espacio de estados. Verificación y validación del modelo.

### **3.B. Modelo matemático de sistemas eléctricos y mecánicos**

Sistemas eléctricos y mecánicos, repaso de conceptos. Circuitos eléctricos, amplificadores operacionales. Modelado de sensores típicos en sistemas mecatrónicos. Sistema masa-resorte. Sistemas mecánicos de cuerpo rígido. Implementación de los modelos en SimScape y/o Python.

### **3.C. Modelo matemático de sistemas hidráulicos y neumáticos**

Sistemas hidráulicos nivelados. Resistencia y capacidad. Presión hidráulica, unidades típicas. Sistemas hidráulicos nivelados con interacción. Ventajas y desventajas de los sistemas hidráulicos. Servo hidráulico. Controlador integral. Resistencia y capacidad. Sistemas presurizados. Controladores neumáticos con acciones proporcionales, derivativas e integrales. Válvulas actuadoras. Comparación entre sistemas neumáticos e hidráulicos. Implementación de los modelos en SimScape.

## **UNIDAD 4: CONTROL DE SISTEMAS MECATRÓNICOS INTEGRADOS**

### **4.A. Controladores PID avanzados**

Determinación experimental de la función de transferencia. Reglas de Ziegler–Nichols para el ajuste de controladores PID. Diseño de controladores PID para respuesta en frecuencia. Control con 2 grados de libertad (2DoF). Controladores PI-D e I-PD. Ubicación de ceros para mejorar la respuesta del sistema. Diseño de controlador PID discreto.

### **4.B. Control óptimo cuadrático**

Repaso de control en espacio de estados y del concepto de controlabilidad. Control en espacio de estados, cálculo de ganancia de realimentación y ganancia de referencia. Ruido y perturbaciones. Acción integral. Regulador lineal cuadrático (LQR).

### **4.C. Filtro de Kalman**

Repaso del concepto de observabilidad. Observador. Cálculo de la ganancia del observador. Incertidumbres en los parámetros de la planta. Filtro de Kalman discreto, aspectos prácticos. Definición de las matrices de covarianza Q, R y P. Ejemplos de aplicación, implementación en MATLAB.

## **UNIDAD 5: PROYECTO MECATRÓNICO**

### **5.A. Modelado de un sistema mecatrónico**

Propuesta por parte del alumno de un anteproyecto de modelado y control de un sistema mecatrónico. Modelado matemático de las partes que lo integran. Implementación del modelo de la planta en MATLAB/Simulink/SimScape. Validación del modelo.

### **5.B. Control de un sistema mecatrónico**

Elección de un controlador. Diseño del sistema de control. Validación del sistema de control en MATLAB/Simulink/SimScape. Análisis de controlabilidad y observabilidad del sistema. Análisis de robustez del sistema mecatrónico al ruido y perturbaciones.

### **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

Las clases de teoría se brindan al alumno en formato de video una semana antes de la clase, disponibles en el canal de Youtube de la materia. Durante esa semana, el docente está a disposición de los alumnos para aclarar dudas sobre la teoría. Cada clase es dividida en varios videos. Cada video contiene un tema en particular de la clase de teoría. De esta forma se logra que los videos sean cortos y ágiles. En cada video, un tema de teoría es explicado por el docente con el apoyo de transparencias. En el aula se fomenta un debate sobre los contenidos de la clase teórica para que los alumnos formulen preguntas y compartan sus comentarios. De esta forma se introduce a los alumnos en la clase de teoría dada y se logra que razonen sobre los contenidos brindados.

Las clases de práctica son realizadas junto con los alumnos. Algunos ejercicios de la práctica son asignados a ciertos alumnos una semana antes de la clase. Durante esa semana, el docente está a disposición de los alumnos para aclarar dudas sobre la resolución de los ejercicios. Los mismos son asignados en forma rotativa. El día de la clase de práctica, cada alumno seleccionado expone la resolución del ejercicio asignado. El resto de los alumnos pueden hacer preguntas y compartir sus puntos de vistas. Luego de las exposiciones, se continúa con la resolución del trabajo práctico en el aula con la ayuda del docente. Los ejercicios de la práctica se resuelven bajo el entorno de modelado y simulación MATLAB/Simulink/SimScape. Además, para ciertas clases se utiliza un entorno de programación en lenguaje C y eventualmente Python.

<b>Actividad</b>	<b>Carga horaria por semestre</b>
Teoría y resolución de ejercicios simples	30
Formación práctica	
Formación Experimental - Laboratorio	0
Resolución de problemas de ingeniería	22
Proyecto y diseño	8
<b>Total</b>	<b>60</b>

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **Bibliografía básica**

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Editorial</b>	<b>Año</b>	<b>Ejemplares en biblioteca</b>
Karl J. Åström y Richard M. Murray	Feedback Systems, v3,0i	Princeton University	2018	

		Press		
Ogata, K.	Ingeniería de Control Moderno, 5ta Ed.	Prentice Hall	2010	
Oppenheim, A. and Schafer, R.	Procesamiento discreto de señales	Prentice Hall	1999	
Kuchen, B. y Carelli, R.	Control Digital Discreto	UNSJ	1996	
Oppenheim / Willsky / Nawab	Señales y Sistemas	Pearson / Prentice Hall	1998	

### ***Bibliografía complementaria***

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Palm III, William	System Dynamics, 3rd Ed.	Mc Graw Hill	2014	
Lyons, Richard G	Understanding Digital Signal Processing, 2nd Ed.	Prentice Hall	2004	

### ***EVALUACIONES (S/ Ord. 108-10\_CS)***

#### **Regularización**

Para regularizar la materia se debe:

1. Tener el 75% de asistencia.
2. Participar en clase del 75% de las actividades prácticas.
3. Aprobar los 2 parciales o sus respectivos recuperatorios, con una nota igual o mayor a 6 (seis). Parciales y recuperatorios evalúan contenidos tanto de la teoría como de la práctica.
4. Presentar un anteproyecto de carácter individual antes de la finalización del cursado.

Las fechas fijadas para la toma de los 2 parciales son el 10 de mayo de 2022 y el 21 de junio de 2022. Los respectivos recuperatorios se tomarán la semana posterior siguiente a cada parcial, si fuera necesario.

#### **Anteproyecto**

El anteproyecto se define durante el dictado de la Unidad 5. El mismo debe especificar:

1. Título del proyecto final.
2. Objetivos que se pretenden alcanzar.
3. Breve descripción del proyecto a desarrollar con al menos la siguiente información:
  - a) Descripción de la planta a controlar.
  - b) Identificación de las variables de entrada y salida del sistema.
  - c) Tipo de control a implementar.
  - d) Herramientas de simulación que se usarán.

- e) Diagrama en bloques del sistema completo.

### Proyecto final

Luego de regularizar la materia, el alumno continúa con el desarrollo del proyecto final hasta su finalización, estando el docente disponible para consultas durante las horas designadas para tal fin.

El proyecto final debe tener las siguientes características:

1. Se debe modelar y controlar un sistema mecatrónico a nivel simulación de mediana complejidad.
2. El alumno debe tratar de solucionar un problema real.
3. El control del sistema debe ser discreto. Se pueden utilizar controladores PID o en espacio de estados.
4. Se debe incluir el modelado de al menos un sensor ruidoso a la salida del sistema. Se debe usar un filtro anti-aliasing y proponer un filtrado adicional con el objetivo de mitigar el ruido.
5. Se debe demostrar una correcta respuesta del sistema completo ante la presencia de ruido y perturbaciones.
6. El uso de precisión punto fijo para la implementación del controlador discreto y los algoritmos de DSP se considera un plus.
7. Se debe redactar un informe del proyecto final desarrollado. Para ello, se provee de una guía para la redacción de reportes técnicos escrita por el Prof. Titular de la cátedra.

Es obligatorio que el alumno entregue por e-mail al Prof. Titular de la cátedra una copia digital del informe del proyecto final al menos 72 horas hábiles antes de presentarse a la mesa.

### Aprobación

Para aprobar la materia, se contemplan dos casos:

- En el caso de un **alumno regular**, se debe haber enviado el informe final del proyecto previamente, según se indica en la sección anterior. Adicionalmente, el alumno debe exponer y defender el proyecto final en forma oral exitosamente durante la mesa de examen. Se evalúan el dominio de conceptos y el grado de competencias teórico-prácticas alcanzadas. La aprobación se alcanza con una nota igual o mayor a 6 (seis), que corresponde al 60% respecto de la competencia alcanzada por parte del alumno en los tópicos tratados por la materia.
- En el caso de un **alumno libre**, además de las exigencias para un alumno regular, se debe rendir en la mesa un examen escrito teórico-práctico antes de la presentación del proyecto. El mismo puede ser oral o escrito. Aprobado este examen, se procede a la defensa del proyecto final.