

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo			
P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA			
Asignatura:	CONTROL Y SISTEMAS		
Profesor Titular:	Dr. Ing. Rodrigo Gonzalez		
Carrera:	Ingeniería en Mecatrónica		
Año: 2019	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 MECATRONICOS**

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

Definición. Transformada Z de funciones elementales. Propiedades. Región de convergencia y estabilidad. Transformada Z de sistemas invariantes en el tiempo.

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

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

##### **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 A/D y su relación con la cantidad de bits. Conversión D/A. Filtro de reconstrucción. Técnicas de upsampling, pre-ecualización y post-ecualización.

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

Clasificación de filtros discretos. Filtrado en el dominio del tiempo y en el 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 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 (warping) . Diseño de filtros IIR con MATLAB. Estructuras de filtros IIR, Direct form I y II. Implementación de filtros IIR en lenguaje C.

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

### **3.A. 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 MATLAB/Simulink.

### **3.B. Modelo matemático de sistemas hidráulicos**

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. Implementación de los modelos en MATLAB/Simulink.

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

Comparación entre sistemas neumáticos e hidráulicos. Resistencia y capacidad. Sistemas presurizados. Controladores neumáticos con acciones proporcionales, derivativas e integrales. Válvulas actuadoras. Implementación de los modelos en MATLAB/Simulink.

### **3.D. Modelos de grafos de unión**

Modelado de sistemas mecatrónicos por el método de modelos de grafos de unión (*bond graph*). Sistemas multipuerto. Variables de potencia, energía, momento y desplazamiento. Introducción al entorno de simulación MATLAB/Simscape.

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

### **4.A. Controlador PID**

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.

### **4.B. Controlador PID discreto**

Controlador PID discreto. Implementación de controladores discretos en MATLAB/Simulink. Implementación de controladores PID discretos en lenguaje C.

### **4.C. Control óptimo cuadrático**

Repaso de control en espacio de estados y del concepto de controlabilidad. Incertidumbres en los parámetros de la planta. Ruido y perturbaciones. Acción integral. Regulador lineal cuadrático (LQR).

### **4.D. Filtro de Kalman**

Repaso del concepto de observabilidad, cálculo de la ganancia del observador. Estimación de estados, control. Filtro de Kalman discreto. Definición de las matrices de covarianza Q, R y P. Ejemplos de aplicación.

## **UNIDAD 5: PROYECTO MECATRÓNICO**

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

Propuesta por parte del alumno de un anteproyecto 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 al ruido y perturbaciones.

### **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

Las clases teóricas son dictadas con el apoyo de transparencias con exposición por parte del docente. Esta metodología permite fomentar a los alumnos para que formulen preguntas y comentarios, y de esta forma se introduzcan en el pensamiento lógico y razonen sobre el tema que se está tratando.

En las clases prácticas se utilizará el entorno de modelado y simulación MATLAB/Simulink/SimScape para la resolución en clase de los problemas propuestos. La intención es que el alumno aprenda a manejar estas herramientas para el diseño y desarrollo de proyectos mecatrónicos de mayor complejidad, y desarrolle, al menos parcialmente, las prácticas con la ayuda del docente en clase.

<b>Actividad</b>	<b>Carga horaria por semestre</b>
Teoría y resolución de ejercicios simples	25
Formación práctica	
Formación Experimental - Laboratorio	15
Resolución de problemas de ingeniería	10
Proyecto y diseño	10
<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>
Ogata, K.	Ingeniería de Control Moderno, 5ta Ed.	Prentice Hall	2010	
Karl J. Åström y Richard M. Murray	Feedback Systems, v3,0i	Princeton University Press	2018	
Oppenheim, A. and Schafer, R.	Procesamiento discreto de señales	Prentice Hall	1999	
Kuchen, B. y Carelli, R.	Control Digital Discreto	UNSJ	1996	

### ***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 30 de abril de 2019 y el 4 de junio de 2019. 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.

#### **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 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.

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.