



Ministerio de Cultura y Educación  
Universidad Nacional de San Luis  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias  
Departamento: Ingeniería  
Area: Electrónica

(Programa del año 2023)  
(Programa en trámite de aprobación)  
(Presentado el 07/03/2024 11:20:21)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
(Optativas Ingeniería Electromecánica-Plan 20/12-16/15) Optativa: Control Digital de Sistemas Mecatrónicos	ING.ELECTROMECAÁNICA	Ord.2	0/12- 2023	2° cuatrimestre
		18/22		

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
ASENSIO, EDUARDO MAXIMILIANO	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
LARREGAY, GUILLERMO OMAR	Prof. Colaborador	P.Adj Exc	40 Hs
SERRA, FEDERICO MARTIN	Prof. Co-Responsable	P.Tit. Exc	40 Hs

### III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
Hs	2 Hs	2 Hs	3 Hs	7 Hs

Tipificación	Periodo
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	2° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
07/08/2023	18/11/2023	15	105

### IV - Fundamentación

El avance tecnológico de microcontroladores y de sistemas para el procesamiento digital de señales (DSP) ha permitido una reducción considerable en los costos de la implementación de controladores de procesos y sistemas. Además, los controladores discretos modernos poseen mayor versatilidad, flexibilidad y robustez con respecto a controladores basados en circuitos analógicos. Es por este motivo, que la mayoría de los controladores se implementan en la actualidad de forma digital.

Si bien la teoría de control clásica basada en sistemas continuos es crucial para el diseño de controladores, es necesario contemplar ciertos aspectos y desafíos que se presentan a la hora de implementar un controlador de manera digital. La aproximación de modelos continuos no es suficiente para representar la dinámica de modelos discretos o muestreados. Es por esto que la materia Control Digital, se presenta como un complemento a conceptos estudiados previamente en Sistemas de Control utilizando herramientas definidas para sistemas digitales. Además, luego de sentar una base teórica, se realizará un enfoque práctico orientado a la implementación de controladores, diseñados en el dominio continuo y discreto, en diferentes tipos de aplicaciones modernas.

### V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Se espera que al finalizar el curso, cada estudiante logre:

Identificar elementos que intervienen en un sistema de control mecatrónico para obtener sus modelos dinámicos utilizando herramientas de tiempo discreto, realizando una validación mediante análisis de simulación y de forma experimental en laboratorio.

Diseñar controladores y observadores para sistemas mecatrónicos aplicando herramientas de control clásico definidas en tiempo discreto y software de diseño.

Implementar algoritmos de control en entornos de simulación y en microcontroladores para medición de variables, filtrado y control en sistemas mecatrónicos utilizando herramientas de programación actuales.

Planificar y gestionar proyectos de implementación práctica de controladores digitales cumpliendo con las etapas de modelado, diseño, implementación en simulación, estudio de hardware y programación.

## **VI - Contenidos**

### **1 – INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL**

- 1.1 Introducción a los sistemas de Control Digital. Aplicaciones.
- 1.2 Discretización. Muestreador Ideal. Retenedor de orden cero. Error de cuantización.
- 1.3 Sistemas de adquisición, conversión y distribución de datos. Conversión A/D. PWM. Retardos en el lazo de control.
- 1.4 Procesadores digitales de señal. Arquitectura y programación.
- 1.5 Filtros digitales FIR e IIR. Diseño e implementación en sistemas embebidos.
- 1.6 Transformada rápida de Fourier. Algoritmo e implementación en sistemas embebidos.

### **2 – MODELADO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO**

- 2.1 Modelado y simulación de sistemas mecatrónicos. Ecuaciones en diferencias.
- 2.2 Transformada Z. Definición. Mapeo entre el plano s y el plano z. Propiedades y teoremas fundamentales.
- 2.3 Modelado del sistema digital. Modelado del conversor A/D. Modelado del conversor D/A. Retenedor de orden cero.
- 2.3 Función de transferencia discreta. Discretización de plantas. Selección del tiempo de muestreo.
- 2.4 Transformada Z inversa. Solución de ecuaciones en diferencias.
- 2.5 Modelado de sistemas con retardos.
- 2.6 Espacio de estados discretos. Solución de ecuaciones en la forma de espacio de estados.

### **3 – DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO**

- 3.1 Repaso de conceptos de control en tiempo continuo.
- 3.2 Técnicas de discretización. Aproximación de controladores continuos. Implementación práctica.
- 3.3 Análisis de estabilidad de sistemas de lazo cerrado en el plano z. Dependencia del tiempo de muestreo.
- 3.4 Análisis de respuesta transitoria y de estado estable
- 3.5 Diseño basado en métodos convencionales. Uso de herramientas de software.
- 3.6 Método de diseño analítico. Controlador deadbeat o de tiempo mínimo.
- 3.7 Implementación de controladores mediante ecuaciones en diferencias.

### **4 – CONTROL POR UBICACIÓN DE POLOS Y DISEÑO DE OBSERVADORES**

- 5.1 Controlabilidad. Observabilidad.
- 5.2 Transformaciones útiles en análisis y diseño de espacio de estado.
- 5.3 Diseño de controladores digitales a través de ubicación de polos.
- 5.4 Observadores de estado. Implementación práctica.
- 5.5 Servo – sistemas.

### **5 – CONTROLADORES Y ESTIMADORES ESPECIALES.**

- 5.1 Control óptimo discreto.
- 5.2 Control predictivo basado en modelo.
- 5.3 Filtro de Kalman.
- 5.4 Ejemplos de Aplicaciones.

## **6 – IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA.**

- 6.1 Módulo de Desarrollo Stm32f103c8t6. Módulo PWM. Timers. ADC.
- 6.2 Control de velocidad y posición de un motor de CC.
- 6.3 Control de convertidores CC/CC.
- 6.4 Control de dron (vehículo aéreo no tripulado (VANT) .
- 6.5 Control de péndulo invertido.
- 6.6 Implementación de controladores mediante software de instrumentación virtual.

## **VII - Plan de Trabajos Prácticos**

Los trabajos prácticos serán orientados a una aplicación específica seleccionada por cada estudiante con seguimiento del docente. Cada trabajo práctico representa una etapa real del diseño e implementación de controlador digital (ver metodología de dictado):

A: Diseño del Control.

Etapa 1: “Modelo del sistema en tiempo continuo y discreto”

Etapa 2: “Diseño del controlador”

Etapa 3: “Diseño de control y observadores en el espacio de estados”

B: Programación.

Etapa 1: “Temporizadores y ecuaciones en diferencias.”

Etapa 2: “PWM”

Etapa 3: “ADC y Filtros digitales”

C: Entrega de trabajo final.

Al comienzo del cuatrimestre se presentará un cronograma de presentación de cada etapa. Para regularizar la materia se requiere entregar a término todas las etapas.

## **VIII - Regimen de Aprobación**

A - METODOLOGÍA DE DICTADO DEL CURSO:

El dictado de la materia posee una metodología orientada a la realización de proyecto. El objetivo final consiste en diseñar e implementar un control digital para una aplicación específica brindada por el docente o propuesta por el/la estudiante. Cada estudiante deberá cumplir con las diferentes etapas en fechas estipuladas que guiarán a la implementación final del proyecto.

El cumplimiento de cada etapa se hará efectiva mediante clases invertidas donde cada estudiante mostrará sus avances en el proyecto. De esta manera se busca debatir sobre las dificultades o desafíos que presenta cada proyecto así como de posibles soluciones. Se propondrá una fecha límite de entrega de la etapa, y en caso de no entrega a término el estudiante perderá la condición regular.

Se brindarán clases teóricas que consisten en taller de aula mediante exposición de presentación en PC donde se definen las bases y herramientas para cada etapa.

De forma complementaria, se llevarán a cabo clases prácticas en aula multimedia, utilizando software de simulación y programación para cada estudiante aplique las herramientas brindadas en clases teóricas. Además se utilizará el Laboratorio de Electrónica cuando sea necesario.

Se busca fomentar la discusión y el trabajo en equipo para la solución de problemas técnicos, mediante el uso de instrumentos para la adquisición y análisis de datos.

## B - CONDICIONES PARA REGULARIZAR EL CURSO

Se considera regular a cada estudiante que cumpla con los siguientes requisitos:

- 1.- Cumplir con las condiciones de habilitación (equivalencias) para cursar la materia.
- 2.- Haber asistido al 80 % de las clases teóricas y prácticas.
- 3.- Presentar en tiempo y forma los avances de cada etapa del proyecto.

Para aprobar el curso, cada estudiante puede optar por alguna de las siguientes opciones:

- 1) Presentación del proyecto final que consiste en la implementación práctica de un sistema de control digital. El mismo se irá desarrollando en etapas a lo largo del dictado.
- 2) Mediante la aprobación de un examen final teórico.
- 3) En caso de que el estudiante no logre finalizar el proyecto final de manera práctica pero sí en entorno de simulación, cumplimentando las etapas previas, el/la estudiante obtendrá la condición de regular pudiendo presentar luego en una mesa de exámenes el trabajo final.

## C – RÉGIMEN DE APROBACIÓN CON EXÁMEN FINAL

Se puede optar por rendir un examen final oral para aprobar el curso.

## D – RÉGIMEN DE PROMOCIÓN SIN EXAMEN FINAL

Cada estudiante que realice el curso puede promocionar mediante la presentación del trabajo final que consiste en la implementación práctica de un sistema de control digital. El mismo se irá desarrollando en etapas a lo largo del dictado como se explica en los puntos anteriores.

## E – RÉGIMEN DE APROBACIÓN PARA ESTUDIANTES LIBRES

El curso no contempla régimen de aprobación para estudiantes libres.

## IX - Bibliografía Básica

- [1] SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL - Maximiliano Asensio, Federico Serra, Guillermo Larregay, Tipo: Apuntes del curso. Formato: Digital.
- [2] SISTEMAS DE CONTROL MODERNO – Benjamin Kuo. Tipo: Libro. Formato: Impreso, Disponibilidad: Biblioteca VM.
- [3] SISTEMAS DE CONTROL MODERNO – Katsuhiko Ogata, Tipo:Libro. Formato: Impreso. Disponibilidad: Biblioteca VM.

## X - Bibliografía Complementaria

- [1] SISTEMAS DE CONTROL MODERNO –Richard C. Dorf. Tipo:Libro. Formato: Impreso. Disponibilidad: Biblioteca VM.

## XI - Resumen de Objetivos

Cada estudiante que apruebe el curso deberá estar capacitado para:

- 1) Modelar y analizar cualquier sistema
- 2) Diseñar sistemas de control mediante técnicas en el dominio del tiempo discreto.
- 3) Realizar la simulación de sistemas mediante el uso sistemático de software específico.
- 4) Identificar en instalaciones y equipos industriales automatizados los bloques funcionales de los sistemas automáticos que intervienen.
- 5) Implementar controladores digitales.

## XII - Resumen del Programa

- 1 – INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL
- 2 – MODELADO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO
- 3 – DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO

- 4 – CONTROL POR UBICACIÓN DE POLOS Y DISEÑO DE OBSERVADORES
- 5 – CONTROLADORES Y ESTIMADORES ESPECIALES.
- 6 – IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA.

### **XIII - Imprevistos**

En caso de no poder completarse el dictado del programa de la asignatura de manera presencial por razones de fuerza mayor, se dictarán clases mediante plataformas virtuales, coordinando además horarios para clases de consultas.

### **XIV - Otros**

Aprendizajes Previos:

Modelar sistemas físicos mediante herramientas definidas en tiempo continuo.

Simular sistemas físicos mediante software afín y el uso de ecuaciones diferenciales.

Resolver ecuaciones diferenciales utilizando transformada de Laplace.

Detalles de horas de la Intensidad de la formación práctica.

Se deberán discriminar las horas totales con mayor detalle al explicitado en el cuadro inicial (Punto 3). La sumatoria de las horas deberá coincidir con el crédito horario total del curso explicitado en el campo “Cantidad de horas” del punto III.

Cantidad de horas de Teoría:20

Cantidad de horas de Práctico Aula:

Cantidad de horas de Práctico de Aula con software específico: 20

Cantidad de horas de Formación Experimental: 30

Cantidad de horas de Resolución Problemas Ingeniería con utilización de software específico: 20

Cantidad de horas de Resolución Problemas Ingeniería sin utilización de software específico:

Cantidad de horas de Diseño o Proyecto de Ingeniería con utilización de software específico:15

Cantidad de horas de Diseño o Proyecto de Ingeniería sin utilización de software específico:

Aportes del curso al perfil de egreso:

1.1. Identificar, formular y resolver problemas. (Nivel 3)

1.3. Planificar, gestionar, controlar, supervisar, coordinar, ejecutar y evaluar proyectos. (Nivel 3)

1.6. Proyectar y dirigir lo referido a la higiene, seguridad, impacto ambiental y eficiencia energética. (Nivel 1)

2.1. Utilizar y adoptar de manera efectiva las técnicas, instrumentos y herramientas de aplicación. (Nivel 1)

2.4. Aplicar conocimientos de las ciencias básicas de la ingeniería y de las tecnologías básicas. (Nivel 3)

3.2. Comunicarse con efectividad en forma escrita, oral y gráfica (Nivel 3).

### **ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA**

**Profesor Responsable**

Firma:

Aclaración:

Fecha: