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

**(Programa del año 2025)**
**(Programa en trámite de aprobación)**
**(Presentado el 14/08/2025 15:19:31)**

## I - Oferta Académica

| Materia | Carrera | Plan | Año | Período |
|---|---|---|---|---|
| () Optativa: Control Digital de Sistemas | ING.ELECTROMECÁNICA | Ord.20/12-18/22 | 2025 | 2° cuatrimestre |
| Mecatrónicos<br>() Optativa: Control Digital | INGENIERÍA ELECTRÓNICA | Ord 19/12-11/22 | 2025 | 2° cuatrimestre |
| Control Digital de Sistemas Mecatrónicos | ING. MECATRÓNICA | OCD Nº 19/22 | 2025 | 2° cuatrimestre |
| () Optativa: Control Digital | INGENIERÍA ELECTRÓNICA | OCD Nº 23/22 | 2025 | 2° cuatrimestre |

## II - Equipo Docente

| Docente | Función | Cargo | Dedicación |
|---|---|---|---|
| ASENSIO, EDUARDO MAXIMILIANO | Prof. Responsable | P.Adj Exc | 40 Hs |
| SERRA, FEDERICO MARTIN | Prof. Co-Responsable | P.Tit. Exc | 40 Hs |
| FRIAS, RICARDO GASTON | Responsable de Práctico | JTP Exc | 40 Hs |

## III - Características del Curso

| Credito Horario Semanal | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Teórico/Práctico** | **Teóricas** | **Prácticas de Aula** | **Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.** | **Total** |
| 0 Hs | 2 Hs | 2 Hs | 2 Hs | 6 Hs |

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

| Duración | | | |
|---|---|---|---|
| **Desde** | **Hasta** | **Cantidad de Semanas** | **Cantidad de Horas** |
| 04/08/2025 | 14/11/2025 | 15 | 90 |

## IV - Fundamentación

El avance tecnológico de microcontroladores 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.

La implementación de controladores en sistemas mecatrónicos resulta fundamental para garantizar un comportamiento preciso, eficiente y robusto en aplicaciones que integran componentes mecánicos, electrónicos y de control. Estos sistemas requieren respuestas rápidas y adaptativas frente a condiciones variables de operación, lo que hace indispensable el uso de controladores digitales que puedan ser fácilmente programados, ajustados y replicados.

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 en un microcontrolador. La aproximación de modelos continuos no es suficiente para representar la dinámica de modelos discretos o muestreados.

Este curso 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

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.
1.6 Implementación en sistemas embebidos.
1.7 Introducción a los microcontroladores. Módulo de Desarrollo Stm32f103c8t6.

**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 y 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.
3.8 Validación de controladores en entornos de simulación.

**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. LQR.
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 – PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA.**
6.1 Partes físicas de un sistema de control. Actuadores en sistemas mecatrónicos. Etapa de sensores y adaptación de señales.
6.2 Configuración de periféricos del STM32. GPIO. Interrupciones.
6.3 Configuración del ADC. Interrupciones. Resolución.
6.4 Introducción a Timers. Interrupciones. Resolución.
6.5 Configuración de Módulos PWM. Uso de PWM. Interrupciones
6.6 Programación de algoritmos y controladores.
6.7 Ejemplos de Implementación: Control de velocidad y posición de un motor de CC. Control de convertidores CC/CC. Control de dron - vehículo aéreo no tripulado (VANT). Control de péndulo invertido.

## 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: “Discretización de controladores”
Etapa 2: “Diseño del controlador en tiempo discreto”
Etapa 3: “Diseño de control y observadores en el espacio de estados”

B: Programación.
Etapa 1: “Temporizadores y salidas digitales.”
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 opción de promoción y deberá rendir dos exámenes prácticos para obtener 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.
4.- En caso de que el estudiante no entregue a término las etapas deberá rendir dos exámenes escritos y obtener una calificación igual o mayor al 70%.

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, obtendrá la condición de regular pudiendo presentar luego en una mesa de examen el trabajo final.

C – RÉGIMEN DE APROBACIÓN CON EXÁMEN FINAL
Se puede optar por rendir un exámen 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.
E – RÉGIMEN DE APROBACIÓN PARA ESTUDIANTES LIBRES
El curso no contempla régimen de aprobación para estudiantes libres.

## IX - Bibliografía Básica

**[1]** CONTROL DIGITAL DE SISTEMAS MECATRÓNICOS - Maximiliano Asensio. Tipo: Apuntes del curso. Formato: Digital.
**[2]** SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO– Benjamin Kuo. Tipo:Libro. Formato: Impreso. Disponibilidad: Biblioteca VM.
**[3]** INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA – Katsuhiko Ogata. Tipo: Libro. Formato: Impreso. Disponibilidad: Biblioteca VM.

## X - Bibliografia 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 – PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA.

## XIII - Imprevistos

En el caso de que por algún motivo de fuerza mayor no se pudiese dictar todo el programa, se coordinará/an clases recuperatoria/as con los temas principales faltantes.
En caso de que los imprevistos obliguen a que las actividades sean virtuales o no presenciales, se dictarán las clases con apoyo de la plataforma de Google, tanto en reuniones mediante Google Meet como en aula virtuales en Google Classroom.

## XIV - Otros

- Aprendizajes Previos:
Aplicar leyes físicas básicas que describan comportamiento dinámico de sistemas.
Resolver ecuaciones diferenciales que describan fenómenos físicos.
Manejar herramientas de computación para el cálculo y gráfica de variables físicas.
Diseñar controladores en tiempo continuo para obtener respuestas deseadas.

- Detalles de horas de la Intensidad de la formación práctica.

Cantidad de horas de Teoría: 30hs.
Cantidad de horas de Práctico de Aula con software específico: (Resolución de prácticos en PC con software específico propio de la disciplina de la asignatura): 15hs.
Cantidad de horas de Formación Experimental: 20hs.
Cantidad de horas de Resolución Problemas Ingeniería con utilización de software específico: 10hs.
Cantidad de horas de Diseño o Proyecto de Ingeniería con utilización de software específico: 15hs.

Aportes del curso al perfil de egreso:

1.1 Identificar, formular y resolver problemas. (Nivel 3)
1.5. Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado. (Nivel 2)
1.6. Proyectar y dirigir lo referido a la higiene, seguridad, impacto ambiental y eficiencia energética. (Nivel 2)
2.1 Utilizar y adoptar de manera efectiva las técnicas, instrumentos y herramientas de aplicación. (Nivel 2)
3.1. Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo multidisciplinarios. (Nivel 2)
3.2. Comunicarse con efectividad en forma escrita, oral y gráfica. (Nivel 3)
3.3. Manejar el idioma inglés con suficiencia para la comunicación técnica. (Nivel 3)

| ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA | |
|---|---|
| | **Profesor Responsable** |
| Firma: | |
| Aclaración: | |
| Fecha: | |