## **PRESENTACIÓN DEL ESPACIO CURRICULAR**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Espacio curricular:** Control y Sistemas | | | | | | | | | |
| **Código SIU-guaraní:** Haga clic o pulse aquí para escribir texto. | | | | | | | **Ciclo lectivo:** 2024 | | |
| **Carrera:** | **Ingeniería Mecatrónica** | | | | **Plan de Estudio:** | | | **Res. 005/23-CD** | |
| **Dirección a la que pertenece** | | **Ingeniería Mecatrónica** | | | **Bloque/ Trayecto** | | | | **Tecnologías Aplicadas** |
| **Ubicación curricular:** | 9no Semestre | | **Créditos** 6 | **Formato Curricular** | | | | | Teoría/práctica |
| **Equipo docente** | **Profesor Responsable /a cargo: Carlos Hernán Garrido** | | | | | | | | |
| **Cargo:** Elija un elemento. | **Nombre:** | | | | | **Correo:** | | | |
| **Titular** | **Carlos Hernán Garrido** | | | | | **hernan.garrido@ingenieria.uncuyo.edu.ar** | | | |
|  |  | | | | |  | | | |
|  |  | | | | |  | | | |
|  |  | | | | |  | | | |

|  |
| --- |
| **Fundamentación** |
| Esta asignatura se centra en la integración de subsistemas mecatrónicos, abarcando aspectos electrónicos, mecánicos, informáticos y de control automático. Su objetivo principal es proporcionar a los alumnos los recursos necesarios para reducir el riesgo de problemas al interconectar estos subsistemas. Estos recursos se dividen en dos: los recursos formativos, que incluyen conocimientos detallados sobre aspectos de subsistemas mecatrónicos no abordados en asignaturas anteriores; y los recursos informativos, que se centran en problemas comunes que pueden surgir al conectar subsistemas funcionales, de forma individual, pero que pueden fallar en conjunto. La evaluación se realiza a través de ejercicios prácticos y exámenes parciales para los recursos formativos, y mediante el desarrollo detallado de un proyecto final para los recursos informativos. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Aportes al perfil de egreso** *(En la Matriz de Tributación)* | | |
| *CE-E* Competencias de Egreso Específicas | *CE-GT* Competencias Genéricas Tecnológicas | *CE-GSPA* Competencias Sociales – Político - Actitudinales |
| ***Contribución Alta***  CE-E 1.1: Diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería mecatrónica.  CE-E 1.2: Calcular sistemas mecatrónicos, sus subsistemas constituyentes y su funcionamiento integral.  ***Contribución Media***  CE-E 1.3: Implementar tecnológicamente sistemas mecatrónicos.  CE-E 2.3 : Identificar, seleccionar y utilizar las técnicas y herramientas disponibles más adecuadas para la construcción, operación y mantenimiento de sistemas mecatrónicos.  Elija un elemento. | ***Contribución Alta***  CE-GT1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería mecatrónica en los distintos ámbitos de su desempeño profesional.  CE-GT2: Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería mecatrónica.  ***Contribución Media***  CE-GT4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería mecatrónica.  Elija un elemento.  Elija un elemento. | ***Contribución Alta***  CE-GSPA2: Comunicarse en forma oral y escrita con efectividad manejando el vocabulario técnico pertinente.  Elija un elemento.  ***Contribución Media***  CE-GSPA1: Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo interdisciplinarios.  CE-GSPA4: Aprender en forma continua y autónoma participando activamente en la elaboración de los propios trayectos de aprendizaje y reconociendo la necesidad de perfeccionarse permanentemente  Elija un elemento. |

|  |
| --- |
| **Expectativas de logro** *(En punto 8 del Plan de Estudios)* |
| Al acreditar el espacio curricular, las y los estudiantes serán capaces de:  - Elaborar modelos de sistemas mecatrónicos, para generar entornos de simulación,  incluyendo la interacción física entre sus partes eléctricas, electrónicas y mecánicas.  - Simular sistemas mecatrónicos para determinar su comportamiento ante distintos  escenarios, mediante herramientas de software y modelos de elaboración propia.  - Desarrollar el control de sistemas mecatrónicos a partir de modelos de diseño lineales y  simplificados.  - Evaluar el desempeño de sistemas mecatrónicos controlados a partir de modelos de  validación no-lineales realistas. |

|  |
| --- |
| **Contenidos mínimos** *(En punto 8 del Plan de Estudios)* |
| Representación discreta de sistemas mecatrónicos: Transformada Z. Representación finita de  números reales en punto fijo y flotante.  Procesamiento digital de señales: Etapas de un DSP. Filtros FIR e IIR.  Modelado matemático de sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos.  Control de sistemas mecatrónicos integrados: Controladores PID modificados. Control óptimo  lineal cuadrático. Filtro de Kalman de tiempo continuo y tiempo discreto.  Elaboración de modelos, simulación y síntesis del control en software de simulación  multidominio.  Desarrollo de proyecto mecatrónico con concepción integrada de planta y controlador (a nivel  de simulación). |

|  |
| --- |
| **Correlativas** *(En planilla de Correlatividades)* |
| **Previas:**  **Fuertes:** Sistemas de Automatización - Mecánica Estructural - Elija un elemento.  **Débiles:** Robótica I - Automática y Máquinas Eléctricas - Elija un elemento.  Posteriores: Robótica II - Proyecto Final de Estudios - Elija un elemento. - Elija un elemento. |

## **RESULTADOS DE APRENDIZAJE**

**RA.1A.a: Infiere causalidad, estabilidad y complejidad de un Sistema en Tiempo Discreto (STD) a partir de su diagrama de polos y ceros**

**RA.1A.b: Bosqueja la función de respuesta en frecuencia de un STD a partir de su diagrama de polos y ceros y viceversa**

**RA.1A.c: Escribe la ecuación en diferencias de un STD a partir de su función de transferencia y viceversa**

**RA.1B.a: Implementa operaciones aritméticas (suma, resta y multiplicación) de punto fijo en lenguaje C y Matlab utilizando variables de tipo entero**

**RA.1B.b: Elige la representación en punto fijo óptima para una variable física dado su rango de variación y el número total de bits disponibles**

**RA.1C.a: Entiende los riesgos técnicos y las desventajas económicas de adoptar punto flotante para implementar un controlador discreto**

**RA.2A.a: Diseña los parámetros principales (frecuencias de muestreo y submuestreo, frecuencias de corte de filtros antialiasing y de reconstrucción) de una etapa DSP dado un contexto físico**

**RA.2BC: Diseña un filtro digital pasa bajos en tiempo discreto y lo implementa computacionalmente en lenguaje Matlab y C**

**RA.3.a: Modela matemáticamente un sistema multi-físico (dominios: eléctrico – mecánico – neumático – hidráulico) e implementa ese modelo computacionalmente en Matlab, Simulink, C o Python**

**RA.3.b: Simula escenarios con dos modelos del mismo sistema, uno lineal simplificado para el diseño del controlador y otro no lineal realista para su validación**

**RA.4A: Reubica los bloques P, I y D de un PID para cumplir con requisitos de la respuesta ante perturbaciones y/o ante variaciones del punto de consigna**

**RA.4B: Diseña un controlador LQR asignando valores a Q y a R con criterio ingenieril**

**RA.4C: Diseña un filtro de Kalman, en tiempo continuo, asignando valores a Q y a R con criterio ingenieril y lo implementa computacionalmente en tiempo discreto en lenguaje Matlab, C o Python**

**RA.5: Documenta con calidad profesional el desarrollo de un proyecto mecatrónico, adhiriendo estrictamente a formatos impuestos**

## **CONTENIDOS/SABERES (Organizados por unidades, ejes u otros)**

|  |
| --- |
|  |
| 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-ecualización y post-ecualización.  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. |

## **MEDIACIÓN PEDAGÓGICA (metodologías, estrategias, recomendaciones para el estudio)**

|  |
| --- |
|  |
| 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 (con links en el aula virtual). 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. |

## **INTENSIDAD DE LA FORMACIÓN PRACTICA**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ámbito de formación práctica | Carga horaria | |
| Presencial | No presencial |
| Formación Experimental | 20 | 20 |
| Resolución de problemas Abiertos de Ingeniería | 15 | 20 |
| Actividades de proyecto y diseño | 10 | 10 |
| Práctica profesional Supervisada | 0 | 0 |
| Carga horaria total | 50 | 50 |

## **SISTEMA DE EVALUACIÓN**

## **Criterios de evaluación**

Exámenes parciales

Los exámenes parciales consistirán en preguntas de teoría, y ejercicios de complejidad y contenido similar a los tratados en los trabajos prácticos. Sin embargo, tendrán un planteo con más libertad. Debido a esto, muchos de los ejercicios de los exámenes no tienen una solución única. Sin embargo, hay soluciones mejores y peores. La calificación de cada ejercicio, siempre que sea posible, será función del desempeño de la solución seleccionada e implementada por el alumno. Dicho desempeño se medirá objetivamente con una función provista con el examen. Por ejemplo, se puede pedir que se implemente un filtro, y la calificación del ejercicio será función de la SNR a la salida del filtro. Otro ejemplo puede ser que se implemente un controlador de estabilización y que la calificación del ejercicio sea una función que pondere el tiempo de estabilización y el pico de la acción de control. En todos los casos, el alumno podrá evaluar sus soluciones implementadas tantas veces como el tiempo de examen lo permita.

Examen final

El alumno tendrá la recomendación del profesor titular de presentarse en la próxima mesa de exámenes finales cuando el proyecto haya alcanzado la madurez adecuada. Esta recomendación ocurrirá en una de las consultas sobre avances del proyecto. Entre la última consulta y el día del examen final, los docentes evaluarán el texto final del informe del proyecto. El día del examen se evaluará mediante una exposición del alumno y preguntas de los docentes. Estas preguntas estarán relacionadas con el proyecto, pero podrán abarcar cualquiera de los contenidos, formen o no explícitamente parte del proyecto presentado. En otras palabras, el proyecto servirá como disparador de preguntas y no como restricción de los temas que el alumno debe dominar para aprobar la materia.

## **Condiciones de regularidad**

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, especificando:

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.

## **Condiciones de promoción**

La materia no admite promoción directa.

## **Régimen de acreditación para**

* + - **Promoción directa: No admitida.**
    - **Alumnos regulares:**

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.

Durante la mesa de examen, el alumno debe exponer y defender el proyecto final en forma oral exitosamente. 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.

* + - **Alumnos libres: No admitida.**

**A.** Estudiante libre en el espacio curricular por no haber cursado la asignatura.

**B.** Estudiante libre en el espacio curricular por insuficiencia*; es decir, haber cursado la*

*asignatura, y haber aprobado actividades específicas del espacio curricular y no haber cumplido con el resto de las condiciones para alcanzar la regularidad.*

**C.** Estudiante libre en el espacio curricular por pérdida de regularidad (LPPR) por

vencimiento de la vigencia de la misma y no haber acreditado la asignatura en el plazo

estipulado.

**D.** Estudiante libre en el espacio curricular por pérdida de regularidad (LPPR), por haber

rendido CUATRO (4) veces la asignatura, en condición de estudiante regular, sin lograr

su aprobación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Titulo | Autor /es | Editorial | Año de Edición | Ejemplares  Disponibles | Sitios digitales | Unidades |
| Oppenheim / Willsky / Nawab | Señales y Sistemas | Pearson / Prentice Hall | 1998 | 1 |  | 1 |
| Signal Processing: Principles and Applications 1st Edición | Thomas Holton Digital | Cambridge University Press | 2021 |  |  | 2 |
| The Scientist and Engineer's Guide to  Digital Signal Processing | Steven W. Smith | California Technical Pub | 1997 |  | https://www.dspguide.com/ | 2 |
| Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers, Second Edition | Karl Johan Åström, Richard M. Murray | Princeton University Press | 2021 |  |  | 3 |
| Modern Control Engineering, fifth edition | Ogata, K. | Pearson India | 2015 |  |  | 4 |
| Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches | Dan Simon | WILEY INDIA | 2018 |  |  | 4 |

## **Recursos digitales del espacio curricular (enlace a aula virtual y otros)**

**Aula virtual:** [**https://aulaabierta.ingenieria.uncuyo.edu.ar/course/view.php?id=1815**](https://aulaabierta.ingenieria.uncuyo.edu.ar/course/view.php?id=1815)

**Repositorio en GitHub:** [**https://github.com/carloshernangarrido/control**](https://github.com/carloshernangarrido/control)

1. **FIRMAS**

## **V°B° DIRECTOR/A DE CARRERA DOCENTE RESPONSABLE A CARGO**



Eduardo Enrique Iriarte Carlos Hernán Garrido

Fecha: Fecha: 6 de octubre de 2023