



**Ministerio de Cultura y Educación**  
**Universidad Nacional de San Luis**  
**Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales**  
**Departamento: Electrónica**  
**Area: Electrónica**

**(Programa del año 2022)**

**I - Oferta Académica**

| <b>Materia</b> | <b>Carrera</b>  | <b>Plan</b> | <b>Año</b> | <b>Período</b>  |
|----------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|
| CONTROL I      | ING.ELECT.O.S.D | 13/08       | 2022       | 1° cuatrimestre |

**II - Equipo Docente**

| <b>Docente</b>        | <b>Función</b>       | <b>Cargo</b> | <b>Dedicación</b> |
|-----------------------|----------------------|--------------|-------------------|
| SPINA, MARCELO CARLOS | Prof. Responsable    | P.Adj Semi   | 20 Hs             |
| GALO, GERARDO OCTAVIO | Auxiliar de Práctico | A.2da Simp   | 10 Hs             |
| TRABES, EMANUEL       | Auxiliar de Práctico | A.1ra Exc    | 40 Hs             |

**III - Características del Curso**

| <b>Credito Horario Semanal</b> |                 |                          |                                              |              |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------|
| <b>Teórico/Práctico</b>        | <b>Teóricas</b> | <b>Prácticas de Aula</b> | <b>Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.</b> | <b>Total</b> |
| 3 Hs                           | Hs              | 3 Hs                     | 1 Hs                                         | 7 Hs         |

| <b>Tipificación</b>                            | <b>Periodo</b>  |
|------------------------------------------------|-----------------|
| B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio | 1° Cuatrimestre |

| <b>Duración</b> |              |                            |                          |
|-----------------|--------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Desde</b>    | <b>Hasta</b> | <b>Cantidad de Semanas</b> | <b>Cantidad de Horas</b> |
| 21/03/2022      | 24/06/2022   | 14                         | 90                       |

**IV - Fundamentación**

El control automático es una especialidad de la Ingeniería que se ocupa de analizar el comportamiento de los sistemas físicos para alcanzar una operación segura y eficiente de los mismos. Permite tener una visión específica de estos sistemas y de su dinámica, y de cómo se pueden compensar para cumplir condiciones requeridas. Cualquier ingeniero que diseñe u opere plantas industriales o de laboratorio debe tener conocimientos de control automático

**V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje**

a- Capacitar al alumno para que pueda desarrollar una serie de actividades profesionales sencillas en el campo del control automático.

- 1- Plantear, diseñar y especificar correctamente estrategias sencillas de control
- 2- Analizar y entender estrategias más complejas, propuestas por especialistas con años de experiencia.
- 3- Diagnosticar y resolver problemas sencillos de los sistemas de control de una planta en operación
- 4- Participar en la gestión de definición y adquisición de sistemas de control para plantas industriales

b- Consolidar una formación básica a partir de la cual el alumno, bien sea por sí mismo o con el apoyo de cursos de postgrado, pueda especializarse en la temática.

Durante el desarrollo de la materia se incorporan conocimientos sobre los fundamentos del modelado de sistemas físicos, su simulación, análisis de sus respuestas temporal y frecuencial y diseño y sintonía de controladores que actúan sobre sistemas dinámicos. En las prácticas se utilizan herramientas de software de modelado, simulación y control. En las clases teóricas se muestran aplicaciones desarrolladas como simulaciones interactivas, laboratorios virtuales, entornos de simulación orientados a objetos, y también se muestran algunos seminarios por Internet sobre herramientas de simulación orientadas a modelos,

## VI - Contenidos

### Capítulo 1: Introducción a los Sistemas de Control

- 1.1- Introducción al Control Automático
- 1.2- Sistemas de Control
- 1.3- Control Realimentado
- 1.4- Definiciones de Componentes de Sistemas de Control: Variables de entrada. Variables de Salida. Punto de Consigna o Referencia. Variables de perturbación. Variables de ruido.
- 1.5- Sistema de control en Lazo abierto. Sistema de Control en Lazo cerrado
- 1.6- Historia del Control Automático. Un caso de análisis: Regulador de Velocidad de James Watt y Modelado de James Clerck Maxwell
- 1.7- Diseño de proceso
- 1.8- Diseño de Sistemas de Control
- 1.9- Ejemplo de Diseño de un Sistema de Control
- 1.10- Señales e Instrumentos en Sistemas de Control
- 1.11- Niveles de Control de Procesos: Regulatorio Básico. Control Regulatorio Avanzado. Control multivariable. Optimización en línea.
- 1.12- Ingeniería de Proceso. Ingeniería de Control. Ingeniería de Software. Vinculaciones
- 1.13- Tipos de Sistemas de Control: Continuos, Discretos, Muestreados, SISO (Simple entrada y Simple Salida), MIMO (múltiples entradas y múltiples salidas)
- 1.14- Efectos de la Realimentación: Efectos sobre la ganancia, en la estabilidad, en la sensibilidad, sobre perturbaciones y ruido
- 1.15- Etapas que involucra un proyecto de control

### Capítulo 2: Modelado de sistemas dinámicos

- 2.1 Introducción
- 2.2 Definición de Modelado
- 2.3 Aspectos importantes del Modelado: Herramienta. Específico. Complejidad. Jerarquía. Nivel de Detalle. Campo de Validez.
- 2.3 Tipos de Modelos: Físicos. Matemáticos: Analíticos y Empíricos
- 2.4 Pasos del Modelado
- 2.5 Tipos de Modelos: Modelos de caja blanca vs. Modelos de caja negra. Modelos de parámetros concentrados vs. Modelos de parámetros distribuidos. Modelos lineales vs. Modelos no lineales. Modelos Estáticos vs. Modelos Dinámicos. Modelo en el dominio del tiempo vs. Modelo en el Dominio de la Frecuencia. Modelado interno vs. Modelado externo.
- 2.6 Modelo matemático mediante ecuaciones diferenciales
- 2.7 La transformada de Laplace. Definición. Propiedades. Tablas.
- 2.8 Modelado en el dominio de la frecuencia: La Función de Transferencia. Respuesta al Impulso y Función de Transferencia
- 2.9 Diagrama de Bloques. Reducción de Diagramas de Bloques
- 2.10 Linealización de Ecuaciones de Modelo. Punto de Operación.
- 2.11 Simulación de Proceso
- 2.12 Fases de la Simulación
- 2.13- Funciones de Transferencia de una red eléctrica
- 2.14- Funciones de transferencia de un sistema mecánico de traslación
- 2.15- Funciones de transferencia de un sistema mecánico de rotación
- 2.16- Funciones de transferencia para sistemas de rotación con engranajes
- 2.17- Funciones de transferencia de un sistema electro-mecánico
- 2.18-Modelado de Sistemas Hidráulicos
- 2.19-Modelado de Sistemas Térmicos

### Capítulo 3: Respuesta Temporal

- 3.1-Respuesta temporal: Introducción
- 3.2-Polos, ceros y respuesta del sistema
- 3.3-Sistemas de primer orden

- 3.4-Sistemas de segundo orden
- 3.5- El sistema general de segundo orden
- 3.6- Sistemas sub-amortiguados de segundo orden
- 3.7- Respuesta de sistema con polos adicionales. Sistemas de Orden superior
- 3.8- Respuesta de sistemas con ceros
- 3.9- Efecto de no linealidades sobre respuesta en el tiempo
- 3.10- Utilización de software de simulación para analizar la respuesta temporal

#### **Capítulo 4: Estabilidad**

- 4.1- Introducción al concepto de Estabilidad de Sistemas de Control LTI
- 4.2- Criterio de Routh-Hurwitz
- 4.3- Análisis de Casos Especiales para Routh-Hurwitz
- 4.3.1- Un problema especial de análisis de Estabilidad
- 4.4- Análisis del estudio de Estabilidad de J.C.Maxwell sobre Regulador de Watt
- 4.5- Utilización de software de simulación para determinación de la estabilidad

#### **Capítulo 5: Error en Estado Estable de Sistemas de Control**

- 5.1- Errores en estado estable - Introducción
- 5.2- Error en estado estable para sistemas con realimentación unitaria
- 5.3- Constantes de error estático y definición de “tipo de sistema”
- 5.4- Error en estado estable ante perturbaciones
- 5.5- Error en estado estable para sistemas con realimentación no unitaria
- 5.6-Utilización de software de simulación para analizar los errores en estado estable

#### **Capítulo 6: Representación de Sistemas en Espacio de Estados**

- 6.1- Introducción al modelado de sistemas en el dominio del tiempo
- 6.2- La representación general en el espacio de estados. Matriz de Transición de Estados
- 6.3- Aplicación de la representación en el espacio de estados
- 6.4- Conversión de una función de transferencia al espacio de estados
- 6.5- Conversión del espacio de estados a función de transferencia
- 6.6- Software de simulación en la representación de sistemas en Espacio de Estados
- 6.7- Conceptos sobre Controlabilidad y Observabilidad
- 6.8- Apéndice: Repaso de Álgebra y Análisis de matrices

#### **Capítulo 7: Respuesta en Frecuencia**

- 7.1-Técnica de Respuesta en Frecuencia: Introducción
- 7.2- Expresiones analíticas de la respuesta en frecuencia
- 7.3- Gráfica de la respuesta en frecuencia
- 7.4- Aproximaciones asintóticas: Traza de Bode
- 7.5- Trazas de Bode empleando Matlab
- 7.6- Introducción al criterio de Nyquist
- 7.7- Criterio de Nyquist
- 7.8- Aplicación del criterio de Nyquist para determinar la estabilidad
- 7.9- Estabilidad por medio del diagrama de Nyquist
- 7.10- Margen de ganancia y margen de fase por medio del diagrama de Nyquist
- 7.11- Diagrama de Nyquist empleando software de simulación
- 7.11- Estabilidad, margen de ganancia y margen de fase por medio de trazas de Bode
- 7.12- Trazas de Bode y márgenes de ganancia y fase
- 7.13-Relación entre respuestas transitoria en lazo cerrado y respuesta en frecuencia
- 7.14-Características del error en estado estable a partir de la respuesta en frecuencia
- 7.15- Empleo de la Técnica de respuesta en frecuencia para diseño de compensadores en cascada que permitan mejorar el error en estado estable y la respuesta transitoria

#### **Capítulo 8: Lugar Geométrico de las Raíces**

- 8.1-Definición del lugar geométrico de las raíces

- 8.2- Propiedades del lugar geométrico de las raíces
- 8.3- Trazado del lugar geométrico de las raíces
- 8.4- Diseño de la respuesta transitoria por medio del ajuste de ganancia
- 8.5- Diseño por medio del lugar geométrico de las raíces
- 8.6- Mejoramiento de error en estado estable por medio de compensación en cascada
- 8.7- Mejoramiento de la respuesta transitoria por medio de compensación en cascada
- 8.8- Mejoramiento del error en estado estable y respuesta transitoria
- 8.9- Construcción física de la compensación
- 8.10- Utilización de software de simulación para el diseño mediante el Lugar Geométrico de las Raíces

### **Capítulo 9: Controlador PID**

- 9.1-Modelado empírico para sistemas de control de procesos
- 9.2-Controladores analógicos PID
- 9.2-Acción proporcional y controladores P
- 9.3-Acción integral y controladores PI
- 9.4-Acción derivativa y controladores PD
- 9.5-Acción proporcional, integral y derivativa. Controladores PID
- 9.6-Modificaciones al algoritmo PID clásico y algunas características adicionales de los controladores PID
- 9.7-Sintonía de controladores
- 9.8-Selección del tipo de controlador
- 9.9-Fórmulas de sintonía
- 9.10- Complementos

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

Práctico 1: Utilidades del software de simulación para Control

- Parte 1: Introducción al software de simulación para Control
- Parte 2: Software de simulación en bloques
- Parte 3: Introducción a la Programación con software de simulación – Cálculo Simbólico

Práctico 2: Modelado de Sistemas Físicos y Funciones de Transferencia

- Parte 1: Modelado de Sistemas Eléctricos
- Parte 2-a: Modelado de Sistemas Mecánicos de Traslación
- Parte 2-b: Modelado de Sistemas Mecánicos de Rotación y Transmisiones
- Parte 3: Modelado de Sistemas Electromecánicos – Motor de CC
- Parte 4: Modelado de Sistemas Hidráulicos y Térmicos

Práctico 3: Respuesta Temporal

- Parte 1: Respuesta Temporal de Sistemas de 1er Orden
- Parte 2: Respuesta Temporal de Sistemas de 2do Orden
- Parte 3: Respuesta Temporal de Sistemas de Orden Superior

Práctico 4: Estabilidad

- Parte 1: Método de Routh-Hurwitz
- Parte 2: Problemas de casos especiales
- Parte 3: Routh-Hurwitz con software de simulación

Práctico 5: Errores en Estado Estable

- Parte 1: Tipo de sistema
- Parte 2: Problemas para determinación de Errores en Estado Estable

Práctico 6: Representación de Sistemas en Espacio de Estados

- Parte 1: Modelado en Espacio de Estados. Problemas
- Parte 2: Software de simulación y la representación en Espacio de Estados

Práctico 7: Respuesta en Frecuencia

- Parte 1: Trazado del Diagrama de Bode manual y con software de simulación
- Parte 2: Estabilidad empleando MG y MF en Diagramas de Bode
- Parte 3: Respuestas Transitorias y ESS a partir de la Respuesta en Frecuencia

#### Práctico 8: Técnica del Lugar de las Raíces

- Parte 1: Trazado del LGR manual y mediante software de simulación. Comandos y recursos para análisis de sistemas
- Parte 2: Diseño por medio del LGR. Diseño por ajuste de ganancia. Mejoras en la Respuesta Transitoria
- Parte 3: Diseño por medio del LGR. Mejoramiento de la Respuesta Transitoria y del Error en Estado Estable

#### Práctico 9: Controladores PID

- Parte 1: Acciones de Control P y PI
- Parte 2: Controlador PID. Mejoras. Controladores Comerciales

Laboratorios: el dictado de la materia se acompañará en cada tema central, con Laboratorios implementados con equipos Quanser

- Laboratorio 1: Presentación y prácticas de funcionamiento con equipamiento Quanser
- Laboratorio 2: Modelado de Motor de CC. Validación práctica del modelo
- Laboratorio 3: Respuesta en el tiempo de control de velocidad de Motor de CC
- Laboratorio 4: Estabilidad de sistemas de control
- Laboratorio 5: Diseño de controlador PD o PID

### VIII - Regimen de Aprobación

Prácticas:

Los alumnos deben asistir al menos al 70% de las clases prácticas

Parciales:

Se tomarán a) tres evaluaciones parciales o b) dos evaluaciones parciales y un trabajo final de diseño

- Parcial 1: Temas 1, 2 y 3
- Parcial 2: Tema 3, 4, 5 y 6
- Parcial 3: Temas 7 y 8

Los alumnos tendrán derecho a dos recuperaciones por cada parcial.

Los parciales se aprobarán con un mínimo de 7 puntos.

Trabajo final:

En caso de adoptarse la modalidad b), se asignará un trabajo por grupo de alumnos donde se aplicarán los conocimientos de los temas 6, 7 y 8. Se deberá realizar un informe, presentar los códigos fuentes de los programas utilizados y realizar una presentación en clase, a modo de coloquio.

El trabajo final se aprobará con un mínimo de 7 puntos.

Laboratorios:

Los alumnos deberán tener 70% de asistencia en los Laboratorios.

Deberá presentar un informe por cada laboratorio, que incluya el reflejo concreto de los resultados observados durante cada Práctica de Laboratorio realizada.

Examen Final:

El examen se aprobará con un mínimo de 6 puntos.

### IX - Bibliografía Básica

- [1] Sistemas de control para ingeniería – Tercera Edición en inglés, primera edición en español– Norman S. Nise – CECSA – 2002
- [2] Ingeniería de control moderna- Cuarta edición- Katsuhiko Ogata – Pearson Educación S. A. - 2003
- [3] Sistemas de control automático –Séptima edición- Benjamín Kuo – Prentice Hall Hispanoamericana -1996
- [4] Sistemas de Control Moderno – Richard Dorf, Robert Bishop, Pearson Educación – 2005
- [5] Feedback Control of Dynamic Systems. Gene R. Franklin, J David Powell, Abbas Emami-Naemi. Prentice Hall - Cuarta Edición -2002
- [7] Sistemas de Control Moderno: Análisis y diseño –Graham y Vincent. Editorial Limusa – 1998
- [8] Control PID avanzado – Karl J. Åström y Tore Hägglund. Editorial Pearson Prentice Hall – 2009

### X - Bibliografía Complementaria

- [1] Control e Instrumentación de Procesos Químicos. Pedro Ollero de Castro – Eduardo Fernández Camacho - Editorial Síntesis - Año 1999
- [2] Tutoriales varios, Manuales y folletos técnicos de equipos de control comerciales
- [3] Papers y artículos técnicos

## **XI - Resumen de Objetivos**

a- Capacitar al alumno para desarrollar en el futuro una serie de actividades profesionales sencillas en el campo del control automático.

- 1- Plantear, diseñar y especificar correctamente estrategias sencillas de control
- 2- Analizar y entender estrategias más complejas propuestas por especialistas con años de experiencia.
- 3- Diagnosticar y resolver problemas sencillos del sistema de control de una planta en operación
- 4- Participar en la gestión de adquisición de un sistema de control para una planta

b- Consolidar una formación básica a partir de la cual el alumno, bien por sí mismo o bien asistiendo a cursos de postgrado, pueda especializarse en la materia

## **XII - Resumen del Programa**

Capítulo 1: Introducción al Control de Procesos. Definiciones básicas de control.

Capítulo 2: Modelado. Modelado en el dominio de la frecuencia. Modelado matemático de sistemas físicos: eléctricos, mecánicos, hidráulicos y térmicos. Linealización.

Capítulo 3: Respuesta temporal. Sistemas de 1er Orden, 2do Orden y Orden superior

Capítulo 4: Estabilidad de sistemas LTI

Capítulo 5: Errores en estado estable.

Capítulo 6: Representación de Sistemas en Espacio de Estados

Capítulo 7: Respuesta en Frecuencia: Diagramas de Bode y Nyquist. Trazado y análisis de estabilidad de sistemas de control. Diseño de compensadores en cascada

Capítulo 8: Técnica del Lugar de las Raíces: Trazado, análisis de sistemas, diseño de sistemas de control.

Capítulo 9: Controlador PID: Acciones proporcional, integral y derivativa. Corrección acción derivativa. Corrección de la saturación de la acción integral. Pasaje entre modos manual y automático. Estructuras de los PID comerciales. Estimación empírica del modelo del sistema a controlar. Criterio de sintonía y formulas de sintonía. Autosintonía y sintonía automática

## **XIII - Imprevistos**

Ante imprevistos de cursado presencial, se contemplará el dictado de clases teóricas y prácticas de aula en formato virtual.

El plan para el cual se imparte la materia es el 13/08

## **XIV - Otros**