

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales República Argentina</p>	Programa de:  <h2 style="text-align: center;">Sistemas de Control I</h2> Código: 7212	
Carrera: <i>Ingeniería Electrónica</i> Escuela: <i>Ingeniería Electrónica y Computación.</i> Departamento: <i>Electrónica.</i>	Plan: 281-05 Carga Horaria: 96 Semestre: <i>Sexto</i> Carácter: <i>Obligatoria</i>	Puntos: 4 Hs. Semanales: 6 Año: <i>Tercero</i> Bloque: <i>Tecnologías Básicas</i>
<p><i>Objetivos:</i></p> <p><i>Comprender el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría del control automático, aplicado a los sistemas lineales de tiempo continuo. Adquirir las capacidades de construir modelos de sistemas de control. Obtener sus funciones de transferencia y/o ecuaciones dinámicas. Analizar dichos sistemas y diseñar sus controladores a partir de especificaciones de comportamiento. Verificar si un sistema de control cumple las especificaciones de comportamiento</i></p>		
<p>Programa Sintético:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Introducción a Sistemas de Control.</i></li> <li><i>2. Representaciones matemáticas y gráfica de sistemas lineales de tiempo continuo..</i></li> <li><i>3. Modelado matemático de Sistemas Físicos.</i></li> <li><i>4. Análisis y diseño clásico de sistemas de control en el dominio del tiempo.</i></li> <li><i>5. Análisis y diseño clásico de sistemas de control en el dominio de la frecuencia.</i></li> <li><i>6. Análisis en el espacio de estados</i></li> <li><i>7. Diseño de los sistemas de control en el espacio de estado</i></li> </ol>		
Programa Analítico: de foja 2 a foja 8.		
Programa Combinado de Examen (si corresponde): de foja    a foja    .		
Bibliografía: de foja 8 a foja 8.		
Correlativas Obligatorias: <i>Teoría de Redes</i> <i>Análisis Matemático III</i>		
Correlativas Aconsejadas:		
Rige: 2005		
Aprobado HCD, Res. 383-HCD-2006 y Res. HCS 418 Fecha: 19-05-2006		Sustituye al aprobado por Res.: 500-HCD-2005 Fecha: 02-09-2005
El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC) certifica que el programa está aprobado por el (los) número(s) y fecha(s) que anteceden. Córdoba,    /    /    .		
Carece de validez sin la certificación de la Secretaría Académica:		

## PROGRAMA ANALITICO

### LINEAMIENTOS GENERALES

Sistemas de Control I es una actividad curricular que pertenece al sexto semestre (3er año) de la carrera de Ingeniería Electrónica. Completado el cursado, entre otras capacidades, el alumno deberá estar en condiciones de:

- Comprender el lenguaje, formalismo, principios y métodos de la teoría del control automático, aplicado a los sistemas lineales de tiempo continuo.
- Aplicar las técnicas de convolución a los SLIT y caracterizarlos adecuadamente mediante su función característica.
- Conocer y utilizar los métodos de análisis de respuesta transitoria y permanente para la caracterización de sistemas y la identificación de sus parámetros relevantes.
- Obtener modelos matemáticos de componentes (instrumentos, actuadores y sensores) y de sistemas dinámicos continuos lineales o linealizados, con el suficiente grado de detalle como para poner de manifiesto las características dinámicas dominantes, y a la vez lo suficientemente sencillo para realizar su análisis y utilizarlo con fines de diseño.
- Analizar, diseñar y simular sistemas de control realimentados, en grado creciente de complejidad, utilizando técnicas analíticas, numéricas y gráficas para la solución de problemas, ya sea en el dominio del control clásico o del control moderno.
- Conocer y aplicar los métodos de Lugar de Raíces y de Respuesta en frecuencia para analizar, sintetizar, compensar y diseñar sistemas de control automático.
- Conocer y aplicar las técnicas de Variable de Estado a los sistemas dinámicos.
- Comprender los conceptos de Observabilidad, Controlabilidad y Estabilidad en el espacio de estado.
- Conocer y aplicar el método de asignación de polos por realimentación del vector de estado.
- Conocer la existencia y utilizar herramientas computacionales que le permitan solucionar los problemas planteados, con una orientación hacia la simulación de los modelos matemáticos obtenidos, con el fin de visualizar y comprender los resultados.
- Elaborar informes acerca de los trabajos realizados.-

### METODOLOGIA DE ENSEÑANZA

Las clases impartidas son teóricas por un lado y prácticas por otro.

Clases teóricas, se exponen los fundamentos teóricos de cada tópico y se ejemplifica su aplicación mediante el planteo y resolución de problemas ejemplo de aplicación sencillos.

Clases de resolución de problemas de aplicación, basados en una guía de problemas, en las que se plantean y resuelven otros problemas de aplicación aplicando la base teórica. Algunos de dichos problemas son resueltos por los alumnos en clase bajo supervisión del docente. Los restantes deberán ser resueltos por los alumnos fuera del horario de clase.

Consultas: los docentes fijan horarios de consulta (dos horas por semana) para que los alumnos planteen sus dudas tanto acerca de los aspectos teóricos como de las dificultades que tengan para resolver los problemas de aplicación.

Carpeta de resolución de problemas: cada alumno documenta su trabajo mediante una carpeta de resolución de problemas que le es útil para prepararse para las evaluaciones.

### EVALUACION

Condiciones para la promoción de la materia

- 1.- Tener aprobadas las materias correlativas.-
- 2.- Asistir al 80% de las clases teóricas y prácticas.-

3. Evaluaciones parciales: en fechas previamente determinadas, durante el cuatrimestre lectivo se toman dos pruebas parciales de resolución de problemas para evaluar los conocimientos conceptuales y aplicativos adquiridos por los alumnos, las que se califican en escala de 0 a 10.

3.a Recuperación de evaluaciones parciales: cada alumno puede recuperar una de las dos pruebas parciales en caso de haber sido reprobado. Ello se realiza en fecha fijada al finalizar el dictado cuatrimestral.

4.- Prueba de integración de conocimientos: los alumnos que hayan aprobado las dos pruebas parciales y la asistencia son evaluados mediante un coloquio integrador. Dicha prueba ha reemplazado al tercer parcial de resolución de problemas. Comprende todo el contenido de la materia y evalúa el conocimiento conceptual y aplicativo del alumno. Su aprobación dentro del período cuatrimestral implica la promoción del alumno en la materia.

4.a Otra forma de aprobar la *Prueba de integración de conocimientos* es que el alumno en condiciones de promocionar, prepare una monografía basado sobre el estudio de un sistema a controlar a su elección (temperatura, velocidad de servomotores, posición de un brazo robótico, fuente de alimentación, etc.) en el que debe aplicar todos los puntos teóricos/ conceptuales del programa, incluyendo una simulación en Matlab. Una vez finalizado el trabajo, deberá exponerlo oralmente. Se permite la integración de un equipo de dos alumnos como máximo para realizar el trabajo.

5. Examen final: se toma individualmente en las fechas establecidas a cada alumno libre que se presenta. Comprende la prueba de integración de conocimientos y en caso de aprobar ésta, una prueba de resolución de problemas de aplicación.

## CONTENIDOS TEMATICOS

### Unidad 1. Introducción a Sistemas de Control.

- 1.1. Sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado.
- 1.2. La retroalimentación y sus efectos.
- 1.3. Clasificación de los sistemas de control retroalimentados.
2. La transformada de Laplace
- 2.1 Teoremas de la transformada de Laplace
- 2.2 Transformada inversa de Laplace

### Unidad 2. Representaciones matemáticas y gráfica de sistemas lineales de tiempo continuo

- 2.1. Modelo clásico o de función transferencia.
  - 2.1.1. Ecuaciones diferenciales.
  - 2.1.2. Respuesta impulsiva y función de transferencia.
  - 2.1.3. Diagramas de bloques.
  - 2.1.4. Diagramas de flujo de señal.
  - 2.1.5. Cálculo de funciones de transferencia. Fórmula de ganancia de Mason.
- 2.2. Transformada de Laplace de las ecuaciones dinámicas.

### Unidad 3. Modelado matemático de Sistemas Físicos.

- 3.1. Definición del sistema: límites del sistema, variables endógenas y exógenas, causalidad, interacciones, concentración, linealización.
- 3.2. Análogos eléctricos y de resortes operacionales equivalentes.
- 3.3. Modelado de sistemas mecánicos y electromecánicos.
  - 3.3.1. Acoplamiento bilateral: convertidores de energía, transductores y transformadores. Reductores, palancas, tornos.
  - 3.3.2. Sistemas servomotor-carga. Servomotores de continua controlado por inducido y por campo. Obtención de sus funciones de transferencia y ecuaciones dinámicas.
- 3.4. Sensores y transductores en sistemas de control. Potenciómetros, sincros, tacómetros, codificadores.
- 3.5. Controladores y leyes de control analógicas.
  - 3.5.1. El controlador: función en un sistema de control. Su realización mediante el principio de realimentación.
  - 3.5.2. Leyes de control analógico y sus funciones de transferencia.
  - 3.5.3. Realización de controladores mediante amplificadores operacionales retroalimentados.
  - 3.5.4. Respuesta temporal de controladores a señales de entradas típicas.
  - 3.5.5. Nomenclatura industrial de las acciones de control: banda proporcional, frecuencia de repetición, tiempo de anticipación.

### Unidad 4. Análisis y diseño clásico de sistemas de control en el dominio del tiempo.

- 4.1. Respuesta temporal de sistemas retroalimentados de control.
  - 4.1.1. Respuesta temporal típica de un sistema de control a una entrada escalón. Conceptos de modo dominante, estabilidad relativa, rapidez, precisión.
  - 4.1.2. Parámetros característicos de la respuesta temporal de un sistema de segundo orden a una entrada escalón. Relaciones analíticas.
  - 4.1.3. Respuesta en estado estacionario: entradas típicas, tipos de sistemas, errores estacionarios y coeficientes estáticos de error.
- 4.2. Análisis de estabilidad absoluta.

- 4.2.1. Definiciones: estabilidad, estabilidad asintótica, inestabilidad.
- 4.2.2. Criterios algebraicos de estabilidad: de Routh-Hurwitz para sistemas de tiempo continuo
- 4.3. Servomecanismos de posición y de velocidad. Esquema físico, diagramas de bloques, obtención de la función transferencia de lazo cerrado.
- 4.4. Análisis del efecto de los diferentes controladores sobre el comportamiento de un servomecanismo de posición.
  - 4.4.1. Controladores P y PI ante un escalón de perturbación.
  - 4.4.2. Efecto del controlador PD sobre la estabilidad.
  - 4.4.3. Control PD de un objeto con carga inercial.
  - 4.4.4. Control tacométrico.
- 4.5. Análisis de sistema de control por el método del lugar de las raíces.
  - 4.5.1. Patrones de respuesta según la ubicación de los polos de lazo cerrado.
  - 4.5.2. Lugar de raíces. Conceptos, condiciones básicas y reglas de construcción.
  - 4.5.3. Ejemplo de trazados de lugares de raíces típicos.
  - 4.5.4. Contorno de raíces.
  - 4.5.5. Respuesta temporal a partir del lugar de raíces.
- 4.6. Calidad del control y su mejora por su compensación.
  - 4.6.1. Especificaciones de comportamiento de sistemas de control.
  - 4.6.2. Criterios prácticos de ajuste de Ziegler-Nichols.
  - 4.6.3. Compensación proporcional por lugar de raíces.
  - 4.6.4. Concepto de índices de comportamiento.
  - 4.6.5. Efecto del agregado de acciones de control PDR y PI sobre la forma del lugar de raíces y la respuesta temporal.
  - 4.6.6. Compensación por lugar de raíces: PD y PI y PID.

## Unidad 5. Análisis y diseño clásico de sistemas de control en el dominio de la frecuencia.

- 5.1. Análisis en frecuencia: diagramas de Nyquist, Bode y Black. Sistemas de fase mínima y no mínima.
- 5.2. Criterio de estabilidad de Nyquist. Criterio simplificado. Criterio de Dzung.
- 5.3. Análisis y diseño de sistemas de control. Enfoque de lazo abierto.
  - 5.3.1. Márgenes de ganancia y de fase. Definición, interpretación y determinación gráfica en los diferentes diagramas.
  - 5.3.2. Margen de fase. Relaciones analíticas para el sistema prototipo de segundo orden. Vinculación con la respuesta temporal.
  - 5.3.3. Ajuste de ganancia proporcional por criterios de márgenes de fase o de ganancia.
  - 5.3.4. Efectos del agregado de redes compensadoras de adelanto y de atraso de fase.
  - 5.3.5. Compensación por modificación de la respuesta en frecuencia: criterios generales. Compensación de atraso, de adelanto y combinada mediante diagramas de Bode.
  - 5.3.6. Compensación por Bode para ganancia prefijada.
- 5.4. Análisis y diseño de sistemas de control. Enfoque de lazo cerrado.
  - 5.4.1. Parámetros de la respuesta en frecuencia de lazo cerrado: módulo y frecuencia de resonancia, ancho de banda. Relaciones con la respuesta temporal.
  - 5.4.2. Relación geométrica lazo abierto - lazo cerrado en el diagrama de Nyquist. Círculos de Módulo y fase constantes.
  - 5.4.3. Ajuste de ganancia proporcional basado en módulo de resonancia prefijado en el plano de Nyquist.
  - 5.4.4. Carta de Nichols. Concepto. Empleo para la compensación y para la verificación.

## Unidad 6. Análisis en el espacio de estados

## 6.1 Función de transferencia a partir del modelo de variables de estado.

6.1.1. Concepto de variable de estado

6.1.2. Representación gráfica mediante diagramas de estado.

6.1.3. Representación en el espacio de estados de sistemas definidos por su función de transferencia .

6.1.4. Ecuación característica. Polos de la función matricial de transferencia. Valores propios de la matriz característica.

6.1.5. Obtención de la función de transferencia a partir del diagrama de estado mediante la fórmula de Mason.

## 6.2. Solución Temporal de la ecuación de estado.

6.2.1. Matriz de transición de estados. Definición. Propiedades.

6.2.2. Obtención de la Ecuación de transición de estado.

## Unidad 7. Diseño de los sistemas de control en el espacio de estado

7.1. Diseño por medio de la ubicación de polos.

7.2. Método de la asignación de polos y fórmula de Ackermann.

7.3. Observador de estado.

## 1. LISTADO DE ACTIVIDADES PRACTICAS Y/O DE LABORATORIO

### Actividades Prácticas

1.- Se resolverán ejercicios prácticos, basados en una guía de problemas, aplicando la base teórica. Algunos de dichos problemas son resueltos por los alumnos en clase bajo supervisión del docente. Los restantes deberán ser resueltos por los alumnos fuera del horario de clase.

### 3.- Actividades de Proyecto y diseño

Como una opción para la aprobación de la materia, se podrá realizar el estudio de un sistema servocontrolado, a elección del alumno, donde deberá aplicar todos los puntos del programa y, además, realizar la simulación aplicando MatLAB.

### 1. DISTRIBUCION DE LA CARGA HORARIA

ACTIVIDAD	HORAS
TEÓRICA	48
FORMACIÓN PRACTICA:	
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	48
TOTAL DE LA CARGA HORARIA	96

### DEDICADAS POR EL ALUMNO FUERA DE CLASE

ACTIVIDAD	HORAS
PREPARACION TEÓRICA	60
PREPARACION PRACTICA	
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	30
○ TRABAJO INTEGRADOR (Opcional)	30
TOTAL DE LA CARGA HORARIA	90/120

## 2. BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA - Ogata, Katsuhiko - Prentice-Hall
- SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO - Kuo, Benjamín - Prentice-Hall-México – 1996

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- INGENIERÍA DE CONTROL - Bolton, W - Alfaomega-México – 2001
- SISTEMAS REALIMENTADOS DE CONTROL: ANÁLISIS Y SÍNTESIS - D'azzo, John J. Houppis, Constantine H. - Paraninfo-Madrid – 1975
- FEEDBACK CONTROL SYSTEM: ANALYSIS AND SYNTHESIS - D'azzo, John J. - McGraw-Hill-New York – 1969
- FEEDBACK SYSTEMS: INPUT – OUTPUT PROPERTIES - Desoer, C.A.Vidyasagar<sup>nM</sup>. - Academic Press-New York – 1975
- RETROALIMENTACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL - Distéfano, Joseph J.Stubberud, Allen R.Williams, Ivan J. - McGraw-Hill-México – 1972
- SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL: TEORÍA Y PRÁCTICA - Dorf, Richard - Fondo Educativo Interamericano-Bogotá – 1971
- FEEDBACK CONTROL SYSTEMS - Fett, Gilbert Howard - Prentice-Hall, Inc-New York – 1954
- SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL - Kuo, Benjamín C. - Compañía editorial continental-México – 1970
- ELECTRÓNICA INDUSTRIAL AVANZADA - Morris, Noel M. - MARCOMBO-Barcelona – 1977
- STATE SPACE ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS - Ogata, Katsuhiko - Prentice-Hall, Inc-New Jersey - 1967
- AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING - Raven, Francis - McGraw-Hill-New York – 1995
- OPTIMUM SYSTEMS CONTROL - Sage, Andrew P.White, Chelsea C - Prentice-Hall, Inc-New Jersey – 1977
- SERVOMECANISMOS - Simonetta, José - Hispano Americana-Buenos Aires – 1981
- ELECTRICAL CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRY - Siskind, Charles S. - McGraw-Hill book company, Inc-New York – 1963