



## PROGRAMA ANALÍTICO

### LINEAMIENTOS GENERALES

La materia Control Óptimo Avanzado pertenece al último año (noveno semestre) de la carrera de Ingeniería Electrónica. A través del cursado de la asignatura el alumno desarrollará competencias tales como la de analizar, diseñar y proyectar esquemas de control para resolver problemas reales dentro del ámbito del control automático. La metodología de diseño, se divide en dos partes: el análisis y la síntesis, poniendo más énfasis en la síntesis del problema, es decir en el diseño del sistema de control o solución propuesta. En el diseño del sistema controlador es posible considerar variables relacionadas al problema como el costo, la energía o el tiempo de evolución del proceso. Se incluyen en la currícula de la materia metodologías para proponer criterios de desempeño arbitrarios en el sentido de la estructura funcional. Más aún, están incluidos contenidos referidos a sistemas no lineales y procesos estocásticos, con el fin de generar un conjunto de herramientas de diseño para implementar en las diferentes problemáticas del ámbito productivo y social.

### METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Las clases dictadas son típicamente divididas según los contenidos en teóricas y prácticas. Durante las clases teóricas se presentan temas nuevos para el alumno, y se puede recurrir a herramientas informáticas como el proyector electrónico para mejorar la didáctica y facilitar la interacción educador-educando. Durante las clases de contenido predominantemente práctico la actividad se divide en áulica, extra áulica y de laboratorio. La actividad extra áulica consiste en problemas típicos del tema en cuestión a resolver en grupo o individualmente por el alumno.

Los contenidos de la materia se dividen en dos módulos, con el fin de que con una primera parte autocontenida el alumno sea capaz de definir una aplicación práctica real de sus conocimientos, planteando así un trabajo práctico libre. En cuanto se termina el segundo módulo, el alumno será capaz de enriquecer su solución propuesta con los nuevos conocimientos adquiridos en la segunda mitad de la materia.

### EVALUACIÓN

#### **Condiciones para la promoción de la materia**

- 1.- Tener aprobadas las materias correlativas.-
- 2.- Asistir al 80% de las clases teóricas y prácticas.-
- 3.- Aprobar todos y cada uno de los temas de cada parcial con nota no inferior a cuatro ( 4 ).-
- 4.- Se podrá recuperar un solo parcial siendo condición para rendir este haber aprobado al menos uno de los dos parciales que serán tomados en las fechas estipuladas y la nota no deberá ser menor a cuatro ( 4 ).-
- 5.- Tener presentados y aprobar los trabajos prácticos correspondientes antes de la fecha de cada parcial.-
- 6.- Trabajo final de elección libre y reporte técnico aprobado.-

Los alumnos que cumplan con el 50% de las exigencias referidas a los parciales y trabajos de Laboratorio y tengan la asistencia requerida en el punto dos serán considerados regulares. Los demás estarán libres.

## CONTENIDOS TEMÁTICOS

### *Módulo I. Control óptimo para procesos determinísticos*

#### **Unidad 1. Modelación de Sistemas en el Espacio de Estado.**

Introducción del concepto de variables de estado. Modelación de sistemas monovariable y multivariables. Modelos de tiempo discreto. Carácter no único del modelo de estado. Solución de la ecuación de estado de tiempo discreto. Matriz transición de estado. Relación entre la representación de estado y la matriz o función de transferencia. Formas canónicas. Análisis de estabilidad. Controlabilidad. Observabilidad. Dualidad de los procesos lineales. Aplicaciones y ejemplos.

#### **Unidad 2. Control óptimo de sistemas no lineales.**

Formulación del problema para procesos determinísticos. Descripción del sistema y evaluación de su desempeño. La medida del desempeño. Programación dinámica. Cálculo variacional y el principio del mínimo de Pontryagin. El planteo en el problema del control óptimo. Técnicas numéricas iterativas para encontrar acciones de control óptimas y trayectorias. Aplicaciones y ejemplos.

### *Módulo II. Control óptimo para procesos estocásticos*

#### **Unidad 3. Fundamentos de la Teoría de Procesos Aleatorios.**

Introducción a la teoría de probabilidades: experimento aleatorio, suceso elemental, espacio de muestras, razón frecuencial, función de probabilidades, sucesos independientes, probabilidad condicional, variables aleatorias. Procesos aleatorios, distribución de probabilidades y parámetros estadísticos de procesos aleatorios, momentos, autocorrelación e intercorrelación, procesos aleatorios estacionarios y ergódicos. Concepto de ruido. Clasificación por su distribución de probabilidades, por su espectro, y por su generación. Generación de ruidos artificiales por instrumento. Caracterización de procesos aleatorios (P.A.) en el dominio temporal. Cálculo computacional de la función de autocorrelación e intercorrelación. Aplicaciones al filtrado e identificación de sistemas lineales. Caracterización en P.A. en el dominio de la frecuencia. Transformada de Fourier de P.A. estacionarios. Espectros de potencia. Cálculo computacional de auto e interespectros. Aplicaciones a la identificación de sistemas lineales.

#### **Unidad 4. Diseño de controladores de estado para sistemas estocásticos lineales.**

Formulación del problema de control para sistemas estocásticos. Solución al problema del regulador óptimo lineal estocástico. Controlador de estado de mínima varianza. Introducción al control óptimo estocástico. Aplicaciones y ejemplos.

#### **Unidad 5. Control con estimación de estados.**

Planteo general del problema de observación y estimación de estados de un sistema. Diseño de un observador de estado de un sistema determinístico. Extensión a sistemas de estocásticos. Solución al problema de estimación de estado usando Filtro de Kalman. Controladores óptimos con estimación de estado. Aplicaciones y ejemplos.

**Unidad 6. Control óptimo de sistemas estocásticos no lineales.**

Formulación del problema para procesos estocásticos. Planteo de la solución analítica mediante cálculo variacional. Solución numérica mediante programación dinámica. Solución numérica mediante programación dinámica iterativa. Solución numérica mediante programación dinámica aproximada. Aplicaciones y ejemplos.

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

### **Actividades Prácticas**

#### **Unidad 1. Modelación de Sistemas en el Espacio de Estado.**

Representación de sistemas típicos en variables de estado. Detección y manejo de sistemas mono variable y su extensión a multivariables mediante ejemplos prácticos. Solución de los sistemas planteados y la determinación de la estabilidad. Expresión de un mismo sistema en las distintas formas canónicas. Realización de un programa en Matlab y redacción del informe técnico correspondiente.

#### **Unidad 2. Control óptimo de sistemas no lineales.**

Obtener la medida del desempeño de diversos controladores típicos, como por ejemplo PID y hacer comparaciones. Implementar el algoritmo de programación dinámica simbólicamente en un sistema simple. Calcular las variaciones analíticamente de ejemplos dados y compararlas con las calculadas numéricamente. Implementar el algoritmo en ejemplos típicos para encontrar la ley de control. Formulación de los problemas de elección libre para implementar las herramientas utilizadas en un caso real, al menos a nivel de simulación.

#### **Unidad 3. Fundamentos de la Teoría de Procesos Aleatorios.**

Resolución de problemas de típicos para familiarizarse con las variables aleatorias y los procesos estocásticos. Cálculo de autocorrelación y correlación cruzada en señales usando Matlab. Implementación de un programa para identificar procesos modelados como sistemas lineales. Implementar un programa que relacione la transformada de Fourier y el espectro de potencia con la función de correlación.

#### **Unidad 4. Diseño de controladores de estado para sistemas estocásticos lineales.**

A los problemas típicos ya analizados se los analizará operando bajo ruido. Proponer los controladores de mínima varianza y el regulador óptimo lineal estocástico. Comparar los resultados y redactar el informe técnico correspondiente.

#### **Unidad 5. Control con estimación de estados.**

Implementar un estimador de estados para implementar en los problemas planteados. Calcular un filtro de Kalman para el proceso elegido en la práctica libre. Los controladores deberán estar codificados para Matlab o similar, y sus desempeños deben ser documentados en un informe técnico que resuma las nuevas experiencias.

#### **Unidad 6. Control óptimo de sistemas estocásticos no lineales.**

Resolver problemas analíticos en los cuales es posible encontrar solución. Resolver numéricamente mediante programación dinámica, programación dinámica iterativa o programación dinámica aproximada a los problemas planteados y comparas con los resultados anteriores, principalmente el manejo de las restricciones del sistema real y el desempeño. Codificar un programa para Matlab o similar y redactar el informe técnico asociado.

### **Actividades de Laboratorio**

- 1.- Modelación de sistemas y cálculo de controladores mediante Matlab
- 2.- Comparación de desempeño de controladores mediante Matlab
- 3.- Cálculo de características estocásticas mediante Matlab
- 4.- Diseño y cálculo de controladores con estimación de estado mediante Matlab

## **2. DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA HORARIA**

ACTIVIDAD	HORAS
TEÓRICA	50
FORMACIÓN PRACTICA:	
○ FORMACIÓN EXPERIMENTAL	6
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	20
○ ACTIVIDADES DE PROYECTO Y DISEÑO	20
○ PPS	
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>96</b>

### DEDICADAS POR EL ALUMNO FUERA DE CLASE

ACTIVIDAD	HORAS
PREPARACIÓN TEÓRICA	15
PREPARACIÓN PRACTICA	25
○ EXPERIMENTAL DE LABORATORIO	25
○ EXPERIMENTAL DE CAMPO	5
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	15
○ PROYECTO Y DISEÑO	20
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>105</b>

### 3. **BIBLIOGRAFÍA**

#### **Unidad 1. Modelación de Sistemas en el Espacio de Estado.**

- Isermann R., Digital Control Systems. Springer-Verlag, 1990.

#### **Unidad 2. Control óptimo de sistemas no lineales.**

- Kirk, Donald, Optimal Control Theory: An introduction. Prentice may, 1970.
- Luus, 2000. Iterative dynamic programming. Chapman & Hall/CRC (Eds.). Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics 110.

#### **Unidad 3. Fundamentos de la Teoría de Procesos Aleatorios.**

- Isermann R., Digital Control Systems. Springer-Verlag, 1990.
- Grover Brown, R., Hwang, P. Y. C.,1997. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering: With Matlab Exercises and Solutions (3rd edition). John Wiley & Sons Inc.
- Papoulis, Athanasios, 2002. Probability, Random Variables and Stochastic Processes. McGraw-Hill Companies; fourth edition.
- Peebles, P. Z., 1987. Probability, Random Variables, and Random Signal Principles 2ed. Mc Graw-Hill.

#### **Unidad 4. Diseño de controladores de estado para sistemas estocásticos lineales.**

- Isermann R., Digital Control Systems. Springer-Verlag, 1990.
- Grover Brown, R., Hwang, P. Y. C.,1997. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering: With Matlab Exercises and Solutions (3rd edition). John Wiley & Sons Inc.

#### **Unidad 5. Control con estimación de estados.**

- Isermann R., Digital Control Systems. Springer-Verlag, 1990.
- Grover Brown, R., Hwang, P. Y. C.,1997. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering: With Matlab Exercises and Solutions (3rd edition). John Wiley & Sons Inc.

#### **Unidad 6. Control óptimo de sistemas estocásticos no lineales.**

- Bertsekas, D., 1995. Dynamic programming and optimal control. Athena Scientific (Eds.) Belmont, Massachusetts.
- Bertsekas D., Tsitsiklis, T., 1996. "Neuro-dynamic programming". Athena Scientific.