

 <p><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 II</h2> Código: 126-04.1	
Carrera: <i>Ingeniería Electrónica</i> Escuela: <i>Ingeniería Electrónica y Computación.</i> Departamento: <i>Electrónica.</i>	Plan: <i>281-05</i> Carga Horaria: <i>96</i> Semestre: <i>Séptimo</i> Carácter: <i>Obligatoria</i> Bloque: <i>Tecnologías Aplicadas</i>	Puntos: <i>4</i> Hs. Semanales: <i>6</i> Año: <i>Cuarto</i>
<p>Objetivos: <i>Al finalizar el curso el alumno debe ser capaz de realizar un análisis de controladores, ya sean lineales, no lineales, discretos o analógicos. Posee la materia una amplia introducción a sistemas discretos utilizando la Transformada z.</i></p> <p><i>El estudiante adquiere además en el curso los conceptos que le permiten comprender el funcionamiento de controles industriales. Es capaz de analizar las estabilidades según Liapunov y según robustez, así como diseñar controladores optimizados por estas teorías.</i></p>		
Programa Sintético: <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Funciones descriptivas.</i></li> <li><i>2. Método del Plano de fases.</i></li> <li><i>3. Representación matemática y gráfica de sistemas lineales en tiempo discreto</i></li> <li><i>4. Teoría general de la estabilidad.</i></li> <li><i>5. Muestreo y reconstrucción.</i></li> <li><i>6. Característica de la respuesta temporal.</i></li> <li><i>7. Análisis de sistemas.</i></li> <li><i>8. Controladores.</i></li> <li><i>9. Diseños por la asignación de polos y estimación de estados.</i></li> </ol>		
Programa Analítico: de foja 2 a foja 3.		
Programa Combinado de Examen (si corresponde): de foja    a foja    .		
Bibliografía: de foja 4 a foja 4.		
Correlativas Obligatorias: <i>Sistemas de Control I</i> <i>Métodos Numéricos</i>		
Correlativas Aconsejadas:		
Rige: <i>2005</i>		
Aprobado HCD, Res.: <i>205HCD2001</i> Fecha:		Modificado / Anulado / Sust. HCD Res.: Fecha:
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

### **Unidad 1: Funciones descriptivas**

Análisis por medio de la función descriptiva- Introducción - Serie de Fourier - Funciones descriptivas - Oscilaciones en sistemas realimentados - Validez de la aproximación por función descriptiva.

### **Unidad 2: Espacio de estados, Métodos del plano de fases. (Espacio de estados)**

Sistemas no lineales - Abordaje - Modelos en el espacio de estado - Existencia y unicidad - Linealización - Sistemas autónomos - Puntos de equilibrio - El plano de fases - Sistemas de segundo orden (Bidimensional) - Construcción de las trayectorias - Método de las isoclinas - Construcción de Lienard - Cálculo de los tiempos de paso - Análisis de las trayectorias: Puntos de equilibrio - Clasificación de los puntos de equilibrio - Ciclos límites - Teoremas de Poincaré y Bendixson - Condiciones suficientes para un único ciclo límite (Lienard) - Ejemplos - Atractores extraños y caos - Ecuación logística o de Verhulst - El caso de Lorentz y sus atractores extraños - Estudio de sistemas lineales a trechos - Compensación de sistemas chopeados .

### **Unidad 3: Representaciones Matemática y Gráfica de Sistemas Lineales de Tiempo Discreto.**

Análisis de la respuesta temporal – Definiciones - Análisis mediante la transformada - Transformada z - Propiedades de la transformada z - Inversa de la transformada z - Métodos computacionales - Métodos de la integral de inversión - Transformada z inversa de secuencias finitas - Por medio de la división larga - Método de expansión en fracciones simples - Operador desplazamiento - Función de transferencia en q - Transformada impulso - Propiedades de  $X^*(s)$  - Evaluación de la transformada impulso - Determinación de la función de transferencia discreta - Transformadas z que implican ROC - La transformada z en la solución de las Eed - Función de transferencia de un SLIT - Procedimiento deductivo para obtener las funciones de transferencia – Discretización - Sistemas de control digital clásicos - Función de transferencia de un PID digital

### **Unidad 4 : Teoría general de estabilidad (Liapunov)**

Teoría general de estabilidad (Liapunov) - Formas cuadráticas - Matriz conjugada - Producto escalar - Forma bilineal - Forma cuadrática - Transformación congruente - Formas canónica - Longitud de un vector - Menores principales - Menores principales guías - Definibilidad y semidefinibilidad - Función o matriz definida positiva - Semidefinida positiva - Definida y semidefinidamente negativa - Indefinida - Estabilidad - Función de Liapunov - Teorema sobre la estabilidad de Liapunov - Demostración del primer teorema - Teoremas sobre la inestabilidad - Dominios de estabilidad - Criterio de estabilidad por los autovalores - Descubriendo las funciones de Liapunov - El principio de estabilidad por la primera aproximación - Estimativa del comportamiento transitorio - Método de Krasovskii - Método del gradiente variable (Schulz - Gibson) - Formas canónicas de Lur'e - Primer teorema de Liapunov para sistemas discretos - Análisis de la estabilidad de sistemas discretos - Estabilidad de sistemas discretos a partir de sistemas de tiempo continuo.

### **Unidad 5: Muestreo y reconstrucción**

Muestreo - Muestreo ideal - Muestreo natural - Muestreo instantáneo - Muestreo y reconstrucción: una introducción al hard - Convertidos digital/análogo - Convertidor analógico/digital – Cuantificación - Cuantificación uniforme - Teoría de la información

Medida de la información - Fuentes de memoria nula - Información por unidad de tiempo - Diferencia entre bits y binit – Codificación - Código bloque - Códigos instantáneos – Arbol de codificación - Síntesis de códigos instantáneos - La inecuación de Kraft - Longitud media del código - Códigos compactos - Entropía y longitud media –Teorema de Shannon - Eficiencia de un código - Eficiencia de fuente - Redundancia de un código - Códigos de Huffman - Códigos de Huffman de cualquier base.

#### **Unidad 6: Características de la respuesta temporal**

Abordajes con Matlab - Criterio de Jury – Transformación bilineal – Análisis del error y constantes de error - Lugar de raíces – Diseño con el lugar de las raíces - Criterio de Nyquist - Diseño de compensador en adelanto – Diseño de compensador en atraso – Compensadores mixtos – Compensación usando gráficos de Bode.

#### **Unidad 7: Análisis de Sistemas**

Filtros digitales - Ley de filtros - Modelos de filtros - Estructuras de filtros - Expresión general de los filtros - Diagrama de flujo - Estructuras para FIR - Filtro de media móvil - Estructura directa - Estructura en cascada - Estructuras de muestreo en frecuencia - Estructura en celosía - Estructura en escalera - Estructura de filtros IIR – Estructuras - Formas implementadas con Matlab

#### **Unidad 8: Controladores - Técnicas modernas**

Técnicas de variables de estado - Solución de la ecuación de estado en tiempo discreto - Función de transferencia - Cálculo de G y H - Teorema de Cayley-Hamilton - Transformación inversa - Transformación de los modelos de estado - Muestreo con retardo temporal - Controlabilidad y observabilidad - Análisis y diseño discreto con Liapunov – Fórmula de Ackermann –

#### **Unidad 9: Diseño por asignación de polos**

Diseño por asignación de polos – Control de tiempo finito – Observador de estados – Sensibilidad y control robusto.

### **LINEAMIENTOS GENERALES**

Esta asignatura es un complemento y continuación de Sistemas de Control I, que la fundamenta.

Trata especialmente del análisis y diseño de sistemas no lineales y de control digital, conformando una asignatura de corte teórico-práctica, donde la teoría es un importante antecedente para la especialidad de control industrial, así como de las asignaturas de Control de procesos y Control avanzado.

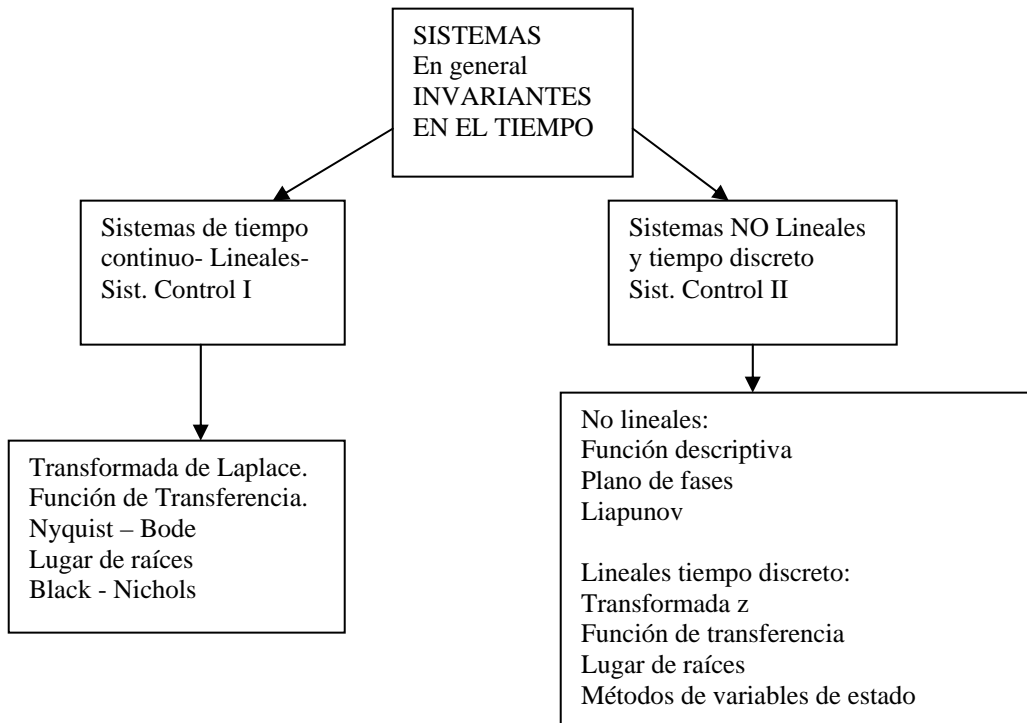
Esto hace de esta asignatura dos temáticas: control no lineal estudiado por medio de Liapunov y control digital.

Para cumplimentar el objetivo de esta asignatura es que se ha editado (Universitas y Ceicin) la teoría de cada tema incluyendo ejemplos y problemas, con intención que sea una *Guía Autocontenida*, donde los alumnos deben consultar a textos de Control mencionados en la Bibliografía para ampliar o aclarar estos conceptos.

Los temas abarcados son amplios y considerando que esta asignatura es cuatrimestral debe sacrificarse la profundidad en pos de una visión general de sistemas no lineales y de control digital,

cada uno de estos grandes temas son objetos de libros, papers, estudios éstos publicados permanentemente. (ver web Digital Control)

La organización de esta asignatura puede contemplarse en el siguiente diagrama conceptual:



### METODOLOGIA DE ENSEÑANZA

#### **Integrantes de la cátedra y su función:**

Prof. Titular: Dr. Ing. Víctor Hugo Sauchelli, responsable de la asignatura, realiza el dictado de aulas.

Prof. Adj. Ing. Hugo Nicolás Pailos, representante de la asignatura, realiza las tareas de atención de trabajos a ejecutar por estudiantes.

Ayudante, del área Control, JTP Ing. Sergio Laboret

#### **Horarios:**

Dr. Ing. Sauchelli:

Dictado de aulas: es en aula 300, los lunes de 14 hs a 17 hs.

Atención a alumnos durante todo el año: día martes de 11hs a 12 hs, en box del Departamento de Electrónica, área de Telecomunicaciones

Ing. Hugo Pailos:

Dictado de aulas: es en aula 300, los viernes de 15.45 hs a 19 hs.

Atención a alumnos durante todo el año: día jueves por la tarde 16-18 hs en box de Laboratorio de Animotróica.

Ing. Sergio Laboret:

Dictado de aulas: aula E5, los martes de 15 hs a 17 hs.

Las clases impartidas son teóricas por un lado y prácticas por otro. Las actividades teóricas se realizan a través de exposiciones dialogadas del docente orientadas a desarrollar en los alumnos la capacidad de diseñar sistemas de control tanto no lineales como digitales, actualmente de amplio uso en la industria.

Durante el desarrollo de los Trabajos Prácticos se realizan actividades que le permiten al estudiante poner en práctica las habilidades y verificar los criterios desarrollados así como la realización de actividades de proyecto y diseño. Por otra parte en las clases de Laboratorio el alumno verifica, a través de simulaciones, el funcionamiento de los sistemas.

### 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.- 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 abajo y la nota no deberá ser menor a cuatro ( 4 ).
- 5.- Presentar y aprobar los trabajos que se exijan durante el desarrollo de los trabajos prácticos.-
- 6.- Aprobar los trabajos de Laboratorio.-

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 alumnos que no cumplan con estas condiciones estarán libres.

La aprobación de la asignatura es mediante un examen parcial sumativo (sobre todo el programa) con la modalidad "escrita" . El último parcial sumativo, puede defenderse al finalizar el mismo, mediante un coloquio.

Los exámenes consisten en desarrollar temas del programa fundamentales en sus aspectos teóricos del tratamiento de señales, tres o cuatro problemas o ejercicios que deben ser resueltos por el alumno.

Formar parte de un equipo de trabajo y presentar con informe técnico un sistema realizado en laboratorio de la facultad o en domicilios de los participantes y aprobar la presentación de este trabajo.

#### Objetivos a evaluar

- Comprensión y operatoria de procesos de control no lineales y digitales.
- Interpretar y resolver situaciones o casos concretos por medio de Liapunov, y en controles y observadores digitales.
- Comprender los sistemas no lineales y su análisis en frecuencia y en tiempo
- Aplicar los conceptos para comprender el muestreo, la decimación y la interpolación, y transformar sistemas de tiempo continuo en discretos y viceversa.

**Criterios a evaluar:**

1. Rigurosidad en el manejo de los símbolos y de la sintaxis
2. Pertinencia en la elección del método utilizado para resolver un problema o un caso.
3. Diversidad de técnicas y procedimientos
4. Capacidad de análisis y reflexión
5. Capacidad para integrar y relacionar información
6. Capacidad de comunicarse claramente en forma escrita

Construcción de la nota: Punto de corte 60% (aprobado).

Para aprobar el examen es necesario el 60% o mas (4 o mas puntos)

Escala de notas

Porcentaje	Nota	Porcentaje	Nota
1-29	1	74-79	6
30-49	2	80-85	7
50-59	3	86-90	8
<b>60-66</b>	<b>4</b>	91-95	9
67-73	5	96-100	10

### CONTENIDOS TEMATICOS

- Análisis por medio de la función descriptiva trata de modelar el comportamiento de sistemas no lineales mediante una "linealización" un tanto burda, es decir describirlo como si... como si fuese lineal respondiendo a la componente fundamental de Fourier, esto se estudia mediante diagramas de Nyquist y por lo tanto debe tenerse ya conocido, el método de Bode o lugar de raíces se vuelve un tanto complicado al aplicarlo para estas funciones que describen el proceso linealmente pero es posible y usado.
- Respecto al comportamiento de sistemas bidimensionales (parece bastante estricta esta condición) se puede aplicar con éxito el plano de fases (trayectorias en el espacio de estado de  $R^2$ )  
Este método del plano de fases (nombre dado por Poincarè) es muy completo y permite estudiar sistemas aunque las no linealidades no sean totalmente conocidas, además da lugar a una interesante aplicación que son los controladores por deslizamiento (SMC) que se documenta mediante un ejemplo y actualmente usados.  
Ejemplos de Atractores extraños y caos mediante la ecuación logística o de Verhulst y el caso de Lorentz y sus atractores extraños permiten generalizar lo visto y afirmar lo complejo de estas situaciones no lineales.
- La teoría general de estabilidad (Liapunov) es una herramienta poderosa para el estudio de "todo" tipo de sistemas, aun los variantes en el tiempo, el descubrir la función de Liapunov y aplicarle los teoremas sobre la estabilidad de Liapunov hace de esta unidad un conocimiento sólido para todo sistema ya sea de control o no.

- El proceso de Señales Digitales, Muestreo, Cuantificación y Codificación además esta mencionar la importancia en la Carrera de Ing. Electrónica ya que la tendencia es procesar las informaciones todas digitalmente, en control no está ajena a esta propuesta y así lo consideramos, lamentablemente no alcanza esta asignatura para tratar señales digitales con profundidad pero si aplicadas a control. El diseño con el lugar de las raíces es sin duda la herramienta eficaz para el caso digital y es la que se usa aunque no se deja de conceptuar otros criterios.
- La técnicas de variables de estado ofrece una importante alternativa en el diseño de controladores y observadores, en realidad este es el "fuerte" de control digital, el diseño por asignación de polos Cierra esta unidad conceptos sobre sensibilidad y control robusto.

### DISTRIBUCION DE LA CARGA HORARIA

ACTIVIDAD	HORAS
TEÓRICA	42
FORMACIÓN PRACTICA:	
○ FORMACIÓN EXPERIMENTAL	8
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	23
○ ACTIVIDADES DE PROYECTO Y DISEÑO	23
○ PPS	
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	96

### DEDICADAS POR EL ALUMNO FUERA DE CLASE

ACTIVIDAD	HORAS
PREPARACION TEÓRICA	60
PREPARACION PRACTICA	
○ EXPERIMENTAL DE LABORATORIO	6
○ EXPERIMENTAL DE CAMPO	
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	25
○ PROYECTO Y DISEÑO	25
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	116

### BIBLIOGRAFIA

- SAUCHELLI VICTOR HUGO Sistemas no lineales - Ed, Universitas 1997
- SAUCHELLI VICTOR HUGO Sistemas de control II - Ed. Universitas - 2000
- SAUCHELLI VICTOR HUGO Guía de problemas Sistemas de Control II 1998
  
- ASTRÖM, K-BJÖRN W. Computer Controlled System-Theory and Design-Edición de Prentice Hall-1982.
- COOK PA. "Nonlinear Dynamical Systems". Edición de Prentice Hall-1994.
- DAZZO J. J. y Houppis C.H. "Sistemas lineales de control" Análisis y diseño convencional y moderno Ed. Paraninfo Madrid 1977
- KUO B. - HANSELMAN D. "Matlab Tools for Control System Analysis and Design" Ed. Prentice Hall - 1994.
- KUO B. "Sistemas de Control Digital " Ed. Continental SA Mexico - 1997
- MONROY OLIVARES C. "Teoría del caos" Ed. Alfaomega SA – Méjico 1997.
- OGATA "Ingeniería del Control usando Matlab" - Ed.Prentice Hall 1999
- OGATA K. " Sistemas de Control en Tiempo Discreto" Ed. Prentice Hall - 1996
- OGATA Katsuhiko, "Dinámica de sistemas" Ed.Prentice Hall Ispanoamérica 1993
- OGATA Katsuhiko, "Ingeniería del Control Moderno" Ed.Prentice Hall-1º Edición 1972. 2º Edicion 1992.
- OLLERO BATURONE A. "Control por computador – Descripción interna y diseño óptimo" Ed. Marcombo SA – España 1991
- PHILLIPS C. - TROY NAGLE N. "Sistemas de control Digital - Análisis y Diseño". Ed. Prentice Hall 1990/1998 1ra y 2da edición.