

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA U.N.R.

PROGRAMA ANALÍTICO DE LA ASIGNATURA: *CONTROL I* Código: A-702

PLAN DE ESTUDIOS: 1996
CARRERA: Ingeniería Electrónica
DEPARTAMENTO: de Electrónica
PROFESORES: Ing. Sergio Junco

2000 HASTA AÑO -----

TENTATIVO ~~DEFINITIVO~~ ~~DE EXAMEN~~

PROGRAMA

~~ANUAL~~ SEMESTRAL ~~TRIMESTRAL~~

OBSERVACIONES: 2da. Revisión - 11/99

PRESUPUESTO HORARIO SEMANAL PROMEDIO

TEORÍA: 3

PRÁCTICA: 2

LABORATORIO: 1

TOTAL ASIGNADO: (1+2+3) 6

DEDICACIÓN DEL ALUMNO FUERA DE CLASE: 5

PRESUPUESTO TOTAL: (5+4) 11

PROGRAMA BASADO EN SEMANAS ÚTILES : 15

HORAS TOTALES ASIGNADAS: 90

HORAS TOTALES PRESUPUESTAS: 165

OBJETIVOS: al concluir el curso el alumno debe lograr un cabal dominio de:

1. El concepto de *Modelo Matemático (MM)*, con sus clases, propiedades y limitaciones, y su relación con los sistemas físicos que representa.
2. Diversas *Metodologías de Modelado* de sistemas físicos, de aplicabilidad en Ingeniería de Control, en particular la basada en *Diagramas de Flujo de Potencia (Bond Graphs)*, según su nombre original en inglés).
3. *Métodos Analíticos* de tratamiento de MM, especialmente y en profundidad el análisis geométrico de las trayectorias en el *Espacio de Estados* para Sistemas Lineales, y a nivel introductorio el tratamiento de problemas de estabilidad para *Dinámica No Lineal* en general.
4. La *Simulación Digital* interactiva con recurso a software de alto nivel, como método "experimental numérico" para el estudio de MM específicos.

UBICACIÓN EN LA CARRERA Y CARACTERÍSTICAS GENERALES:

La asignatura se ubica en el 7° semestre, formando parte de la transición entre los Ciclos Profesionales Básico y Aplicado de la carrera de Ingeniería Electrónica. Por su temática y concepción cumple un rol integrador que permite afianzar desde una perspectiva ingenieril la Física y la Matemática del ciclo básico. Se ocupa de la *modelización*, la *simulación* y el *análisis* de *Sistemas Físicos*, con una orientación (no excluyente) a la fundamentación de criterios y métodos del *Control Automático*. Emplea un enfoque sistémico en el abordaje de los problemas ingenieriles objeto de su estudio.

MATERIAS RELACIONADAS:

Previas: A-601 Máquinas Eléctricas, A-602 Teoría de Circuitos II.

Simultáneas recomendadas: A-703 Digital III, A-704 Electrónica III,
A-701 Probabilidades y Procesos Aleatorios.

Posteriores: A-802 Control II, asignaturas electivas afines.

.....
Firma Profesor

.....
Fecha

.....
Aprob. Escuela

.....
Fecha

Aprobado en reunión de Consejo Académico de fecha:

CONTENIDO TEMÁTICO

Ordenar temas utilizando codificación decimal

I Modelos Matemáticos y Dinámica de Sistemas

1 Introducción

1.1 Los sistemas físicos dinámicos

- 1.1.1 Definiciones y convenciones
- 1.1.2 Motivación ingenieril
- 1.1.3 Aplicaciones y disciplinas correlativas

1.2 Metodología de estudio de los sistemas físicos dinámicos

- 1.2.1 Disciplinas confluyentes
- 1.2.2 Los modelos
- 1.2.3 El modelado analítico
- 1.2.4 La identificación de sistemas
- 1.2.5 El estudio general de clases de modelos: la Teoría Matemática de Sistemas
- 1.2.6 El estudio particular de un sistema: la Simulación
- 1.2.7 El proceso de modelado y simulación como síntesis práctica de las disciplinas anteriores

1.3 La Dinámica de Sistemas en las disciplinas de la Ingeniería

- 1.3.1 La Dinámica de los Sistemas Físicos y el Control Automático
 - 1.3.1.1 El Control Automático como disciplina científica y como práctica ingenieril
 - 1.3.1.2 El rol de la Dinámica de Sistemas en la concepción, en el diseño y el desarrollo, y en el análisis y la sintonización de sistemas de Control Automático.
- 1.3.2 La Dinámica de Sistemas y otras disciplinas tecnológicas e ingenieriles.

2 Modelado Matemático de Sistemas Físicos

2.1 Conceptos y definiciones básicas

- 2.1.1 Sistema físico dinámico: Causalidad y memoria
- 2.1.2 Interacción: Intercambio de energía y materia
- 2.1.3 Señal
- 2.1.4 Clasificación de las variables
- 2.1.5 Clasificación de modelos. Hipótesis de parámetros concentrados

2.2 El proceso de modelado: del sistema físico real al idealizado

- 2.2.1 El sistema físico real y el problema planteado
- 2.2.2 Los principios básicos y las leyes fundamentales de la física.
- 2.2.3 Hipótesis simplificadoras
- 2.2.4 Relaciones constitutivas y simbologías específicas de los distintos dominios técnicos. El sistema físico idealizado.
- 2.2.5 Relaciones estructurales y deducción usual en la Física Aplicada de las ecuaciones diferenciales

3 Modelado Analítico mediante diagramas de bloques

3.1 Formulación y manipulación de los diagramas de bloques

- 3.1.1 Criterios globales de causalización. Concatenación de bloques
- 3.1.2 Construcción de diagramas de bloques directamente del sistema físico idealizado. Aplicación a sistemas simples y automatismos.
- 3.1.3 Inversión causal de diagramas de bloques.
- 3.1.4 Aplicación de álgebra e inversión de los diagramas de bloques a la eliminación de lazos algebraicos y derivadores.
- 3.1.5 Obtención de ecuaciones diferenciales ordinarias, de funciones transferencia y de "pseudo funciones transferencia".

3.2 Las ecuaciones de estado

- 3.2.1 Deducción a partir del diagrama de bloques.
- 3.2.2 Deducción a partir de la ecuación diferencial y de la función transferencia.
- 3.2.3 Definiciones formal y conceptual de las variables de estado.
- 3.2.4 El estado y la energía almacenada en el sistema.

3.3 Interconversión de los modelos alternativos

- 3.3.1 Descripciones externas e internas
- 3.3.2 Realización (interna) de una descripción externa. Formas canónicas.
- 3.3.3 Conservación del sentido físico.

4 Simulación Digital de Sistemas Dinámicos

4.1 Métodos numéricos en la solución de ecuaciones diferenciales

- 4.1.1 Aproximación numérica de las soluciones. Errores de método (truncamiento) y de cómputo (redondeo).
- 4.1.2 Estabilidad de los métodos numéricos.
- 4.1.3 Métodos de integración: Euler, Runge-Kutta, Adams-Bashfort/Moulton, Milne.
- 4.1.4 Ecuaciones algebraico-diferenciales. Métodos numéricos de solución de ecuaciones implícitas (laços algebraicos).
- 4.1.5 Problemas rígidos ("stiff")

4.2 Lenguajes de simulación interactiva con diagramas de bloques como datos

- 4.2.1 La simulación interactiva
- 4.2.2 Principios y estructura del software de simulación en general.
- 4.2.3 El entorno MATLAB-SIMULINK.
- 4.2.4 Otras opciones de software de simulación.

5 Respuesta temporal de sistemas lineales estacionarios

5.1 Propiedades cualitativas y estructurales de los modelos

- 5.1.1 BIBO-Estabilidad, modos y respuesta al impulso de los sistemas lineales (Revisión)
- 5.1.2 Orden. Grado relativo. Sistemas mínima fase y no-mínima fase.
- 5.1.3 Determinación de las propiedades sobre los diferentes tipos de modelo.

- 5.2 Análisis práctico de la respuesta temporal de sistemas lineales comunes
- 5.2.1 Características iniciales y asintóticas. Incidencia de las propiedades anteriores (grado relativo, fase, y estabilidad).
- 5.2.2 Transitorios. Incidencia de los modos.
- 5.2.3 Clasificación y normalización de los sistemas según normas DIN.
- 5.2.4 Determinación de las funciones transferencia por inspección de los modelos.

6 Elementos de Identificación de Sistemas

6.1 Introducción

- 6.1.1 Modelado analítico y modelado "experimental" o identificación.
- 6.1.2 Fundamentos y clasificación de los métodos.

6.2 Métodos no paramétricos en los dominios temporal y frecuencial

- 6.2.1 Método de la respuesta al escalón.
- 6.2.2 Identificación en base a medición directa de la respuesta a entradas armónicas (respuesta en frecuencia)

7 Linealización

7.1 Modelos Incrementales

- 7.1.1 Equilibrio del sistema y régimen permanente.
- 7.1.2 Modelo Incremental Exacto.
- 7.1.3 Modelo Incremental Linealizado o Aproximación de Primer Orden.

7.2 Técnicas de linealización

- 7.2.1 Linealización de una ecuación diferencial ordinaria
- 7.2.2 Linealización sobre el diagrama de bloques
- 7.2.3 Linealización de las ecuaciones de estado y de salida

II Modelado Estructural Unificado de Sistemas Físicos

8 Principios de Modelado con Diagramas de Enlaces ("*Bond Graphs*")

8.1 Fundamentos de los diagramas de enlaces

- 8.1.1 Fenómenos energéticos y clases de elementos idealizados: Analogía Energética
- 8.1.2 Clases de variables y elementos generalizados: Analogía Funcional
- 8.1.3 Definición de elementos: Relaciones constitutivas y relaciones estructurales
- 8.1.4 Las relaciones constitutivas y la energía

8.2 Diagramas de enlaces de sistemas mecánicos y eléctricos

- 8.2.1 Sistemas mecánicos
- 8.2.2 Sistemas eléctricos
- 8.2.3 Sistemas electromecánicos
- 8.2.4 Formulación de un procedimiento general

9 Causalización y generación de modelos matemáticos y computacionales

9.1 Causalización de los diagramas de enlaces

- 9.1.1 Ordenamiento jerárquico de los tipos causales admisibles
- 9.1.2 Procedimiento de asignación de causalidad
- 9.1.3 Incorporación de señal: Diagramas mixtos (de bloques y enlaces)

9.2 Generación de modelos matemáticos y computacionales mediante diagramas de enlaces

- 9.2.1 Generación de diagramas de bloques
- 9.2.2 Método básico de generación de ecuaciones de estado
- 9.2.3 Causalidad derivativa
- 9.2.4 Lazos algebraicos
- 9.2.5 Generación de modelos computacionales
- 9.2.6 Los ambientes de simulación PowerDynamo, 20-sim, y MS1.

10 Modelización Avanzada con Diagramas de Enlaces

10.1 Diagramas de enlaces y mixtos de sistemas mecánicos complejos, hidráulicos, fluidodinámicos, neumáticos, electrónicos y térmicos

- 10.1.1 Procedimientos de formulación
- 10.1.2 Relaciones constitutivas específicas
- 10.1.3 Definición de nuevos elementos
- 10.1.4 Problemas estructurales y diagramas de enlaces alternativos
- 10.1.5 Campos

10.2 Diagramas de enlaces de sistemas compuestos y automatismos

- 10.2.1 Señales y amplificadores generalizados
- 10.2.2 Transductores y accionamientos
- 10.2.3 Sensores
- 10.2.4 Adecuación de los diagramas a los datos técnicos disponibles.

III Análisis de Sistemas Dinámicos en el Espacio de Estados

11 Solución de la ecuación de estados

11.1 Enfoque geométrico de la dinámica lineal y estacionaria

- 11.1.1 Solución formal de las ecuaciones de estado: la matriz de transición en las respuestas libre y forzada.
- 11.1.2 Determinación de las trayectorias del sistema libre mediante desacoplamiento de las ecuaciones de estado. Transformación de semejanza. Autovalores, autovectores y modos del sistema
- 11.1.3 Enfoque geométrico del problema: equivalencia entre el desacoplamiento, la diagonalización de la matriz de evolución, y la partición del espacio de estados en subespacios invariantes.
- 11.1.4 Retratos de fase de sistemas lineales estacionarios libres

12 Introducción al análisis de los sistemas no lineales

12.1 Soluciones particulares

12.1.1 Puntos de equilibrio. Oscilaciones permanentes. Ciclos límites

12.1.2 La aproximación de primer orden. El teorema de Hartman-Grobman

12.2 Estabilidad de las soluciones particulares

12.2.1 Estabilidad interna. Definiciones. Estabilidad según Liapunov, estabilidad asintótica, estabilidad exponencial, estabilidad práctica.

12.2.2 Estabilidad con la aproximación de primer orden

12.2.3 Estabilidad con el método directo de Liapunov. Teorema de Liapunov. Teorema de LaSalle

12.2.4 Estabilidad con el método de Liapunov directamente sobre el diagrama de enlaces

REGIMEN DE PROMOCIONALIDAD

a) Guía de actividades:

Las seis horas semanales asignadas a la materia se distribuirán de la siguiente manera:

1. Dos horas semanales de clases de teoría
2. Dos horas semanales de clases teórico-prácticas (parcialmente asistidas por auxiliares)
3. Las restantes dos horas semanales se usarán rotativamente para
 - 3.1. Clases de práctica tipo taller (asistidas por auxiliares, con exigencia de entrega de problemas resueltos)
 - 3.2. Laboratorio de simulación (asistido por auxiliares, con exigencia de entrega de informe elaborado durante la actividad)
 - 3.3. Parciales de evaluación teórico-prácticosEstas últimas tres actividades constituyen el único grupo de asistencia obligatoria.

b) Programación:

Mecanismo de la Promoción

Alcanzarán la promoción de la materia los alumnos que hayan cumplido los siguientes requisitos:

1. 80% de asistencia a todas las actividades enumeradas en los apartados **a.3.1/2** (sección anterior).
2. 100% de asistencia a los parciales de **a.3.1.3**.
3. Aprobación del 80% del total de problemas asignados en **a.3.1**.
4. Aprobación del 80% del total de trabajos prácticos de laboratorio asignados en **a.3.2**.
5. Aprobación del 80% del total de problemas asignados en los parciales de evaluación, apartado **a.3.3**.

Alcances de la Promoción

1. La asignatura se aprueba con un EXÁMEN FINAL ORDINARIO (EFO), que consta de tres (3) partes, a saber:

EFO.1 :	Examen de Práctica
EFO.2 :	Examen de Laboratorio
EFO.3 :	Examen de Teoría
2. Los alumnos promovidos tienen la opción (alternativa al EFO) de aprobar la asignatura a través de una EVALUACIÓN GLOBALIZADORA consistente de una combinación de coloquio, preguntas con múltiples respuestas, y ejercicios teóricos.

BIBLIOGRAFÍA

a) **Adecuada al programa. Ordenada por temas y su codificación de biblioteca, incluidas las publicaciones de la cátedra con su código de publicación.** Donde corresponde se indica el capítulo o apartado pertinente de la obra referida.

Observación: En este apartado, *exceptuando los apuntes de la cátedra* la bibliografía se refiere abreviadamente por el nombre del autor o editor. Ver referencia completa en apartado b) siguiente.

Capítulo 1: **Puente, Andrés**
 Karnopp & Rosenberg: Cap. 1
 Ogata [1]: Cap. 1
 Ogata [2]: Cap. 1
 Ljung & Glad: Cap. 1
 Material de la Cátedra:
 A01C01.99: "Las técnicas de modelado en el control de procesos industriales".

Capítulo 2: **Material de la Cátedra:**
 A01C02.99: "Sistemas Dinámicos y Modelos Matemáticos".
 T01C02.95: "RelaCs de componentes elementales de sistemas físicos".
 T02C02.96: "Orden de sistemas dinámicos".
 Ljung & Glad: Cap. 2 y 4

Capítulo 3: **Material de la Cátedra:**
 A01C03.94: "Algunas aplicaciones prácticas de la inversión y el álgebra de bloques".
 T01C03.95: "Tablas de resistencias hidráulicas".
 T02C03.95: "Equivalencias entre bloques elementales".
 T03C03.99: "Reglas del álgebra de bloques".
 T02C04.94: "Realizaciones Canónicas".
 Ogata [1]: Cap. 2 y 3
 Ogata [2]: Cap. 1 y 2

Capítulo 4: **Material de la Cátedra:**
 A02LAB.94: "Métodos numéricos en la simulación digital de sistemas dinámicos".
 Korn & Wait: Cap. 1.
 Demidowitsch; Maron & Schuwalowa: Cap. 3
 Press; Flannery; Teukolsky & Vetterling: Cap. 15
 Kelly: Cap. 14
 Levine (ed): Cap. 5, 6, 7, 21 y 22 (Opcional)
 Manuales de software (Simulink)

Capítulo 5: **Material de la Cátedra:**
 S/C: "Transparencias: Análisis del comportamiento temporal de los sistemas dinámicos" (Opcional).
 A02C06.99: "Análisis del sistema PT2" (Opcional).

	A03C06.99: "Conexión entre las propiedades de la FT y la respuesta a entradas seccionalmente continuas y acotadas" (Opcional). T01C06.99: "Bloques normalizados". T02C06.99: "Tabla del sistema PT_2". T03C06.99: "Tabla sobre estabilidad externa". Ogata[2]: Cap. 4 (Opcional)
<u>Capítulo 6:</u>	Material de la Cátedra: TP04.96: "Identificación de sistemas dinámicos". Apéndice.
<u>Capítulo 7:</u>	Material de la Cátedra: A01C07.99: "Linealización de sistemas dinámicos".
<u>Capítulo 8:</u>	Material de la Cátedra: A01C08.99: "Los diagramas de enlaces y un eficaz método estructurado de modelado analítico de sistemas dinámicos". A03C08.94: "Transparencias de bond-graphs". T01C08.89: "DE: Procedimientos para sistemas mecánicos y eléctricos". A02C08.99: "Técnicas de modelado con DE sobre el ejemplo del péndulo". S/C: "Transparencias: Introducción a los diagramas de enlaces de energía". Karnopp & Rosenberg: Cap. 1 – 4
<u>Capítulo 9:</u>	Material de la Cátedra: A04C08.94: "Procedimiento de formulación de EE: casos de DECO con KaD y DA". Karnopp & Rosenberg: Cap. 5 – 7 E. Kofman: Proyecto final Manuales de software (PowerDynamo, 20-sim, MS1)
<u>Capítulo 10:</u>	Material de la Cátedra: A01C10.99: "Sistemas fluidodinámicos". A02C10.99: "Sistemas térmicos". Karnopp & Rosenberg: Cap. 8 – 15
<u>Capítulo 11:</u>	Material de la Cátedra: A01C12.99: "Solución de la ecuación de estado". A02C12.99: "Trayectorias en el espacio de estados n-dimensional". A03C12.99: "Retratos de fase de un sistema libre de segundo orden". A04C12.99: "Vinculación de modelos internos y externos". T01C12.99: "Retratos de fase: $\dot{X} = AX$ (sistema libre de segundo orden)". S/C: "Transparencias: Solución de la ecuación de estado."

S/C: "Transparencias: Estudio del ME deducido del MI expresado en EE/ES".

Ogata [2]: Cap. 9

Capítulo 12: **Material de la Cátedra:**

S/C: "Análisis de estabilidad de Liapunov".

Ogata [2]: Cap. 9

b) Complementaria para Profundización o Extensión de Temas, o de Difícil Acceso
(Disponibilidad, Idioma, etc.)

Observación: Aquí se refiere de forma completa toda la bibliografía. Se incluye la citada abreviadamente en el apartado **a)** anterior (**Nombre del Autor** en negrita cursiva), y una selección de la bibliografía consultada para la confección del programa. La recomendada como complementaria para los alumnos se indica subrayando el **Nombre del Autor**.

- *Altman, André*: "Interdisziplinäre Systemanalyse". Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1982.....Cátedra DSF
- *Atlan, Henri*: "Les modèles dynamiques en réseaux". En: *Estructure et Dynamique de Systemes* (A. Lichnerowicz, F. Perroux et G. Gadoffre) . Maloine-Doin éditeurs, Paris 1976..... Biblioteca Facultad, Cod. 531.3, L699
- **Close, Charles & Frederick, Dean**: "Modelling and Analysis of Dynamic Systems". Houghton Mifflin, Boston 1978.....Cátedra DSF
- ***Demidowitsch, B.; Maron, I.; Schuwalowa, E.***: "Métodos numéricos de análisis". Paraninfo, Madrid, 1980.....Cátedra DSF
- *Engel, Alejandro*: "Elementos de Biomatemática". Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington 1978.....Cátedra DSF
- **Föllinger, Otto**: "Regelungstechnik". 3.Auflage AEG-Telefunken, Berlín und Frankfurt 1979.....Cátedra DSF
- *Frohne, Heinrich u. Ueckert, Erwin*: "Grundlagen der Elektrischen Meßtechnik". Teubner, Stuttgart 1984.....Cátedra DSF
- **Heymann, Michael**: "Structure and Realization Problems in the Theory of Dynamic Systems". Springer, Wien, New York, 1975.....Biblioteca Facultad
- *Institut für Regelungstechnik-UH*: Instituto de Control Automático - Universidad de Hannover. Material didáctico diverso.....Cátedra DSF
- *Isermann, Rolf*: "Prozeßidentifikation". Springer, Berlin, Heidelberg 1974.....Cátedra DSF
- ***Junco, Sergio***: "Los Diagramas de Enlaces y un Eficaz Método Estructurado de Modelado...". (En: *anales del 2do. Congreso Latinoamericano de Control Automático*) AADECA, Bs. As. 1986.....Cátedra DSF
- **Kailath, Thomas**: "Linear Systems" Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1980Biblioteca Facultad
- ***Karnop, Dean & Rosenberg, Ronald***: "Introduction to Physical System Dynamics". Mc Graw Hill 1983.....Cátedra DSF
- **Karnopp D., Margolis D., Rosenberg R.**: "System Dynamics" 2nd. edition. United States 1990.....Cátedra DSF
- ***Kelly, Louis G.***: "Handbook of Numerical Methods and Applications". Addison-

Wesley, United States, 1967.....	Cátedra DSF
• Kofman, Ernesto: "Power-Dynamo: Un entorno de modelización de sistemas dinámicos asistida por computadora", Proyecto de Ingeniería.....	
.....Biblioteca Escuela de Ingeniería Electrónica y Biblioteca Facultad	
• Korn, Granino & Wait, Dean: "Digital Continuous-Systems Simulation" Prentice Hall 1978.....	Biblioteca Facultad
• Kuo, Benjamin: "Sistemas Automáticos de Control". CECSA, Madrid...	
.....Biblioteca Facultad	
• Leigh, J.R. : "Modelling and Simulation". Peter Peregrinus 1983.....	Cátedra DSF
• Leonhard, Werner: "Control of Electrical Drives". Springer, Berlin-New York 1985	
.....Cátedra DSF	
• Levine, William S. (ed): "The Control Handbook". IEEE, 1996.....	Cátedra DSF
• Ljung, Lennart & Glad, Torkel: "Modeling of Dynamic Systems". Prentice Hall. Englewood Cliffs, USA, 1994.....	
• Ludyk, Gunter: "Theorie Dynamischer Systeme". Elitera Verlag, Berlin 1977...	
.....Cátedra DSF	
• Luyben, W. L.: "Process Modeling Simulation, and Control for Chemical Engineers". Mc Graw-Hill	Cátedra DSF
• Mac Farlane, Alistair: "Engineering Systems Analysis". Harrap & CO., London 1964.....	Biblioteca Facultad Cod. 518.5, M143
• Naslin, Pierre Et Miossec, C.: "Comparation des méthodes d'identification industrielles par une forme de Strejk". (En: <i>Automatisme</i> - T. XVI, Nro 10, oct 1971, 513-520).....	Cátedra DSF
• Nicholson, Harold: "Modelling of Dynamical Systems". Vol. 1. Peter Peregrinus Stevenage & The IEEE, London 1987.....	Cátedra DSF
• Ogata, Katsuhiko [1]: "Dinámica de Sistemas". Prentice Hall Hispanoamericana SA., Méjico 1987.....	Cátedra DSF
• Ogata, Katsuhiko [2]: "Ingeniería de Control Moderna" 2da. edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., Méjico 1993.....	Biblioteca Facultad
• Oster, George & Auslander, David: "Topological Representation of Thermodynamic Systems". (En: <i>J. Franklin Institute</i> , Vol. 292, Nro. 1, 1972)	
.....Cátedra DSF	
• Press, W.; Flannery, B.; Teukolsky, S.; Veterling, W.: "Numerical Recipes". Cambridge University Press, Cambridge 1986.....	Cátedra DSF
• Puente, E. Andrés: "Las técnicas de modelado en el control de procesos industriales". (En: <i>Regulación y mando automático</i> - XV, 1981 - Nro 107 - Abril, 47-55).....	Cátedra DSF
• Saaty, Alexander: "Thinking with Models". Pergamon Press 1982.....	Cátedra DSF
• Schultz, Donald and James Melsa: "State Functions and Linear Control Systems". McGraw-Hill, 1967.....	Cátedra DSF
• Takahashi, Yasundo; Rabins, Michael & Auslander, David: "Control and Dynamic Systems" Addison-Wesley 1970.....	Cátedra DSF
Thoma, Jean: "Grundlagen und Anwendungen der Bonddiagramme". Girardet, Essen 1974.....	Cátedra DSF