

# Control Automático 1

CAUT1 (Marzo 2002)

Ingeniería en Automatización y Control Industrial  
Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes

## Descripción de la Asignatura

### Profesor Julio H. Braslavsky

email: [jbrasla@unq.edu.ar](mailto:jbrasla@unq.edu.ar)  
teléfono: (011) 4275-7714 (int. 220)  
www: <http://iaci.unq.edu.ar/caut1>

**Objetivo General del Curso:** Brindar una introducción a los principios, conceptos y técnicas fundamentales necesarios para el análisis y diseño práctico de sistemas de control por realimentación. Se enfatiza el tratamiento de sistemas lineales de una entrada y una salida, para los que se presentan las herramientas clásicas de análisis (e.g., lugar de las raíces, diagrama de Nyquist, diagramas de Bode), y métodos de diseño de controladores clásicos (PI, PID), y modernos (parametrización afín). Una vez aprobada la asignatura, los estudiantes deberán ser capaces de

- Analizar y diseñar sistemas lineales de control para plantas de una entrada y una salida.
- Usar software moderno de análisis y diseño en la resolución de problemas de diseño de control.

**Temas:** Conceptos básicos de la teoría de control. Principios de realimentación. Modelos matemáticos y linealización, respuesta temporal, respuesta en frecuencia y diagramas de Bode. Análisis de sistemas realimentados, funciones de sensibilidad, estabilidad, lugar de las raíces. Control PID clásico, métodos de ajuste de Ziegler-Nichols, compensación atraso-adelanto. Diseño de controladores vía asignación de polos, predictor de Smith. Consideraciones prácticas de diseño. Diseño de controladores vía parametrización afín.

**Conocimientos Previos:** Señales y Sistemas, Procesos y Máquinas Industriales I.

**Modalidad de Cursado:** Cuatrimestral, con 6 horas semanales de clase en 2 sesiones de 3 horas c/u, que comprenden aproximadamente un 50 % de teoría y un 50 % de práctica (resolución de problemas, trabajo en computadora y en laboratorio). Carga horaria estimada de trabajo fuera de clase: 6 horas semanales.

Control Automático 1 puede aprobarse por régimen de promoción o por examen libre.

**Régimen de promoción:** Requiere obtener un rendimiento no inferior al 60 % en los tres parciales teórico-prácticos de promoción, y en los dos laboratorios (experimentación sobre sistemas reales). Podrán recuperarse como máximo dos de los tres parciales, y uno de los dos laboratorios. La conformación de la nota final en el régimen de promoción es la siguiente:

Exámenes Parciales Teórico/Prácticos (3):	75 %
Laboratorios:	15 %
Trabajos Prácticos (optativos):	10 %

**Examen libre:** Requiere obtener un rendimiento no inferior al 60 % en un examen de práctica (resolución de problemas de análisis y diseño de sistemas de control), un laboratorio (experimentación sobre un sistema real), y un coloquio teórico. La conformación de la nota final en el examen libre es la siguiente:

Práctica:	50 %
Laboratorio:	15 %
Coloquio:	35 %

**Textos:** La asignatura sigue en gran medida el enfoque de Goodwin et al. [2001, Partes I, II y III]. La página de internet de este libro (<http://csd.newcastle.edu.au/control/>) contiene apuntes y problemas resueltos (en inglés).

Otros textos de referencia para gran parte del material presentado son Ogata [1980] y Franklin et al. [1991]. Ver también Distefano et al. [1993] y Kuo [1996].

**Perfil del Docente:** Julio H. Braslavsky recibió el título de Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional de Rosario en 1989, y el de Doctor (Ph.D.) en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Newcastle, Australia, en 1996. Entre 1996 y 1999 realizó estancias postdoctorales en Bélgica, Estados Unidos y Australia. Desde agosto de 1999 es Profesor Asociado en Ingeniería en Automatización y Control Industrial de la Universidad Nacional de Quilmes, y desde diciembre de 2001, Investigador Adjunto del CONICET. Sus intereses científicos incluyen sistemas no lineales de control, limitaciones fundamentales de desempeño, y sistemas a datos muestreados.

## Referencias

- J.J. Distefano, A.R. Stubberud, and I.J. Williams. *Retroalimentación y sistemas de control*. McGraw-Hill, 2 edition, 1993.
- G.F. Franklin, J.D. Powell, and A. Emami-Naeini. *Control de sistemas dinámicos con realimentación*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1991.
- G.C. Goodwin, S.F. Graebe, and M.E. Salgado. *Control System Design*. Prentice Hall, 2001.
- B.C. Kuo. *Sistemas de control automático*. Prentice Hall Hispanoamericana, 7 edition, 1996.
- K. Ogata. *Ingeniería de Control Moderna*. Prentice Hall Internacional, 1980.

## Programa Analítico

### 1. Introducción

- 1.1. Motivación a Ingeniería en Control
- 1.2. Reseña histórica de la Teoría de Control
- 1.3. Tipos de diseños de sistemas de control
- 1.4. Integración de sistemas

### 2. Principios de realimentación

- 2.1. El objetivo del control
- 2.2. Un ejemplo industrial
- 2.3. Definición del problema de control
- 2.4. Solución del problema de control vía inversión
- 2.5. Realimentación con ganancia elevada e inversión
- 2.6. De lazo abierto a lazo cerrado
- 2.7. Compromisos en la elección de la ganancia de realimentación
- 2.8. Mediciones

### 3. Modelos, señales y sistemas

- 3.1. Modelos en control
- 3.2. Linealización y escalamiento de variables
- 3.3. Funciones transferencia y diagramas de bloques
- 3.4. Obtención experimental de modelos
- 3.5. Respuesta en frecuencia y diagramas de Bode

### 4. Análisis de sistemas realimentados

- 4.1. Estructuras de realimentación
- 4.2. Funciones de sensibilidad
- 4.3. Estabilidad a lazo cerrado en base al polinomio característico
- 4.4. Estabilidad y análisis polinomial
- 4.5. Lugar de las raíces
- 4.6. Estabilidad y respuesta en frecuencia
- 4.7. Estabilidad relativa: márgenes de estabilidad
- 4.8. Robustez

### 5. Control PID clásico

- 5.1. Estructura PID
- 5.2. Ajuste empírico
- 5.3. Método de oscilación de Ziegler-Nichols

5.4. Métodos basados en la respuesta al escalón

5.5. Compensadores en atraso-adelanto

5.6. Columna de destilación

### 6. Diseño básico de controladores SISO

- 6.1. Enfoque polinomial
- 6.2. Ajuste de PI y PID mediante asignación de polos
- 6.3. El predictor de Smith

### 7. Limitaciones fundamentales en control SISO

- 7.1. Sensores
- 7.2. Actuadores
- 7.3. Perturbaciones
- 7.4. Limitaciones debidas a errores en modelado
- 7.5. Limitaciones estructurales: retardos, polos inestables y ceros de fase no mínima
- 7.6. Compromisos de diseño en la respuesta al escalón

### 8. Consideraciones estructurales en control SISO

- 8.1. Modelos de perturbaciones y referencias determinísticas
- 8.2. Principio del modelo interno para perturbaciones
- 8.3. Principio del modelo interno para seguimiento de referencias
- 8.4. Control en avance
- 8.5. Aplicación industrial de control en avance
- 8.6. Control en cascada

### 9. Manejo de restricciones

- 9.1. Efecto *wind-up*
- 9.2. Compensación *anti-wind-up*

### 10. Diseño avanzado de controladores SISO

- 10.1. Revisión de inversión a lazo abierto
- 10.2. Parametrización afín: el caso estable
- 10.3. Ajuste de PID mediante parametrización afín
- 10.4. Parametrización afín para sistemas con retardo
- 10.5. Polos a lazo cerrado indeseables
- 10.6. Parametrización afín: el caso inestable

## Cronograma Tentativo

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
Mar 4 Clase 1 §1 Introducción	5	6 Clase 2 §2 Principios de Realimentación	7	8
11 Clase 3 §2 Principios de Realimentación	12	13 Clase 4 §3 Modelos, señales y sistemas	14	15
18 Clase 5 §3 Modelos, señales y sistemas	19	20 Clase 6 §3 Modelos, señales y sistemas	21	22
25 Clase 7 §4 Análisis sist. real.	26	27 Clase 8 ☛ Entrega TP1 §4 Análisis sist. real.	28	29
Abr 1 Clase 9 Feriado Malvinas?	2	3 Clase 9 §4 Análisis sist. real.	4	5
8 Clase 10 §4 Análisis sist. real.	9	10 Clase 11 §5 Control PID clásico	11	12
15 Clase 12 Laboratorio 1	16	17 Clase 13 Laboratorio 1	18	19
22 Clase 14 §5 Control PID clásico	23	24 Primer parcial ☛ Entrega TP2	25	26
29 Clase 15 §6 Diseño básico de controladores SISO	30	May 1 Día del Trabajador	2	3
6 Clase 16 §6 Diseño básico de controladores SISO	7	8 Clase 17 §7 Limitaciones fundamentales	9	10
13 Primer recuperatorio	14	15 Clase 18 §7 Limitaciones fundamentales	16	17
20 Clase 19 §7 Limitaciones fundamentales	21	22 Clase 20 §8 Consideraciones estructurales	23	24
27 Clase 21 §8 Consideraciones estructurales	28	29 Paro y marcha CTA	30	31
Jun 3 Clase 22 §8 Consideraciones estructurales	4	5 Clase 23 ☛ Entrega TP3 §9 Manejo de restric.	6	7
10 Segundo parcial	11	12 Clase 24 §10 Diseño avanzado de controladores SISO	13	14
17 Día de la bandera (corrido del 20/6)	18	19 Clase 25 §10 Diseño avanzado de controladores SISO	20	21 Segundo recuperatorio
24 Clase 26 §10 Diseño avanzado de controladores SISO	25	26 Clase 27 §10 Diseño avanzado de controladores SISO	27	28
Jul 1 Clase 28 Práctica	2	3 Clase 29 Práctica	4	5 Tercer parcial
8 Clase 30 Práctica	9	10 Superrecuperatorio	11	12 Fin de clases