

Indice

Prefacio	xiv
1 Introducción	1
1.1 Problema general de Control	1
1.1.1 Experimentación	1
1.1.2 Simulación	2
1.1.3 Teoría	3
1.1.4 Ejemplo	4
1.2 ¿ Por qué realimentar ?	6
1.3 Objetivos de una teoría aplicada	10
1.4 Compromisos dentro del lazo	14
1.5 Perspectiva Histórica	16
1.6 Objetivos del texto	19
2 Sistemas univariables	21
2.1 Introducción	21
2.2 Estabilidad nominal	22
2.3 Estabilidad robusta	24
2.3.1 Márgenes de Fase y Ganancia	24
2.3.2 Incertidumbre dinámica global	28
2.4 Performance nominal	35
2.4.1 Perturbaciones conocidas	37
2.4.2 Perturbaciones acotadas a la salida	38
2.4.3 Otros criterios de performance	42
2.5 Performance robusta	43
2.6 Extensiones a Sistemas Multivariables	48
2.7 Problemas	55

3	“Loop shaping” multivariable	59
3.1	Introducción	59
3.2	Estabilidad nominal ($\Delta = 0$)	62
3.3	Performance nominal ($\Delta = 0$)	63
3.4	Estabilidad robusta ($\Delta \neq 0$)	65
3.5	Performance robusta ($\Delta \neq 0$)	67
3.6	Método de diseño	69
3.7	Incertidumbre dinámica en la entrada	71
3.8	Otros métodos de diseño	74
3.9	Problemas	76
4	Control Moderno “clásico”	77
4.1	Introducción	77
4.2	Ubicación de Polos	78
4.3	Determinístico vs. Estocástico	81
4.4	Regulador Óptimo Lineal	83
4.4.1	Introducción	83
4.4.2	Caso lineal Determinístico	86
4.4.3	Caso lineal Estocástico	91
4.5	Observador Óptimo lineal	92
4.5.1	Interpretación Estocástica	94
4.6	Dualidad y Equivalencias	96
4.7	Propiedades robustas	98
4.8	Óptimo con realimentación de salida	102
4.9	Problemas	106
5	Diseño en tiempo y frecuencia	109
5.1	Introducción	109
5.2	LQG/LTR	111
5.2.1	Planteo	111
5.2.2	Aplicación a la Turbina F-100	115
5.3	LQG en el dominio de la frecuencia	122
5.3.1	Aplicación al diseño de un autopiloto	127
6	Control óptimo en \mathcal{H}_2 y \mathcal{H}_∞	135
6.1	Introducción	135
6.2	Regulador óptimo cuadrático (LQR)	136

6.3	Regulador óptimo en \mathcal{H}_∞	141
6.3.1	Cómputo de la norma $\ \cdot\ _\infty$	141
6.3.2	Cómputo del regulador en \mathcal{H}_∞	143
6.4	Control óptimo en \mathcal{H}_2	144
6.4.1	Problemas especiales	144
6.4.2	Cómputo del control óptimo en \mathcal{H}_2	151
6.5	Control óptimo en \mathcal{H}_∞	154
6.5.1	Aplicación al diseño de un autopiloto	157
6.6	Problemas	163
7	Aproximación de Modelos	165
7.1	Introducción	165
7.2	Enfoque Geométrico	167
7.2.1	Espacio Controlable/Observable	167
7.2.2	Direcciones preferenciales	169
7.3	Valores Singulares de Hankel	176
7.3.1	Sistemas Continuos	176
7.3.2	Sistemas Discretos	177
7.3.3	Operadores de Hankel	179
7.4	Reducción de Modelos	184
7.4.1	Introducción	184
7.4.2	Realizaciones Balanceadas	187
7.4.3	Truncamiento	190
7.5	Algoritmos	192
7.6	Problemas	195
8	Descripción Fraccional de Sistemas	197
8.1	Introducción	197
8.2	Matrices de Polinomios	198
8.2.1	Definiciones	198
8.2.2	Descripción fraccional	203
8.3	Ceros y Polos multivariantes	207
8.3.1	Forma de Smith-McMillan	207
8.3.2	Definiciones equivalentes	209
8.4	Matrices de Transferencia	213
8.5	Fracciones primas en variables de estado	216
8.5.1	Estructura de la realización	216

8.5.2	Estabilización	221
8.5.3	Resultados	224
8.6	Controladores estabilizantes	225
8.6.1	Sistemas bien planteados	225
8.6.2	Estabilidad interna	227
8.6.3	Parametrización	229
8.7	Aplicaciones del planteo algebraico	233
8.7.1	Controlador de dos grados de libertad	233
8.7.2	Perturbaciones divergentes	236
8.7.3	Ejemplo	241
8.8	Problemas	246
9	Incertidumbre Estructurada	249
9.1	Introducción	249
9.2	Margen de Estabilidad	252
9.3	Incertidumbre dinámica estructurada	255
9.3.1	Cómputo	255
9.3.2	Análisis y Síntesis	259
9.4	Incertidumbre paramétrica	263
9.4.1	Introducción	263
9.4.2	Teorema de Kharitonov	266
9.4.3	Estructuras afines	271
9.4.4	Estructuras multilineales particulares	275
9.4.5	Estructuras paramétricas generales	277
9.5	Incertidumbres combinadas	291
9.5.1	Planteo del Problema	291
9.5.2	Cómputo	294
9.5.3	Ejemplo	297
9.6	Problemas	300
10	Aplicaciones	301
10.1	ANÁLISIS PARAMÉTRICO	301
10.1.1	Modelo linealizado	301
10.1.2	Resultados	306
10.2	SINTESIS EN \mathcal{H}_∞	309
10.2.1	Modelo	309
10.2.2	Diseño	311

10.2.3	Resultados	315
10.3	SINTESIS- μ	317
10.3.1	Hipótesis y Modelo	317
10.3.2	Diseño	318
10.3.3	Resultados	320
10.4	RETARDOS DE TIEMPO	321
10.4.1	Modelo matemático de la Planta	324
10.4.2	Modelo (computacional) reducido	325
10.4.3	Análisis Robusto del sistema	327
10.4.4	Diseño del Controlador	334
10.5	PLANTA MAL CONDICIONADA	336
10.5.1	Introducción	336
10.5.2	Destilación de Alta Pureza	339
10.5.3	Diseños del controlador	341
A	Fundamentos matemáticos	349
A.1	Estructuras algebraicas	349
A.1.1	Grupo	349
A.1.2	Anillo	350
A.1.3	Cuerpo	351
A.1.4	Espacio vectorial	351
A.2	Espacios de funciones	355
A.2.1	Introducción	355
A.2.2	Espacios de Banach y Hilbert	355
A.2.3	Espacios de señales y transferencias	356
A.3	Transformaciones Lineales	358
A.3.1	Núcleo y Rango	358
A.3.2	Isomorfismo e Isometría	361
A.3.3	Norma inducida	362
A.4	Valores Singulares	363
A.4.1	Definición	363
A.4.2	Propiedades y Aplicaciones	365
B	Modelos en variables de estado	369
B.1	Controlabilidad	369
B.2	Estabilizabilidad	372
B.3	Observabilidad	372

B.4	Detectabilidad	374
B.5	Realizaciones mínimas	375
B.6	Gramianos	380
B.6.1	Propiedades de Gramianos	380
B.6.2	Aplicaciones	382
B.7	Interconexión de Sistemas	382
B.7.1	Serie	382
B.7.2	Cambio de variables	383
B.7.3	Realimentación de estado	384
B.7.4	Estimación del estado	384
B.7.5	Sistema transpuesto	384
B.7.6	Sistema conjugado-transpuesto	385
B.7.7	Paralelo	385
B.7.8	Realimentación	386
B.7.9	Inversa	386
B.8	Transformación Lineal Fraccionaria	387
C	Ecuaciones matriciales	395
C.1	Ecuación de Sylvester/Lyapunov	395
C.1.1	Planteo	395
C.1.2	Resolución	396
C.1.3	Aplicaciones	397
C.2	Ecuación de Riccati	398
	Referencias	403