

INDICE

Prólogo	XIII
-------------------	------

PRIMERA PARTE. TECNICAS CLASICAS DE CONTROL

Capítulo 1. Introducción	3
1.1. Generalidades	3
1.2. Servomecanismos	5
1.3. Sistemas de control en anillo abierto	6
1.4. Sistemas de control en anillo cerrado	6
1.5. Función de transferencia o transmitancia	7
Ejercicios	10
Capítulo 2. Estudio dinámico de la transmitancia	13
2.1. Introducción	13
2.2. Transformada de Laplace	14
2.3. Transmitancias de sistemas	19
2.3.1. Resistencia eléctrica	19
2.3.2. Bobina eléctrica	19
2.3.3. Condensador eléctrico	21
2.3.4. Pistón hidráulico	21
2.3.5. Nivel de un tanque	22
2.3.6. Sistema térmico	22
2.3.7. Sistema manométrico	23
2.3.8. Oscilación amortiguada de un muelle	24
2.3.9. Reactor encamisado	25
2.3.10. Válvula de control	26
2.3.11. Batería de dos reactores perfectamente agitados	28
2.4. Propiedades adicionales de la transformada de Laplace	30
2.4.1. Teorema del valor inicial	30
2.4.2. Teorema del valor final	30
2.4.3. Teorema del retardo puro	30
Ejercicios	32

Capítulo 3. Análisis temporal	35
3.1. Introducción	35
3.2. Funciones elementales de excitación	36
3.2.1. Escalón unidad	36
3.2.2. Impulso unidad	36
3.2.3. Rampa unidad	37
3.2.4. Función parabólica	37
3.2.5. Función senoidal	37
3.3. Respuesta impulsional	38
3.4. Respuesta indicial	38
3.5. Respuesta ante una entrada en rampa	39
3.6. Análisis temporal de los sistemas de primer orden	39
3.7. Análisis temporal de los sistemas de segundo orden	43
Ejercicios	55
Capítulo 4. Diagramas de bloques	57
4.1. Bloques en serie	57
4.2. Bloques en paralelo	59
4.3. Bloques en retroalimentación	59
4.4. Bloques en cadenas cruzadas	60
4.5. Ejemplo	61
Ejercicios	63
Capítulo 5. Análisis frecuencial	65
5.1. Introducción	65
5.2. Representación de la ganancia y del desfase y aplicación a una función de transferencia de primer orden	69
5.2.1. Plano de Bode	69
5.2.2. Plano polar o de Nyquist	74
5.2.3. Plano de Black	75
5.3. Representación de la respuesta frecuencial de la función de retardo $y = e^{-Ts}$	75
5.4. Respuesta frecuencial de una transmitancia de segundo orden	77
5.5. Análisis frecuencial de transmitancias compuestas	83
5.6. Respuesta frecuencial de los controladores	85
5.6.1. Control proporcional	85
5.6.2. Control proporcional + integral	90
5.6.3. Control proporcional + derivado	97
5.6.4. Control proporcional + integral + derivado	102
5.6.5. Control PID en el diagrama de Nyquist	105
5.7. Consideraciones de aplicación de las acciones de control	107
Ejercicios	111
Capítulo 6. Estabilidad	113
6.1. Estabilidad absoluta	113

6.1.1.	Criterio de raíces de la ecuación característica	113
6.1.2.	Criterio de Routh	114
6.1.3.	Criterio de Hurwitz	116
6.1.4.	Criterio de fracciones continuas	118
6.1.5.	Criterio de Bode	119
6.1.6.	Criterio de Nyquist	120
6.1.7.	Criterio del lugar geométrico de raíces	121
6.2.	Estabilidad relativa	124
6.2.1.	Criterio de Bode	124
6.2.2.	Estudio del lazo cerrado de control	128
	Ejercicios	133
Capítulo 7.	Análisis y evaluación de un lazo de control	137
7.1.	Método analítico	137
Capítulo 8.	Análisis e identificación de procesos	151
8.1.	Respuesta indicial ante una entrada en escalón	151
8.2.	Respuesta frecuencial	154
8.3.	Respuesta impulsional	156
Capítulo 9.	Selección y ajuste de las acciones de control	161
9.1.	Generalidades	161
9.2.	Método de tanteo	162
9.3.	Método de ganancia límite	164
9.4.	Método de curva de respuesta	165
9.5.	Método de autoajuste	166
9.6.	Otros métodos de ajuste	166
9.7.	Simulación y control de procesos simples	167
	Ejercicios	176
Capítulo 10.	Elementos finales de control	179
10.1.	Válvulas de control	179
10.1.1.	Generalidades	179
10.2.	Curvas características de la válvula	180
10.2.1.	Características de caudal inherentes	180
10.2.2.	Características de caudal efectivas	182
10.3.	Cálculo de la válvula de control. Coeficientes C_v , K_v , K_c y C_f . Líquidos	185
10.4.	Cálculo de la válvula de control para gases	190
10.5.	Cálculo de la válvula de control para vapores	190
10.6.	Ejemplos de cálculo de válvulas de control	191
	Ejercicios	196
Capítulo 11.	Otros tipos de control	199
11.1.	Control en cascada	199
11.2.	Control de relación	204

11.3.	Control de gama partida.	204
11.4.	Control selectivo	205
11.5.	Control en adelanto (feedforward).	205
11.6.	Control de procesos discontinuos (batch)	210
11.7.	Control adaptativo.	210
11.8.	Control distribuido	211
	Ejercicios	212

SEGUNDA PARTE. TECNICAS ACTUALES

Capítulo 12. Transformada Z	217
12.1. Generalidades	217
12.2. Transformada Z	220
12.3. Respuesta impulsional	220
12.4. Respuesta indicial	221
12.5. Teoremas del valor inicial y final	221
12.6. Funciones de transferencia de pulsos	223
12.6.1. Inversión de la transformada z	224
12.6.2. Función de transferencia de pulsos en lazo cerrado	225
12.7. Estabilidad	226
12.8. Ecuación del controlador	226
Ejercicios.	227
Capítulo 13. Ecuación de estado	229
13.1. Generalidades	229
13.2. Ejercicios de formulación	231
13.3. Resolución de la ecuación de estado	234
13.3.1. Resolución manual de un ejemplo	237
13.3.2. Resolución con el ordenador del control de presión en una tubería	240
Ejercicios.	259
Capítulo 14. Estabilidad y sistemas de control.	261
14.1. Generalidades	261
14.2. Técnicas de Liapunov.	261
14.3. Sistemas óptimos de control	265
14.4. Sistemas de control adaptativo	270
14.5. Resumen y conclusiones	272
Ejercicios.	272
Capítulo 15. Simulación de procesos.	275
15.1. Secadero tipo «flash» o de evaporación rápida	275
15.2. Secadero rotativo	283
15.3. Secadero túnel	291

15.4.	Evaporador de triple efecto	299
15.5.	Reactor discontinuo	309
15.6.	Columna de destilación.	319
	Ejercicios.	349
Apéndice 351		
A.1.	Código de identificación de instrumentos.	351
A.2.	Métodos numéricos en simulación digital.	351
A.2.1.	Integración	351
A.2.2.	Resolución numérica de una ecuación diferencial.	352
A.2.3.	Linealización	355
A.2.4.	Métodos de convergencia	357
A.2.5.	Operaciones con matrices	359
A.3.	Diccionario de BASIC	360
A.4.	Resolución de los problemas propuestos	362
Referencias 393		
Anexo 1. Instrucciones para el uso del diskette de programas en ordenadores COMMODORE 64 y 128. 395		
Anexo 2. Instrucciones para el uso del diskette de programas en ordenadores IBM-PC y compatibles. 397		