

INDICE

Prologo	XIII
Prefacio	XV
Capitulo 1. Introducción	1
1.1. Bosquejo histórico	1
1.2. Acerca de técnicas y regulación	3
1.3. ¿Qué es un proceso?	3
1.4. Representaciones graficas	4
1.5. Formas de regulación	4
1.6. Componentes y definiciones de un diagrama de bloques	6
1.6.1. Componentes de un lazo de control	6
1.7. Visión de los métodos de control y sus aplicaciones	8
1.8. Metodología de trabajo de la ingeniería de control	9
Cuestionario	10
Ejercicios	11
Capitulo 2. Herramientas Matemáticas para Sistemas de Tiempo Continuo	13
2.1. Clasificación de sistemas	14
2.2. Modelos matemáticos y sus aproximaciones	15
2.3. Unión de subsistemas	16
2.3.1. Conexión serie	17
2.3.2. Conexión paralelo	17
2.3.3. Retroalimentación negativa y positiva en un diagrama de bloques	18
2.4. Ecuaciones diferenciales. Solución y uso de la transformada de Laplace	22
2.4.1. Función de transferencia y función de peso	25
2.4.2. Solución transitoria y estacionaria	25
2.5. Dinámica de procesos	26
2.5.1. Procesos con una constante de tiempo	26
2.5.2. Procesos con dos constantes de tiempo	27
2.5.3. Procesos con tres constantes de tiempo	29
2.5.4. Procesos con polos y ceros	30
2.6. Linearizacion de sistemas no lineales	31
Cuestionario	33
Ejercicios	33
Capitulo 3. Modelado e Identificación de Sistemas Físicos	39
3.1. Modelado teórico	40
3.1.1. Sistemas mecánicos	40
3.1.2. Sistemas eléctricos	45
3.1.3. Sistemas térmicos	51
3.1.4. Sistemas de concentración	53
3.1.5. Sistemas de nivel	54
3.1.6. Sistemas de transporte	55
3.2. Linearizacion de sistemas no lineales	56
3.2.1. Sistemas hidráulicos y neumáticos (fluidos)	56
3.3. Identificación experimental	57
3.3.1. Análisis a la repuesta escalón	58

Cuestionario	61
Ejercicios	61
Capítulo 4. Sistemas Físicos en el Campo de Frecuencias	75
4.1. Señales senoidales en sistemas lineales	76
4.2. Diagrama de Bode	78
4.2.1. Diagrama de Bode a partir de una función de transferencia	80
4.2.2. Análisis experimental en el campo de frecuencia	92
Cuestionario	94
Ejercicios	95
Capítulo 5. Análisis de los Sistemas en Tiempo Continuo	97
5.1. Estabilidad	98
5.1.1. Polos de la función de transferencia	98
5.1.2. Método de Routh - Hurwitz	101
5.1.3. Criterio simplificado de estabilidad de Nyquist	103
5.1.4. Criterio completo de Nyquist	106
5.1.5. Diagrama de Nichols. Relación entre la función de frecuencia de los sistemas de lazo abierto y de lazo cerrado	108
5.2. Exactitud en el campo de frecuencias	117
5.3. Velocidad	117
5.3.1. Tiempo de levantamiento en el campo de frecuencias	117
5.4. Características de los sistemas en un diagrama de Bode	118
Cuestionario	119
Ejercicios	119
Capítulo 6. Análisis y Diseño de Reguladores de Tiempo Continuo	127
6.1. Métodos de autoajuste de reguladores Proporcional – Integrador – Derivativos (PID)	130
6.1.1. Método de Ziegler – Nichols	130
6.1.2. Método de Chien, Hrones y Reswick	133
6.1.3. Método de Astrom– Hagglund (autoajuste)	135
6.2. Dimensionamiento de reguladores en el campo de frecuencia	136
6.2.1. Regulador tipo proporcional (P)	138
6.2.2. Regulador tipo Proporcional – Integrador (PI)	139
6.2.3. Regulador tipo Proporcional – Derivativo (PD)	142
6.2.4. Regulador tipo Proporcional – Integrativo – Derivativo (PID)	146
6.3. Método del lugar geométrico de las raíces (root - locus)	148
6.3.1. Dibujo del lugar geométrico	150
Cuestionario	156
Ejercicios	157
Capítulo 7. Filtros, Estructuras y Aplicaciones Prácticas de Reguladores Análogos	165
7.1. Filtros de compensación	166
7.1.1. Filtro de atraso de fase	166
7.1.2. Filtro de adelanto de fase	168
7.1.3. Simplificación de polos y ceros	170
7.2. Diferentes estructuras de reguladores PID	171
7.3. Procesos para los cuales los reguladores PID no son óptimos	172
7.3.1. Procesos con tiempo muerto alto	172
7.3.2. Procesos con dinámicas complicada	174
7.3.3. Procesos variantes en el tiempo	174

7.3.4. Procesos altamente no lineales	174
7.4. Dimensionamiento basado en modelo	174
7.5. Principios de regulación con mas de un medidor	175
7.5.1. Alimentación adelantada de los disturbios	175
7.5.2. Regulación de cascada	176
7.5.3. Regulación de relación constante	176
Cuestionario	176
Ejercicios	177
Capitulo 8. Reducción del Efecto de los Disturbios en los Sistemas de Control	181
8.1. Disturbios del proceso	181
8.2. Disturbios en la medición	182
8.3. Influencia de los disturbios. Teorema integral de Bode	183
8.4. Influencia del erro r en el modelo y cambios en los parámetros	187
8.4.1. Inseguridad y robustez	187
8.4.2. Sensibilidad y prestación de la robustez en bajas frecuencias	187
8.4.3. Estabilidad de la robustez en frecuencias medias y altas	189
Cuestionario	191
Ejercicios	192
Capítulo 9. Sistemas en Tiempo Discreto	193
9.1. Bosquejo histórico	193
9.2. Introducción	194
9.3. Componentes	195
9.4. Intervalo de tiempo, tiempo de muestreo	196
9.5. Ecuación de diferencia. La transformada Z	198
9.5.1. La Transformada Z: teoría resumida	198
9.6. La función de transferencia en tiempo discreto	200
9.7. De una función análoga a una discreta	201
9.7.1. Discretización con pulsos de control cortos	202
9.7.2. Discretización con pulsos de duración constante	203
9.8. Cálculo de la respuesta en el tiempo	204
9.9. Identificación de procesos con el método de los cuadrados mínimos	205
9.9.1. Procesos sin disturbios	206
9.9.2. Procesos con disturbios	207
Cuestionario	
Ejercicios	
Capítulos 10. Análisis con Sistemas de Eventos Discretos	215
10.1. Características de sistemas de eventos discretos	219
10.1.1. Estabilidad	219
10.1.2. Exactitud	220
10.2. Características en el campo de frecuencias	220
10.2.1. Diagrama de Bode y curvas de frecuencia	222
10.2.2. Teorema del muestreo de Shannon	223
Cuestionario	224
Ejercicios	224
Capitulo 11 Análisis y Diseño de Reguladores con Eventos Discretos	227
11.1. Principios de control para reguladores de tiempo discreto	228

11.2. Regulación de eventos discretos con PID	229
11.3. Transformación de reguladores con función de transferencia análoga	230
11.4. Métodos de colocación de polos	233
11.4.1. Estructura del regulador con colocación de polos	233
11.4.2. Ecuación de la colocación de polos	234
11.4.3. Regulador dead-beat	236
11.4.4. Eliminación del error. Factor de integración	237
11.4.5. La colocación de los polos	237
Cuestionario	238
Ejercicios	238
Capítulo 12. Optimización	241
12.1. Optimización paramétrica y dimensionamiento analítico en tiempo continuo	242
12.2. Optimización paramétrica en eventos discretos	245
12.3. Optimización no paramétrica	247
Cuestionario	249
Ejercicios	249
Solución de los Ejercicios	251
Bibliografía	275
Índice Analítico	277