

# ÍNDICE GENERAL

## PARTE I: AUTOMATIZACIÓN: CONCEPTOS GENERALES

<b>1. Introducción al control industrial</b> .....	<b>3</b>
1.1. Introducción .....	3
1.2. Sistemas de control .....	4
1.3. Automatismos analógicos y digitales .....	4
1.4. Componentes y modelos .....	5
1.5. Automatismos cableados y programables .....	6
1.6. El autómeta programable .....	7
1.7. Control por ordenador .....	8
1.8. Resumen .....	9
1.9. Referencias .....	9
<b>2. Diseño de automatismos lógicos</b> .....	<b>10</b>
2.1. Introducción .....	10
2.2. Modelos y funciones de transferencia .....	11
2.3. Automatismos combinatoriales y secuenciales .....	13
2.4. Diseño de automatismos combinatoriales .....	16
2.5. Diseño de automatismos secuenciales .....	17
2.6. GRAFCET: Resumen histórico .....	18
2.7. Diseño basado en GRAFCET .....	19
2.8. GRAFCET: Elementos de base y reglas de evolución .....	20
2.9. GRAFCET: Ejemplo de diseño .....	23
2.10. Macroetapas y representación en detalle .....	25
2.11. Estructuras básicas del GRAFCET .....	26
2.11.1. Secuencia lineal .....	27
2.11.2. Divergencia y convergencia en «O» .....	27
2.11.3. Divergencia y convergencia en «Y» .....	29
2.12. Diagramas de flujo y diagramas GRAFCET .....	30
2.13. Etapas iniciales, preposicionamiento y alarmas .....	32
2.14. Puestas en marcha y paradas: GEMMA .....	33
2.14.1. Elementos de base .....	33
2.14.2. Estados de funcionamiento .....	33
2.14.3. Estados de paro .....	35
2.14.4. Estados de fallo .....	35
2.15. Método general de diseño basado en GEMMA .....	35
2.15.1. Coordinación horizontal .....	36
2.15.2. Coordinación piramidal o jerarquizada .....	36
2.16. Paros de emergencia .....	36
2.17. Ejemplo de diseño .....	37
2.17.1. Fases A y B de diseño .....	37
2.17.2. Fase C de diseño .....	38
2.17.3. Fase D de diseño .....	38
2.18. Resumen .....	40
2.19. Referencias .....	40
<b>3. Diseño de automatismos con señales analógicas</b> .....	<b>41</b>
3.1. Introducción .....	41
3.2. Modelo de sistemas analógicos; Diagramas de bloques .....	41
3.3. Función de transferencia (FDT) .....	42
3.4. Paso de la ecuación diferencial a la FDT .....	43
3.5. Respuesta temporal .....	44
3.6. Operaciones básicas con bloques .....	46
3.7. Bloques de primer y de segundo orden .....	47

# AUTÓMATAS PROGRAMABLES

3.8.	Representación gráfica de la FDT .....	48
3.8.1.	Gráficos de Bode .....	48
3.8.2.	FDT de primer orden .....	48
3.8.3.	FDT de segundo orden .....	50
3.9.	Control en lazo cerrado: Estabilidad .....	53
3.10.	Acciones básicas de control y su implementación con controladores digitales .....	56
3.10.1.	Acción proporcional .....	57
3.10.2.	Acción integral .....	58
3.10.3.	Acción derivativa .....	59
3.10.4.	Controladores PID .....	60
3.11.	Controladores todo o nada .....	60
3.12.	Elección del controlador óptimo .....	61
3.12.1.	Parámetros de evaluación .....	61
3.12.2.	Caracterización de la planta .....	62
3.12.3.	Elección y optimización del regulador .....	62
3.12.4.	Conclusiones .....	63
3.13.	Resumen .....	64
3.14.	Referencias .....	64

## PARTE II: EL AUTÓMATA PROGRAMABLE

4.	Arquitectura interna del autómata .....	67
4.1.	Introducción .....	67
4.2.	Bloques esenciales de un autómata .....	67
4.3.	Unidad central de proceso, CPU .....	68
4.4.	Memoria del autómata .....	69
4.4.1.	Memorias internas .....	70
4.4.2.	Memoria de programa .....	72
4.5.	Interfaces de entrada y salida .....	73
4.6.	Fuente de alimentación .....	73
4.7.	Resumen .....	75
4.8.	Referencias .....	75
5.	Ciclo de funcionamiento del autómata y control en tiempo real .....	76
5.1.	Introducción .....	76
5.2.	Modos de operación .....	76
5.3.	Ciclo de funcionamiento .....	77
5.4.	Chequeos del sistema .....	80
5.5.	Tiempo de ejecución y control en tiempo real .....	81
5.6.	Elementos de proceso rápido .....	83
5.7.	Procesado rápido de programas .....	84
5.8.	Contador de alta velocidad .....	85
5.9.	Entradas detectoras de flanco .....	87
5.10.	Resumen .....	88
5.11.	Referencias .....	89
6.	Configuración del autómata .....	90
6.1.	Introducción .....	90
6.2.	Tipos de procesadores en la unidad central de proceso .....	90
6.3.	Configuraciones de la unidad de control .....	93
6.3.1.	Multiprocesadores centrales .....	94
6.3.2.	Procesadores periféricos .....	97
6.4.	Unidades de control redundantes .....	101
6.5.	Configuraciones del sistema de entradas/salidas .....	102
6.5.1.	Entradas/salidas centralizadas .....	103
6.5.2.	Entradas/salidas distribuidas .....	105
6.6.	Memorias de masa .....	108
6.7.	Resumen .....	111

7. Sensores y actuadores .....	113
7.1. Introducción .....	113
7.2. Sensores: Clasificación .....	113
7.3. Características generales de los sensores .....	115
7.3.1. Características estáticas .....	115
7.3.2. Características dinámicas .....	116
7.4. Transductores de posición: Conceptos generales .....	116
7.5. Detectores de proximidad .....	116
7.5.1. Conceptos generales .....	116
7.5.2. Detectores inductivos .....	117
7.5.3. Detectores capacitivos .....	118
7.5.4. Detectores ópticos .....	119
7.5.5. Detectores ultrasónicos .....	119
7.5.6. Criterios de selección .....	120
7.6. Medidores de posición o distancia .....	120
7.6.1. Potenciómetros .....	120
7.6.2. Encoders .....	121
7.6.3. Síncros y resolvers .....	122
7.6.4. Inductosyn .....	124
7.6.5. Sensores láser .....	125
7.6.6. Sensores ultrasónicos .....	126
7.6.7. Sensores magnetostrictivos .....	126
7.7. Medidores de pequeños desplazamientos y deformaciones .....	126
7.7.1. Transformadores diferenciales .....	126
7.7.2. Galgas extensométricas .....	127
7.7.3. Transductores piezoeléctricos .....	128
7.8. Transductores de velocidad .....	129
7.8.1. Dinamo tacométrica .....	129
7.8.2. Generadores de impulsos .....	129
7.9. Acelerómetros .....	129
7.10. Transductores de fuerza y par .....	130
7.11. Transductores de temperatura .....	130
7.11.1. Termostatos .....	131
7.11.2. Termopares .....	131
7.11.3. Termorresistencias Pt100 .....	131
7.11.4. Termorresistencias PTC y NTC .....	132
7.11.5. Pirómetros de radiación .....	132
7.12. Transductores de presión .....	133
7.13. Transductores de caudal .....	133
7.13.1. Medidores por efecto Venturi .....	134
7.13.2. Medidores por presión dinámica .....	134
7.13.3. Medidores por velocidad y por inducción .....	134
7.13.4. Medidores volumétricos .....	135
7.14. Transductores de nivel .....	135
7.14.1. Transductores todo o nada .....	135
7.14.2. Transductores por presión .....	135
7.14.3. Transductores por flotador .....	136
7.14.4. Transductores ultrasónicos .....	136
7.15. Accionamientos: Clasificación .....	136
7.16. Accionamientos eléctricos .....	136
7.16.1. Relés y contactores .....	136
7.16.2. Servomotores de CC .....	137
7.16.3. Servomotores de CA .....	138
7.16.4. Motores paso a paso .....	139
7.17. Accionamientos hidráulicos y neumáticos .....	141
7.17.1. Válvulas .....	141
7.17.2. Servoválvulas .....	141
7.17.3. Cilindros .....	142
7.17.4. Sujeción por vacío .....	143
7.17.5. Bombas y motores hidráulicos .....	143

# AUTÓMATAS PROGRAMABLES

7.18.	Resumen .....	143
7.19.	Referencias .....	144
<b>8.</b>	<b>Interfaces de entrada/salida .....</b>	<b>145</b>
8.1.	Introducción .....	145
8.2.	Tipos de interfaces de E/S .....	145
8.3.	Entradas/salidas digitales .....	146
8.4.	Entradas lógicas .....	147
8.4.1.	Entradas de CC PNP .....	148
8.4.2.	Entradas de CC NPN .....	150
8.4.3.	Entradas de CA .....	150
8.5.	Salidas lógicas .....	151
8.5.1.	Salidas de CC PNP .....	152
8.5.2.	Salidas de CC NPN .....	153
8.5.3.	Salidas por relé .....	154
8.5.4.	Salidas estáticas de CA .....	154
8.6.	Entradas/salidas analógicas .....	155
8.7.	Conversión D/A .....	156
8.7.1.	Convertidores unipolares .....	156
8.7.2.	Convertidores con signo .....	158
8.8.	Conversión A/D .....	159
8.8.1.	Adaptación de señal y circuito de S&H .....	159
8.8.2.	Convertidores basados en contador .....	160
8.8.3.	Convertidor de aproximaciones sucesivas .....	161
8.8.4.	Convertidor de doble rampa de integración .....	162
8.9.	Interfaces para entradas analógicas .....	163
8.10.	Interfaces para salidas analógicas .....	166
8.11.	Resumen .....	171
8.12.	Referencias .....	171
<b>9.</b>	<b>Interfaces específicas .....</b>	<b>172</b>
9.1.	Introducción .....	172
9.2.	Entradas/salidas especiales .....	173
9.2.1.	Entradas/salidas multiplexadas .....	173
9.2.2.	Detectores o comparadores de umbral analógico .....	174
9.2.3.	Medidas de temperatura .....	175
9.2.4.	Módulos de contaje rápido .....	177
9.2.5.	Interfaces adaptadoras de señal .....	178
9.2.6.	Módulos de transmisión serie, o módulos ASCII .....	178
9.3.	Entradas/salidas inteligentes .....	179
9.3.1.	Acopladores analógicos .....	180
9.3.2.	Convertidores de código binario/BCD .....	181
9.3.3.	Interfaces de contaje rápido y lectura de recorrido .....	182
9.4.	Procesadores periféricos inteligentes .....	183
9.4.1.	Procesadores de regulación PID .....	184
9.4.2.	Procesadores de posicionamiento .....	189
9.5.	Resumen .....	193
9.6.	Referencias .....	193
<b>10.</b>	<b>Programación del autómatas .....</b>	<b>194</b>
10.1.	Introducción .....	194
10.2.	Representación de sistemas de control .....	195
10.2.1.	Descripciones literales .....	196
10.2.2.	Funciones algebraicas .....	196
10.2.3.	Esquemas de relés .....	197
10.2.4.	Diagramas lógicos .....	197
10.2.5.	Ordinogramas .....	197
10.2.6.	Representación GRAFCET .....	198
10.3.	Identificación de variables y asignación de direcciones .....	199
10.4.	Lenguajes de programación .....	200

10.5.	Lenguajes booleanos y lista de instrucciones .....	202
10.6.	Diagramas de contactos .....	204
10.7.	Plano de funciones .....	206
10.8.	Lenguajes de alto nivel .....	208
10.9.	Resumen .....	209
10.10.	Referencias .....	210
<b>11.</b>	<b>Programación de bloques funcionales .....</b>	<b>211</b>
11.1.	Introducción .....	211
11.2.	Bloques secuenciales básicos .....	212
11.2.1.	Biestables .....	212
11.2.2.	Temporizadores .....	213
11.2.3.	Contadores .....	216
11.2.4.	Registros de desplazamiento .....	218
11.2.5.	Secuenciadores paso a paso .....	220
11.3.	Bloques funcionales de expansión .....	221
11.3.1.	Funciones de carga y transferencia .....	222
11.3.2.	Comparaciones de datos .....	223
11.3.3.	Instrucciones lógicas entre palabras .....	224
11.3.4.	Funciones aritméticas .....	225
11.3.5.	Funciones de comunicación .....	226
11.4.	Instrucciones especiales .....	228
11.5.	Resumen .....	230
11.6.	Referencias .....	230
<b>12.</b>	<b>Estructuras de programación .....</b>	<b>231</b>
12.1.	Introducción .....	231
12.2.	Programación lineal .....	232
12.2.1.	Saltos de programa .....	233
12.2.2.	Relé maestro de control .....	235
12.3.	Programación estructurada .....	235
12.3.1.	Programación modular .....	237
12.3.2.	Subrutinas .....	238
12.4.	Programación multitarea .....	239
12.5.	Tareas rápidas e interrupciones .....	241
12.6.	Parametrización de módulos funcionales .....	243
12.7.	Programación de procesadores periféricos inteligentes .....	245
12.8.	Resumen .....	248
12.9.	Referencias .....	249
<b>13.</b>	<b>Equipos de programación y servicio de los API .....</b>	<b>250</b>
13.1.	Introducción .....	250
13.2.	Equipos de programación .....	251
13.2.1.	Consolas de programación .....	251
13.2.2.	Terminales de programación .....	252
13.2.3.	Software para la programación .....	255
13.3.	Modos de trabajo de los equipos de programación .....	257
13.4.	Unidades de diálogo y test .....	260
13.5.	Visualizadores alfanuméricos .....	261
13.6.	Terminales de explotación .....	261
13.6.1.	Terminales gráficos .....	265
13.6.2.	Ejemplo de programa con terminal .....	265
13.7.	Resumen .....	267
13.8.	Referencias .....	267

### PARTE III. REDES DE AUTÓMATAS

<b>14.</b>	<b>Conceptos generales de comunicaciones digitales .....</b>	<b>271</b>
14.1.	Introducción .....	271

# AUTÓMATAS PROGRAMABLES

14.2.	Ventajas de las comunicaciones .....	271
14.3.	Algunas definiciones relativas a comunicaciones .....	272
14.4.	Normalización: Modelo de referencia OSI .....	275
14.4.1.	Tareas asignadas a cada uno de los niveles OSI .....	276
14.5.	Redes locales industriales .....	277
14.6.	Topología de las LAN .....	279
14.7.	Nivel físico de la red .....	280
14.7.1.	Cables .....	280
14.7.2.	Enlaces por fibra óptica .....	281
14.7.3.	Modems telefónicos y vía radio .....	282
14.7.4.	Codificación y sincronización de datos .....	282
14.8.	Enlaces estándar: Nivel físico .....	284
14.8.1.	RS-232C, V.24 .....	285
14.8.2.	Bucle de corriente, TTY .....	286
14.8.3.	RS-422 .....	288
14.8.4.	RS-485 .....	289
14.8.5.	ETHERNET .....	290
14.9.	Estructura lógica de las LAN .....	291
14.9.1.	Control de acceso al medio (MAC) .....	291
14.9.2.	Control lógico de enlace (LLC) .....	293
14.10.	Control de errores .....	293
14.11.	Resumen .....	294
14.12.	Referencias .....	295
<b>15.</b>	<b>Redes de comunicación industriales .....</b>	<b>296</b>
15.1.	Introducción .....	296
15.2.	Buses de campo .....	297
15.3.	MODBUS .....	299
15.3.1.	Estructura de la red .....	299
15.3.2.	Protocolo .....	300
15.3.3.	Nivel de aplicación .....	305
15.3.4.	Variante de MODBUS: JBUS .....	305
15.4.	BITBUS .....	306
15.4.1.	Estructura de la red .....	306
15.4.2.	Protocolo .....	309
15.4.3.	Nivel de aplicación .....	312
15.4.4.	Aplicaciones industriales basadas en BITBUS .....	313
15.5.	PROFIBUS .....	313
15.5.1.	Estructura de la red .....	314
15.5.2.	Protocolo .....	315
15.5.3.	Aplicación .....	317
15.5.4.	Algunas redes industriales basadas en PROFIBUS .....	318
15.6.	Multiplexores de E/S .....	318
15.7.	Redes LAN industriales .....	317
15.8.	MAP .....	319
15.8.1.	Estructura de la red y protocolo .....	319
15.8.2.	Nivel de aplicación .....	320
15.9.	MINIMAP .....	320
15.9.1.	Estructura de la red .....	321
15.9.2.	Protocolo .....	321
15.9.3.	Procedimientos de inicialización .....	322
15.10.	ETHERNET .....	324
15.10.1.	Estructura de la red .....	325
15.10.2.	Protocolo .....	326
15.10.3.	Procedimientos de inicialización .....	327
15.11.	Nivel de aplicación: Software .....	327
15.12.	Resumen .....	327
15.13.	Referencias .....	327

# INDICE GENERAL

<b>16. Ordenadores industriales compatibles PC</b> .....	<b>328</b>
16.1. Introducción .....	328
16.2. Automata programable versus PC industrial .....	329
16.3. Características generales de un PC de aplicación industrial .....	331
16.4. Protecciones en el PC industrial .....	332
16.5. Configuración hardware del PC industrial .....	333
16.5.1. Unidad central de proceso y memoria interna .....	333
16.5.2. Interfaces E/S y controladores .....	334
16.5.3. Memorias masivas .....	334
16.5.4. Buses de interconexión .....	336
16.5.5. Periféricos del PC industrial .....	343
16.6. Presentaciones constructivas de PC industriales .....	345
16.7. Resumen .....	350
16.8. Referencias .....	350
<b>17. Aplicaciones de los PC industriales</b> .....	<b>351</b>
17.1. Introducción .....	351
17.2. Sistemas operativos para PC industrial .....	351
17.3. Software para aplicaciones industriales .....	353
17.4. Funciones de los PC en la industria .....	355
17.5. Interfaz del PC con el mundo exterior .....	357
17.6. Sistemas de adquisición de datos .....	361
17.6.1. Sistemas de adquisición basados en tarjetas TAD .....	362
17.6.2. Sistemas de adquisición basados en instrumentos .....	365
17.7. El PC como controlador industrial .....	366
17.7.1. Red de autómatas-PC .....	367
17.7.2. El PC en control directo de planta .....	367
17.7.3. Sistemas de control distribuido .....	370
17.8. Aplicaciones para la supervisión y el control de producción .....	373
17.8.1. SCADA .....	374
17.8.2. Estructura de un paquete SCADA .....	375
17.9. Aplicaciones para la gestión de la información de planta .....	379
17.9.1. Software para el control de calidad .....	381
17.9.2. Software para el mantenimiento .....	382
17.10. Resumen .....	383
17.11. Referencias .....	384

## PARTE IV. EL AUTÓMATA EN SU ENTORNO

<b>18. Instalación y mantenimiento de autómatas programables</b> .....	<b>387</b>
18.1. Introducción .....	387
18.2. Fase de proyecto con AP .....	387
18.3. Selección del autómata .....	389
18.4. Fase de instalación .....	390
18.5. Fijaciones y condiciones mecánicas .....	391
18.6. Espacios de ventilación .....	391
18.7. Distancias de seguridad eléctrica .....	391
18.8. Condiciones ambientales .....	391
18.9. Compatibilidad electromagnética .....	392
18.9.1. Origen y propagación de interferencias .....	393
18.9.2. Espectro de frecuencias .....	394
18.9.3. Comportamiento de los cables a alta frecuencia .....	395
18.9.4. Acoplamiento entre cables .....	396
18.9.5. Radiación .....	397
18.9.6. Descargas electrostáticas .....	398
18.9.7. Clasificación y separación de ambientes .....	399
18.9.8. Red de alimentación .....	400
18.9.9. Resumen de criterios de protección .....	400

18.10.	Alimentación y protecciones .....	401
18.11.	Distribución y cableado interno del armario de control .....	404
18.12.	Cableado externo .....	404
18.13.	Diseño e instalación del software .....	405
18.14.	Fiabilidad de las instalaciones con autómatas .....	407
18.14.1.	Fiabilidad .....	407
18.14.2.	Disponibilidad .....	408
18.14.3.	Seguridad .....	408
18.14.4.	Averías en las instalaciones de autómatas .....	409
18.15.	Mantenimiento de instalaciones con autómatas .....	409
18.16.	Resumen .....	410
18.17.	Referencias .....	410

### ANEXOS

<b>Anexo I. Principios de álgebra lógica .....</b>	<b>413</b>
A1.1. Componentes todo-nada y variables lógicas .....	413
A1.2. Operaciones lógicas .....	413
A1.3. Propiedades del álgebra lógica .....	414
A1.4. Funciones lógicas: tabla de verdad .....	414
A1.5. Símbolos lógicos .....	416
A1.6. Tabla de Karnaugh y simplificación .....	416
A1.7. Referencias .....	417
<b>Anexo II. Códigos y sistemas de numeración .....</b>	<b>418</b>
A2.1. Información digital .....	418
A2.2. Sistema de numeración binario .....	419
A2.3. Números negativos en sistema binario .....	420
A2.4. Código BCD .....	420
A2.5. Sistema hexadecimal .....	421
<b>Anexo III. Autómatas y redes comerciales .....</b>	<b>422</b>
A3.1. Información .....	422
<b>Anexo IV. Normalización y niveles de protección de equipos industriales .....</b>	<b>436</b>
A4.1. Necesidad de una normalización industrial .....	436
A4.2. Compatibilidad y susceptibilidad electromagnéticas .....	436
A4.3. Solidez mecánica y especificaciones de operación .....	437
A4.4. Grados de protección .....	437
A4.5. Ejemplo de especificaciones .....	439