

Índice General

PARTE 1 - FUNDAMENTOS DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES

1. Introducción a los Controladores Lógicos	3
1.1 Conceptos generales	3
1.2 Controladores lógicos sin unidad operativa.....	6
1.2.1 Controladores lógicos combinacionales.....	6
1.2.1.1 Controladores lógicos combinacionales cableados.....	6
1.2.1.2 Controladores lógicos combinacionales programables.....	9
1.2.2 Controladores lógicos secuenciales.....	11
1.2.2.1 Introducción	11
1.2.2.2 Controladores lógicos secuenciales síncronos	12
1.2.2.2.1 Conceptos básicos	12
1.2.2.2.2 Especificación de los controladores lógicos secuenciales síncronos	16
1.2.2.2.3 Controladores lógicos secuenciales síncronos cableados.....	25
1.2.2.2.4 Controladores lógicos secuenciales síncronos programables de arquitectura fija.....	28
1.2.2.2.5 Controladores lógicos secuenciales síncronos programables de arquitectura configurable.....	34
1.2.3 Controladores lógicos con unidad operativa.....	36
1.3.1 Introducción.....	36
1.3.2 Autómatas programables con una unidad lógica	38
1.3.2.1 Introducción	38
1.3.2.2 Conceptos básicos	38
Unidades de entrada y salida.....	40
Unidad Central	42
1.3.2.3 Autómatas programables con instrucciones de carga y memorización o salida	45
Autómata Programable con instrucciones de salto condicional	50
Autómata Programable con instrucciones de inhibición y desinhibición	50
1.3.2.4 Síntesis de sistemas digitales mediante autómatas programables realizados con una unidad lógica	55
1.3.2.4.1 Síntesis de sistemas combinacionales.....	55
1.3.2.4.2 Síntesis de sistemas secuenciales caracterizados por flancos.....	57
1.3.3 Autómatas programables basados en un computador	67
1.3.3.1 Introducción	67
1.3.3.2 Características generales de los computadores	68
1.3.3.3 Características de los autómatas programables basados en un computador.....	75
1.3.3.3.1 Características generales.....	75
1.3.3.3.2 Recursos físicos (hardware) y de programación (software),.....	80
Bibliografía	99

PARTE 2 - SISTEMAS DE PROGRAMACIÓN DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES

2. Sistema STEP7 de programación de autómatas programables	103
2.1 Introducción	103
2.2 Características generales de STEP7	103
2.2.1 Tipos de datos.....	104
2.2.2 Unidades de organización del programa	105
2.2.3 Variables.....	106
2.3 Lenguaje de lista de instrucciones (AWL) de STEP7	108
2.3.1 Conceptos generales	108
2.3.2 Identificación de variables	108
2.3.3 Instrucciones	110
2.3.4 Instrucciones que operan con variables lógicas	112
2.3.4.1 Introducción	112
2.3.4.2 Instrucciones de selección, de entrada y salida o de operación	113
2.3.4.2.1 <i>Instrucciones sin paréntesis</i>	113
2.3.4.2.2 <i>Instrucciones con paréntesis</i>	118
2.3.4.3 Instrucciones de memorización.....	124
2.3.4.4 Instrucciones que operan con flancos	127
2.3.5 Instrucciones que operan con combinaciones binarias	131
2.3.5.1 Introducción	131
2.3.5.2 Instrucciones de carga y transferencia.....	132
2.3.5.3 Instrucciones aritméticas	135
2.3.5.4 Instrucciones de comparación.....	138
2.3.5.5 Instrucciones de conversión	141
2.3.5.6 Instrucciones de desplazamiento y rotación.....	141
2.3.5.7 Instrucciones lógicas con combinaciones binarias.....	142
2.3.6 Instrucciones de temporización.....	144
2.3.7 Instrucciones de contaje	156
2.3.8 Instrucciones de control del programa	162
2.3.8.1 Instrucciones de salto	163
2.3.8.2 Instrucciones de control de bloque.....	169
2.3.8.3 Instrucciones de control de la ejecución de un grupo de instrucciones	172
2.4 Lenguaje de esquema de contactos (KOP) de STEP7	173
2.4.1 Conceptos generales	173
2.4.2 Identificación de variables	175
2.4.3 Operaciones con contactos.....	175
2.4.3.1 Operaciones lógicas	177
2.4.3.2 Operaciones de memorización.....	181
2.4.3.3 Operación de inversión.....	182

2.4.4 Operaciones con contactos y bloques	183
2.4.4.1 Operaciones con flancos	183
2.4.4.2 Operaciones de temporización.....	186
2.4.4.3 Operaciones de conteo.....	188
2.5 Lenguaje de diagrama de funciones (FUP) de STEP7.....	190
2.5.1 Conceptos generales	190
2.5.2 Identificación de variables	190
2.5.3 Operaciones lógicas.....	190
2.5.4 Operaciones de memorización	196
2.5.5 Operaciones con flancos	198
2.5.6 Operaciones de temporización	200
2.5.7 Operaciones de conteo	202
2.6 Lenguaje de diagrama funcional de secuencias (S7-GRAFH) de STEP7	203
Bibliografía.....	203
3. Sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables.....	205
3.1 Introducción	205
3.2 Características generales del sistema normalizado IEC 1131-3	206
3.2.1 Tipos de datos.....	206
3.2.2 Unidades de organización del programa de un proyecto.....	206
3.2.2.1 Subprogramas	207
3.2.2.2 Funciones	208
3.2.2.3 Bloques funcionales	209
3.2.2.4 Variables.....	210
3.3 Lenguaje normalizado de lista de instrucciones	211
3.3.1 Conceptos generales	211
3.3.2 Identificación de variables	212
3.3.3 Instrucciones	212
3.3.4 Instrucciones que operan con variables lógicas	214
3.3.4.1 Introducción	214
3.3.4.2 Instrucciones de selección, de entrada y salida o de operación	214
3.3.4.3 Instrucciones de memorización	221
3.3.4.4 Instrucciones que operan con flancos	222
3.3.5 Instrucciones que operan con combinaciones binarias	223
3.3.5.1 Introducción	223
3.3.5.2 Instrucciones de selección	223
3.3.5.3 Instrucciones aritméticas	223
3.3.5.4 Instrucciones de comparación.....	224
3.3.5.5 Instrucciones lógicas con combinaciones binarias.....	225

3.3.6 Instrucciones de control	227
3.3.6.1 Instrucciones de salto.....	227
3.3.6.2 Instrucciones de llamada y retorno de módulo.....	228
3.3.7 Funciones.....	230
3.3.8 Bloques funcionales	233
3.3.8.1 Introducción	233
3.3.8.2 Bloques funcionales de memorización.....	233
3.3.8.3 Bloques funcionales de detección de flanco	235
3.3.8.4 Bloques funcionales temporizadores.....	236
3.3.8.5 Bloques funcionales contadores.....	238
3.3.8.6 Bloques funcionales de usuario.....	242
3.4 Lenguaje normalizado de esquema de contactos	243
3.4.1 Conceptos generales	243
3.4.2 Identificación de variables	245
3.4.3 Operaciones con contactos.....	245
3.4.3.1 Operaciones lógicas	246
3.4.3.2 Operaciones de memorización.....	249
3.4.3.3 Operaciones con flancos.....	249
3.4.4 Bloques funcionales	252
3.4.4.1 Bloques funcionales normalizados	252
3.4.4.2 Bloques funcionales de usuario.....	254
3.4.5 Funciones.....	254
3.5 Lenguaje normalizado de diagrama de funciones	254
3.5.1 Conceptos generales	254
3.5.2 Identificación de variables	255
3.5.3 Operaciones lógicas.....	255
3.5.4 Bloques funcionales	257
3.6 Lenguaje normalizado de diagrama funcional de secuencias	258
3.7 Relación entre el sistema STEP7 y el sistema normalizado IEC1131-3	259
Bibliografía	260

PARTE 3 - SISTEMAS DE CONTROL IMPLEMENTADOS CON AUTÓMATAS PROGRAMABLES

4. Fundamentos de los Sistemas Electrónicos de Control	263
4.1 Introducción	263
4.2 Clasificación y fundamentos de los sistemas electrónicos de control	264
4.2.1 Clasificación de los sistemas electrónicos de control según la forma de controlar el proceso.....	266
4.2.2 Clasificación de los sistemas electrónicos de control según el tipo de variables de entrada.....	269

4.2.2.1 Introducción	269
4.2.2.2 Sistemas de control lógico.....	269
4.2.2.3 Sistemas de control de procesos continuos	270
4.2.2.3.1 <i>Introducción y clasificación</i>	270
4.2.2.3.2 <i>Clasificación de los sistemas de control de procesos según el tipo de señales internas</i>	270
4.2.2.3.3 <i>Clasificación de los sistemas de control de procesos según el algoritmo de control</i>	273
4.2.3 Clasificación de los sistemas electrónicos de control según la estructura organizativa	276
4.2.4 Clasificación de los sistemas electrónicos de control según el nivel de riesgo	276
Bibliografía	276
5. Diseño de sistemas de control lógico con autómatas programables.	281
5.1 Introducción	281
5.2 Herramientas de diseño asistido por computador de los sistemas electrónicos de control lógico basados en autómatas programables	281
5.2.1 Introducción.....	281
5.2.2 Administración de un proyecto STEP7	282
5.2.3 Recursos y requisitos necesarios para desarrollar un programa en STEP7 ...	284
5.3 Métodos clásicos de diseño del programa de control.....	286
5.3.1 Diseño de sistemas combinacionales con un autómata programable	287
5.3.2 Diseño de sistemas de control lógico secuencial implementados con un autómata programable	292
5.3.2.1 Método de diseño basado en la emulación de biestables RS.....	292
5.3.2.2 Método del algoritmo compacto de emulación del diagrama de estados.....	309
5.4 Métodos de diseño de sistemas complejos de control lógico secuencial	314
5.4.1 Método de diseño basado en la partición del algoritmo en fases	315
5.4.2 Método de diseño basado en el diagrama funcional de secuencias.....	324
5.4.2.1 Introducción	324
5.4.2.2 Conceptos básicos del lenguaje S7-GRAPH	325
5.4.2.2.1 <i>Reglas de evolución del lenguaje S7-GRAPH</i>	327
5.4.2.2.2 <i>Operaciones permanentes</i>	333
5.4.2.3 Conceptos avanzados de S7-GRAPH	334
5.4.2.3.1 <i>Denominación de las etapas</i>	334
5.4.2.3.2 <i>Acciones asociadas a etapas</i>	335
5.4.2.3.3 <i>Supervisión de la evolución entre etapas</i>	336
5.4.2.3.4 <i>Eventos y acciones asociadas</i>	337
5.4.2.3.5 <i>Acciones para activar y desactivar otras etapas</i>	338
5.4.2.3.6 <i>Transiciones condicionadas por etapas o por otras transiciones</i>	339
5.4.2.3.7 <i>Temporizadores, contadores y operaciones aritméticas en acciones</i>	340

5.4.2.4 Integración de cadenas secuenciales programadas en S7-GRAF	343
5.4.2.5 Ejemplos de diseño de sistemas de control lógico mediante el lenguaje S7-GRAF	345
5.4.2.6 Ejemplos tipo de sistemas de automatización diseñados con S7-GRAF	353
5.5 Comparación del método de diseño basado en S7-GRAF y el del diagrama de partición en fases	363
Bibliografía	371
6. Control de procesos mediante autómatas programables	373
6.1 Introducción	373
6.2 Controladores no lineales intermitentes	375
6.2.1 Conceptos generales	375
6.2.2 Controlador todo-nada básico	375
6.2.3 Controlador todo-nada de dos posiciones	376
Controlador todo-nada con histéresis	376
Controlador todo-nada con zona muerta	378
6.2.4 Controlador todo-nada multiposición	378
6.2.5 Controlador intermitente proporcional en el tiempo	379
6.3 Controladores lineales continuos	380
6.3.1 Introducción	380
6.3.2 Controlador continuo Proporcional	380
6.3.3 Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID)	383
6.3.3.1 Introducción	383
6.3.3.2 Acción de control Integral	385
6.3.3.3 Acción de control Derivativa	388
6.3.3.4 Combinación de las acciones Proporcional, Integral y Derivativa (PID)	391
6.3.4 Elección del algoritmo de control	392
6.3.5 Ajuste empírico de controladores PID	394
6.3.5.1 Introducción	394
6.3.5.2 Métodos empíricos de ajuste con identificación en bucle abierto	395
6.3.5.2.1 Introducción	395
6.3.5.2.2 Método de Ziegler-Nichols con identificación en bucle abierto	396
6.3.5.2.3 Método de Cohen y Coon	399
6.3.5.2.4 Método de Chien, Hrones y Reswick (CHR)	400
6.3.5.3 Métodos empíricos de ajuste con identificación en bucle cerrado	403
6.3.5.3.1 Método de "Prueba y error"	403
6.3.5.3.2 Método de Ziegler-Nichols con identificación en bucle cerrado	404
6.3.5.3.3 Método del relé de Åström y Hägglund	404
6.3.5.4 Métodos de ajuste basados en modelos matemáticos	405
6.3.6 Implementación del control continuo PID mediante un autómata programable	407

6.3.6.1 Introducción	407
6.3.6.2 Bloques funcionales y lenguajes	410
6.3.6.3 Lenguaje CFC de descripción de sistemas de control de procesos continuos	411
Bibliografía	425
PARTE 4 - ENTORNO DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES	
7. Sensores industriales	429
7.1 Introducción	429
7.2 Características de los sensores industriales	430
7.2.1 Introducción	430
7.2.2 Clasificación de los sensores industriales según el principio de funcionamiento del elemento sensor	431
7.2.3 Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica que generan ..	432
7.2.3.1 Sensores analógicos	433
7.2.3.2 Sensores digitales	435
7.2.3.3 Sensores temporales	437
7.2.4 Clasificación de los sensores según el rango de valores	439
7.2.5 Clasificación de los sensores industriales según el modo de operación	440
7.2.6 Clasificación de los sistemas sensores según la función de transferencia.....	441
7.2.7 Clasificación de los sistemas sensores según el nivel de integración	442
7.2.8 Clasificación de los sensores según la variable física medida	445
7.3 Características de entrada de los sensores industriales	446
7.3.1 Campo o rango de medida	446
7.3.2 Forma de variación de la magnitud de entrada	447
7.4 Características eléctricas	448
7.4.1 Características eléctricas de salida	448
7.4.1.1 Sensores de salida analógica	449
7.4.1.2 Sensores de salida digital	450
7.4.1.3 Sensores de salida todo-nada	451
7.4.1.4 Sensores de salida temporal	462
7.4.2 Características de alimentación	463
7.4.3 Características de aislamiento	464
7.5 Características mecánicas	464
7.5.1 Conceptos generales	464
7.5.2 Grado de protección ambiental de los sensores industriales	465
7.6 Características de funcionamiento	465
7.6.1 Introducción	465
7.6.2 Características estáticas	466

7.6.2.1 Exactitud.....	467
7.6.2.2 Precisión, repetibilidad y reproducibilidad	467
7.6.2.3 Calibración.....	468
7.6.2.4 Histéresis.....	469
7.6.2.5 Linealidad	469
7.6.2.6 Mínimo valor medible o umbral	470
7.6.2.7 Resolución.....	470
7.6.2.8 Sensibilidad	471
7.6.3 Características dinámicas	471
7.6.3.1 Introducción	471
7.6.3.2 Respuesta en frecuencia.....	471
7.6.3.3 Tiempo de respuesta.....	471
7.6.3.4 Tiempo de subida.....	472
7.6.3.5 Constante de tiempo	473
7.6.3.6 Amortiguamiento o sobreoscilación (ΔV).....	473
7.6.4 Características ambientales.....	473
7.6.4.1 Efectos térmicos.....	473
7.6.4.2 Efectos de la aceleración y las vibraciones.....	474
7.6.4.3 Efectos de la presión ambiental	475
7.6.4.4 Efectos de las perturbaciones eléctricas.....	475
7.6.4.5 Otros efectos	475
7.6.5 Características de fiabilidad	476
7.7 Sensores industriales de aplicación general en procesos de fabricación	477
7.7.1 Introducción.....	477
7.7.2 Sensores detectores de objetos.....	477
7.7.2.1 Introducción	477
7.7.2.2 Sensores de proximidad con contacto	479
7.7.2.2.1 Introducción.....	479
7.7.2.2.2 Finales de carrera	480
7.7.2.2.3 Microrruptores	492
7.7.2.3 Sensores de proximidad sin contacto.....	494
7.7.2.3.1 Conceptos generales	494
7.7.2.3.2 Símbolos normalizados	495
7.7.2.3.3 Sensores optoelectrónicos de proximidad	500
7.7.2.3.3.1 Introducción	500
7.7.2.3.3.2 Características constructivas de las fotocélulas	503
7.7.2.3.3.3 Características técnicas de las fotocélulas	505
7.7.2.3.3.4 Sensores optoelectrónicos de proximidad de barrera de luz.....	509
7.7.2.3.3.5 Sensores optoelectrónicos de proximidad de reflexión sobre espejo.....	514
7.7.2.3.3.6 Sensores optoelectrónicos de proximidad de reflexión sobre objeto.....	519
7.7.2.3.3.7 Fotocélulas de fibra óptica.....	525
7.7.2.3.4 Sensores magnéticos de proximidad	529
7.7.2.3.5 Sensores inductivos de proximidad	530

7.7.2.3.5.1 Conceptos generales	530
7.7.2.3.5.2 Tipos de sensores inductivos de proximidad	533
7.7.2.3.5.3 Campo de trabajo	535
7.7.2.3.5.4 Características técnicas.....	539
7.7.2.3.5.5 Normas de instalación	544
7.7.2.3.6 Sensores capacitivos de proximidad	545
7.7.2.3.6.1 Conceptos generales.....	545
7.7.2.3.6.2 Tipos de sensores capacitivos de proximidad	548
7.7.2.3.6.3 Campo de trabajo	550
7.7.2.3.6.4 Características técnicas.....	554
7.7.2.3.6.5 Normas de instalación	555
7.7.2.3.7 Sensores ultrasónicos de proximidad	556
7.7.2.3.7.1 Introducción	556
7.7.2.3.7.2 Ultrasonidos.....	557
7.7.2.3.7.3 Sensores ultrasónicos de barrera.....	566
7.7.2.3.7.4 Sensores ultrasónicos detectores de eco.....	568
7.7.2.4 Sensores de medida de distancias.....	583
7.7.2.4.1 Introducción.....	583
7.7.2.4.2 Codificadores optoelectrónicos de posición	583
7.7.2.4.3 Transformador diferencial variable lineal	586
Bibliografía	588
8. Interfaces de entrada y salida	591
8.1 Introducción y clasificación	591
8.2 Interfaz de conexión con el proceso	592
8.2.1 Introducción.....	592
8.2.2 Interfaces de conexión con el proceso de aplicación general.....	594
8.2.2.1 Introducción	594
8.2.2.1.1 Interfaces de variables todo-nada.....	594
8.2.2.1.2 Interfaces de variables analógicas	596
8.2.2.2 Interfaz de variables de entrada todo-nada sin aislamiento galvánico.....	598
8.2.2.3 Interfaz de variables de entrada todo-nada con aislamiento galvánico.....	599
8.2.2.3.1 Introducción	599
8.2.2.3.2 Interfaces de variables de entrada todo-nada con aislamiento galvánico y alimentación en continua.....	599
8.2.2.3.3 Interfaz de variables de entrada todo-nada con aislamiento galvánico y alimentación en alterna	607
8.2.2.4 Interfaces de variables de salida todo-nada con alimentación continua	607
8.2.2.4.1 Clasificación y descripción	607
8.2.2.4.2 Protección de las salidas todo-nada	612
8.2.2.5 Interfaces de variables analógicas de entrada.....	616
8.2.2.6 Interfaces de variables analógicas de salida.....	620
8.2.3 Interfaces de conexión con el proceso de aplicación específica	624
8.2.3.1 Unidades de entrada de medida de temperatura.....	624
8.2.3.2 Unidades de entrada de conteo.....	626

8.2.3.3 Unidades de entrada/salida remotas	626
8.2.3.4 Unidades de posicionamiento	629
8.2.3.5 Unidades de regulación.....	632
8.3 Interfaces de conexión autómata-usuario.....	635
8.3.1 Unidades de programación	635
8.3.2 Equipos de interfaz máquina-usuario.....	636
8.3.2.1 Introducción	636
8.3.2.2 Características de los equipos HMI	638
8.3.3 Sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA)	643
Bibliografía	647
9. El autómata programable y las Comunicaciones Industriales	649
9.1 Introducción	649
9.2 El computador y el ciclo del proceso de un producto	651
9.2.1 Conceptos generales	651
9.2.2 Diseño asistido por computador.....	653
9.2.3 Ingeniería asistida por computador.....	654
9.2.4 Fabricación asistida por computador	654
9.2.4.1 Introducción	654
9.2.4.2 Clases de automatización y sus características.....	655
9.2.4.2.1 Automatización fija	655
9.2.4.2.2 Automatización programable.....	656
9.2.4.2.3 Automatización flexible.....	657
9.2.4.2.4 Automatización integrada.....	657
9.2.4.3 Planificación de los productos a fabricar	658
9.2.4.4 Sistemas electrónicos de control	659
9.2.4.4.1 Sistemas de control numérico.....	660
9.2.4.4.2 Autómatas Programables.....	666
9.2.4.4.3 Computadores industriales.....	667
9.2.4.4.4 Sistemas electrónicos de control de procesos continuos.....	676
9.2.4.4.5 Sistemas CAD-CAM.....	678
9.2.4.5 Sistemas de manipulación de elementos	679
9.2.4.5.1 Introducción	679
9.2.4.5.2 Conceptos básicos de los robots y clasificación de los mismos	679
9.2.4.6 Sistemas de fabricación flexible	683
9.2.4.6.1 Módulo de fabricación flexible	684
9.2.4.6.2 Célula de fabricación flexible.....	684
9.2.4.6.3 Línea de fabricación flexible.....	686
9.2.4.6.4 Taller flexible	686
9.2.5 Fabricación integrada por computador. Pirámide CIM	688
9.2.5.1 Introducción	688
9.2.5.2 Implementación del modelo CIM	690
9.3 Comunicaciones Industriales	695

9.3.1 Introducción.....	695
9.3.2 Redes de Comunicaciones Industriales.....	697
9.3.2.1 Clasificación de las redes de Comunicaciones Industriales.....	697
9.3.2.2 Redes de datos	698
9.3.2.2.1 Redes de empresa y de fábrica	698
9.3.2.2.2 Redes de célula.....	699
9.3.2.3 Redes de control	701
9.3.2.3.1 Conceptos generales	701
9.3.2.3.2 Redes de controladores	704
9.3.2.3.3 Redes de sensores-actuadores	704
9.3.2.4 Familias de redes industriales	706
9.3.2.5 Redes Ethernet Industrial	706
9.3.2.5.1 Introducción.....	706
9.3.2.5.2 Tipos de redes Ethernet Industrial	707
9.4 El autómata programable y las Comunicaciones Industriales	709
9.4.1 Introducción.....	709
9.4.2 Comunicación entre el autómata programable y los dispositivos de campo	710
9.4.3 Comunicación entre autómatas programables y otros sistemas electrónicos de control	712
9.4.4 Diseño e implantación de sistemas de control distribuido basados en autómatas programables	714
9.4.4.1 Introducción	714
9.4.4.2 Metodología de diseño de sistemas de control distribuido.....	714
	717
Bibliografía	
PARTE 5 - GARANTÍA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL	
10. Confiabilidad de los Sistemas Electrónicos de Control.....	723
10.1 Introducción	723
10.2 Sistemas electrónicos independientes de seguridad.....	725
10.2.1 Definición y descripción	725
10.2.2 Módulos de seguridad.....	726
10.2.3 Sensores de seguridad	729
10.2.3.1 Sensores de proximidad de seguridad de actuación mecánica.....	729
10.2.3.2 Sensores magnéticos de posición de seguridad	730
10.2.3.3 Sensores optoelectrónicos de seguridad detectores de objetos	731
10.3 Confiabilidad de los autómatas programables	734
10.3.1 Introducción.....	734
10.3.2 Confiabilidad de los autómatas programables de aplicación general	735

10.3.2.1 Introducción	735
10.3.2.2 Recursos internos de diagnóstico	735
10.3.2.2.1 Circuito de vigilancia	735
10.3.2.2.2 Circuito de comprobación de la batería	737
10.3.2.2.3 Entradas de seguridad	737
10.3.2.2.4 Instrucciones del tipo MCR	737
10.3.2.2.5 Instrucciones de acceso a la periferia	737
10.3.2.3 Recursos externos de diagnóstico	737
10.3.2.3.1 Seguridad de las entradas	738
10.3.2.3.2 Seguridad de las salidas	742
10.3.2.4 Seguridad ante sabotajes (<i>Security</i>)	745
10.3.3 Autómatas programables de elevada confiabilidad	745
10.3.3.1 Conceptos generales	745
10.3.3.2 Autómatas programables de seguridad	748
10.3.3.3 Autómatas programables de elevada disponibilidad	752
Bibliografía	755
Apéndice 1 - Comunicaciones digitales.....	757
A1.1 Introducción	757
A1.2 Conceptos básicos de las comunicaciones digitales punto a punto.....	758
A1.2.1 Modos o métodos de transmisión de las señales	759
A1.2.2 Modos de comunicación	764
A1.2.3 Modos de sincronización	766
A1.2.3.1 Transmisión asíncrona	766
A1.2.3.2 Transmisión síncrona	769
A1.2.3.3 Transmisión isócrona	774
A1.2.4 Métodos de detección de errores	775
A1.2.4.1 Detección de errores en la transmisión asíncrona	776
A1.2.4.2 Detección de errores en la transmisión síncrona	776
A1.2.5 Medios de transmisión	777
A1.2.5.1 Introducción	777
A1.2.5.2 Conductores	779
A1.2.5.3 Cable coaxial	780
A1.2.5.4 Fibra óptica	780
A1.2.5.5 La atmósfera	782
A1.2.6 Características mecánicas y eléctricas de las conexiones	783
A1.2.7 Normalización de las comunicaciones punto a punto	785
A1.2.7.1 Bucle de corriente	785
A1.2.7.2 Norma RS-232	787
A1.2.7.3 Norma RS-422	790
A1.2.7.4 Norma RS-423	790
A1.2.7.5 Norma RS-485	791
A1.2.7.6 Norma USB	792

Índice

A1.3 Redes informáticas	792
A1.3.1 Introducción	792
A1.3.2 Modelos de interconexión de sistemas informáticos	793
A1.3.3 Conceptos específicos de las redes de datos	800
A1.3.3.1 Clasificación de las redes de datos de acuerdo con la topología.....	800
A1.3.3.1.1 <i>Topología de canales independientes</i>	800
A1.3.3.1.2 <i>Topología en estrella</i>	801
A1.3.3.1.3 <i>Topología en bus</i>	802
A1.3.3.1.4 <i>Topología en árbol</i>	802
A1.3.3.1.5 <i>Topología en anillo</i>	804
A1.3.3.1.6 <i>Topologías híbridas</i>	804
A1.3.3.2 Clasificación de las redes informáticas de acuerdo con la extensión	805
A1.3.3.3 Redes de área local.....	806
A1.3.3.3.1 <i>Conceptos generales</i>	806
A1.3.3.3.2 <i>Redes de área local descentralizadas</i>	811
A1.3.3.3.3 <i>Redes de área local principal/subordinado</i>	814
A1.3.3.3.4 <i>Redes de área local proveedor/consumidor</i>	815
A1.3.3.4 Redes de área extensa	816
A1.3.3.4.1 <i>Introducción</i>	816
A1.3.3.4.2 <i>Redes TCP/IP</i>	818
A1.3.4 Interconexión de redes	822
A1.3.5 Redes de área local commutadas	826
A1.3.5.1 Introducción	826
A1.3.5.2 Red Ethernet commutada.....	827
A1.4 Infocomunicaciones	829
A1.4.1 Introducción	829
A1.4.2 Aplicaciones de las Infocomunicaciones	830
A1.4.2.1 Aplicaciones generales de las Infocomunicaciones	831
A1.4.2.2 Aplicaciones sectoriales de las Infocomunicaciones	833
Bibliografía	834
Apéndice 2 - Red AS-i de sensores-actuadores.....	837
A2.1 Introducción	837
A2.2 Características generales	839
A2.3 Capa física de la red AS-i	840
A2.3.1 Cable de conexión AS-i	840
A2.3.2 Método de conexión AS-i.....	841
A2.3.3 Proceso de modulación de la señal.....	841
A2.4 Capa de enlace de la red AS-i.....	843
A2.4.1 Control de acceso al medio	843

A2.4.2 Control Lógico.....	844
A2.4.2.1 Identificación de los subordinados	844
A2.4.2.2 Parametrización de los subordinados.....	845
A2.4.2.3 Funcionamiento del procesador de comunicaciones principal	846
A2.4.2.3.1 <i>Funciones básicas</i>	846
A2.4.2.3.2 <i>Modos de funcionamiento</i>	847
A2.4.2.3.3 <i>Etapas de funcionamiento</i>	847
A2.4.2.4 Formato de los mensajes	849
A2.4.2.5 Órdenes del protocolo de enlace de la red AS-i.....	850
A2.5 Capa de aplicación de la red AS-i	853
A2.6 Componentes de una red AS-i	855
A2.6.1 Fuente de alimentación AS-i.....	856
A2.6.2 Módulos de conexión	856
A2.6.3 Módulos de usuario	857
A2.6.4 Sensores/Actuadores con circuito integrado AS-i	859
A2.6.5 Módulo principal.....	859
A2.6.6 Módulos Pasarela AS-i	860
Bibliografía	861
Apéndice 3 - Familia de redes de campo PROFIBUS.....	863
A3.1 Introducción	863
A3.2 Características generales.....	863
A3.3 Red PROFIBUS-DP	867
A3.3.1 Características generales	867
A3.3.2 Capa física de la red PROFIBUS-DP	868
A3.3.2.1 Medio de transmisión	868
A3.3.2.2 Método de codificación de las señales.....	871
A3.3.3 Capa de enlace de PROFIBUS-DP	871
A3.3.3.1 Control de acceso al medio	872
A3.3.3.2 Control lógico.....	875
A3.3.3.2.1 <i>Formato de los mensajes</i>	875
A3.3.3.2.2 <i>Servicios de transferencia de datos</i>	877
A3.3.3.2.3 <i>Funcionamiento de los procesadores de comunicaciones</i>	878
A3.3.3.2.4 <i>Tratamiento de los errores de transmisión</i>	881
A3.3.3.4 Capa de aplicación de la red PROFIBUS-DP	881
A3.4 Red PROFIBUS-PA.....	886
A3.5 Red PROFIBUS-FMS.....	888
A3.6 Principales elementos de una red PROFIBUS.....	895
A3.6.1 Unidades de entrada-salida remota.....	895

A3.6.2 Sensores/Actuadores con recursos de comunicación PROFIBUS integrados.....	896
A3.6.3 Módulos principales PROFIBUS.....	896
A3.6.4 Módulos pasarela PROFIBUS	898
A3.6.5 Repetidores y módulos de enlace PROFIBUS.....	898
A3.7 Comparación de las redes PROFIBUS y AS-i.....	899
Bibliografía	900
Apéndice 4 - Red Industrial Universal Profinet	901
A4.1 Introducción	901
A4.2 Topología de Profinet.....	902
A4.3 Sistemas tecnológicos de Profinet	909
A4.3.1 Introducción	909
A4.3.2 Profinet IO.....	910
A4.3.3 Profinet CBA.....	913
A4.4 Compatibilidad entre Profinet y PROFIBUS	914
Bibliografía	915
Apéndice 5 - Confiabilidad de los Sistemas Electrónicos.....	917
A5.1 Introducción	917
A5.2 Conceptos relacionados con el funcionamiento de un sistema.....	917
A5.2.1 Conceptos básicos relativos a la confiabilidad	918
A5.2.1.1 Imperfecciones de un sistema y sus consecuencias	918
A5.2.1.2 Atributos de un sistema en relación con la confiabilidad.....	919
A5.2.1.2.1 <i>Fiabilidad</i>	919
A5.2.1.2.2 <i>Disponibilidad</i>	922
A5.2.1.2.3 <i>Mantenibilidad</i>	923
A5.2.1.2.4 <i>Seguridad</i>	926
A5.2.1.2.5 <i>Nivel de comportamiento</i>	929
A5.2.1.2.6 <i>Predecibilidad</i>	929
A5.2.1.2.7 <i>Protección de la propiedad intelectual</i>	929
A5.2.1.2.8 <i>Verificabilidad</i>	929
A5.2.2 Conceptos relativos a la implementación de los sistemas de elevada confiabilidad	930
A5.2.2.1 Métodos de realización de sistemas para proporcionar elevada confiabilidad	930
A5.2.2.1.1 <i>Prevención de fallos</i>	930
A5.2.2.1.2 <i>Enmascaramiento de fallos</i>	931

A5.2.2.1.3 Control de fallos.....	931
A5.2.2.2 Métodos para comprobar y reparar los sistemas de elevada confiabilidad	931
A5.2.3 Clasificación de los sistemas de elevada confiabilidad	932
A5.2.3.1 Sistemas de aplicación general de elevadas prestaciones	932
A5.2.3.2 Sistemas utilizados en aplicaciones peligrosas.....	933
A5.2.3.3 Sistemas de elevada disponibilidad	933
A5.2.3.4 Sistemas de prolongada vida útil.....	933
A5.3 Verificación de los sistemas	934
A5.3.1 Introducción	934
A5.3.2 Verificación estática	935
A5.3.3 Verificación dinámica	935
A5.3.4 Verificación externa	935
A5.3.5 Autoverificación	936
A5.4 Tolerancia a fallos de los sistemas	936
A5.4.1 Introducción	936
A5.4.2 Clasificación de los sistemas tolerantes a fallos de acuerdo con la redundancia	938
A5.4.2.1 Tipo de elemento redundante.....	938
A5.4.2.2 Cantidad de redundancia	939
A5.4.2.3 Estrategia de utilización de la redundancia	939
A5.5 Los sistemas electrónicos y la seguridad ante averías (<i>Safety</i>)	942
A5.5.1 Introducción	942
A5.5.2 Clasificación de los sistemas electrónicos en relación con la seguridad ante averías	943
A5.5.2.1 Introducción.....	943
A5.5.2.2 Sistemas electrónicos independientes de seguridad	944
A5.5.2.3 Sistemas electrónicos de control seguros ante averías (<i>Fail-safe systems</i>).....	946
A5.5.2.4 Sistemas electrónicos de control seguros ante averías y de elevada disponibilidad	947
A5.5.2.5 Normas relativas a los sistemas de seguridad	947
A5.5.2.5.1 Introducción.....	947
A5.5.2.5.2 Norma EN 954-1.....	948
A5.5.2.5.3 Norma IEC 61508.....	952
A5.5.2.5.4 Norma ANSI/ISA-84.01	959
A5.5.2.5.5 Norma MIL-STD-882D.....	960
A5.5.2.5.6 Comparación de las normas IEC 61508 y EN 954-1.....	961
Bibliografía	961

Índice

Apéndice 6

Acrónimos y abreviaturas utilizados en control lógico, control de procesos, sensores industriales, comunicaciones digitales, Comunicaciones Industriales y seguridad	967
--	-----

Apéndice 7

Propuesta de equivalencias entre el inglés y el castellano de términos utilizados en control lógico, control de procesos, sensores industriales, comunicaciones digitales, Comunicaciones Industriales y seguridad	985
--	-----