

# Índice General

## PARTE 1 - FUNDAMENTOS DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES

<b>1. Introducción a los Controladores Lógicos .....</b>	<b>3</b>
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 <i>Conceptos básicos</i> .....	12
1.2.2.2.2 <i>Especificación de los controladores lógicos secuenciales síncronos</i> .....	16
1.2.2.2.3 <i>Controladores lógicos secuenciales síncronos cableados</i> .....	25
1.2.2.2.4 <i>Controladores lógicos secuenciales síncronos programables</i> <i>de arquitectura fija</i> .....	28
1.2.2.2.5 <i>Controladores lógicos secuenciales síncronos programables</i> <i>de arquitectura configurable</i> .....	34
1.3 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
<i>Unidades de entrada y salida</i> .....	40
<i>Unidad Central</i> .....	42
1.3.2.3 Autómatas programables con instrucciones de carga y memorización o salida .....	45
<i>Autómata Programable con instrucciones de salto condicional.</i> .....	50
<i>Autómata Programable con instrucciones de inhibición y desinhibición</i> .....	50
1.3.2.4 Síntesis de sistemas digitales mediante autómatas programables realizados con una unidad lógica .....	55
1.3.2.4.1 <i>Síntesis de sistemas combinacionales</i> .....	55
1.3.2.4.2 <i>Síntesis de sistemas secuenciales caracterizados por flancos</i> .....	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 <i>Características generales</i> .....	75
1.3.3.3.2 <i>Recursos físicos (hardware) y de programación (software)</i> .....	80
Bibliografía.....	99

## PARTE 2 - SISTEMAS DE PROGRAMACIÓN DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES

<b>2. Sistema STEP7 de programación de autómatas programables .....</b>	<b>103</b>
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 Instrucciones sin paréntesis.....	113
2.3.4.2.2 Instrucciones con paréntesis.....	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 contaje.....	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 contaje .....	202
2.6 Lenguaje de diagrama funcional de secuencias (S7-GRAPH) de STEP7 .....	203
Bibliografía.....	203
<b>3. Sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables.....</b>	<b>205</b>
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**

<b>4. Fundamentos de los Sistemas Electrónicos de Control .....</b>	<b>263</b>
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
<b>5.</b>	<b>Diseño de sistemas de control lógico con autómatas programables.</b>	<b>281</b>
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 combinatoriales 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-GRAPH .....	343
5.4.2.5 Ejemplos de diseño de sistemas de control lógico mediante el lenguaje S7-GRAPH.....	345
5.4.2.6 Ejemplos tipo de sistemas de automatización diseñados con S7-GRAPH .....	353
5.5 Comparación del método de diseño basado en S7-GRAPH y el del diagrama de partición en fases .....	363
Bibliografía .....	371
<b>6. Control de procesos mediante autómatas programables .....</b>	<b>373</b>
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

<b>7. Sensores Industriales .....</b>	<b>429</b>
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 ( $\Delta V$ ).....	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 <i>Introducción</i> .....	479
7.7.2.2.2 <i>Finales de carrera</i> .....	480
7.7.2.2.3 <i>Microrruptores</i> .....	492
7.7.2.3 Sensores de proximidad sin contacto.....	494
7.7.2.3.1 <i>Conceptos generales</i> .....	494
7.7.2.3.2 <i>Símbolos normalizados</i> .....	495
7.7.2.3.3 <i>Sensores optoelectrónicos de proximidad</i> .....	500
7.7.2.3.3.1 <i>Introducción</i> .....	500
7.7.2.3.3.2 <i>Características constructivas de las fotocélulas</i> .....	503
7.7.2.3.3.3 <i>Características técnicas de las fotocélulas</i> .....	505
7.7.2.3.3.4 <i>Sensores optoelectrónicos de proximidad de barrera de luz</i> .....	509
7.7.2.3.3.5 <i>Sensores optoelectrónicos de proximidad de reflexión sobre espejo</i> .....	514
7.7.2.3.3.6 <i>Sensores optoelectrónicos de proximidad de reflexión sobre objeto</i> .....	519
7.7.2.3.3.7 <i>Fotocélulas de fibra óptica</i> .....	525
7.7.2.3.4 <i>Sensores magnéticos de proximidad</i> .....	529
7.7.2.3.5 <i>Sensores inductivos de proximidad</i> .....	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
<b>8.</b>	<b>Interfaces de entrada y salida .....</b>	<b>591</b>
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 en 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
<b>8.3 Interfaces de conexión autómatas-usuario.....</b>	<b>635</b>
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
<b>Bibliografía.....</b>	<b>647</b>
<b>9. El autómata programable y las Comunicaciones Industriales .....</b>	<b>649</b>
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 Implantación 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	<i>Redes de empresa y de fábrica .....</i>	698
9.3.2.2.2	<i>Redes de célula.....</i>	699
9.3.2.3	Redes de control .....	701
9.3.2.3.1	<i>Conceptos generales .....</i>	701
9.3.2.3.2	<i>Redes de controladores .....</i>	704
9.3.2.3.3	<i>Redes de sensores-actuadores .....</i>	704
9.3.2.4	Familias de redes industriales .....	706
9.3.2.5	Redes Ethernet Industrial .....	706
9.3.2.5.1	<i>Introducción.....</i>	706
9.3.2.5.2	<i>Tipos de redes Ethernet Industrial .....</i>	707
9.4	El autómatas programable y las Comunicaciones Industriales.....	709
9.4.1	Introducción.....	709
9.4.2	Comunicación entre el autómatas 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	<i>Introducción .....</i>	714
9.4.4.2	<i>Metodología de diseño de sistemas de control distribuido.....</i>	714
	Bibliografía.....	717

## **PARTE 5 - GARANTÍA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL**

<b>10.</b>	<b>Confiabilidad de los Sistemas Electrónicos de Control.....</b>	<b>723</b>
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	<i>Sensores de proximidad de seguridad de actuación mecánica.....</i>	729
10.2.3.2	<i>Sensores magnéticos de posición de seguridad .....</i>	730
10.2.3.3	<i>Sensores optoelectrónicos de seguridad detectores de objetos .....</i>	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

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 Topología de canales independientes .....	800
A1.3.3.1.2 Topología en estrella.....	801
A1.3.3.1.3 Topología en bus .....	802
A1.3.3.1.4 Topología en árbol .....	802
A1.3.3.1.5 Topología en anillo.....	804
A1.3.3.1.6 Topologías híbridas.....	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 Conceptos generales.....	806
A1.3.3.3.2 Redes de área local descentralizadas.....	811
A1.3.3.3.3 Redes de área local principal/subordinado .....	814
A1.3.3.3.4 Redes de área local proveedor/consumidor.....	815
A1.3.3.4 Redes de área extensa .....	816
A1.3.3.4.1 Introducción .....	816
A1.3.3.4.2 Redes TCP/IP.....	818
A1.3.4 Interconexión de redes .....	822
A1.3.5 Redes de área local conmutadas .....	826
A1.3.5.1 Introducción .....	826
A1.3.5.2 Red Ethernet conmutada.....	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
<b>A1.3.3.1.1 Topología de canales independientes .....</b>	<b>800</b>
<b>A1.3.3.1.2 Topología en estrella.....</b>	<b>801</b>
<b>A1.3.3.1.3 Topología en bus .....</b>	<b>802</b>
<b>A1.3.3.1.4 Topología en árbol .....</b>	<b>802</b>
<b>A1.3.3.1.5 Topología en anillo.....</b>	<b>804</b>
<b>A1.3.3.1.6 Topologías híbridas.....</b>	<b>804</b>
<b>A1.3.3.2 Clasificación de las redes informáticas de acuerdo con la extensión .....</b>	<b>805</b>
<b>A1.3.3.3 Redes de área local.....</b>	<b>806</b>
<b>    A1.3.3.3.1 Conceptos generales.....</b>	<b>806</b>
<b>    A1.3.3.3.2 Redes de área local descentralizadas.....</b>	<b>811</b>
<b>    A1.3.3.3.3 Redes de área local principal/subordinado .....</b>	<b>814</b>
<b>    A1.3.3.3.4 Redes de área local proveedor/consumidor.....</b>	<b>815</b>
<b>A1.3.3.4 Redes de área extensa .....</b>	<b>816</b>
<b>    A1.3.3.4.1 Introducción .....</b>	<b>816</b>
<b>    A1.3.3.4.2 Redes TCP/IP.....</b>	<b>818</b>
<b>A1.3.4 Interconexión de redes .....</b>	<b>822</b>
<b>A1.3.5 Redes de área local conmutadas .....</b>	<b>826</b>
<b>    A1.3.5.1 Introducción .....</b>	<b>826</b>
<b>    A1.3.5.2 Red Ethernet conmutada.....</b>	<b>827</b>
<b>A1.4 Infocomunicaciones.....</b>	<b>829</b>
<b>    A1.4.1 Introducción .....</b>	<b>829</b>
<b>    A1.4.2 Aplicaciones de las Infocomunicaciones .....</b>	<b>830</b>
<b>        A1.4.2.1 Aplicaciones generales de las Infocomunicaciones .....</b>	<b>831</b>
<b>        A1.4.2.2 Aplicaciones sectoriales de las Infocomunicaciones.....</b>	<b>833</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>834</b>
<b>Apéndice 2 - Red AS-i de sensores-actuadores.....</b>	<b>837</b>
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 Funciones básicas .....	846
A2.4.2.3.2 Modos de funcionamiento .....	847
A2.4.2.3.3 Etapas de funcionamiento .....	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
<b>Apéndice 3 - Familia de redes de campo PROFIBUS.....</b>	<b>863</b>
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 Formato de los mensajes .....	875
A3.3.3.2.2 Servicios de transferencia de datos .....	877
A3.3.3.2.3 Funcionamiento de los procesadores de comunicaciones .....	878
A3.3.3.2.4 Tratamiento de los errores de transmisión .....	881
A3.3.4 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
<b>Apéndice 4 - Red Industrial Universal Profinet .....</b>	<b>901</b>
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
<b>Apéndice 5 - Confiabilidad de los Sistemas Electrónicos.....</b>	<b>917</b>
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



**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