

# Índice

<b>PRÓLOGO</b> .....	xvii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xix
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS CONTROLADORES LÓGICOS</b> .....	1
<b>1.1. CONCEPTOS GENERALES</b> .....	2
<b>1.2. CONTROLADORES LÓGICOS SIN UNIDAD OPERATIVA</b> .....	4
<b>1.2.1. Controladores lógicos combinacionales</b> .....	5
1.2.1.1. Controladores lógicos combinacionales cableados .....	5
1.2.1.2. Controladores lógicos combinacionales programables .....	7
<b>1.2.2. Controladores lógicos secuenciales</b> .....	9
1.2.2.1. Introducción .....	9
1.2.2.2. Controladores lógicos secuenciales síncronos .....	11
1.2.2.2.1. <i>Conceptos básicos</i> .....	11
1.2.2.2.2. <i>Especificación de los controladores lógicos secuenciales síncronos</i> ....	15
1.2.2.2.3. <i>Controladores lógicos secuenciales síncronos cableados</i> .....	23
1.2.2.2.4. <i>Controladores lógicos secuenciales síncronos programables de arquitectura fija</i> .....	26
1.2.2.2.5. <i>Controladores lógicos secuenciales síncronos programables de arquitectura configurable</i> .....	32
<b>1.3. CONTROLADORES LÓGICOS CON UNIDAD OPERATIVA</b> .....	34
<b>1.3.1. Introducción</b> .....	34
<b>1.3.2. Autómatas programables con una unidad lógica</b> .....	36
1.3.2.1. Introducción .....	36
1.3.2.2. Conceptos básicos .....	36
1.3.2.3. Autómatas programables con instrucciones de carga y memorización o salida ....	43

1.3.2.4. Síntesis de sistemas digitales mediante autómatas programables realizados con una unidad lógica .....	52
1.3.2.4.1. <i>Síntesis de sistemas combinatoriales</i> .....	53
1.3.2.4.2. <i>Síntesis de sistemas secuenciales caracterizados por flancos</i> .....	55
<b>1.3.3. Autómatas programables basados en un computador</b> .....	63
1.3.3.1. Introducción .....	63
1.3.3.2. Características generales de los computadores .....	64
1.3.3.3. Características de los autómatas programables basados en un computador .....	70
1.3.3.3.1. <i>Características generales</i> .....	70
1.3.3.3.2. <i>Recursos físicos (hardware) y de programación (software)</i> .....	75
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	93
<b>CAPÍTULO 2. SISTEMA STEP7 DE PROGRAMACIÓN DE AUTÓMATAS PROGRAMABLES</b> ....	95
<b>2.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	96
<b>2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE STEP7</b> .....	96
2.2.1. Tipos de datos .....	97
2.2.2. Unidades de organización del programa .....	97
2.2.3. Variables .....	99
<b>2.3. LENGUAJE DE LISTA DE INSTRUCCIONES (AWL) DE STEP7</b> .....	99
2.3.1. Conceptos generales .....	99
2.3.2. Identificación de variables .....	101
2.3.3. Instrucciones .....	103
2.3.4. Instrucciones que operan con variables lógicas .....	104
2.3.4.1. Introducción .....	104
2.3.4.2. Instrucciones de selección, de entrada y salida o de operación .....	105
2.3.4.3. Instrucciones de memorización .....	114
2.3.4.4. Instrucciones que operan con flancos .....	115
2.3.5. Instrucciones que operan con combinaciones binarias .....	118
2.3.5.1. Introducción .....	118
2.3.5.2. Instrucciones de carga y transferencia .....	119
2.3.5.3. Instrucciones aritméticas .....	123
2.3.5.4. Instrucciones de comparación .....	126
2.3.5.5. Instrucciones de conversión .....	127
2.3.5.6. Instrucciones de desplazamiento y rotación .....	129
2.3.5.7. Instrucciones lógicas con combinaciones binarias .....	129
2.3.6. Instrucciones de temporización .....	131
2.3.7. Instrucciones de contaje .....	141
2.3.8. Instrucciones de control del programa .....	147
2.3.8.1. Instrucciones de salto .....	147
2.3.8.2. Instrucciones de control de bloque .....	155
2.3.8.3. Instrucciones de control de la ejecución de un grupo de instrucciones .....	158
<b>2.4. LENGUAJE DE ESQUEMA DE CONTACTOS (KOP) DE STEP7</b> .....	160
2.4.1. Conceptos generales .....	160
2.4.2. Identificación de variables .....	161
2.4.3. Operaciones con contactos .....	161
2.4.3.1. Operaciones lógicas .....	162
2.4.3.2. Operaciones de memorización .....	166
2.4.3.3. Operación de inversión .....	166
2.4.4. Operaciones con contactos y bloques .....	168
2.4.4.1. Operaciones con flancos .....	168

2.4.4.2. Operaciones de temporización .....	171
2.4.4.3. Operaciones de contaje .....	171
<b>2.5. LENGUAJE DE DIAGRAMA DE FUNCIONES (FUP) DE STEP7 .....</b>	<b>172</b>
<b>2.5.1. Conceptos generales .....</b>	<b>172</b>
<b>2.5.2. Identificación de variables .....</b>	<b>173</b>
<b>2.5.3. Operaciones lógicas .....</b>	<b>173</b>
<b>2.5.4. Operaciones de memorización .....</b>	<b>178</b>
<b>2.5.5. Operaciones con flancos .....</b>	<b>178</b>
<b>2.5.6. Operaciones de temporización .....</b>	<b>181</b>
<b>2.5.7. Operaciones de contaje .....</b>	<b>182</b>
<b>2.6. LENGUAJE DE DIAGRAMA FUNCIONAL DE SECUENCIAS (S7-GRAPH) DE STEP7 ..</b>	<b>182</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>183</b>
<b>CAPÍTULO 3. SISTEMA NORMALIZADO IEC 1131-3 DE PROGRAMACIÓN DE AUTÓMATAS PROGRAMABLES .....</b>	<b>185</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>186</b>
<b>3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA NORMALIZADO IEC 1131-3 .....</b>	<b>186</b>
<b>3.2.1. Tipos de datos .....</b>	<b>186</b>
<b>3.2.2. Unidades de organización del programa de un proyecto .....</b>	<b>187</b>
3.2.2.1. Subprogramas .....	188
3.2.2.2. Funciones .....	188
3.2.2.3. Bloques funcionales .....	190
3.2.2.4. Variables .....	191
<b>3.3. LENGUAJE NORMALIZADO DE LISTA DE INSTRUCCIONES .....</b>	<b>192</b>
<b>3.3.1. Conceptos generales .....</b>	<b>192</b>
<b>3.3.2. Identificación de variables .....</b>	<b>193</b>
<b>3.3.3. Instrucciones .....</b>	<b>193</b>
<b>3.3.4. Instrucciones que operan con variables lógicas .....</b>	<b>195</b>
3.3.4.1. Introducción .....	195
3.3.4.2. Instrucciones de selección, de entrada y salida o de operación .....	195
3.3.4.3. Instrucciones de memorización .....	202
3.3.4.4. Instrucciones que operan con flancos .....	203
<b>3.3.5. Instrucciones que operan con combinaciones binarias .....</b>	<b>203</b>
3.3.5.1. Introducción .....	203
3.3.5.2. Instrucciones de selección y transferencia .....	203
3.3.5.3. Instrucciones aritméticas .....	204
3.3.5.4. Instrucciones de comparación .....	204
3.3.5.5. Instrucciones lógicas con combinaciones binarias .....	206
<b>3.3.6. Instrucciones de control del programa .....</b>	<b>207</b>
3.3.6.1. Instrucciones de salto .....	208
3.3.6.2. Instrucciones de llamada y retorno de módulo .....	209
<b>3.3.7. Funciones .....</b>	<b>210</b>
<b>3.3.8. Bloques funcionales .....</b>	<b>213</b>
3.3.8.1. Introducción .....	213
3.3.8.2. Bloques funcionales de memorización .....	213
3.3.8.3. Bloques funcionales de detección de flanco .....	215
3.3.8.4. Bloques funcionales temporizadores .....	216
3.3.8.5. Bloques funcionales contadores .....	219
3.3.8.6. Bloques funcionales de usuario .....	221

<b>3.4. LENGUAJE NORMALIZADO DE ESQUEMA DE CONTACTOS</b> .....	224
3.4.1. Conceptos generales .....	224
3.4.2. Identificación de variables .....	224
3.4.3. Operaciones con contactos .....	225
3.4.3.1. Operaciones lógicas .....	226
3.4.3.2. Operaciones de memorización .....	228
3.4.3.3. Operaciones con flancos .....	229
3.4.4. Bloques funcionales .....	233
3.4.4.1. Bloques funcionales normalizados .....	233
3.4.4.2. Bloques funcionales de usuario .....	234
3.4.5. Funciones .....	234
<b>3.5. LENGUAJE NORMALIZADO DE DIAGRAMA DE FUNCIONES</b> .....	235
3.5.1. Conceptos generales .....	235
3.5.2. Identificación de variables .....	235
3.5.3. Operaciones lógicas .....	235
3.5.4. Bloques funcionales .....	238
<b>3.6. LENGUAJE NORMALIZADO DE DIAGRAMA FUNCIONAL DE SECUENCIAS</b> .....	238
<b>3.7. RELACIÓN ENTRE EL SISTEMA STEP7 Y EL SISTEMA NORMALIZADO IEC 1131-3</b>	239
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	241
<b>CAPÍTULO 4. DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CON AUTÓMATAS PROGRAMABLES</b> ...	243
<b>4.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	244
<b>4.2. HERRAMIENTAS DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL BASADOS EN AUTÓMATAS PROGRAMABLES</b> .....	244
4.2.1. Introducción .....	244
4.2.2. Administración de un proyecto STEP7 .....	245
4.2.3. Recursos y requisitos necesarios para desarrollar un programa STEP7 .....	245
<b>4.3. MÉTODOS CLÁSICOS DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL</b> .....	249
4.3.1. Diseño de sistemas combinatoriales con un autómata programable .....	249
4.3.2. Diseño de sistemas de control secuencial implementados con un autómata programable .....	254
4.3.2.1. Método de diseño basado en la emulación de biestables RS .....	254
4.3.2.2. Método del algoritmo compacto de emulación del grafo de estados .....	270
<b>4.4. MÉTODOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL SECUENCIAL COMPLEJOS</b> ...	277
4.4.1. Método de diseño basado en la partición del algoritmo en fases .....	278
4.4.2. Método de diseño basado en el diagrama funcional de secuencias .....	287
4.4.2.1. Introducción .....	287
4.4.2.2. Conceptos básicos del lenguaje S7-Graph .....	288
4.4.2.2.1. Reglas de evolución del lenguaje S7-Graph .....	289
4.4.2.2.2. Operaciones permanentes .....	295
4.4.2.3. Conceptos avanzados de S7-Graph .....	297
4.4.2.3.1. Denominación de las etapas .....	297
4.4.2.3.2. Acciones asociadas a etapas .....	297
4.4.2.3.3. Supervisión de la evolución entre etapas .....	299
4.4.2.3.4. Eventos y acciones asociadas .....	300
4.4.2.3.5. Acciones para activar y desactivar otras etapas .....	300
4.4.2.3.6. Transiciones condicionadas por etapas .....	302

4.4.2.4. Integración de cadenas secuenciales programadas en S7-Graph .....	302
4.4.2.5. Ejemplos de diseño de sistemas de control mediante el lenguaje S7-Graph .....	305
<b>4.5. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO BASADO EN S7-GRAPH Y EL DEL DIAGRAMA DE PARTICIÓN EN FASES .....</b>	<b>313</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>318</b>
<b>CAPÍTULO 5. INTERFACES DE ENTRADA Y SALIDA .....</b>	<b>319</b>
<b>5.1. INTRODUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN .....</b>	<b>320</b>
<b>5.2. INTERFAZ DE CONEXIÓN CON EL PROCESO .....</b>	<b>320</b>
<b>5.2.1. Introducción .....</b>	<b>320</b>
<b>5.2.2. Interfaces de conexión con el proceso de aplicación general .....</b>	<b>323</b>
5.2.2.1. Introducción .....	323
5.2.2.1.1. Interfaces de variables todo-nada .....	323
5.2.2.1.2. Interfaces de variables analógicas .....	325
5.2.2.2. Interfaz de variables de entrada todo-nada sin aislamiento galvánico .....	326
5.2.2.3. Interfaz de variables de entrada todo-nada con aislamiento galvánico .....	327
5.2.2.3.1. Introducción .....	327
5.2.2.3.2. Interfaces de variables de entrada todo-nada con aislamiento galvánico y alimentación en continua .....	327
5.2.2.3.3. Interfaz de variables de entrada todo-nada con aislamiento galvánico y alimentación en alterna .....	334
5.2.2.4. Interfaces de variables de salida todo-nada .....	335
5.2.2.5. Interfaces de variables analógicas de entrada .....	342
5.2.2.6. Interfaces de variables analógicas de salida .....	345
<b>5.2.3. Interfaces de conexión con el proceso de aplicación específica .....</b>	<b>350</b>
5.2.3.1. Unidades de entrada de medida de temperatura .....	350
5.2.3.2. Unidades de entrada de contaje .....	352
5.2.3.3. Unidades de entrada/salida remotas .....	352
5.2.3.4. Unidades de posicionamiento .....	354
5.2.3.5. Unidades de regulación .....	357
<b>5.3. INTERFACES DE CONEXIÓN AUTÓMATA-USUARIO .....</b>	<b>360</b>
<b>5.3.1. Unidades de programación .....</b>	<b>361</b>
<b>5.3.2. Equipos de visualización y actuación .....</b>	<b>362</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>364</b>
<b>CAPÍTULO 6. EL AUTÓMATA PROGRAMABLE Y LAS COMUNICACIONES INDUSTRIALES ..</b>	<b>365</b>
<b>6.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>366</b>
<b>6.2. EL COMPUTADOR Y EL CICLO DEL PROCESO DE UN PRODUCTO .....</b>	<b>367</b>
<b>6.2.1. Conceptos generales .....</b>	<b>367</b>
<b>6.2.2. Diseño asistido por computador .....</b>	<b>370</b>
<b>6.2.3. Simulación e ingeniería asistidas por computador .....</b>	<b>370</b>
<b>6.2.4. Fabricación asistida por computador .....</b>	<b>371</b>
6.2.4.1. Introducción .....	371
6.2.4.2. Clases de automatización y sus características .....	371
6.2.4.2.1. Automatización fija .....	371
6.2.4.2.2. Automatización programable .....	372
6.2.4.2.3. Automatización flexible .....	373
6.2.4.2.4. Automatización integrada .....	373
6.2.4.3. Planificación de los productos a fabricar .....	374

6.2.4.4. Sistemas electrónicos de control .....	375
6.2.4.4.1. <i>Sistemas de control numérico</i> .....	376
6.2.4.4.2. <i>Autómatas programables</i> .....	381
6.2.4.4.3. <i>Computadores industriales</i> .....	383
6.2.4.4.4. <i>Sistemas electrónicos de control de procesos continuos</i> .....	390
6.2.4.4.5. <i>Sistemas CAD-CAM</i> .....	394
6.2.4.5. Sistemas de manipulación de elementos .....	394
6.2.4.5.1. <i>Introducción</i> .....	394
6.2.4.5.2. <i>Conceptos básicos de los robots y clasificación de los mismos</i> .....	395
6.2.4.6. Sistemas de fabricación flexible .....	399
6.2.4.6.1. <i>Módulo de fabricación flexible [Flexible Manufacturing Module (FMM)]</i> ..	399
6.2.4.6.2. <i>Célula de fabricación flexible [Flexible Manufacturing Cell (FMC)]</i> ...	399
6.2.4.6.3. <i>Línea de fabricación flexible</i> .....	401
6.2.4.6.4. <i>Taller flexible</i> .....	401
<b>6.2.5. Fabricación integrada por computador. Pirámide CIM</b> .....	<b>402</b>
<b>6.3. COMUNICACIONES INDUSTRIALES</b> .....	<b>409</b>
<b>6.3.1. Introducción</b> .....	<b>409</b>
<b>6.3.2. Redes de comunicaciones industriales</b> .....	<b>411</b>
6.3.2.1. Clasificación de las redes de comunicaciones industriales .....	411
6.3.2.2. Redes de datos .....	412
6.3.2.2.1. <i>Redes de empresa y de fábrica</i> .....	412
6.3.2.2.2. <i>Redes de célula</i> .....	412
6.3.2.3. Redes de control .....	415
6.3.2.3.1. <i>Conceptos generales</i> .....	415
6.3.2.3.2. <i>Redes de controladores</i> .....	417
6.3.2.3.3. <i>Redes de sensores-actuadores</i> .....	418
6.3.2.4. Familias de redes industriales .....	419
<b>6.4. EL AUTÓMATA PROGRAMABLE Y LAS COMUNICACIONES INDUSTRIALES</b> .....	<b>419</b>
<b>6.4.1. Introducción</b> .....	<b>419</b>
<b>6.4.2. Comunicación entre el autómata programable y los dispositivos de campo</b> .....	<b>421</b>
<b>6.4.3. Comunicación entre el autómata programable y otros sistemas electrónicos de control</b> ..	<b>422</b>
<b>6.4.4. Diseño e implantación de sistemas de control distribuido basados en autómatas programables</b> .....	<b>424</b>
6.4.4.1. <i>Introducción</i> .....	424
6.4.4.2. <i>Metodología de diseño de sistemas de control distribuido</i> .....	425
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>426</b>
<b>CAPÍTULO 7. CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL</b> .....	<b>429</b>
<b>7.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>430</b>
<b>7.2. SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDEPENDIENTES DE SEGURIDAD</b> .....	<b>431</b>
7.2.1. <i>Definición y descripción</i> .....	431
7.2.2. <i>Módulos de seguridad</i> .....	433
7.2.3. <i>Sensores de seguridad</i> .....	435
<b>7.3. CONFIABILIDAD DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES</b> .....	<b>440</b>
<b>7.3.1. Introducción</b> .....	<b>440</b>
<b>7.3.2. Confiabilidad de los autómatas programables de aplicación general</b> .....	<b>440</b>
7.3.2.1. <i>Introducción</i> .....	440
7.3.2.2. <i>Recursos internos de diagnóstico</i> .....	441
7.3.2.3. <i>Recursos externos de diagnóstico</i> .....	443

7.3.2.3.1. Seguridad de las entradas .....	444
7.3.2.3.2. Seguridad de las salidas .....	448
7.3.2.4. Seguridad ( <i>Security</i> ) .....	451
<b>7.3.3. Autómatas programables de elevada confiabilidad .....</b>	<b>451</b>
7.3.3.1. Conceptos generales .....	451
7.3.3.2. Autómatas programables de seguridad .....	454
7.3.3.3. Autómatas programables de elevada disponibilidad .....	458
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>461</b>
<b>APÉNDICE 1. SENSORES INDUSTRIALES .....</b>	<b>463</b>
<b>A1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>464</b>
<b>A1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES INDUSTRIALES .....</b>	<b>465</b>
A1.2.1. Introducción .....	465
A1.2.2. Clasificación de los sensores industriales según el principio de funcionamiento del elemento sensor .....	466
A1.2.3. Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica que generan .....	466
A1.2.4. Clasificación de los sensores según el rango de valores .....	473
A1.2.5. Clasificación de los sistemas sensores según el nivel de integración .....	474
A1.2.6. Clasificación de los sensores según la variable física medida .....	477
<b>A1.3. CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA DE LOS SENSORES INDUSTRIALES .....</b>	<b>479</b>
A1.3.1. Campo o rango de medida .....	479
A1.3.2. Forma de variación de la magnitud de entrada .....	479
<b>A1.4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS .....</b>	<b>481</b>
A1.4.1. Características eléctricas de salida .....	481
A1.4.1.1. Sensores de salida analógica .....	481
A1.4.1.2. Sensores de salida digital .....	482
A1.4.1.3. Sensores de salida todo-nada .....	483
A1.4.1.4. Sensores de salida temporal .....	494
A1.4.2. Características de alimentación .....	494
A1.4.3. Características de aislamiento .....	495
<b>A1.5. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS .....</b>	<b>495</b>
A1.5.1. Conceptos generales .....	495
A1.5.2. Grado de protección ambiental de los sensores industriales .....	496
<b>A1.6. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>497</b>
A1.6.1. Introducción .....	497
A1.6.2. Características estáticas .....	498
A1.6.2.1. Precisión .....	498
A1.6.2.2. Calibración .....	498
A1.6.2.3. Histéresis .....	499
A1.6.2.4. Linealidad .....	500
A1.6.2.5. Repetibilidad .....	500
A1.6.2.6. Mínimo valor medible o umbral .....	500
A1.6.2.7. Resolución .....	500
A1.6.2.8. Sensibilidad .....	501
A1.6.3. Características dinámicas .....	502
A1.6.3.1. Introducción .....	502
A1.6.3.2. Respuesta en frecuencia .....	502
A1.6.3.3. Tiempo de respuesta .....	502
A1.6.3.4. Tiempo de subida .....	503
A1.6.3.5. Constante de tiempo .....	503

7.3.2.3.1. Seguridad de las entradas .....	444
7.3.2.3.2. Seguridad de las salidas .....	448
7.3.2.4. Seguridad ( <i>Security</i> ) .....	451
<b>7.3.3. Autómatas programables de elevada confiabilidad .....</b>	<b>451</b>
7.3.3.1. Conceptos generales .....	451
7.3.3.2. Autómatas programables de seguridad .....	454
7.3.3.3. Autómatas programables de elevada disponibilidad .....	458
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>461</b>